

Desenvolvimento de um Sistema Computacional Embarcado para Aferição de Índice de Conforto Térmico Aplicado ao Bem-estar Animal

Nicolay Farias Gomes¹, Victor Wanderley Costa de Medeiros¹, Héilton Pandorfi¹,
Glauco Estácio Gonçalves², Taize Cavalcante Santana¹, Hermano Diógenes
Ferreira Costa¹

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) - Recife - PE - Brasil

²Universidade Federal do Pará (UFPA) - Belém - PA - Brasil

{nicoly_farias, hpandorf}@hotmail.com, victor.wanderley@ufrpe.br,
glaucogoncalves@ufpa.br, {taizehaes, hermanodfc}@gmail.com

***Abstract.** This article presents the development of an embedded system capable of measuring temperature and relative humidity data through the DHT-22 sensor and calculating thermal comfort indices, helping in decision making. The comfort index considered in this application was the ITU (temperature and humidity index). To validate the results of capturing the variables by the DHT, an analysis was performed comparing the results with a HOBO U12-001 Data logger. The results showed that the variables obtained by the DHT, despite the satisfactory representation of the data, demand adjustments that can be obtained through regression equations. To calculate the ITU, temperature was more sensitive than relative humidity.*

***Resumo.** Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema embarcado capaz de aferir dados de temperatura e umidade relativa através do sensor DHT-22 e calcular índices de conforto térmico, auxiliando na tomada de decisão. O índice de conforto considerado nessa aplicação foi o ITU (índice de temperatura e umidade). Para validar os resultados de captura das variáveis pelo DHT, foi realizada uma análise comparando os resultados com um Data logger HOBO U12-001. Os resultados mostraram que as variáveis obtidas pelo DHT apesar de representação satisfatória dos dados, demandam ajustes que podem ser obtidos através de equações de regressão. Para o cálculo do ITU a temperatura se mostrou mais sensível que a umidade relativa.*

1. Introdução

De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2021) 98,5% da população brasileira consome algum tipo de proteína animal de forma regular, esse dado reitera a aptidão e o potencial do país na produção pecuária. Nos últimos anos o alvo não tem sido apenas o volume produzido, como também a produção consciente em se tratando de ganhos produtivos através de boas práticas dentro das fazendas, com ênfase na promoção do bem-estar animal.

As definições de bem-estar animal têm sido amplamente debatidas junto à comunidade científica internacional durante as últimas décadas. A linha conceitual mais

aceita trata deste tema dentro de uma perspectiva multidimensional, abrangendo emoções, funcionamento biológico e comportamento natural (Andrade et al., 2015).

Respostas de animais de produção ao estresse térmico podem repercutir em modificações de seu comportamento, respostas fisiológicas e no desempenho produtivo (Roma Júnior et al., 2011; Kiefer et al., 2009), por isso aumentaram-se os esforços para monitorar os ambientes de produção e se certificar de que os animais estão em conforto.

As atividades de muitos setores primários, dependem das condições climáticas para a produção, como por exemplo, o setor da agricultura (Singh et al., 2019). Nesse contexto o clima já não é mais um limitante, se apresentando como um desafio, em determinadas áreas, que pode ser contornado através da aplicação da pecuária de precisão e uso de tecnologias de baixo custo nos sistemas de produção.

A pecuária de precisão é uma abordagem gerencial, que tem como finalidade melhorar os processos produtivos, diminuir os impactos ambientais, obter maior satisfação dos consumidores e conseqüentemente um melhor retorno econômico para os produtores rurais (Bernardi et al., 2014).

