

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU-SP

**DISPOSITIVO MÓVEL PARA ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO E
AMBIÊNCIA.**

ARILSON JOSÉ DE OLIVEIRA JÚNIOR

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP
Julho – 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU-SP

**DISPOSITIVO MÓVEL PARA ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO E
AMBIÊNCIA.**

ARILSON JOSÉ DE OLIVEIRA JÚNIOR

Orientadora: Prof.^a Dra. Silvia Regina Lucas de Souza

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP
Julho – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

O48d Oliveira Júnior, Arilson José de, 1991-
Dispositivo móvel para análise de conforto térmico e
ambiência / Arilson José de Oliveira Júnior. - Botucatu
: [s.n.], 2016
viii, 82 f. : fots. color., ils.color., grafs.
color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2016
Orientador: Silvia Regina Lucas de Souza
Inclui bibliografia

1. Conforto térmico - Índices. 2. Processamento eletrônico de dados. 3. Arduino - Controlador programável. 4. Controle de temperatura - Equipamento eletrônico. I. Souza, Silvia Regina Lucas de. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

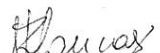


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DISPOSITIVO MÓVEL PARA ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO E AMBIÊNCIA

AUTOR: ARILSON JOSÉ DE OLIVEIRA JÚNIOR
ORIENTADORA: SILVIA REGINA LUCAS DE SOUZA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Profa. Dra. SILVIA REGINA LUCAS DE SOUZA
Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP


Profa. Dra. LEDA GOBBO DE FREITAS BUENO
Curso de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena


Prof. Dr. OSVALDO CESAR PINHEIRO DE ALMEIDA
Faculdade de Tecnologia de Botucatu

Botucatu, 27 de julho de 2016

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua infinita misericórdia e bondade sobre a minha vida. Criador, Senhor e Salvador das nossas almas.

Ao meu pai Arilson José de Oliveira e à minha mãe Valéria Cristina Fernandes de Oliveira, pelo amor, confiança, sustento e amparo em todos os momentos que precisei.

À minha futura esposa Diéllen Cristina Devidé Ribeiro, que sempre me apoiou e esteve ao meu lado nas horas difíceis.

À minha orientadora Sílvia Regina Lucas de Souza, que me acolheu e confiou a mim este trabalho. Obrigado pela amizade e conhecimentos compartilhados.

Ao departamento de Engenharia Rural pela estrutura e auxílio durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

SUMÁRIO

	Páginas
LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
RESUMO	1
SUMMARY	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 OBJETIVOS.....	8
2.1. OBJETIVO GERAL.....	8
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1. CONFORTO TÉRMICO E AMBIÊNCIA	10
3.1.1. CONFORTO TÉRMICO DE ANIMAIS.....	11
3.1.2. CONFORTO TÉRMICO DE HUMANOS	12
3.2. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO	13
3.2.1. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO PARA ANIMAIS.....	14
3.2.2. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO PARA HUMANOS	16
3.3. COMPUTAÇÃO MÓVEL.....	17
3.4. SISTEMA OPERACIONAL ANDROID	20
3.5. MICROCONTROLADOR	21
3.5.1. ARDUINO	22
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
4.1. DELIMITAÇÃO DOS CAMPOS DE PESQUISA	23
4.2. VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS.....	23
4.3. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO PARA ANIMAIS	24
4.3.1. AVES.....	26
4.3.1.1. <i>Índice de temperatura e umidade – ITU</i>	26
4.3.1.2. <i>Índice de temperatura de globo negro e umidade – ITGU</i>	26
4.3.2. BOVINOS	27
4.3.2.1. <i>Índice de temperatura e umidade – ITU</i>	27
4.3.2.2. <i>Índice de temperatura de globo negro e umidade – ITGU</i>	28
4.3.3. SUÍNOS.....	28
4.3.3.1. <i>Índice de temperatura e umidade – ITU</i>	28
4.3.3.2. <i>Índice de temperatura de globo negro e umidade – ITGU</i>	29
4.4. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO PARA HUMANOS.....	29
4.4.1. <i>Índice de temperatura efetiva – ITE</i>	29
4.4.2. <i>Índice de bulbo úmido termômetro de globo – IBUTG</i>	31
4.4.3. <i>Índice de desconforto – ID</i>	32
4.5. DISPOSITIVO PORTÁTIL	33
4.5.1. ESTRUTURA DO DISPOSITIVO PORTÁTIL.....	35
4.6. TERMÔMETRO DE GLOBO NEGRO	36
4.7. MEDIDAS E PROCESSOS DE MEDIÇÃO	36
4.8. DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO	37
4.9. PROCESSOS DO APLICATIVO PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS.....	38
4.10. VALIDAÇÃO DO SISTEMA COMPUTACIONAL E AVALIAÇÃO DE AMBIENTE.....	38
4.11. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	38
4.11.1. <i>Operação do sistema computacional</i>	38

4.11.2.	<i>Indicadores quantitativos e qualitativos</i>	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
5.1.	MATRIZES DO ÍNDICE DE TEMPERATURA EFETIVA - ITE.....	40
5.2.	DIAGRAMAS DE CLASSES	43
5.3.	APLICATIVO PARA SMARTPHONES E TABLETS	45
5.3.1.	<i>Entrada de dados por dispositivo portátil</i>	46
5.3.2.	<i>Entrada manual de dados</i>	57
5.4.	DISPOSITIVO PORTÁTIL	58
5.5.	CALIBRAÇÃO DO SENSOR DHT22	61
5.6.	ANÁLISE COMPARATIVA DE MEDIÇÕES.....	61
5.7.	CUSTO X BENEFÍCIO	66
6	CONCLUSÕES.....	69
	REFERÊNCIAS.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Limites de conforto térmico para aves (ITU)	26
Tabela 2: Limites de conforto térmico para aves (ITGU).....	27
Tabela 3: Limites de conforto térmico para bovinos de leite (ITU)	27
Tabela 4: Limites de conforto térmico para bovinos (ITGU).....	28
Tabela 5: Limites de conforto térmico para suínos (ITU)	28
Tabela 6: Limites de conforto térmico para suínos (ITGU)	29
Tabela 7. Limites de tolerância para exposição ao calor – NR15 (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 2014).....	32
Tabela 8: Limites de conforto térmico para humanos – ID	32
Tabela 9: Função de botões da tela principal de conexão e recebimento de dados por dispositivo portátil	48
Tabela 10: Relação entre tempo de medição e volume de dados	50
Tabela 11: Opções em menu da tela de lista de dados.....	53
Tabela 12: Padrão da descrição de dados no arquivo <i>xml</i>	53
Tabela 13: Descrição dos componentes do dispositivo portátil Orvalho.....	59
Tabela 14: Comparação das médias de temperatura e umidade relativa do ar entre os sensores Vaisala HMP45C e DHT22.....	61
Tabela 15: Comparação entre condições de conforto térmico obtidas por meio do dispositivo portátil Orvalho e <i>data logger</i> HOBO.....	63
Tabela 16: Comparação entre condições de conforto térmico obtidas por meio do dispositivo portátil Orvalho e <i>data logger</i> HOBO.....	65
Tabela 17: Custo dos componentes eletrônicos do dispositivo portátil.....	66
Tabela 18: Comparação de custos entre o dispositivo portátil criado e os equipamentos aplicados atualmente em análises de conforto térmico.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Zona de sobrevivência, homeotermia e de conforto térmico (Adaptado de BAÊTA E SOUZA, 2010).....	12
Figura 2: Arquitetura do sistema operacional Android (GOOGLE ANDROID, 2010).....	20
Figura 3: Microcontrolador <i>Genuino 101</i> (ARDUINO & GENUINO PRODUCTS, 2015).....	22
Figura 4 A e B: Nomograma de índice de temperatura efetiva (A) (FROTA e SCHIFFER, 2006); Forma de leitura/ correlação das variáveis climatológicas (B)	30
Figura 5: Microcontrolador Arduino Mega 2560 (ARDUINO PRODUCTS, 2015)	33
Figura 6: Dimensões Arduino Mega 2560 (SAFARI, 2016; HUGHES, 2016).....	34
Figura 7 A e B: Sensor de temperatura e umidade relativa do ar DHT22 (A); Dimensões em milímetros (mm) do sensor DHT22 (B) (Fonte: AOSONG, 2015).....	34
Figura 8: Módulo <i>Bluetooth</i> BC 417 HC-06.....	35
Figura 9: Globo negro de cloreto de polivinila – diâmetro: 36mm	36
Figura 10: Matriz de índice de temperatura efetiva para velocidade do vento de $0,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	41
Figura 11: Matriz de índice de temperatura efetiva para velocidade do vento de $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	41
Figura 12: Matriz de índice de temperatura efetiva para velocidade do vento de $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	42
Figura 13: Matriz de índice de temperatura efetiva para velocidade do vento de $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	42
Figura 14: Matriz de índice de temperatura efetiva para velocidade do vento de $2,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	43
Figura 15: Diagrama de classes principal do aplicativo	43
Figura 16: Diagrama de classes do algoritmo de aquisição de dados via <i>Bluetooth</i>	44
Figura 17: Fluxo de transmissão de dados entre dispositivo portátil e aplicativo para dispositivos móveis.....	45
Figura 18 A e B: Tela de abertura do aplicativo– splash screen (A) e tela principal (B)	46
Figura 19 A e B: Requisição de permissão de ativação do <i>Bluetooth</i> no <i>smartphone</i> ou <i>tablet</i> (A) e tela principal de conexão e recebimento de dados por dispositivo portátil (B)	47
Figura 20: Especificação de função da tela principal de conexão e recebimento de dados por dispositivo portátil	48
Figura 21: Definição do tempo de coleta de dados via dispositivo portátil.....	49
Figura 22 A e B: Caixa de diálogo de transferência de dados via dispositivo portátil (A) e de ação sob dados coletados – Definir Índice ou Visualizar Dados (B).....	51
Figura 23 A e B: Lista de dados (A) e menu de opções (B)	52
Figura 24 A, B e C: Telas resultantes das opções presentes no menu da tela de lista de dados: Exportar dados (A), Definir indivíduo (B) e Compartilhar dados(C)	54
Figura 25: Arquivo <i>xml</i> criado a partir da função de exportar dados	55
Figura 26 A e B: Compartilhamento de arquivo para <i>Google Drive</i> (A) e envio de arquivo utilizando um cliente de e-mail (B)	56
Figura 27 A e B: Opções de entrada manual de dados da tela inicial do aplicativo (A) e tela de inserção manual de dados para para o índice de temperatura de globo negro e umidade – ITGU Aves (B).....	57
Figura 28: Dispositivo portátil Orvalho (vista superior).....	58

Figura 29: Dispositivo portátil Orvalho e seus componentes	59
Figura 30: Esquema elétrico do dispositivo portátil Orvalho	60
Figura 31: Dispositivo portátil Orvalho (vista frontal).....	60
Figura 32: Temperatura do ar de um escritório medida pelo dispositivo portátil Orvalho e um <i>data logger</i> HOBO.....	62
Figura 33: Umidade relativa do ar de um escritório medida pelo dispositivo portátil Orvalho e um <i>data logger</i> HOBO.....	63
Figura 34: Temperatura do ar em instalação de suínos medida pelo dispositivo portátil Orvalho e um <i>data logger</i> HOBO.....	64
Figura 35: Temperatura de globo negro em instalação de suínos medida pelo dispositivo portátil Orvalho e um <i>data logger</i> HOBO	64
Figura 36: Umidade relativa do ar em instalação de suínos medida pelo dispositivo portátil Orvalho e um <i>data logger</i> HOBO.....	65

RESUMO

Nos países de clima tropical, como o Brasil, um dos maiores desafios para produção animal e trabalho humano são os fatores ambientais, como altas temperaturas e umidades dentro de ambientes, assim como as tipologias das instalações, muitas vezes limitantes para o desempenho produtivo. O conforto térmico e a ambiência são áreas de estudo que tem por objetivo conceder o bem-estar para indivíduos, sejam eles animais ou seres humanos. Nos dias atuais grande parte das análises de conforto térmico no meio agrícola, ressaltando às em ambientes de produção animal, utilizam índices que possibilitam a avaliação do nível de estresse térmico de um determinado local por meio de variáveis climatológicas, como o Índice de Temperatura e Umidade – ITU, Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade – ITGU e Índice de Temperatura Equivalente – ITEq. Semelhantemente, em locais de trabalho humano há um limite de tolerância para exposição ao calor que deve ser monitorado mediante o chamado Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo – IBUTG. Para a resolução desses índices, não há atualmente um sistema computacional específico, de *hardware* e *software*, que forneça, em tempo real, a condição térmica de um ambiente. Deste modo, o presente trabalho teve por objetivo desenvolver um sistema computacional capaz de avaliar, em tempo real, o conforto térmico de instalações de produção animal e de ambientes de trabalho humano. O sistema foi desenvolvido baseado na criação de um dispositivo portátil para coleta e transmissão das variáveis climatológicas de temperatura do ar, temperatura de globo negro e umidade relativa do ar, e do desenvolvimento de um aplicativo para *smartphones* e *tablets* Android. O dispositivo portátil foi desenvolvido utilizando um microcontrolador padrão Arduino, juntamente com sensores de temperatura e umidade relativa do ar. Para o desenvolvimento do aplicativo para dispositivos móveis, foi utilizado a linguagem de programação orientada a objetos Java no ambiente de desenvolvimento integrado Android Studio. O aplicativo para dispositivos móveis e o dispositivo portátil foram aplicados em diferentes ambientes e apresentaram correta medição de variáveis climatológicas e cálculo dos índices de conforto térmico. O dispositivo portátil demonstrou ser um produto funcional na transmissão de dados para dispositivos móveis.

Palavras-chave: Comportamento termodinâmico; Sistema computacional; Dispositivos portáteis; Arduino.

MOBILE DEVICE FOR ANALYSIS OF THERMAL COMFORT AND AMBIENCE.

Botucatu, 2016. 82p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ARILSON JOSÉ DE OLIVEIRA JÚNIOR

Adviser: SILVIA REGINA LUCAS DE SOUZA

SUMMARY

In tropical weather countries, such as Brazil, one of the greatest challenges for animal production and human work environments are environmental factors, among them high temperature and humidity inside of the environments, as well as the type of facilities which are limiting for productive performance. The thermal comfort and the ambience are study areas that aims the well-being of individuals, whether they are animals or humans. It is possible to define thermal comfort as the pleasant thermal sensation of the body, in which are not necessary physiological efforts to keep the body in thermal balance. Nowadays, several analysis of thermal comfort in the agriculture environment, mainly at environments of animal production, apply indexes to make it possible the evaluation of thermal stress level of a specific place through the climatological variables, for instance, the Temperature and Humidity Index – THI, Black Globe-Humidity Index – BGHI and Heat Load Index – HLI. In the same way, at places of human work, there is a tolerance limit for heat exposition that should be monitored by the known Wet-bulb Globe Temperature Index – WBGT index. Currently, for resolution of these indexes, there is not a specific computational system (hardware and software) that provides the thermal comfort of an environment in real time. Therefore, the present work aimed to develop a computational system with features to evaluate in real time the thermal comfort of facilities of animal production and human work. The system was developed based on the creation of a mobile device to collect and transmit weather variables from the air temperature, black globe temperature and relative air humidity, and also the development of an app for smartphones and tablets. The mobile device was developed using the Arduino microcontroller, along with sensors of air temperature and relative humidity. For the development of the app it was used the Java oriented object program language, with the Android integrated development environment. The app for mobile devices and the portable device were applied in different environments and both presented a correctly measurement of climatological variables and the calculating of thermal comfort indexes. The portable device proved to be a functional product in data transmission for mobile devices.

Keywords: Thermodynamic behavior; Computational systems; Portable devices; Arduino.

1 INTRODUÇÃO

Nos países de clima tropical, como o Brasil, um dos maiores desafios para produção animal e trabalho humano são os fatores ambientais, como a alta temperatura e umidade dentro de ambientes, assim como as tipologias das instalações, as quais são limitantes para o desempenho produtivo. Em instalações de frangos, por exemplo, é comum encontrar sistemas de criação abertos (janelas, cortinas e ventilação natural) e fechados (tipo túnel, com cortinas suspensas e sistemas mecanizados de ventilação), ambos em busca de uma boa ventilação e condição térmica agradável aos animais; além disso, na maioria das vezes, encontram-se alojamentos com isolamento térmico, principalmente na cobertura. Para a obtenção da ótima produtividade dos animais é preciso proporcionar-lhes condições favoráveis para que seu potencial genético seja manifestado. Do mesmo modo, em ambientes de trabalho humano, os limites de tolerância à exposição ao calor são formas de preservar a saúde dos trabalhadores e garantir o máximo rendimento e qualidade das atividades. Com as mudanças climáticas que vêm ocorrendo no país, as ondas de calor são as que mais provocam estresse térmico nos animais e também nas pessoas, o que afeta diretamente à saúde e produtividade. Mediante a influência que as condições térmicas de ambiente têm sobre os aspectos produtivos e de vitalidade, o conforto térmico e a ambiência são considerados áreas de estudo de extrema

importância, que tem por objetivo conceber o bem-estar para indivíduos, sejam eles animais ou seres humanos.

O conforto térmico para os indivíduos, sejam eles animais ou seres humanos, é essencial para o seu bem-estar. Quando um corpo está na zona de conforto térmico, sua temperatura apresenta-se de forma estável, não sendo necessário esforços metabólicos para resfriar ou aquecer o corpo.

Ao longo dos anos, estudos sobre o conforto térmico tornaram-se importantes para avaliar condições térmicas de ambientes, sendo assim, foram desenvolvidos índices para melhor mensurar o conforto destes indivíduos. Esses índices tomaram como base variáveis climatológicas, como temperatura do ar, de globo negro, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Tais variáveis possibilitam a obtenção de índices que apresentam informações de conforto ou desconforto de indivíduos em um determinado ambiente. Dentre os índices aplicados em avaliações de conforto térmico, específicos para ambientes de produção animal, tem-se o Índice de Temperatura e Umidade – ITU, Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade – ITGU e o Índice de Temperatura Equivalente – ITE. Para avaliações de ambientes de trabalho humano, mediante norma regulamentadora (NR 15: Atividades e operações insalubres), utiliza-se comumente o chamado Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo – IBUTG. O Índice de Desconforto – ID, também é aplicado para avaliações de conforto térmico de pessoas.

Em ambientes de produção de aves, por exemplo, são utilizados índices de conforto para determinar a influência que os materiais construtivos, empregados nos ambientes de instalações, causam sobre o desempenho produtivo e reprodutivo das aves (FIORELLI et al., 2010). Do mesmo modo, para os suínos são utilizados os índices para relacionar os efeitos do estresse térmico no crescimento, reprodução e comportamento alimentar (SARUBBI et al., 2010; PANDORFI e PIEDADE, 2008). Para bovinos, também é possível observar a importância do conforto térmico em fatores de produtividade e reprodução (BURFEIND e HEUWIESER, 2014). Assim como na zootecnia, alguns trabalhos fazem uso dos índices de conforto térmico para avaliar a influência do ambiente no comportamento e trabalho do homem (KAWAMURA, 1965; ONO e KAWAMURA, 1991).

Atualmente à aplicação desses índices e análise dos seus resultados, são feitas por meio da instalação de sensores que realizam as medições das variáveis climatológicas juntamente com dispositivos eletrônicos de armazenamento de dados (*data loggers*), responsáveis pela gravação dos dados coletados e envio a um computador. Após a obtenção dos dados, os índices são calculados e seus resultados analisados mediante *softwares* específicos, segundo o volume de processamento e o tipo de análise necessária. Para este processamento de dados, a técnica empregada para as avaliações de conforto térmico apresenta-se de forma eficaz na eventual necessidade de um monitoramento e análise em locais referenciados ou georreferenciados, com tratamento de grandes volumes de dados medidos durante longos períodos. Entretanto, para uma análise em tempo real, com baixo volume de dados e períodos de coleta menores, inferiores a 45 minutos, esta técnica mostra-se ineficiente por necessitar de uma prévia programação dos dispositivos eletrônicos de armazenamento de dados, da implantação de um conjunto de sensores conforme o índice a ser utilizado e, muitas vezes, de mão de obra especializada para operar os equipamentos, realizar os procedimentos de configuração dos *softwares* específicos para recebimento dos dados e manipular as medidas obtidas nos *softwares*.

Com base na importância do conforto térmico e do bem-estar dos animais e dos seres humanos, este trabalho propõe desenvolver um sistema computacional (*hardware e software*) utilizando os índices de conforto capaz de avaliar, em tempo real, o conforto térmico de instalações de produção animal e de ambientes de trabalho humano.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o conforto térmico e a ambiência de instalações de produção animal e ambientes de trabalho humano por meio do desenvolvimento de um sistema computacional composto por um dispositivo portátil para medição e transmissão das variáveis climatológicas e de um aplicativo para *smartphones* e *tablets*.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar instalações de produção animal a fim de diagnosticar *in loco* se há conforto ou estresse térmico;
- Avaliar o conforto térmico de ambientes de trabalho humano;
- Criar um dispositivo portátil capaz de medir e transmitir medidas climatológicas em tempo real via tecnologia *Bluetooth* para *smartphones* e *tablets*;
- Desenvolver um aplicativo para *smartphones* e *tablets*;
- Processar dados climatológicos a partir de um algoritmo pré-programado em um microcontrolador a fim de transmiti-los por meio de um padrão de comunicação *Bluetooth*;

- Aplicar o dispositivo portátil e o aplicativo para *smartphones* e *tablets* em ambientes reais de produção animal e de trabalho humano, como forma de validação do sistema computacional.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Conforto térmico e ambiência

Define-se conforto térmico como a condição de pleno conforto que um indivíduo expressa em relação ao ambiente numa perspectiva térmica (ASHRAE, 2010; NEMATCHOUA, TCHINDA e OROSA, 2013; DIN et al., 2014). Também pode-se considerar o conforto térmico como um fundamento de estudos destinados à análise e atribuição de parâmetros necessários para a avaliação e criação de um ambiente térmico apropriado às atividades de animais ou de pessoas (LAMBERTS e XAVIER, 2014). O estudo destinado ao conforto térmico, destaca sua importância por basear-se nos fatores de satisfação: a sensação de bem-estar de animais ou pessoas no que se refere à temperatura corporal; e performance: maior eficiência produtiva, intelectual e perceptiva de indivíduos quando em estado de homeotermia.

Análises de confortabilidade térmica são essenciais para projetos de instalações nos dias atuais (AZIZPOUR et al., 2013). A adequação de ambientes a aspectos climáticos são de extrema importância, pois, de fato, há uma grande relação entre a variabilidade térmica dos ambientes (galpões, indústrias, residências e escritórios) e a eficiência e qualidade produtiva tanto de animais (PASSINI et al., 2009; ALMEIDA et al., 2010; NAZARENO et al., 2012; HERMUCHE et al., 2013), como de seres humanos

(KUCHEN et al., 2005; BATIZ et al., 2009; CHEN, VICTOR E CHANG, 2012; LUOA et al., 2013; SAKOI e MOCHIDA, 2013; DIN et al., 2014, KRALIKOVA, SOKOLOVA e WESSELY, 2014).

O termo ambiência está relacionado como ambiente em que os seres vivos estão inseridos. O manejo do ambiente tem sido amplamente difundido no sentido de melhorar as condições de conforto do animal em função da influência dos parâmetros climáticos em favorecer ou prejudicar o desempenho do animal. Sendo assim, o conforto térmico e a ambiência precisam ter igual importância dentro de um sistema produtivo e também no ambiente dos seres humanos, para que ambos atinjam o seu bem-estar.

3.1.1. Conforto térmico de animais

Sabe-se que nos animais homeotérmicos há um estado em que os mecanismos termorreguladores não exercem esforços para manter o corpo em equilíbrio térmico, pois as condições ambientais favorecem o sistema fisiológico, impedindo que parte da energia presente nos animais seja utilizada como meio de preservar a temperatura corporal. Segundo Baêta e Souza (2010) e Arcaro Júnior (2000), esse estado térmico de equilíbrio (termoneutralidade), que corresponde à condição e definição de conforto térmico, está associado à faixa de temperatura efetiva ambiental, utilizada como forma de ilustrar e compreender os limites das condições térmicas dos animais. Mediante a definição dos limites térmicos presentes nas chamadas zonas de sobrevivência e de homeotermia, pode-se correlacionar condições térmicas ao termo zona de conforto térmico, em que há termoneutralidade (BAÊTA e SOUZA, 2010; ARCARO JÚNIOR, 2000). Na Figura 1 é apresentada as zonas de sobrevivência e de homeotermia, no qual estão inseridas as zonas de modesto conforto térmico e de conforto térmico, presentes entre as delimitações de estresse por frio e calor.

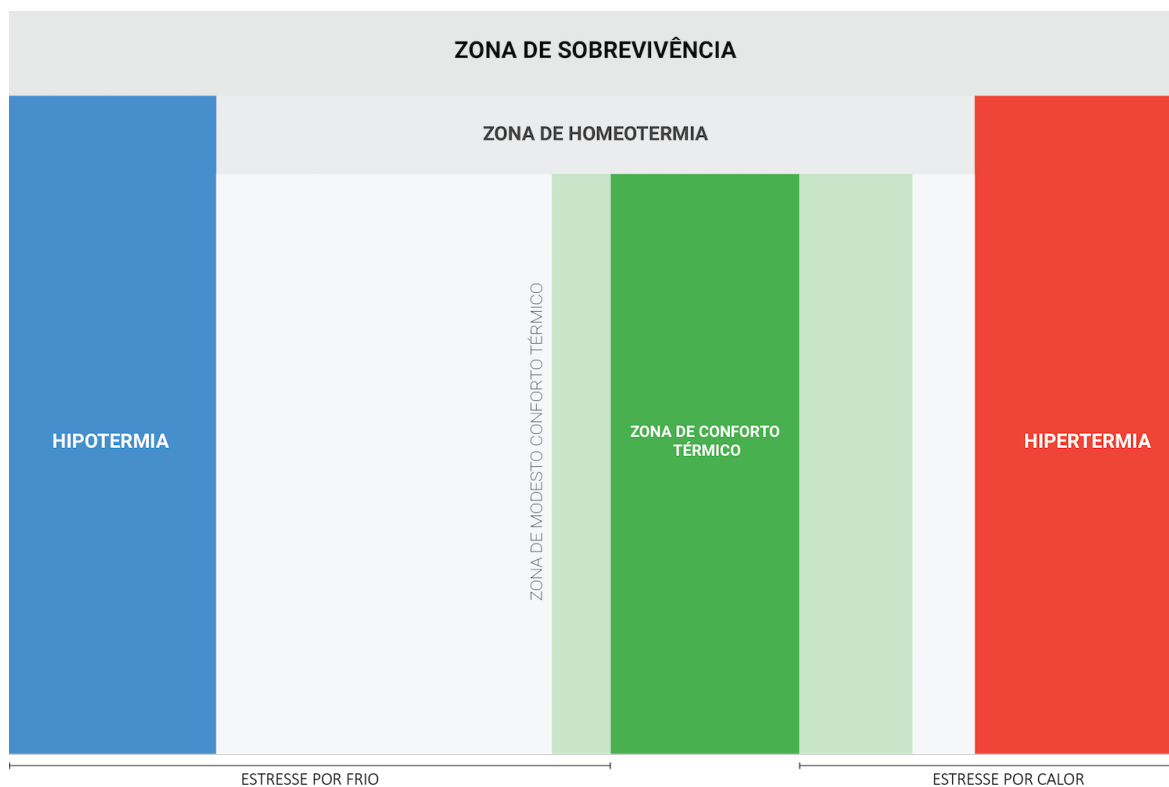


Figura 1: Zona de sobrevivência, homeotermia e de conforto térmico (Adaptado de BAÊTA E SOUZA, 2010)

O aumento da frequência respiratória e cardíaca, a redução da ingestão de alimentos e o aumento do consumo de água, são algumas características fisiológicas presentes nos animais que demonstram o estado de estresse térmico (ARCARO JÚNIOR, 2000).