Uma das formas de evitar perdas produtivas e alcançar incentivos financeiros, além de atingir outros níveis de consumidores (como por exemplo, consumidores mais exigentes e atentos a boas práticas e cadeia produtiva sustentável) é acompanhar as variáveis meteorológicas e sua normal climatológica nas regiões de produção, a fim de utilizar essas informações como ferramentas para alavancar o sistema de produção de forma ética e sustentável. Com a intensificação da produção animal, surge o cuidado em se proporcionar um meio confortável, que atenda aos requisitos básicos de bem-estar dos animais, que quando confinados, não são capazes de buscar ambientes confortáveis, sendo assim, o homem deve proporcionar ambiente apto à atender as exigência térmica dos suínos (Rodrigues and Silva, 2014).

Existem no mercado, sensores e estações meteorológicas que auxiliam na solução de problemas relacionados à perdas produtivas. Contudo, são investimentos de alto valor, quando se trata de pequenos e médios produtores, que no caso do Brasil apresenta 4,1 milhões de pequenos produtores. De acordo com o secretário Nacional da Agricultura Familiar e Cooperativismo, cerca de 84% de todas as propriedades rurais do país são de pequenos agricultores (Revista Expoagro, 2020).

O Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio brasileiro, calculado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), da Esalq/USP, em parceria com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), destacam que houve um aumento de 8,36% no PIB em 2021, a despeito dos efeitos adversos do clima sobre as safras agrícolas. Com isso, o setor agrícola alcançou uma participação de 27,4% no PIB brasileiro, a maior desde 2004 (quando foi de 27,53%) (Relatório PIB do Agronegócio Brasileiro, 2022), o que significa que mais de um quinto de tudo que é gerado no Brasil provém da agricultura. E, desse total, cerca de 25% é proveniente da agricultura familiar, ou seja, 5% do PIB brasileiro tem origem nas propriedades dos pequenos empreendedores rurais.

Diante disso, sensores de baixo custo para aferir variáveis ambientais (e.g., umidade relativa, pressão e temperatura ambiente), começaram a ser utilizados regularmente em diferentes aplicações, nas quais, é necessária a medição ou o controle dos sistemas e processos, utilizando uma tecnologia acessível (Scagliotti, et al., 2020).

Desta forma, o objetivo desse estudo é o desenvolvimento de um sistema computacional embarcado capaz de realizar medições de temperatura e umidade relativa, e determinar o ITU (índice de temperatura e umidade) no próprio microcontrolador ESP8266 presente na plataforma de desenvolvimento NodeMCU.

2. Material e métodos

O estudo foi desenvolvido na cidade do Recife (latitude 8°3'56.12"S, longitude 34°53'45.94"O), estado de Pernambuco. O clima da região é do tipo Aw', tropical úmido, de acordo com Köppen (Beck et al., 2018). A estação chuvosa ocorre nos meses de maio a agosto e a precipitação acumulada anual é de 2204,3 mm, de acordo com as normais climatológicas disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os valores de temperatura média anual são de 25,9 °C, temperatura média máxima de 29,5 °C e temperatura média mínima de 22,3 °C, a umidade relativa média do ar é de 78,3 % (INMET, 2019).

O desenvolvimento metodológico deste trabalho ocorreu em duas etapas: desenvolvimento do *hardware* e desenvolvimento do *software*, para monitoramento e posterior gerenciamento dos dados obtidos.

2.1. Desenvolvimento do Hardware

Para a aquisição de dados foi utilizado o sensor DHT-22 (sensor de temperatura e umidade) que permite fazer leituras de Temperaturas (T, °C) entre - 40 a + 80 graus Celsius e umidade relativa (UR, %) entre 0 a 100%. Além de um baixo custo, quando comparado a soluções comerciais normalmente empregadas para monitorar estes parâmetros, tem uma interface de comunicação simples de um único pino digital e é facilmente integrado a plataformas do ecossistema Arduino através de bibliotecas livres e de código aberto. Utilizou-se o módulo micro SD, que devido ao baixo custo e alta capacidade de armazenamento, permite que o sistema armazene informações de forma estruturada e fácil. Outro dispositivo utilizado no desenvolvimento da solução foi o RTC (Real Time Clock), um relógio de tempo real com calendário completo e mais de 56 bytes de SRAM, capaz de fornecer informações em segundos, minutos, dia, mês e ano, com o objetivo de auxiliar na coleta de dados e tornar a captura dos dados precisa.