3.1.2. Conforto térmico de humanos

Além das características fisiológicas em comum aos animais (aumento da frequência respiratória e cardíaca, redução da ingestão de alimentos e aumento do consumo de água), nos seres humanos há outras características fisiológicas e comportamentais que expressam condições de estresse ou desconforto térmico, tais como: sonolência, irritação, exaustão e calafrios. O estado de conforto térmico em humanos não depende somente dos fatores climatológicos de temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, mas também do vestuário e atividade humana (GIVONI, 1963). As condições atmosféricas médias que correspondem ao estado de conforto térmico humano, estão entre as temperaturas do ar de 21°C a 27,5°C, umidade

relativa do ar de 30% a 65% e velocidade do vento maior que $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (OLGYAY,1973). Mediante padrões internacionais, como: ISO 7730-2005 (ISO 7730, 2015), ASHRAE 55-2010 (ASHRAE, 2010) e EN 15251-2007 (EN, 2007), juntamente com os métodos *Predicted Mean Vote* – PMV e *Predicted Percentage of Dissatisfied* – PPD (FANGER, 1970), e o índice *Wet-bulb Globe Temperature* – WBGT, ou Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo – IBUTG (MTE, 2014), o conforto térmico de ambientes de pessoas é comumente avaliado (RUPP; VÁSQUEZ; LAMBERTS, 2015; SOEBARTO e BENNETTS, 2014).

3.2. Índices de conforto térmico

Sabe-se que as medidas climatológicas são as principais responsáveis pelo conforto e desconforto térmico de ambientes. A determinação absoluta da condição de conforto térmico está associada a muitas outras variáveis, especificamente quando se refere à avaliação de bem-estar humano, no qual fatores como idade, peso, gênero, origem, vestimenta, tipo de ambiente (aberto ou fechado), atividade executada no momento da avaliação e descrição pessoal da sensação térmica mostram-se relevantes e devem ser consideradas na determinação da condição térmica (RUPP; VÁSQUEZ; LAMBERTS, 2015). Em animais essa determinação também se apresenta de forma complexa devido à variação das formas corporais, espécie e família dos animais (BAËTA e SOUZA, 2010).

Os índices de conforto térmico são considerados como métodos ou técnicas que possibilitam uma análise e monitoramento quantitativo das condições térmicas de ambientes, e conseqüentemente dos indivíduos presentes nesses ambientes. A determinação da condição térmica por meio dos índices baseia-se em medições de variáveis meteorológicas, como temperatura e umidade relativa do ar, temperatura de globo negro, temperatura de bulbo úmido, velocidade do vento, pressão atmosférica e radiação solar. Por meio dos índices torna-se possível a caracterização das zonas de conforto térmico sem a necessidade de se obter informações qualitativas dos indivíduos, o que é extremamente importante e coerente quando se trata de avaliações de conforto térmico de animais. Numa perspectiva de correlação entre os resultados apresentados pelos índices de conforto térmico e a real sensação dos indivíduos, esta técnica apresenta-se de forma eficiente como meio de atuar no controle e monitoramento de ambientes (SILVA;

MORAIS; GUILHERMINO, 2007). Assim como os fatores externos e únicos de cada ser humano possuem grande influência e devem ser levados em conta nos trabalhos e pesquisas de conforto térmico, nos animais essa variabilidade também deve ser observada. Deste modo, para que haja uma correlação exata entre os resultados quantitativos dos índices de conforto térmico e a sensação dos indivíduos, os índices necessitam ser modelados conforme essa variabilidade, o que resulta em métodos ou técnicas específicas para cada espécie de animal, havendo, muitas vezes, definições de zonas de conforto térmico distintas para um mesmo índice (SILVA; MORAIS; GUILHERMINO, 2007).

3.2.1. Índices de conforto térmico para animais

Houve, ao longo de trabalhos e pesquisas científicas voltadas à avaliação de condições térmicas de ambientes, o desenvolvimento de vários índices que, mediante variáveis meteorológicas – temperatura do ar, temperatura de globo negro, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa do ar e velocidade do vento –, são capazes de determinar a condição térmica aproximada de um indivíduo num dado ambiente. Esses índices, ajustados de acordo com cada tipo de indivíduo, foram sendo utilizados como uma técnica universal e confiável para determinação das condições de conforto e estresse térmico. Dentre os índices de conforto aplicados em avaliações térmicas de ambientes agrícolas, o mais aplicado é o Índice de Temperatura e Umidade – ITU (BUFFINGTON, COLLIER e CANTON, 1983), desenvolvido previamente para avaliações de conforto térmico de humanos, por Thom (1959). Com base nas medidas de temperatura e umidade relativa do ar, e temperatura de ponto de orvalho, o ITU é um índice aplicado em análises de bovinos e aves, que no decorrer de pesquisas obteve alterações em sua equação (BIANCA, 1962; NRC, 1971; YOUSET, 1985; DIKMEN e HANSEN, 2009). Embora o ITU seja largamente usado nas avaliações de conforto térmico, Buffington (1981) propôs outro índice chamado de Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade – ITGU. Esta nova equação, criada para análises de bovinos, além das variáveis climatológicas de temperatura e umidade relativa do ar, e temperatura de ponto de orvalho – consideradas no cálculo do ITU –, também faz uso de uma medida chamada de temperatura de globo negro. A temperatura de globo negro possibilitou uma estimativa das condições de conforto térmico mais próximas às sentidas pelos animais. Coletada por meio de um globo negro oco de cobre (diâmetro: 150mm), esta medida possui alta correlação à temperatura

corporal, pois reúne em um único valor as medidas de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento (BUFFINGTON, 1981). No fim da década de 80, Baeta et. al. (1987) desenvolveram um segundo índice de conforto para bovinos, o Índice de Temperatura Equivalente – ITEq. Como mostra Silva, Morais e Guilhermino (2007), este índice demonstra maior correlação com a temperatura retal dos animais, se comparado com o ITU e o ITGU.

Muitos trabalhos são desenvolvidos atualmente a fim de analisar a relação entre ambiente, bem-estar e produtividade por meio dos índices de conforto térmico e das medidas meteorológicas. Em ambientes de produção de aves, por exemplo, diversos trabalhos procuram avaliar a correlação entre modelos físicos e diferentes tipos de materiais empregados nas coberturas dos galpões e suas influências no conforto térmico dos ambientes (SANTOS et al., 2005; LIMA et al., 2009; FIORELLI et al., 2010; JÁCOME et al., 2007; ALVES, SILVA e PIEDADE, 2007). Trabalhos como os de Menegali et al. (2010), Oliveira et al. (2006) e Medeiros et al. (2005), analisam as respostas fisiológicas e o desempenho zootécnico de aves sob variações de condições térmicas. Outros trabalhos avaliam e validam os índices de conforto térmico perante modelos de predição e as possíveis influências ambientais na produção e nos próprios índices de conforto térmico (FURTADO et al., 2006; GOMES et al., 2011; DAMASCENO et al., 2010; CARVALHO et al., 2014). Da mesma forma, pesquisas com suínos buscam avaliar os perfis bioclimáticos de instalações e a influência de diferentes tipos de ambientes no conforto térmico, além da relação entre os sistemas de alojamento e os parâmetros e comportamentos fisiológicos e índices zootécnicos (SARUBBI et al., 2012; CORDEIRO et al., 2007; SAMPAIO et al., 2004; SILVA, PANDORFI e PIEDADE, 2008; FERNANDES et al., 2011; PANDORFI, SILVA e PIEDADE, 2008). Como mostra Kiefer (2012) e Hannas (2000), as condições de conforto ou estresse térmico também são avaliadas como fatores determinantes à alimentação e digestibilidade dos suínos. Trabalhos de avaliações dos efeitos da temperatura ambiente e dos sistemas de aquecimento sobre o desempenho e aspectos comportamentais, também são realizados em suínos (SANCHES et al., 2010; MANNO et al., 2005; KIEFER et al., 2009; SILVA, PANDORFI e PIEDADE, 2005).

Análises dos impactos das condições térmicas nos aspectos produtivos e de reprodução, são igualmente realizadas em bovinos (BOHLOULI et al., 2013; ALMEIDA et al., 2010; SILVA et al., 2010; NAVARIN et al., 2009; SCHÜLLER, BURFEIND e HEUWIESER, 2014; BRÜGEMANN et al., 2013; MELLADO et al., 2010).

Os efeitos dos tipos de ambientes e condições de estresse térmico sobre respostas fisiológicas, também são avaliados (HIGASHIYAMA et al., 2013; PASSINI et al., 2009; FERREIRA, et al., 2006; KAWABATA, CASTRO e SAVASTANO JÚNIOR, 2005). Índices de conforto térmico passam a ser empregados como parâmetros de planejamento de ambientes adequados à produção e reprodução de bovinos (FARI et al., 2008). Em outras espécies de animais os índices de conforto térmico também são aplicados a fim de avaliar a influência das condições térmicas nas atividades dos animais, e os efeitos que as variações climáticas e os diferentes tipos de materiais aplicados na construção de instalações causam nos índices de conforto térmico e, conseqüentemente, nos desempenhos zootécnicos e respostas fisiológicas (MALAMA et al., 2013; HERMUCHE et al., 2013; LIN et al., 2012; PANAGAKIS, 2011; CEZAR et al., 2004; SANTOS et al., 2005; SILVA et al., 2006; FIORELLI et al., 2009).

3.2.2. Índices de conforto térmico para humanos

Para avaliações de conforto térmico em ambientes específicos de atividades de pessoas, o Ministério do Trabalho e Emprego (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 2014), por meio de norma regulamentadora – NR 15: Atividades e operações insalubres –, estabelece duas equações para avaliação de conforto térmico a fim de determinar a relação entre horas de trabalho e descanso que devem ser cumpridas pelos trabalhadores durante seu regime de trabalho em um dado ambiente. As equações integram o chamado Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo – IBUTG, que leva em consideração se o ambiente de trabalho é interno ou externo e, para os ambientes externos, se há a presença de radiação solar ou não. O IBUTG faz uso das medidas climatológicas de temperatura de bulbo úmido natural, temperatura de globo negro e temperatura de bulbo seco (ou temperatura do ar). Mediante os valores obtidos pelo índice IBUTG, um determinado volume de horas de trabalho e de descanso é estabelecido baseado especificamente no tipo de atividade do trabalhador (podendo ser leve, moderada ou pesada) e no tipo de ambiente de trabalho (ambiente interno, ou sem carga solar, e ambiente externo, ou com carga solar), conforme limites de tolerância de exposição ao calor (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 2014).

O Índice de Desconforto – ID (THOM, 1959), base do desenvolvimento do ITU, de Buffington, Collier e Canton (1983), é aplicado em análises

de conforto térmico humano (KAWAMURA, 1965; ONO e KAWAMURA, 1991). Este índice ao longo de pesquisas adaptou-se às avaliações de confortabilidade térmica de animais. Ajustado conforme os limites correspondentes ao comportamento humano em condições de conforto e estresse térmico, o ID baseia-se nas medidas de temperatura do ar e temperatura de ponto de orvalho (em função da temperatura e umidade relativa do ar). Considera-se o ID como mais uma técnica não invasiva destinada à avaliação de conforto térmico de pessoas.

Além dos índices especificados, considerando-os como os mais utilizados atualmente em avaliações de conforto térmico, há outros índices com diferentes parâmetros de medição que também podem ser aplicados em avaliações de conforto térmico, como por exemplo, o Índice de Temperatura Efetiva – ITE (FROTA e SCHIFFER, 2006), Índice de Conforto Equatorial – ICE (FROTA e SCHIFFER, 2006) e Índice de Carga Térmica – ICT (GAUGHAN et al., 2007).

3.3. Computação móvel

Percebe-se ao longo da evolução computacional uma mudança dos aspectos físicos dos meios de gerenciamento, transmissão, armazenamento e visualização dos dados. Os dispositivos obtiveram não apenas uma evolução tecnológica no que diz respeito ao processamento e à inteligência computacional, mas também uma reengenharia no *design* dos produtos. Pode-se, inclusive, considerar que os sistemas computacionais dos últimos anos se encontram numa fase de evolução para um contexto chamado de computação ubíqua – dispositivos adaptados ao cotidiano dos indivíduos. Segundo Weiser (1991), considerado o pai da computação ubíqua, este conceito propõe um ambiente desprendido à percepção dos usuários quanto à interação com as máquinas, ou seja, a computação ubíqua busca criar ambientes que tornam a computação invisível, proporcionando aos indivíduos uma interação de maneira natural. Estes tipos de ambientes são possíveis numa abordagem em que os computadores estão embutidos em objetos físicos pertencentes ao cotidiano das pessoas, como por exemplo, nos eletrodomésticos. Nos dias atuais, grande parte da sociedade interage com programas e serviços computacionais por meio de diferentes interfaces de *software*, tornando-se comum o uso de aplicativos para dispositivos móveis (*smartphones* e *tablets*) na realização de atividades diárias de diferentes categorias, como por exemplo, negócios, administração financeira,

alimentação, entretenimento, jogos, saúde, redes sociais, viagens, notícias etc. Essa forte interação da sociedade com os dispositivos móveis e seus aplicativos, tem criado costumes e práticas que remetem ao conceito de computação invisível, ou dos dispositivos estarem adaptados ao cotidiano dos indivíduos. Desta forma, a computação ubíqua, em determinados contextos, está muito relacionada com a computação móvel, que por definição resume-se em fornecer ao usuário uma ferramenta quando e onde for necessário (FERNANDO, LOKE e RAHAYU, 2013). Assim, a evolução dos dispositivos móveis tende a conceber produtos capazes de gerenciar e compartilhar dados de forma dinâmica, com amplo uso das aplicações com recursos de comunicação em tempo real e de serviços que utilizam os sensores comumente presentes nos *smartphones* e *tablets*, tal como o sistema de posicionamento global – GPS, acelerômetro, termômetro, giroscópio e barômetro. Todos estes recursos exigem um grande e intensivo uso de recursos computacionais, o que vem a ser alvo de pesquisas e trabalhos sobre uma arquitetura computacional que minimiza o processamento por parte dos dispositivos móveis, a computação em nuvem.