O DHT foi conectado a um microcontrolador ESP8266 em uma plataforma de desenvolvimento NodeMCU, e sua programação foi desenvolvida em linguagem C/C++ na IDE (Integrated Development Environment) do Arduino, onde é possível realizar a leitura e o processamento das variáveis obtidas através do sensor.

Após o processamento dos dados, o programa retorna o índice de conforto ITU (Índice de Temperatura e Umidade), proposto por Thom (1959), para o ambiente naquelas condições de T e UR. A Figura 1 apresenta as imagens do sistema desenvolvido.

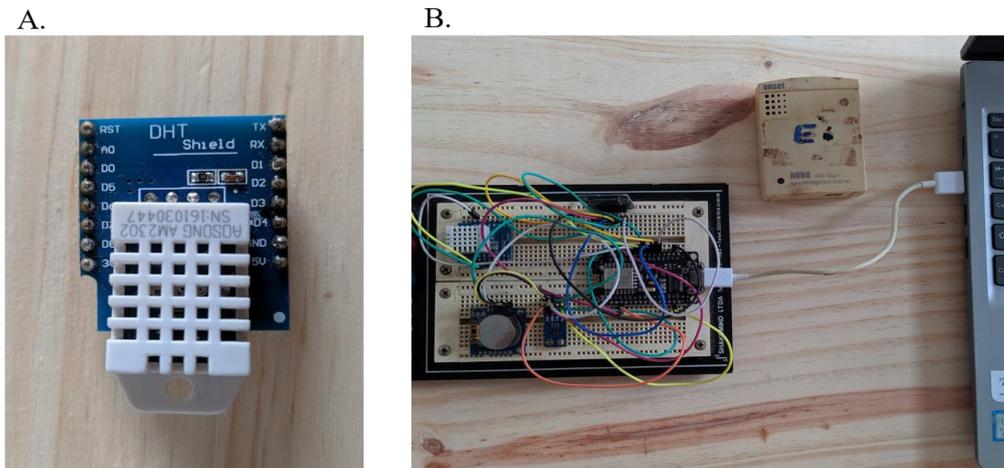


Figura 1. A. DHT-22 (Sensor de Umidade e Temperatura AM2302); B. Protótipo do sistema embarcado conectado à notebook e o datalogger comercial de referência

2.2. Desenvolvimento do *Software*

Para o desenvolvimento do *software* embarcado, foi utilizado o ambiente de desenvolvimento integrado do Arduino, o Arduino IDE. O *software* desenvolvido captura os dados de temperatura e umidade relativa do sensor DHT através da interface digital de um único pino. O microcontrolador realiza o cálculo do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) (Equação 1) e armazena o *timestamp* da coleta, os dados brutos coletados do sensor são computados, em um arquivo '.txt' no cartão SD disponível no sistema desenvolvido.

$$ITU = T_{bs} + 0,36 T_{po} + 41,5 \quad (1)$$

Em que:

T_{bs} - temperatura do bulbo seco (°C);

T_{po} - temperatura de ponto de orvalho (°C).

Após montagem e configuração do protótipo, realizou-se o experimento em laboratório, para o acompanhamento e validação dos valores de T e UR, variáveis que impactam diretamente na determinação do índice de conforto. A Figura 2 apresenta uma visão esquemática do funcionamento do sistema através dos processos realizados pelo microcontrolador.