Pode-se definir computação em nuvem – *cloud computing* – como uma arquitetura que considera a computação como um utilitário e os *softwares* como serviços (FERNANDO, LOKE e RAHAYU, 2013). Neste tipo de arquitetura os serviços, ou *softwares*, são fornecidos por meio da internet e os *hardwares* e toda a estrutura de sistemas de *software* para o gerenciamento e armazenamento de dados em *data centers* (ARMBRUST et al., 2009). Este conceito computacional é de extrema importância na computação móvel atualmente, no qual várias pesquisas vêm sendo realizadas (ARMBRUST et al., 2009; BUYYA et al., 2009; CAROLAN, 2009; ZHANG, CHEN e BOUTABA, 2010; WANG et al., 2015; JONES, 2015). Considerada como uma das tendências da tecnologia da informação, a computação em nuvem tornou-se um recurso essencial à computação móvel, diversos aplicativos fazem uso dessa arquitetura para otimizar seus recursos de processamento e fornecer resultados rápidos e de qualidade.

Conforme levantamentos estatísticos, observa-se uma mudança nos hábitos das pessoas que envolve os serviços computacionais, principalmente os associados aos dispositivos móveis (*smartphones* e *tablets*) e à comunicação e compartilhamento de informações na rede mundial de computadores. A ascensão do uso de dispositivos móveis em diversas atividades cotidianas, não apenas mudou hábitos de entretenimento e da forma com que as pessoas se interagem, mas também aspectos relacionados à maneira de

pesquisar, avaliar, opinar e adquirir produtos. Segundo estudos da International Telecoms Union (2015), baseados na população mundial, o percentual das famílias com acesso à internet aumentou de 18% em 2005 para 46% em 2015, a cobertura por rede móvel 2G, presente em 58% da população em 2001, hoje está presente em 95%. A cobertura de banda larga móvel 3G se estendeu rapidamente para as zonas rurais, hoje 29% da população rural tem acesso a esse tipo de comunicação. Da população mundial atual (7,4 bilhões), 69% tem acesso à cobertura 3G, sendo a população urbana detentora de 89% (INTERNATIONAL TELECOMS UNION, 2015). De acordo com uma pesquisa realizada em 2014 e 2015, pela Analysys Mason (2015), divulgada pelo *Consumer Barometer with Google* em Google Mobile Planet (2015), 71% da população mundial utiliza um *smartphone* e 51% um *tablet*. Os brasileiros – 78%, segundo a pesquisa, acessam a internet diariamente. Ainda segundo os dados sobre a mobilidade no Brasil, houve um aumento de aproximadamente 85% no percentual de pessoas que utilizam um *smartphone*, sendo em 2014 representado por 29% e em 2015 por 53% da população (GOOGLE MOBILE PLANET, 2013).

Estes dados demonstram claramente essa mudança no comportamento das pessoas em suas atividades cotidianas, tanto nas zonas urbanas, onde há uma intensificação das mudanças de hábitos e do uso das tecnologias mais avançadas em diversos contextos, quanto nas zonas rurais. Evidentemente que nas zonas rurais, por padrões da própria sociedade rural e do desprendimento do uso de meios de comunicação e interação que faz uso das tecnologias mais avançadas, neste meio os recursos de computação móvel são menos requisitados. Porém, conforme apresentado nos estudos da International Telecoms Union (2015), há uma movimentação nas zonas rurais à aderência das ferramentas de comunicação com maior potencial tecnológico em suas atividades diárias e, principalmente, a aplicação desses recursos em diversas operações de trabalho no campo voltadas à agricultura e suas especificidades.

A computação móvel pode ser compreendida como uma tecnologia que possibilita o acesso e a interação com serviços computacionais quando e onde for necessário (FERNANDO, LOKE e RAHAYU, 2013).

3.4. Sistema operacional Android

Android é um sistema operacional livre e de código aberto (*open source*), criado e mantido pela Google, destinado a dispositivos móveis (GOOGLE ANDROID, 2016). Atualmente, o sistema operacional é passível de instalação em cinco tipos de dispositivos: *smartphones*, *tablets*, relógios (*Google Wear*), televisão (*Google TV*) e automóveis (*Google Auto*). O sistema operacional Android tem por característica a instalação e execução de aplicativos, termo equivalente aos programas de computadores, ou *softwares* (GOOGLE DEVELOP, 2016). Os aplicativos para Android (*Android Apps*) são escritos na linguagem de programação orientada a objetos Java e compilados pelo Android SDK (*Software Development Kit*) (GOOGLE DEVELOP, 2016). Esses aplicativos provêm de um arquivo de extensão “.apk” (*Android Package*) que possui todo o conteúdo do aplicativo, e que é utilizado no processo de instalação pelos dispositivos móveis.

O funcionamento do sistema operacional Android baseia-se em uma arquitetura constituída por cinco camadas: *Application Framework*, *Binder IPC Proxies*, *Android System Services*, *HAL* e *Linux Kernel* (Figura 2).

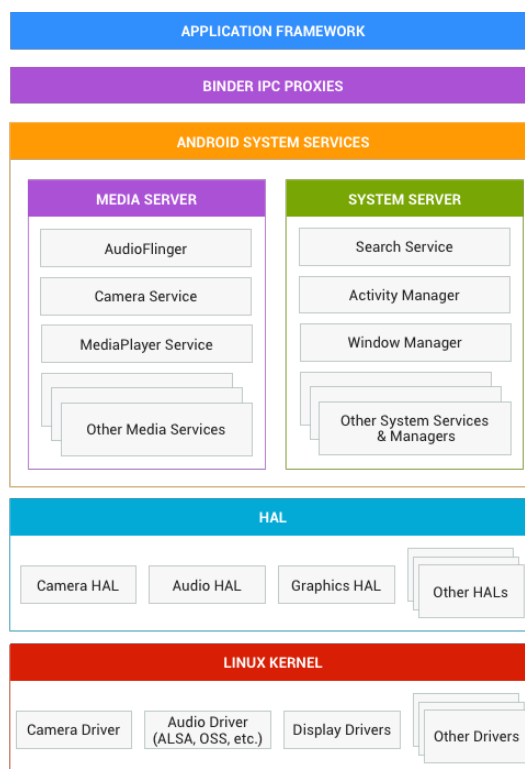


Figura 2: Arquitetura do sistema operacional Android (GOOGLE ANDROID, 2010)

Segundo Google Android (2016), os elementos da arquitetura em alto nível são definidos como: 1. *Application Framework*: utilizado frequentemente por desenvolvedores; 2. *Binder IPC Proxies*: permite que a *Application Framework* chame os códigos do *Android System Services*; 3. *Android System Services*: divide em dois grupos funcionalidades como o de serviços de mídia e serviço de câmera (*Media Server*) e serviço de busca e de gerenciamento de *Activities* (*System Server*); 4. *HAL*: define uma interface padrão para fornecedores de *hardware* e permite implementar funcionalidades em *hardware* sem afetar níveis superiores do sistema; 5. *Linux Kernel*: o Android faz uso de uma versão modificada do *kernel* do Linux para os drivers dos dispositivos, nessa camada os drivers dos seus dispositivos, como câmera e áudio, devem ser desenvolvidos baseados na versão do Android *kernel*.

3.5. Microcontrolador

Entende-se por microcontrolador um circuito integrado programável, constituído por uma unidade central de processamento – CPU (*Central Processing Unit*), ou processador, uma memória para armazenamento de programas e de trabalho, portas de entrada e saída para comunicação com outros dispositivos, conversores analógicos e digitais e outros componentes (RENATO, 2006). Os microcontroladores têm todos os componentes de um computador, assim, baseado em rotinas de procedimentos – ou programas computacionais –, podem controlar diversos dispositivos. De acordo com Renato (2006), um microcontrolador tem capacidade de atuar ou de estar incluso em unidades de controle para máquinas pneumáticas e hidráulicas comandadas, máquinas dispensadoras de produtos, motores e temporizadores, sistemas autônomos de controle, incêndio, umidade e temperatura, e automóveis. Os microcontroladores também são responsáveis pelo processamento e automação de muitos outros sistemas utilizados na saúde, ensino, pesquisas biológicas, simulações e lógicas matemáticas, monitoramento climático (estações meteorológicas), desenvolvimento computacional, e de controle e monitoramento de precisão de máquinas e implementos agrícolas (FATEHNIA et al., 2016; LI, WANG e XIE, 2015; WYRWOŁ e HRYNKIEWICZ, 2015; DOMINGOS et al., 2015; PANDIARAJ et al., 2014; DEVARAJU et al., 2015; TEWARI et al., 2014).

3.5.1. Arduino

Arduino é uma plataforma de prototipagem de código aberto. *Arduino Board*, como é chamado o componente físico no qual há um microcontrolador integrado, é capaz de receber/ ler entradas, como o pressionar de um botão, a luz de um LED ou uma mensagem a partir de um serviço específico da internet, e em seguida, realizar algumas tarefas a partir dessas entradas, como mover um motor, ligar/ desligar um LED ou publicar algo na internet (ARDUINO, 2016).

As instruções implementadas em um microcontrolador Arduino são feitas por meio da linguagem de programação Arduino, baseada em *Wiring* (WIRING, 2016). A linguagem de programação Arduino é o meio pelo qual os desenvolvedores implementam as ações de recebimento e saída no microcontrolador (ARDUINO, 2016). O processo de codificação das instruções é feito pelo Arduino Software (IDE), baseado em *Processing* (PROCESSING, 2016). Desta forma, para se desenvolver uma solução utilizando Arduino, é necessário conhecer os parâmetros da linguagem de programação Arduino (tipos de dados, estrutura condicional e de repetição, variáveis, funções e palavras reservadas) e o Arduino Software (IDE), que é o ambiente de desenvolvimento da plataforma.

A Figura 3 ilustra microcontrolador Arduino (*Arduino Board*), chamado de *Genuino 101*.

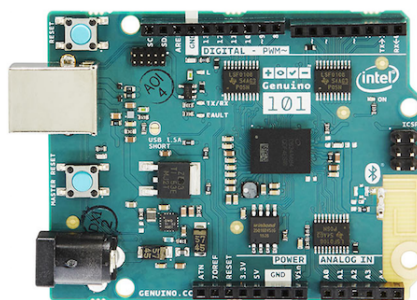


Figura 3: Microcontrolador *Genuino 101* (ARDUINO & GENUINO PRODUCTS, 2015)

O microcontrolador *Genuino 101* opera em uma tensão de 3,3V, com 14 portas digitais e 4 analógicas, e uma memória *flash* de 196KB (ARDUINO & GENUINO PRODUCTS, 2015).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Delimitação dos campos de pesquisa

A aplicação do dispositivo móvel para análise de condições térmicas e validação do sistema computacional, foi realizada nas instalações da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA, UNESP, Botucatu-SP (22°53'07,9" S; 48°26'26,1" W).

4.2. Variáveis meteorológicas

Os dados meteorológicos necessários para resolução dos índices de conforto térmico compreenderam-se em:

1. Temperatura de bulbo seco ou Temperatura do ar (°C);
2. Temperatura de bulbo úmido (°C);
3. Temperatura de globo negro (°C);
4. Temperatura de ponto de orvalho (°C);
5. Umidade relativa do ar (%);
6. Velocidade do vento ($m \cdot s^{-1}$).

A temperatura de ponto de orvalho foi obtida por meio da Equação (1), em função da temperatura e umidade relativa do ar (LAWRENCE, 2005; ALDUCHOV e ESKRIDGE, 1996).

$$T_{po} = \frac{B_1 \left[\ln \left(\frac{U_r}{100} \right) + \frac{A_1 \times T_a}{B_1 + T_a} \right]}{A_1 - \ln \left(\frac{U_r}{100} \right) - \frac{A_1 \times T_a}{B_1 + T_a}} \quad (1)$$

Sendo:

U_r : Umidade relativa do ar (%)

T_a : Temperatura do ar (°C)

A_1 : 17,625.

B_1 : 243,04.

4.3. Índices de conforto térmico para animais

Foram implementados um total de seis parâmetros (ou limites) de avaliação de conforto térmico para animais, sendo dois para aves, dois para bovinos, dois para suínos baseados em equações de conforto térmico.

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) foi utilizado como forma de avaliação do conforto térmico no interior de instalações de frangos de corte, bovinos de leite e instalações de suínos. Para isso o ITU foi calculado levando em consideração a individualidade de cada espécie animal, além do clima tropical.

Desta forma, nas equações 2 a 5 segue o cálculo do ITU para frango de corte (TAO e XIN, 2003), bovino de leite e corte (KELLY e BOW, 1971; VITALI et al., 2009), suínos (ROLLER e GOLDMAN, 1969; FEHER et al., 1983; GATES et al., 1991) e equação geral de ITU (BUFFINGTON, COLLIER e CANTON, 1983) respectivamente.

$$ITU_{Frango\ de\ corte} = 0,85T_{db} + 0.15T_{wb} \quad (2)$$

Em que:

T_{db} : Temperatura de bulbo seco (°C)

T_{wb} : Temperatura de bulbo úmido (°C)

$$ITU_{Bovinos\ de\ leite} = (1,8. AT + 32) - (0,55 - 0,55. RH). [(1,8. AT + 32) - 58] \quad (3)$$

Em que:

AT : Temperatura ambiente (°C)

RH : Umidade relativa (%)

Fórmula adaptada com conversão de Fahrenheit (°F) para Celsius (°C).

$$ITU_{Suíno} = 0,63tw + 1,17td = 32 \quad (4)$$

Em que:

tw : Temperatura de bulbo úmido (°C)

td : Temperatura de bulbo seco (°C)

$$ITU = 0,8T_a + \frac{UR(T_a - 14,3)}{100} + 46,3 \quad (5)$$

Em que:

UR : Umidade relativa do ar (%)

T_a : Temperatura do ar (°C)

Para as avaliações de conforto térmico de aves, bovinos de leite e de corte, e suínos, o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade – ITGU (BUFFINGTON et al., 1981) também foi implementado, conforme Equação 6.

$$ITGU = T_g + 0,36T_{po} + 41,5 \quad (6)$$

Em que:

T_g : Temperatura de globo negro (°C)

T_{po} : Temperatura de ponto de orvalho (°C)

4.3.1. Aves

Para as avaliações de conforto térmico de galpões de aves, foram utilizados os índices ITU (BUFFINGTON, COLLIER e CANTON, 1983) e ITGU (BUFFINGTON et al., 1981).