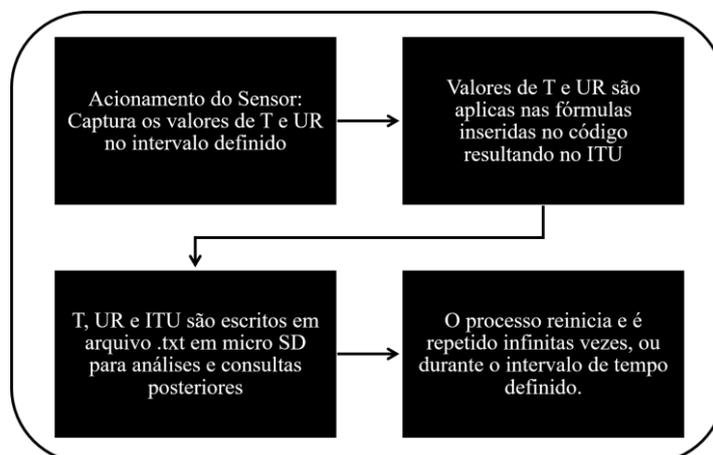


Figura 2. Representa o ciclo de varredura promovida pela rotina executada pelo programa do microcontrolador

Após a construção e configuração do protótipo, foi realizado um experimento em laboratório, foi conduzido durante o mês de fevereiro de 2022, com o objetivo de validar as informações referentes a temperatura e umidade relativa capturadas através do DHT, no qual foram comparadas com as capturas realizadas pelo Data logger HOBO U12-001, utilizado como instrumento de referência.

Foram realizados dois ensaios de 3 horas cada, em diferentes intervalos de captura. O primeiro com capturas intervaladas a cada minuto ($i=1$), e o segundo com capturas de 10 em 10 minutos ($i=10$). Nesses ensaios o protótipo e o sensor comercial de referência ficaram sob a mesma superfície e submetidos às mesmas condições ambientais.

3. Resultados e discussão

A Figura 3 mostra os resultados das capturas dos dois dispositivos (DHT e HOBO) para o ensaio com intervalo igual a 1 minuto ($i=1$). Nesse cenário pode-se observar uma pequena variação nos valores de temperatura, com diferença menor que um grau ($<1\text{ }^{\circ}\text{C}$), tendo como diferença máxima valores de $0,87^{\circ}\text{C}$ (variação máxima de 2,8%), e diferença mínima de $0,42^{\circ}\text{C}$ (variação mínima de 1,3%). Já para os valores da umidade relativa essa diferença se mostra mais acentuada, chegando a quase 10%, com diferença mínima de 6,20%, enquanto a diferença máxima chegou a 9,04%, com variações mínima e máxima de 9,4% e 13,4%, respectivamente.

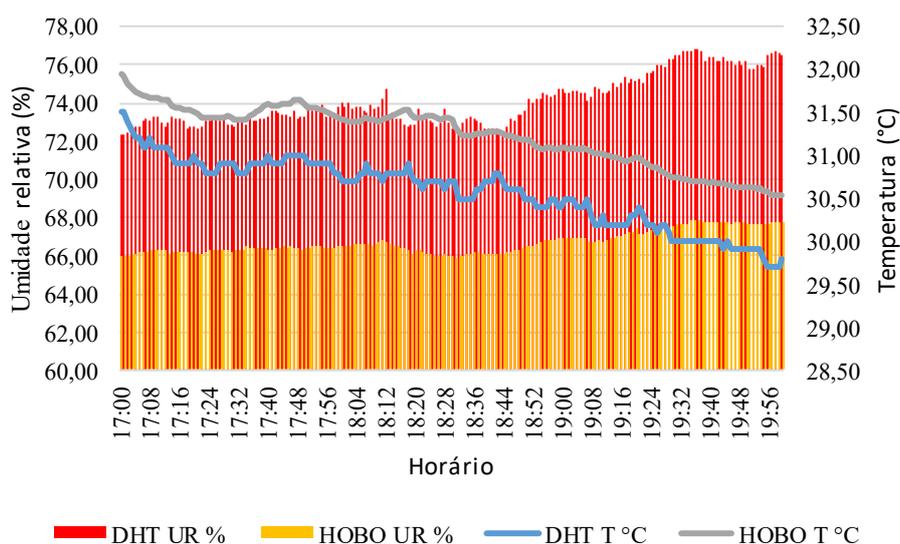


Figura 3. Variação da Temperatura e Umidade relativa do DHT em comparação ao sensor comercial no intervalo de 1 minuto

A Figura 4 evidencia o mesmo quadro observado na Figura anterior, com a mesma duração do ensaio anterior, mas com os intervalos de captura de 10 minutos. Observa-se que a diferença entre as capturas de temperatura é mais branda, enquanto a diferença dos valores de umidade relativa se mostra mais acentuada. A diferença nos valores de temperatura, também ficam abaixo de 1°C, tendo a maior diferença de 0,95°C, e a menor de 0,05°C. A variação máxima foi de 3% enquanto a variação mínima foi de 0,2% nos valores registrados.

Para os valores registrados referentes a umidade relativa, tanto a maior quanto a menor diferença foram menores quando comparadas as diferenças $i=1$, sendo a maior diferença 8,17% e a menor diferença 5,16%. A menor variação obtida entre as capturas dos sensores foi de 7,7%, enquanto a maior diferença registrada foi de 12,2%. Corroborando com os resultados desse estudo Wazwaz and Amin (2020) que realizaram testes com três sensores DHT-11, mostraram que em condições normais, a variação de temperatura entre eles ficou abaixo de 0,3 °C e abaixo de 2% para umidade. Mas quando adicionada fonte externa de calor e umidade por 10 minutos, a variação de temperatura aumentou para 1,4 °C e 11% para umidade, evidenciando a sensibilidade do DHT a variações no ambiente.

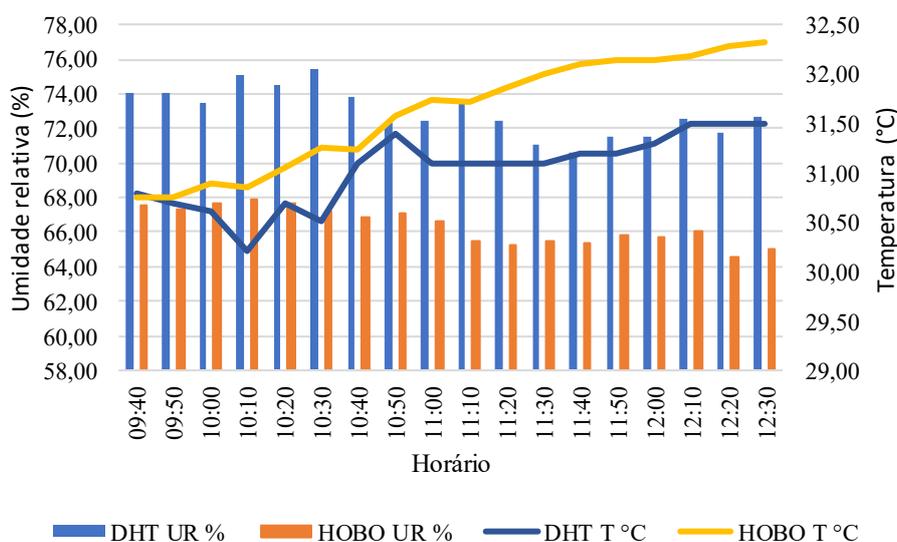


Figura 4. Variação da Temperatura e Umidade relativa do DHT em comparação ao sensor comercial no intervalo de 10 minutos