4.3.1.1. Índice de temperatura e umidade – ITU

Por meio das variáveis de entrada de temperatura e umidade relativa do ar, implementou-se os limites para galpões de aves com base na Equação 5. Os limites de conforto térmico, segundo Thom (1959), foram definidos conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Limites de conforto térmico para aves (ITU)

Condição	Limites (ITU)
Conforto térmico	< 74,0
Situação de alerta	74,0 ≥ ITU > 79,0
Situação de perigo	79,0 ≥ ITU > 84
Situação de emergência	> 84,0

4.3.1.2. Índice de temperatura de globo negro e umidade – ITGU

Implementou-se, por meio da Equação 6, o índice de temperatura de globo negro e umidade – ITGU. As delimitações das faixas de conforto térmico para aves, de acordo com Oliveira et al. (2006) e Santos et al. (2002), são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Limites de conforto térmico para aves (ITGU)

Condição	Semana(s) de vida	Limites (ITGU)
Conforto térmico	1	81,3 ± 0,31
	2	77,0 ± 0,00
	3	74,9 ± 1,65
	> 15 dias	> 76,0
Estresse térmico por frio	1	< 78,6
	2	< 67,4
	> 15 dias	< 65,0

As condições de conforto de 1 a 3 semanas e acima de 15 dias de vida, são definidas por Oliveira et al. (2006). As faixas de estresse por frio, de 1 a 2 semanas e acima de 15 dias de vida, são definidas por Santos et al. (2002).

4.3.2. Bovinos

Nas avaliações de conforto térmico de ambientes de bovinos (de leite e de corte), também foram utilizados os índices ITU e ITGU.

4.3.2.1. Índice de temperatura e umidade – ITU

Os limites de ITU aplicado para análise de conforto térmico de bovinos, baseou-se na Equação 5. Segundo Hahn e Yousef (1994), os limites de conforto térmico são definidos conforme ilustra a Tabela 3.

Tabela 3: Limites de conforto térmico para bovinos de leite (ITU)

Condição	Limites (ITU)
Conforto térmico	≤ 70
Situação de alerta	$71 \geq \text{ITU} \geq 78$
Situação de perigo	$78 > \text{ITU} \geq 83$
Situação de emergência	> 83

4.3.2.2. Índice de temperatura de globo negro e umidade – ITGU

Por meio do ITGU (Equação 6), as delimitações de conforto térmico foram implementadas de acordo com os limites definidos por Baêta e Souza (1997), citado por Souza et al. (2004), e de Baêta (1985). A Tabela 4 ilustra as condições e limites para bovinos, segundo o ITGU.

Tabela 4: Limites de conforto térmico para bovinos (ITGU)

Condição	Limites (ITGU)
Conforto térmico	< 74
Estresse térmico (leve)	$74 \geq \text{ITGU} > 79$
Estresse térmico (situação de perigo)	$79 \geq \text{ITGU} > 84$

4.3.3. Suínos

Para avaliações de conforto térmico de suínos, implementou-se também os índices ITU e ITGU.

4.3.3.1. Índice de temperatura e umidade – ITU

Os limites de conforto térmico para o ITU (Equação 4), foram definidos de acordo com Lima et al. (2007). A Tabela 5 ilustra as condições e limites de conforto térmico para suínos.

Tabela 5: Limites de conforto térmico para suínos (ITU)

Condição	Limites (ITU)
Conforto térmico	≤ 74
Alerta	$75 \geq \text{ITU} > 79$
Perigo	$79 \geq \text{ITU} > 84$
Emergência	≥ 84

4.3.3.2. Índice de temperatura de globo negro e umidade – ITGU

O ITGU implementado para as avaliações de conforto térmico de suínos baseou-se também na Equação 6. Os limites de conforto térmico (Tabela 6) foram aplicados de acordo com Sampaio et al. (2004) e Kiefer et al. (2009), citados por Sousa (2014).

Tabela 6: Limites de conforto térmico para suínos (ITGU)

Condição	Limites (ITGU)
Conforto térmico	< 72
Desconforto térmico	$72 \geq \text{ITGU} > 81,10$
Alto estresse térmico por calor	$\geq 81,10$

4.4. Índices de conforto térmico para humanos

Três índices de avaliação de conforto térmico para humanos foram implementados, sendo:

4.4.1. Índice de temperatura efetiva – ITE

Este índice baseia-se na correlação entre temperatura de bulbo seco e úmido, e velocidade do vento, em um nomograma – diagrama bidimensional (FROTA e SCHIFFER, 2006). O ITE foi utilizado como base para a evolução dos métodos de análise de conforto térmico em 1932, em que a medida de temperatura de globo negro passou a ser considerada importante neste tipo de análise. Conforme mostra a Figura 3 (A) de Frota e Schiffer (2006), esse é o nomograma utilizado para a aplicação do índice de temperatura efetiva que deve ser lido de acordo com a Figura 4 (B).

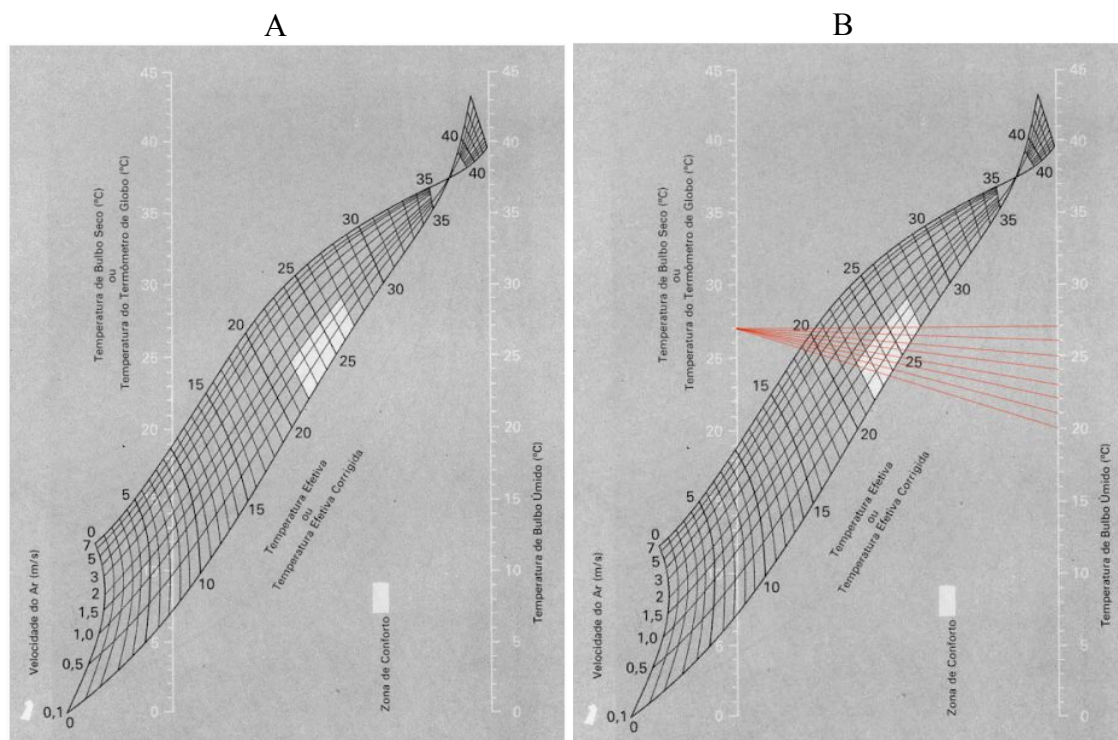


Figura 4 A e B: Nomograma de índice de temperatura efetiva (A) (FROTA e SCHIFFER, 2006); Forma de leitura/ correlação das variáveis climatológicas (B)

Tendo em vista o desenvolvimento de um algoritmo para tratamento das correlações das medidas climatológicas no nomograma, foram criadas cinco matrizes de ordem 16×16 . Cada matriz corresponde a uma medida de velocidade do vento entre $0,0$ e $2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (com intervalos de $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). As colunas foram definidas como as medidas de temperatura de bulbo seco, as linhas como as medidas de temperatura de bulbo úmido e a intersecção entre linhas e colunas como os valores de temperatura efetiva.

A definição das zonas de conforto e desconforto advém da comparação do valor de temperatura efetiva dentro de um limite estabelecido entre 22 e 27 (área em branco da Figura 4 A e B). Por meio das correlações das medidas de temperatura de bulbo seco e úmido, e da velocidade do vento, caso o valor de temperatura efetiva obtido seja maior ou igual a 22 e menor ou igual a 27, este ambiente está na zona de conforto. Valores inferiores a 22 ou superiores a 27 correspondem à zona de desconforto.

Baseado nas variações médias de temperatura em regiões de clima tropical, como o Brasil, adotou-se como limites de temperatura de bulbo seco e úmido uma mínima de 15°C e máxima de 30°C .

4.4.2. Índice de bulbo úmido termômetro de globo – IBUTG

É calculado por meio de duas equações, tendo como variáveis a temperatura de bulbo seco e úmido, e de globo negro – Equação 7 e 8 (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 2014).

Em ambientes internos ou externos sem carga solar:

$$IBUTG = 0,7T_{bn} + 0,3T_g \quad (7)$$

Em ambientes externos com carga solar:

$$IBUTG = 0,7T_{bn} + 0,1T_{bs} + 0,2T_g \quad (8)$$

Em que:

T_{bn} : Temperatura do bulbo úmido natural (°C).

T_g : Temperatura de globo negro (°C).

T_{bs} : Temperatura de bulbo seco (°C).

Na Tabela 7 são apresentados os limites de tolerância para exposição ao calor, de acordo com o índice de bulbo úmido termômetro de globo (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 2014).

Tabela 7. Limites de tolerância para exposição ao calor – NR15 (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 2014)

Regime de trabalho intermitente com descanso no próprio local de trabalho (por hora)	Leve	Moderada	Pesada
Trabalho contínuo	Até 30,0	Até 26,7	Até 25,0
45 minutos trabalho 15 minutos descanso	30,1 a 30,5	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos trabalho 30 minutos descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 minutos trabalho 45 minutos descanso	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitido o trabalho, sem a adoção de medidas adequadas de controle	Acima de 32,2	Acima de 31,1	Acima de 30,0

4.4.3. Índice de desconforto – ID

Tem como variáveis de entrada medidas de temperatura e umidade relativa do ar, conforme Equação 9 (THOM, 1959; KAWAMURA, 1965; ONO e KAWAMURA, 1991).

$$ID = 0,99T_a + 0,36T_{p_o} + 41,5 \quad (9)$$

Os limites das condições térmicas para o ID foram definidos conforme apresentado na Tabela 8 (ONO e KAWAMURA, 1991).

Tabela 8: Limites de conforto térmico para humanos – ID

Condição	Limites (ID)
Estresse devido ao calor	> 80
Desconforto devido ao calor	75 > ID > 80
Confortável	60 > ID > 75
Desconforto devido ao frio	55 > ID > 60
Estresse devido ao frio	< 55

4.5. Dispositivo portátil

O componente principal do dispositivo portátil, responsável por todo o processamento, armazenamento e transmissão dos dados, foi o microcontrolador Arduino Mega 2560, baseado no ATmega2560 (ARDUINO PRODUCTS, 2015), conforme Figura 5. Por meio do microcontrolador é possível implementar rotinas de leitura de sinais de portas digitais e analógicas, bem como algoritmos de tratamento dos dados medidos pelos sensores.

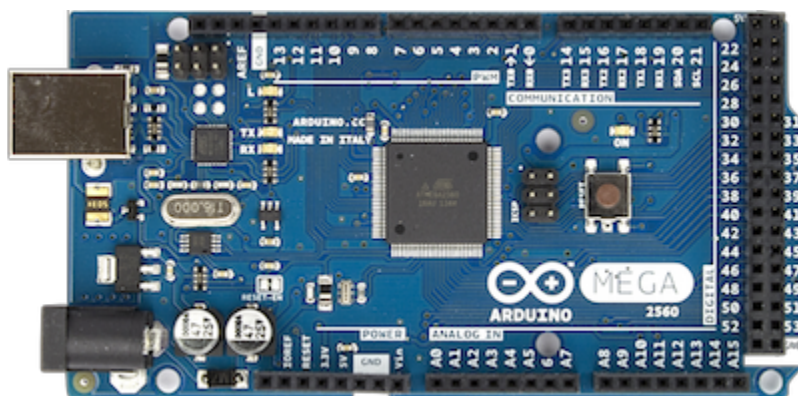


Figura 5: Microcontrolador Arduino Mega 2560 (ARDUINO PRODUCTS, 2015)

O microcontrolador Arduino Mega 2560 é uma plataforma eletrônica de código aberto, que possibilita a gravação de algoritmos utilizando um ambiente de desenvolvimento integrado específico (ARDUINO, 2014). O modelo Mega 2560 possui 54 portas digitais, 16 analógicas e memória *flash* de 256 KB. Como fonte de alimentação o dispositivo opera sob tensão DC de 5 volts. A Figura 6 especifica as dimensões do microcontrolador.

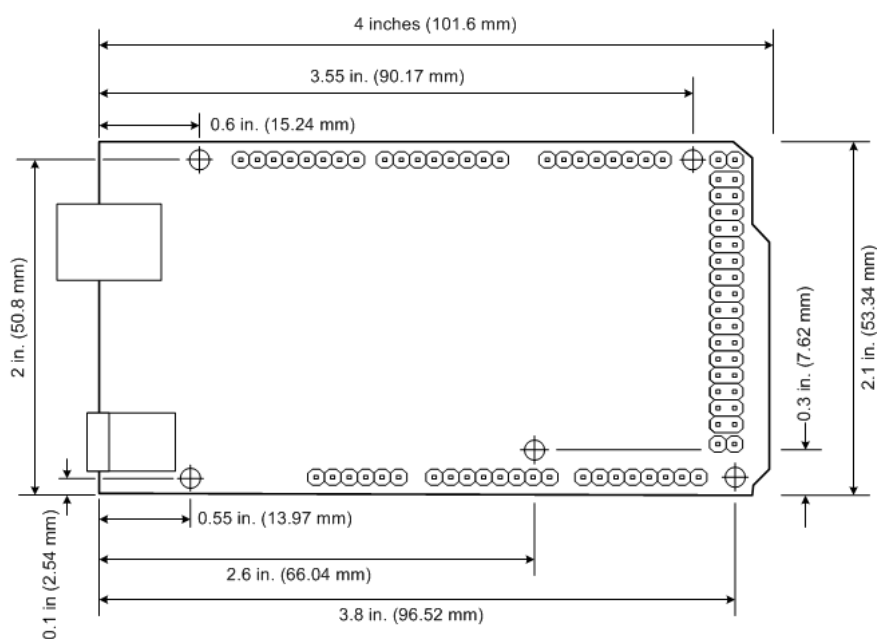


Figura 6: Dimensões Arduino Mega 2560 (SAFARI, 2016; HUGHES, 2016)

Para a coleta das medidas de temperatura do ar e de globo negro, e umidade relativa do ar, foi utilizado o sensor DHT22 também conhecido como AM2302 (Figura 7 A e B).