Nas Figuras 3 e 4 é possível observar que o sensor DHT superestima a umidade relativa do ambiente e subestima os valores de temperatura. Sabe-se, portanto, que é necessário desenvolver e aplicar ajustes pontuais a serem implementados via código programado para aumentar a acurácia das informações obtidas através do sensor. De forma simples e objetiva é possível realizar ajustes através de coeficientes obtidos por meio de modelos de regressão, como feito por Hariyanto et al., (2019) ao observar que quando a comparação é feita entre o erro padrão e o seu desvio antes e depois de fazer a regressão (ajuste), a taxa de erro é diminuída em 80,9% de 7,3 para 1,39, o que ressalta a

necessidade da adaptação. Wazwaz and Amin, (2020) afirmam que a precisão em sensores DHT é razoável, especialmente com aplicações em que as leituras mudam em um padrão normal. Para aliviar a taxa de erro em ambientes flutuantes, é necessário calcular a média de várias leituras para obter valores mais precisos.

Na Figura 5 é apresentado o comparativo do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) do estimado pelo DHT e pelo HOBO. Observa-se que o índice calculado através das capturas do Hobo comparado ao calculado através das capturas do DHT, apresentaram uma diferença máxima de 0,503 e uma diferença mínima de 0,010, tendo para o mesmo conjunto de dados uma variação máxima de 0,616% e uma variação mínima de 0,012%. Esses valores apresentam que apesar do sensor necessitar de ajuste para melhorar a precisão de obtenção dos dados, o ITU apresenta valores confiáveis, visto que a maior diferença atingiu meio ponto. De acordo com a tabela do índice de conforto apresentada por Care (2021), o ITU é representado apenas por números inteiros, o que nesse caso, não compromete a veracidade da interpretação da condição em que o animal está inserido.

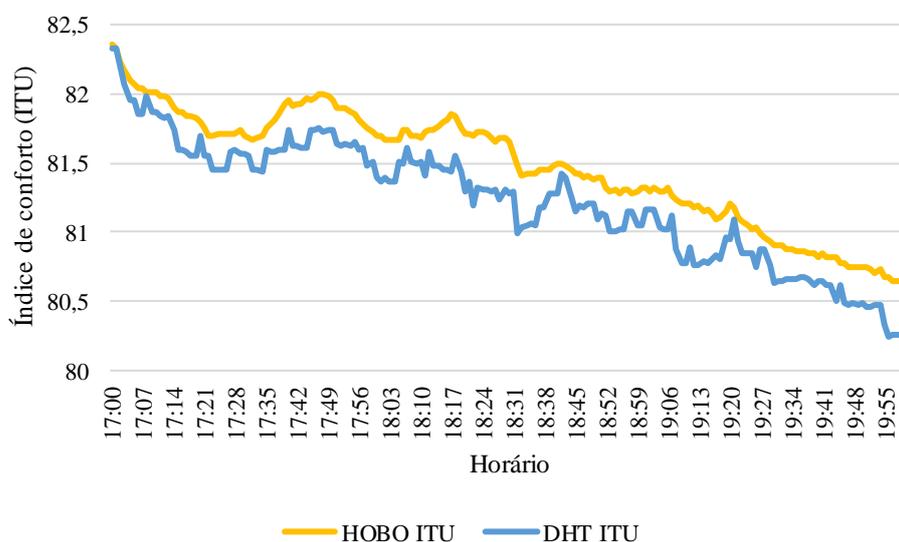


Figura 5. Variação do ITU obtido através dos dados capturados pelo DHT em comparação ao ITU obtido através dos dados capturados pelo do sensor comercial

Para analisar qual das duas variáveis, temperatura ou umidade relativa, apresentou mais influência sobre a precisão do índice foram feitas duas combinações: na primeira o índice foi calculado utilizando a temperatura obtida pelo Hobo e a umidade relativa obtida pelo DHT (HOBO-DHT ITU), na segunda o índice foi calculado utilizando a temperatura obtida através do DHT e a umidade relativa obtida através do Hobo (DHT-HOBO ITU). Quando esses valores de ITU foram comparados com os valores descritos na Figura 5, percebeu-se que a maior diferença entre as combinações e o HOBO ITU foi apresentada pelo DHT-HOBO ITU, mostrando que a influência da temperatura é maior do que a influência da umidade relativa para este índice nessas condições (Figura 6), apesar de ela apresentar extrema importância quando se trata da relação de troca de calor com o ambiente.