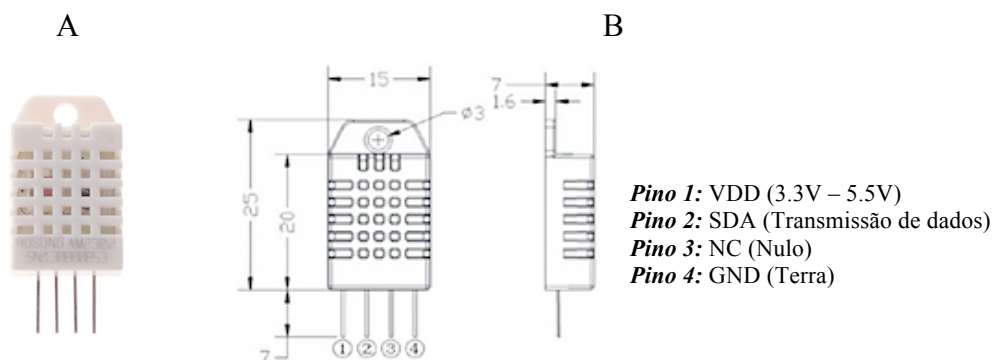


Figura 7 A e B: Sensor de temperatura e umidade relativa do ar DHT22 (A); Dimensões em milímetros (mm) do sensor DHT22 (B) (Fonte: AOSONG, 2015)

O sensor de temperatura e umidade relativa do ar DHT22 é composto de um termistor tipo NTC para as medições de temperatura do ar e um elemento capacitivo para as medições de umidade relativa do ar (AOSONG, 2015). Este sensor

possui uma resolução de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (máxima de $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$) para as medidas de temperatura do ar, com escala de operação entre -40°C e 80°C . Para as medidas de umidade relativa do ar sua resolução é de $\pm 2 - 5\%$, com escala de operação de 0% a 100%. O sensor DHT22 tem um alcance do sinal de transmissão via Pino 2 (SDA) de até vinte metros. Este sensor opera sob tensão DC de 3,3 – 5,5 volts (AOSONG, 2015).

Como dispositivo de transmissão de dados via tecnologia *Bluetooth*, utilizou-se o módulo *Bluetooth* BC 417 HC-06 (Figura 8). Este componente opera no modo de transmissão *slave*, capaz somente de receber conexões (ou pareamentos) de outros dispositivos.



Figura 8: Módulo *Bluetooth* BC 417 HC-06

O alcance de transmissão de dados do módulo *Bluetooth* BC 417 HC-06 é de até dez metros. Como fonte de alimentação o dispositivo opera sob tensão DC de 3,3 volts. Os dados medidos pelo sensor DHT22 são enviados pelo módulo BC 417 HC-06 por meio do padrão serial de comunicação para portas RX/ TX.

4.5.1. Estrutura do dispositivo portátil

O dispositivo portátil foi desenvolvido de acordo com os padrões de instalações elétricas em baixa tensão, definidos pela norma brasileira NBR 5410 (ABNT, 2004). Para melhor ilustração e dimensionamento da estrutura do dispositivo portátil, realizou-se o desenho esquemático do circuito elétrico por meio da ferramenta AutoCAD 2014 (AUTODESK, 2016).

A implementação das rotinas do dispositivo portátil baseou-se na linguagem de programação Arduino (baseada em *Wiring*), codificada no Arduino Software IDE versão 1.0.5 (ARDUINO, 2016).

4.6. Termômetro de globo negro

Para o desenvolvimento do termômetro de globo negro foi utilizado uma esfera de plástico oca do tipo cloreto de polivinila (PVC – *Polyvinyl Chloride*). Sendo seu diâmetro de 36mm e 0,5mm de espessura, conforme recomendado por SOUZA et al., 2002.

No interior da esfera o sensor de temperatura e umidade relativa do ar DHT22 foi inserido para realizar as medições de temperatura de globo negro, como apresentado na Figura 9.

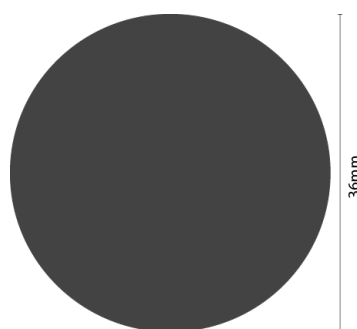


Figura 9: Globo negro de cloreto de polivinila – diâmetro: 36mm

O sensor elétrico de temperatura e umidade relativa do ar – DHT22 – foi utilizado para realizar a medição da temperatura do ar no interior do globo (temperatura de globo negro). As medidas foram processadas por meio do microcontrolador Arduino Mega 2560, e transmitidas pelo módulo *Bluetooth* BC 417 HC-06.

4.7. Medidas e processos de medição

As variáveis climatológicas de temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura de globo negro, utilizadas para validação do sistema computacional como um todo, foram medidas por meio do dispositivo portátil desenvolvido e de um *data logger* HOBO U12-012.

A fim de compor um único valor a ser enviado para o cálculo de um determinado índice, tendo como base um volume de dados procedente da medição realizada pelo dispositivo portátil em um período de tempo, o processo de média aritmética

simples foi aplicado nas listas de dados, realizado pelo aplicativo para dispositivos móveis. Assim, para as três medidas passíveis de medição pelo dispositivo portátil (temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura de globo negro), previamente à entrada das variáveis para um determinado índice, um valor médio é encontrado por meio do algoritmo implementado no aplicativo.

Todo o processo de transmissão dos dados climatológicos de temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura de globo negro foi realizado mediante a tecnologia *Bluetooth*, que permite enviar medidas coletadas em tempo real para o aplicativo instalado em um dispositivo móvel. O dispositivo portátil, responsável por todo o processamento, armazenamento e transmissão dos dados, foi configurado para realizar medições e transmissão de dados via *Bluetooth* em um intervalo de dois segundos (2s). Já o aplicativo para dispositivos móveis foi implementado para realizar leituras de pacotes de dados enviados por *Bluetooth* a cada seis segundos (6s). O intervalo de seis segundos definido como tempo de leitura no aplicativo foi estabelecido para garantir o recebimento dos pacotes de dados.

4.8. Desenvolvimento do aplicativo

Todo o desenvolvimento do aplicativo foi realizado no ambiente integrado de desenvolvimento Android Studio *AI-141.1989493* (ANDROID, 2015), por meio da linguagem de programação orientada a objetos Java (SIERRA e BATES, 2005; ORACLE, 2014; DEITEL e DEITEL, 2010). O aplicativo foi desenvolvido para operar no sistema operacional Android a partir da versão *KitKat 4.4 – API 19* (GOOGLE ANDROID, 2015).

Além das ferramentas CASE de desenvolvimento (programas específicos para desenvolvimento de *softwares*), também foram aplicadas boas práticas de modelagem visual de sistemas e de levantamento e especificação de requisitos de *software* (BOOCK, RUMBAUGH e JACOBSON, 2005; HIRAMA, 2011; TONSIG, 2008; PRESSMAN, 2011; SOMMERVILLE, 2011; CARVALHO e CHIOSSI, 2001). Tendo em vista a ilustração da estrutura de classes, seus relacionamentos e os principais métodos do aplicativo, de acordo com Boock, Rumbaugh e Jacobson (2005), foram desenvolvidos os diagramas de classe seguindo os padrões da UML 2.0, juntamente com a ferramenta de modelagem StarUML v2.5.1 (MKLAB, 2015). Como parte da gestão de configuração de

software, utilizou-se como repositório e como sistema de controle de versão a ferramenta GitHub (GITHUB, 2014).

4.9. Processos do aplicativo para dispositivos móveis

O aplicativo para dispositivos móveis tem como principais processos o estabelecimento de uma conexão via *Bluetooth* com o dispositivo portátil e o cálculo de índices de conforto térmico para diferentes tipos de indivíduos. O cálculo dos índices de conforto térmico pode ser realizado utilizando-se o dispositivo portátil ou manualmente por um dispositivo móvel.

4.10. Validação do sistema computacional e avaliação de ambiente

Como forma de validação do sistema computacional (dispositivo portátil e aplicativo para dispositivos móveis) realizou-se testes em campo onde foram coletados dados climatológicos reais em diferentes tipos de ambientes. As medidas obtidas pelo dispositivo portátil foram comparadas com os dados de um *data logger* HOBO U12-012 (HOBO, 2016). A comparação estatística das medidas foi realizada mediante verificação de normalidade das amostras pelo teste de Shapiro-Wilk, análise de variância pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney (VIEIRA, 2006) e Teste T. Utilizou-se para as análises os *softwares* Minitab v.16 (MINITAB, 2014) e Origin v.6.0 (ORIGIN LAB, 2016).

O dispositivo portátil foi inserido em dois tipos de ambientes, sendo: Escritório e Suinocultura, ambos localizados na Fazenda Lageado da Faculdade de Ciências Agrônomicas – FCA, UNESP, Botucatu/SP (22°53'07,9" S; 48°26'26,1" W). O sensor de temperatura de umidade relativa do ar DHT22, foi submetido a uma calibração prévia tendo como referência o sensor *Vaisala HMP45C* (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2016).

4.11. Análise dos resultados

4.11.1. Operação do sistema computacional

Por meio da aplicação do sistema computacional em ambientes reais, os resultados foram analisados de acordo com a performance do sistema no que diz

respeito à exatidão dos dados coletados. Considerou-se ainda como critério de avaliação da performance do sistema computacional, a correta exportação dos dados coletados durante os diferentes períodos de medição.

4.11.2. Indicadores quantitativos e qualitativos

Como indicador quantitativo foram contabilizados os custos totais dos equipamentos e recursos empregados na criação do sistema computacional (*hardware* e *software*), e realizado uma breve comparação entres os custos do sistema desenvolvido com as ferramentas utilizadas atualmente para análise de conforto térmico de ambientes.

Como parte dos indicadores qualitativos, delimitados pela performance do sistema computacional, avaliou-se a apresentação e organização dos dados exportados conforme padrão de análise de conforto térmico. Aspectos tecnológicos e de contribuição às áreas que farão uso da ferramenta também foram considerados, como o método de leitura e tratamento desses modelos de dados e sua aplicação frente às tecnologias de informação e técnicas utilizadas no mercado e nas áreas de pesquisa em que o dispositivo portátil e o aplicativo podem ser utilizados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Matrizes do índice de temperatura efetiva - ITE

A partir das correlações das variáveis climatológicas especificadas no nomograma do índice de temperatura efetiva (ITE), por meio das medidas de temperatura de bulbo seco e úmido, e a velocidade do vento, cinco matrizes foram criadas para as medidas de velocidade do vento entre $0,0$ e $2,0 m \cdot s^{-1}$. As matrizes foram desenvolvidas e implementadas no aplicativo, a fim de que os usuários forneçam as medidas necessárias para esse tipo de índice de conforto térmico e então a aplicação informe, por meio do valor de temperatura efetiva obtido da correlação, se esse valor está ou não na zona de conforto térmico. Nas Figuras 10, 11, 12, 13 e 14 são apresentadas as cinco matrizes para cada valor de velocidade do vento, identificados por M (0,0), M (0,5), M (1,0), M (1,5) e M (2,0). Conforme mostra as Figuras de 10 a 14, os valores nulos (\emptyset) estão relacionados à condição de que a temperatura de bulbo úmido não pode ser superior à temperatura de bulbo seco.

Os valores em realce representam a Zona de Conforto, segundo o ITE.

12	13	14	15	15	16	17	18	18	19	20	20	21	21	22	22
∅	13	14	15	16	16	17	18	19	19	20	20	21	21	22	22
∅	∅	14	15	16	17	17	18	19	20	20	21	21	22	22	23
∅	∅	∅	15	16	17	18	19	19	20	20	21	21	22	22	23
∅	∅	∅	∅	16	17	18	19	20	20	21	21	21	22	22	23
∅	∅	∅	∅	∅	18	18	19	20	20	21	21	22	22	23	24
∅	∅	∅	∅	∅	∅	19	20	20	21	21	21	22	23	23	24
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	20	21	21	21	22	23	23	24	25
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	21	22	22	23	23	24	24	25
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	22	23	23	24	24	25	25
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	23	24	24	25	25	26
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	24	25	25	26	26
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	25	26	26	27
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	26	27	27
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	27	28
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	28

M (1,0)

Figura 12: Matriz de índice de temperatura efetiva para velocidade do vento de $1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

10	11	12	13	14	15	16	17	18	18	19	20	20	21	21	22
∅	12	13	14	15	16	16	17	18	19	19	20	21	21	22	22
∅	∅	13	14	15	16	17	18	18	19	20	20	21	21	22	22
∅	∅	∅	14	15	16	17	18	18	19	20	21	21	22	22	23
∅	∅	∅	∅	15	16	17	18	19	20	20	21	21	22	23	23
∅	∅	∅	∅	∅	17	17	18	19	20	20	21	21	22	22	23
∅	∅	∅	∅	∅	∅	18	19	19	20	21	21	22	22	23	24
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	19	20	20	21	21	22	23	23	24
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	20	21	22	22	23	23	24	24
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	21	22	23	23	24	24	25
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	22	23	24	24	25	25
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	24	24	25	25	26
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	25	25	26	26
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	26	26	27
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	27	27
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	28

M (1,5)

Figura 13: Matriz de índice de temperatura efetiva para velocidade do vento de $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

9	10	12	13	14	15	16	16	17	18	19	19	20	20	21	22
∅	11	12	13	14	15	16	17	17	18	19	20	20	21	21	22
∅	∅	12	13	14	15	16	17	18	18	19	20	20	21	22	22
∅	∅	∅	13	14	15	16	17	18	19	19	20	21	21	22	22
∅	∅	∅	∅	14	16	16	17	18	19	20	20	21	22	22	23
∅	∅	∅	∅	∅	16	17	18	18	19	20	21	21	22	22	23
∅	∅	∅	∅	∅	∅	17	18	19	20	20	21	22	22	23	23
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	18	19	20	21	21	22	23	23	24
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	19	20	21	22	22	23	23	24
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	21	21	22	23	23	24	24
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	22	22	23	24	24	25
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	23	24	24	25	25
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	24	25	25	26
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	25	26	26
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	26	27
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	27

M (2,0)

Figura 14: Matriz de índice de temperatura efetiva para velocidade do vento de $2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

5.2. Diagramas de classes

Os diagramas de classes (técnica para modelagem visual de *softwares*) servem para auxiliar o entendimento da aplicação, as interações entre os algoritmos e seus relacionamentos. A relação entre as classes, num contexto geral da aplicação, pode ser observada na Figura 15.