Tendo a influência da temperatura como mais sensível ao cálculo do ITU, de acordo com Du Preez (2000), por exemplo, para bovinos o nível de estresse é considerado a partir do ITU entre 72 e 78, e superior a 82 = estado de emergência. Em outro estudo com vacas mestiças 1/2, 3/4 e 7/8 Holandesa-Zebu foram identificados, respectivamente, os seguintes valores críticos de ITU: 79, 77 e 76 (Azevedo et al., 2005), ressaltando a importância do acompanhamento do índice de conforto em campo, para o auxílio na tomada de decisões.

Observou-se ainda que a diferença HOBO-DHT ITU é negativa, o que significa que os índices calculados por essa combinação de variáveis são superestimado com relação ao HOBO ITU, enquanto a diferença entre os valores dos índices do DHT-HOBO ITU é positiva, subestimando os valores dos índices obtidos pela temperatura e umidade relativa capturadas a partir do Hobo (HOBO ITU). Ainda observando a Figura 6, tem-se 0,758 e 0,542 sendo a maior e menor diferença entre o HOBO-DHT ITU e o HOBO ITU, e 1,169 e 0,562 sendo a maior e menor diferença entre o DHT-HOBO ITU e o HOBO ITU.

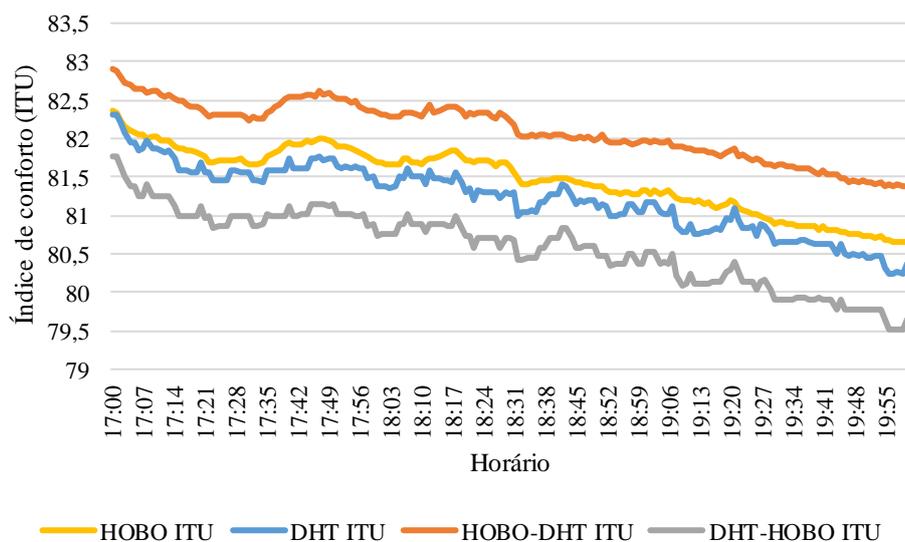


Figura 6. Variação do ITU para os diferentes cenários descritos

4. Conclusão

Diante dos dados analisados é possível concluir que os valores de temperatura e umidade obtidos através do DHT necessitam de ajustes que podem ser aplicados através de equação de regressão inserida na programação do sensor.

Notou-se que na obtenção do ITU o DHT apresenta confiabilidade, por apresentar variação máxima de meio ponto nos valores dos índices de conforto quando comparados aos obtidos pelos cálculos com as variáveis do Hobo.

Quando traçados mais dois cenários e calculados os índices de conforto, concluiu-se que a temperatura apresenta maior relevância no cálculo do ITU, sendo a variável que requer maior precisão.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA), ao Grupo de Pesquisa em Ambiente (GPESA), ao Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada (PPGIA-UFRPE) da UFRPE e ao Juá Labs pelo apoio ao desenvolvimento dessa pesquisa. Este trabalho foi financiado pelas seguintes instituições de fomento: FACEPE, CAPES (Finance Code 001) e CNPq.