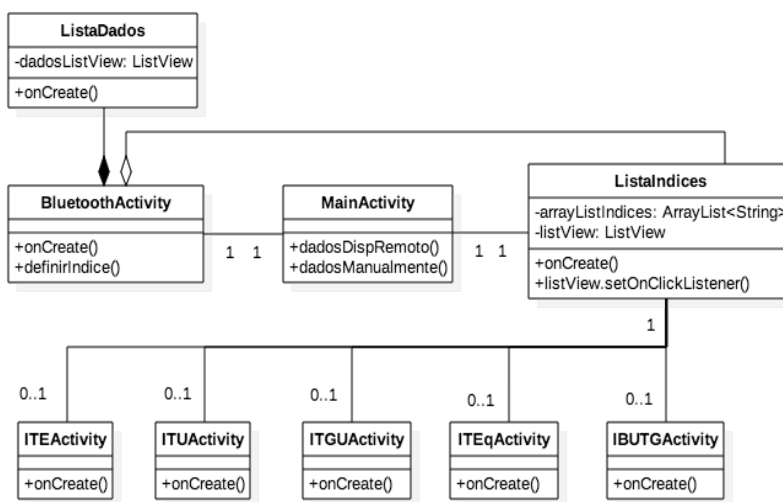


Figura 15: Diagrama de classes principal do aplicativo

Pode-se observar na Figura 15 que o aplicativo foi desenvolvido baseado em dois modos principais de entrada de dados. No primeiro, definido pelo método *dadosDispRemoto()*, os dados são coletados por meio do dispositivo portátil, responsável pelas medições das variáveis climatológicas de temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura de globo negro. Após a medição, esses dados são armazenados em listas e sua média fornecida para um determinado índice. No segundo modo, definido pelo método *dadosManualmente()*, o usuário deve selecionar, dentre os índices apresentados, qual deseja aplicar na análise de conforto térmico, e então inserir os dados manualmente, coletados por meio de instrumentos específicos de medição.

A classe *BluetoothActivity* (Figura 16), é responsável pelo gerenciamento das rotinas de aquisição de dados entre o dispositivo portátil e o dispositivo remoto. Em *BluetoothActivity* ocorre a instanciação de classes essenciais para o processo de recebimento dos dados climatológicas por meio do dispositivo portátil, sendo elas o *BluetoothAdapter*, *Connection*, *BluetoothDevice*, *BluetoothSocket*, *DataArrayLists* e *DataReceivement*.

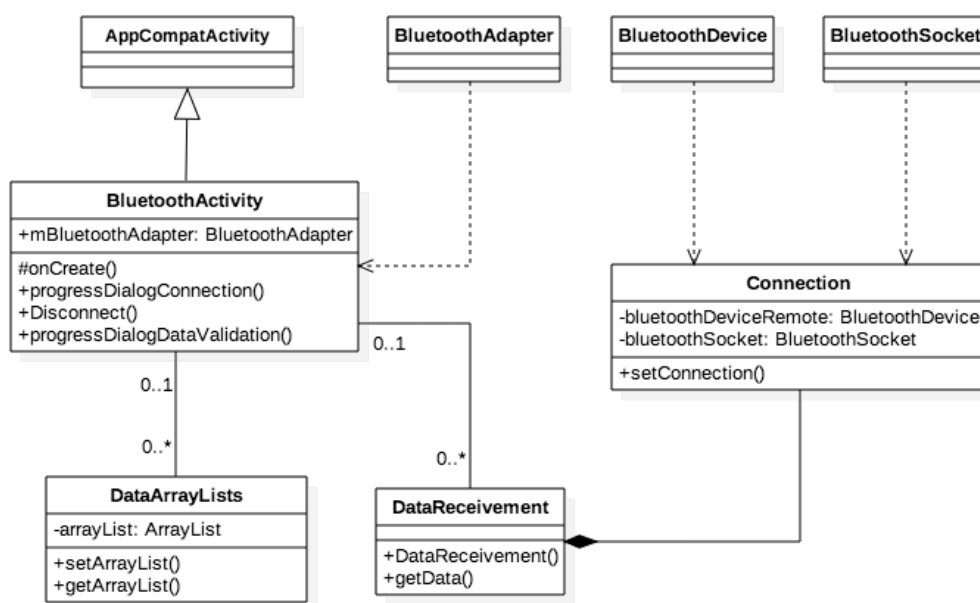


Figura 16: Diagrama de classes do algoritmo de aquisição de dados via *Bluetooth*

A classe principal do algoritmo de obtenção dos dados climatológicos via conexão *Bluetooth* (*BluetoothActivity*), baseia-se no processo de

recebimento desses dados através de uma conexão estabelecida entre o padrão de comunicação *Bluetooth* de um *smartphone* ou *tablet* e o módulo *Bluetooth* do dispositivo portátil (BC 417 HC-06).

A técnica de transmissão de dados implementada no aplicativo baseou-se nos princípios de entrada e saída de dados da linguagem Java (pacote *Java IO* – *Input and Output (java.io)*). Como parte do pacote *Java IO*, um objeto de *InputStream* foi implementado como meio de recebimento dos dados, que são posteriormente armazenados em listas dinâmicas. O envio dos dados pelo dispositivo portátil é feito via portal serial.

Na Figura 17 é ilustrado o esquema simplificado do processo de transmissão de dados entre o dispositivo portátil e o aplicativo para dispositivos móveis, mediante um objeto de *InputStream*.

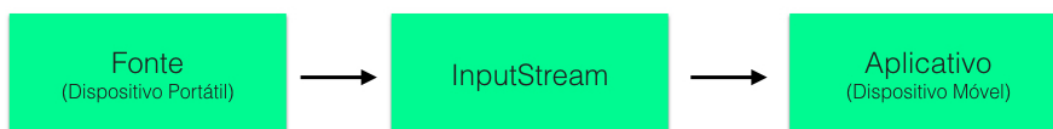


Figura 17: Fluxo de transmissão de dados entre dispositivo portátil e aplicativo para dispositivos móveis

5.3. Aplicativo para *smartphones* e *tablets*

O aplicativo para dispositivos móveis possui uma tela de abertura (*splash screen*) com uma breve apresentação da identidade visual do aplicativo (Figura 18 – A). O aplicativo foi desenvolvido com base em dois modos de inserção de dados, conforme descrito em 5.2 Diagramas de classe (Figuras 15 e 16). O usuário possui duas opções de entrada de dados: 1. Pelo dispositivo portátil ou 2. Manualmente (Figura 18 – B).

A Figura 18 A e B apresenta a tela de abertura e tela principal da aplicação.



Figura 18 A e B: Tela de abertura do aplicativo– splash screen (A) e tela principal (B)

5.3.1. Entrada de dados por dispositivo portátil

Para a entrada de dados por meio do dispositivo portátil o usuário deve posicionar o dispositivo dentro de um raio de aproximadamente 10 metros em relação ao *smartphone* ou *tablet*, sendo esta a distância limite adotada para o funcionamento correto da transmissão de dados via tecnologia *Bluetooth*.

Ao selecionar a opção de entrada de dados por dispositivo portátil o usuário é direcionado para a tela de ativação do *Bluetooth* do *smartphone* ou *tablet* (Figura 19 – A). Com o módulo *Bluetooth* e o dispositivo portátil ligados corretamente, deve-se estabelecer uma conexão entre os dispositivos por meio da opção “conectar” (primeiro botão) presente na tela principal de conexão e recebimento de dados por dispositivo portátil (Figura 19 – B).

Na Figura 19 A e B é ilustrada a tela de requisição de ativação do *Bluetooth* e a tela principal de conexão e recebimento de dados via dispositivo portátil.

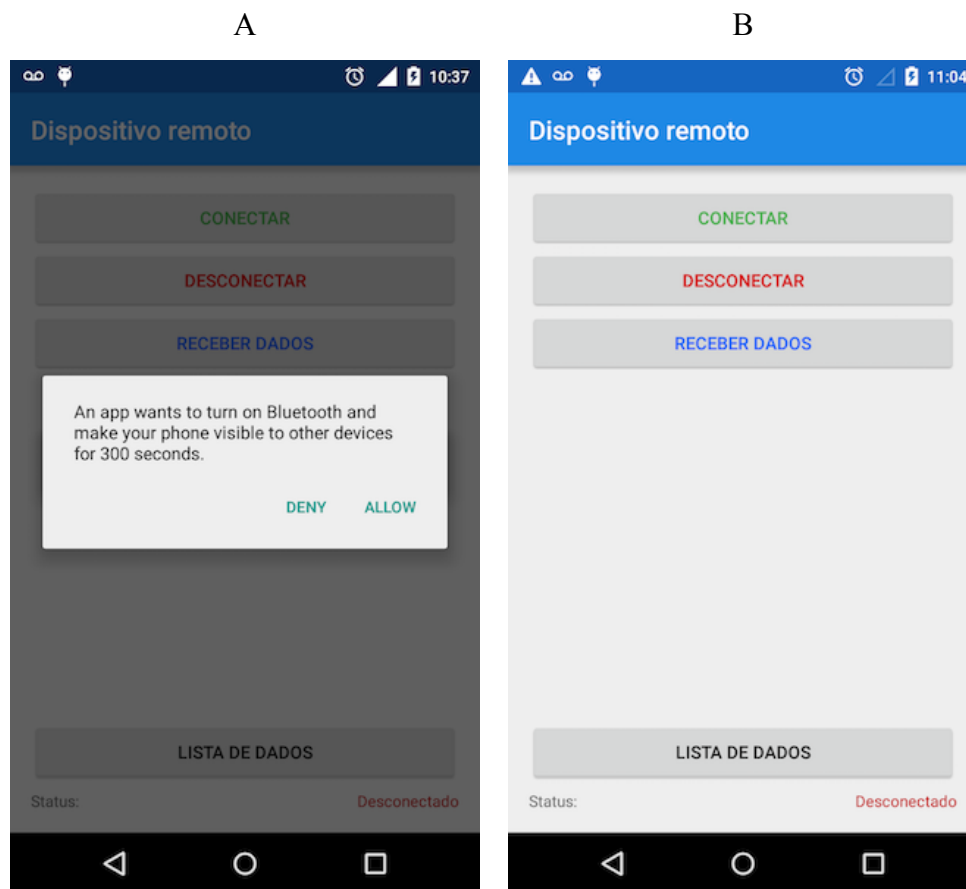


Figura 19 A e B: Requisição de permissão de ativação do *Bluetooth* no *smartphone* ou *tablet* (A) e tela principal de conexão e recebimento de dados por dispositivo portátil (B)

A Figura 20 exhibe os botões da tela principal de conexão e recebimento de dados por dispositivo portátil.

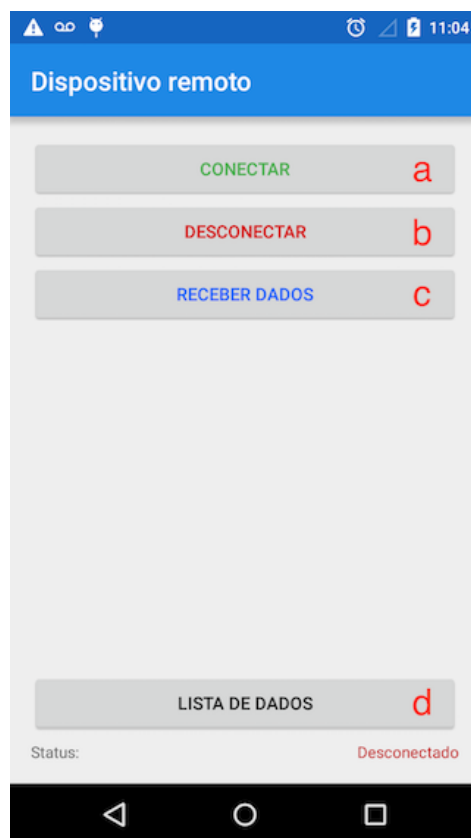


Figura 20: Especificação de função da tela principal de conexão e recebimento de dados por dispositivo portátil

Na Tabela 9 são apresentadas as funções de cada botão da tela principal de conexão e recebimento de dados via dispositivo portátil.

Tabela 9: Função de botões da tela principal de conexão e recebimento de dados por dispositivo portátil

BOTÃO	AÇÃO
(a) Conectar	Realiza a conexão entre o aplicativo e o dispositivo portátil por meio do módulo <i>Bluetooth</i> de ambos os dispositivos. Para estabelecer uma conexão é necessário que os módulos estejam ativos e pareados.
(b) Desconectar	O aplicativo é desconectado do dispositivo portátil. Esta função deve ser utilizada quando a transmissão dos dados já foi realizada e o trabalho utilizando o dispositivo portátil já foi concluído.