Referências

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal (2021).

Andrade, T.V.; Sousa, P.H.A.A.; Barros Júnior, C.P.; Borges, L.S.; Carvalhinho, S.T.; Silva, Â.L.; Farias, L.A.; Dourado, L.R.B.; Lima, S.B.P. (2015) Aspects related to animal welfare in pig production. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology* 3(4):124-127.

Azevedo, M.; Pires, M. F. A.; Saturnino, H. M.; Lana, A. M. Q.; Sampaio, I. B. M.; Monteiro, J. B. N.; Morato, L. E. (2005) Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras 1/2, 3/4 e 7/8 Holandes-Zebu em Lactação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 34, n. 6, p. 2000-2008.

Beck, H. E.; Zimmermann, N. E.; McVicar, T. R.; Vergopolan, N.; Berg, A.; Wood, E. F. (2018) Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, v. 5, p. 1-12.

Bernardi, A. C. De C.; Naime, J. De M.; Resende, A. V. De; Bassoi, L. H.; Inamasu, R. Y. (2014) Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Embrapa Instrumentação-Livro técnico (INFOTECA-E).

Care, Humane Farm Animal. (2021) Humane Farm Animal Care: Referencial de Bem-Estar Animal Bovinos Leiteiros, Edição 21 v1.

Du Preez, J. H. (2000) Parameters for the determination and evaluation of heat stress in dairy cattle in South Africa. *Onderstepoort Journal Veterinary Research*, v. 67, p. 263-271.

Hariyanto, T., Rahayu, M., Satria, F., Fadhlán, M. Y. (2019) “Improving Temperature Sensor Accuracy in the IoT Trainer Kit by Linear Regression Method”. *International Conference on Mechatronics, Robotics and Systems Engineering (MoRSE)*.

INMET (Instituto Nacional De Meteorologia). Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: Junho/2019.

Kiefer, C.; Meignen, B. C. G.; Sanches, J. F.; Carrijo, A. S. (2009) Resposta de suínos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. *Archivos de Zootecnia, Córdoba*, v. 58, n. 221, p. 55-64.

Relatório PIB do Agronegócio Brasileiro (2022). Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA-Esalq/USP), Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) e Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ). Disponível

em:<https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_CNA_PIB_JAn_Dez_2021_Mar%C3%A7o2022.pdf> Acessado em: Março/2022.

Revista Expoagro 2020. Disponível em:<<http://www.sinditabaco.com.br/item/pequeno-produtor-mas-com-grande-importancia-na-economia/>> Acessado em: Março/2022

Rodrigues, A.D. and Silva, I.J.O. (2014) Inovações tecnológicas em ambiência para a produção de ovinos.

Roma Júnior, L. C.; Mac-Lean, P. A. B.; Salles, M. S. V.; Salles, F. A.; Savastano Júnior, H. (2011) Programa de suplementação de luz artificial para bezerros em aleitamento. Pesquisa & Tecnologia, v.8, n.2.

Scagliotti, A. F., and Jorge, G. A. (2020) “Inter-comparison of environmental low-cost sensors on Arduino platform”. Journal of the IEST, v. 63, n. 1, p. 35-45.

Singh, Nitin; Chaturvedi, Saurabh; Akhter, Shamim. (2019) Weather forecasting using machine learning algorithm. In: International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC). IEEE, p. 171-174.

Thom, E. C. (1959) The discomfort index. Weatherwise, Philadelphia, v.12, n.1, p.57-59.

Wazwaz, A., and Amin, K. (2020) “Error rate control in Humidity and Temperature sensors using IoT and ThingSpeak”. In: Proceedings of the 2020 10th International Conference on Information Communication and Management. p. 71-75.