- | | |
|--------------------|--|
| (c) Receber dados | Recebe as medições feitas pelo dispositivo portátil a partir de uma configuração prévia do volume de dados a ser recebido, mediante o tempo de medição estabelecido. Esta ação necessita de uma conexão. |
| (d) Lista de dados | Exibe uma lista com os dados recebidos. |
-

É importante ressaltar que, para a realização da conexão entre o aplicativo e o dispositivo portátil, é necessário que haja o pareamento entre os módulos. A localização das configurações de pareamento no *smartphone* ou *tablet* varia conforme a versão do sistema operacional instalado no aparelho. Este procedimento, obrigatório para que haja a conexão e o recebimento dos dados mediante o dispositivo portátil, estabelece uma comunicação segura entre os dispositivos e permite que dados sejam transmitidos entre os dispositivos. Após a ativação do padrão de comunicação *Bluetooth* e a correta conexão estabelecida entre o *smartphone* ou *tablet* utilizado e o dispositivo portátil, é necessário definir o tempo de coleta dos dados (Figura 21).



Figura 21: Definição do tempo de coleta de dados via dispositivo portátil

A definição do tempo de coleta dos dados é predefinida e apresentada, em minutos, em um intervalo de 1 a 60 (1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 e 60). Esta configuração é obrigatória para que o processo de recebimento de dados se inicie. Após a definição do tempo de coleta o usuário deve clicar na opção “OK”, em seguida a obtenção dos dados é iniciada.

O tempo de coleta de dados está diretamente relacionado com o volume de dados obtidos. Na Tabela 10 é apresentado a relação entre o tempo de medição e a quantidade de dados armazenados no aplicativo.

Tabela 10: Relação entre tempo de medição e volume de dados

TEMPO DE COLETA (<i>minutos</i>)	VOLUME DE DADOS
1	10
2	20
5	50
10	100
15	150
20	200
30	300
40	400
50	500
60	600

O processo de recebimento dos dados, coletados pelo dispositivo portátil, é exibido em uma caixa de diálogo contendo o percentual de transmissão já concluído, juntamente com o número de dados já obtidos (Figura 18 – A). Uma vez iniciada, não é possível interromper a transmissão dos dados por meio da caixa de diálogo, caso o usuário queira parar o processo, deve selecionar a opção de retroceder – “*voltar*” – presente por padrão nos sistemas operacionais *Android*.

A Figura 22 A e B apresenta as caixas de diálogo de transferência de dados por meio do dispositivo portátil e de ação sob dados coletados.

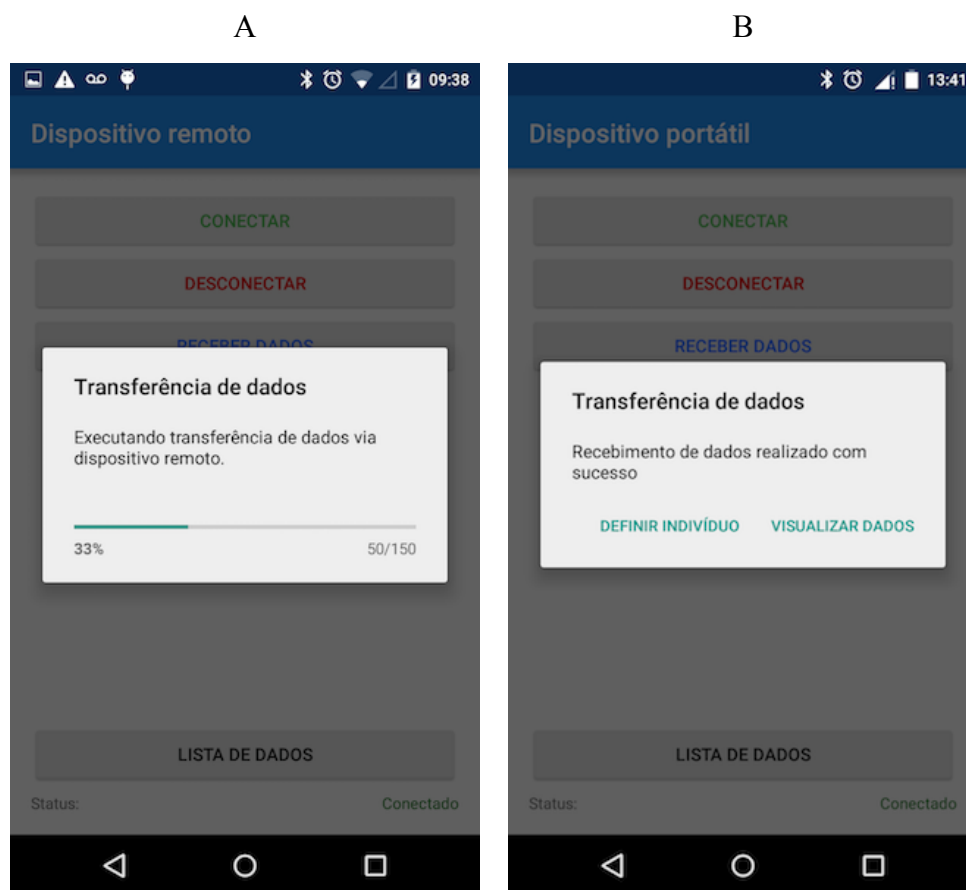


Figura 22 A e B: Caixa de diálogo de transferência de dados via dispositivo portátil (A) e de ação sob dados coletados – Definir Índice ou Visualizar Dados (B)

Conforme ilustra a Figura 22 – B, após a conclusão da transmissão dos dados, duas opções são apresentadas ao usuário: 1. Definir Indivíduo: apresenta a tela da lista dos indivíduos para que, mediante as medidas obtidas, um determinado índice de conforto térmico seja calculado; 2. Visualizar Dados: permite que os dados transmitidos e gravados em listas sejam visualizados.

A partir da tela de visualização de dados, ou lista de dados (Figura 23 – A) – acessado por meio da caixa de diálogo “2. Visualizar Dados”, três ações são apresentadas por meio de um menu de opções, conforme Figura 23 – B.

É apresentado na Figura 23 A e B as telas contendo a lista de dados e o menu no canto superior esquerdo do aplicativo.

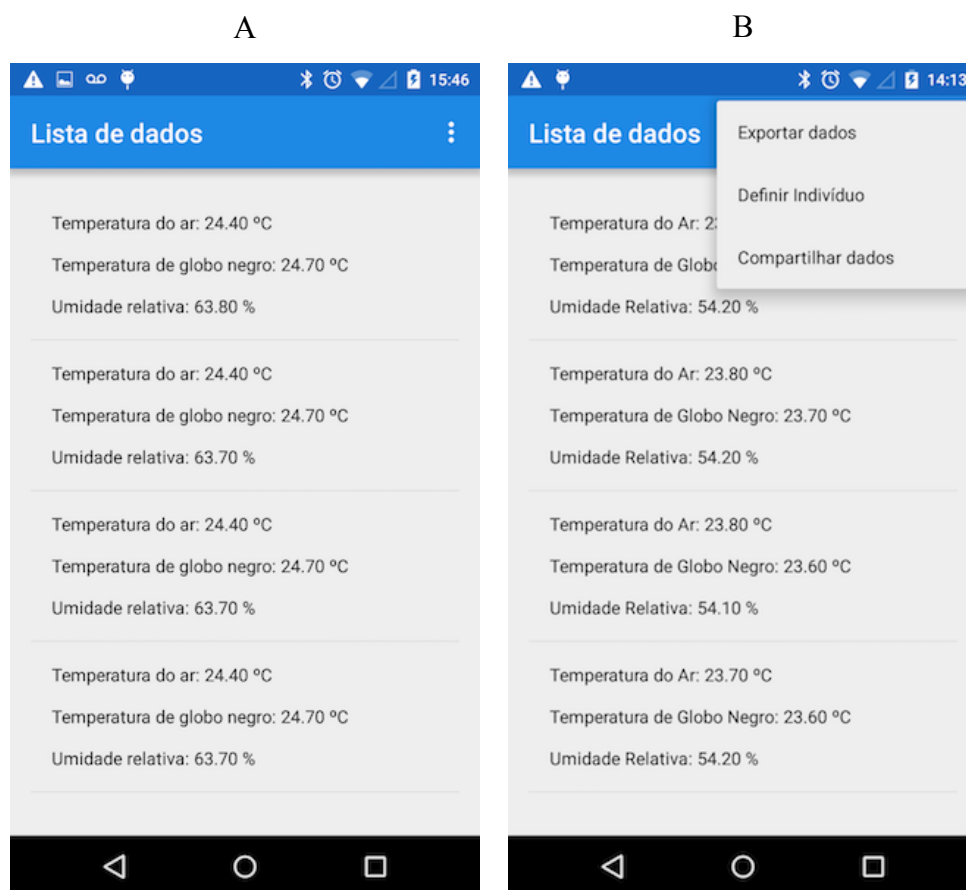


Figura 23 A e B: Lista de dados (A) e menu de opções (B)

Na lista de dados (Figura 23 – A), os valores transmitidos pelo dispositivo portátil são apresentados no formato de listas de *Strings*, a fim de serem apenas consultados (somente leitura). Não há opção de edição mediante uma seleção de linha na lista.

Por meio de um menu, localizado no canto superior direito da tela do aplicativo (componente visual: três pontos no sentido vertical), o usuário pode realizar três ações sobre a lista de dados. Suas definições são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11: Opções em menu da tela de lista de dados

OPÇÃO EM MENU	AÇÃO
Exportar dados	Realiza a exportação dos dados contidos na lista. Todos os dados são salvos em um arquivo de formato <i>xml</i> .
Definir indivíduo	Abre a tela da lista dos indivíduos, para que o usuário escolha um indivíduo e então aplique um determinado índice de conforto térmico, consecutivamente.
Compartilhar dados	Permite que os dados sejam compartilhados por meio de outros aplicativos que ofereçam suporte para envio de arquivos do tipo <i>xml</i> .

O padrão da descrição dos dados no arquivo *xml* é definido conforme mostra a Tabela 12.

Tabela 12: Padrão da descrição de dados no arquivo *xml*

TAG	DESCRIÇÃO
<XMLObjList>	Tag superior que inicia e finaliza o arquivo.
<XMLClass>	Nas tags “<XMLClass>” são organizados os dados coletados. O número de implementações desse item é proporcional ao número de dados definidos para coleta no início da medição.
<time>	Armazena o momento da coleta a partir do horário configurado no dispositivo móvel.
<cod>	Atribui um código para cada medida.
<ta>	Descreve a temperatura do ar em valor decimal.
<tg>	Descreve a temperatura de globo negro em valor decimal.
<ur>	Descreve a umidade relativa do ar em valor decimal.

As telas de cada ação são ilustradas na Figura 24 A, B e C.

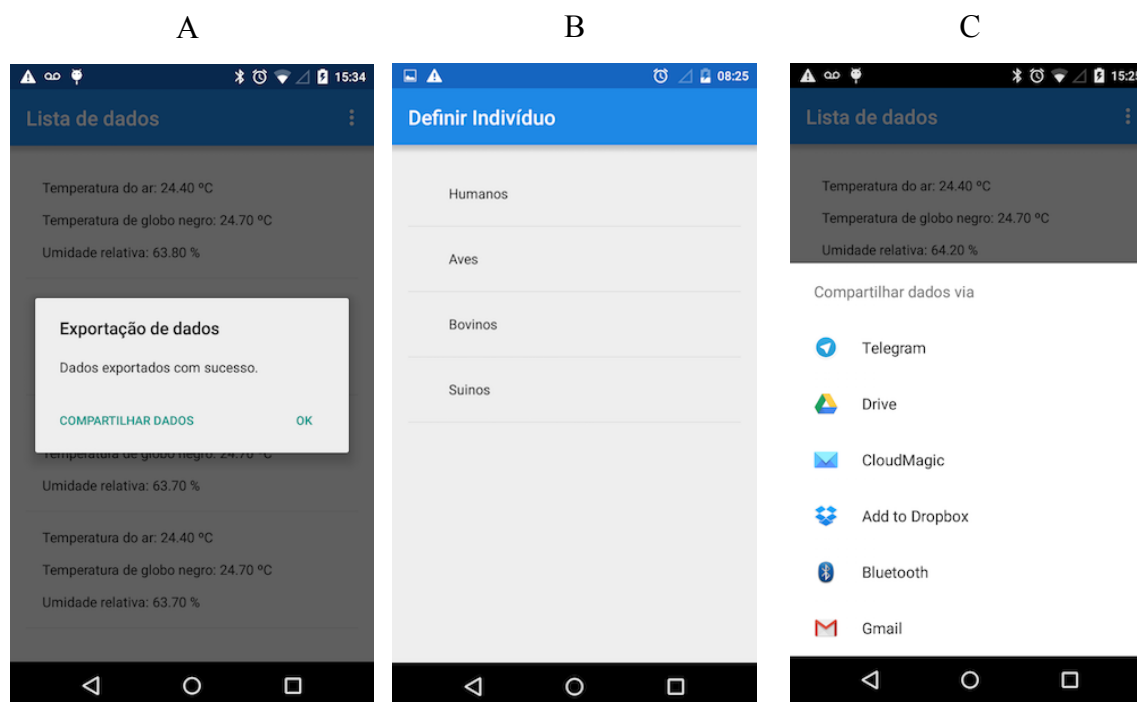


Figura 24 A, B e C: Telas resultantes das opções presentes no menu da tela de lista de dados: Exportar dados (A), Definir indivíduo (B) e Compartilhar dados(C)

Conforme exibido na Figura 24 – A, após a conclusão do processo de exportação, o usuário pode apenas fechar a caixa de diálogo mediante a opção “OK” e pesquisar pelo arquivo salvo no diretório de “Downloads” do disco externo de armazenamento do *smartphone* ou *tablet* (SD Card), ou compartilhar os dados mediante os aplicativos instalados no aparelho que tenham compatibilidade de envio de arquivos do tipo *xml*. A opção de compartilhamento por meio da caixa de diálogo de conclusão do processo de exportação, tem a mesma ação que a opção compartilhar dados do menu da tela de lista de dados. Já a opção de definir indivíduo, tem como resultado a apresentação da tela de indivíduos, que após a seleção apresenta a lista de índices disponíveis para a aplicação dos dados coletados (Figura 24 – B). Ao clicar em um determinado índice, exibido em forma de lista, os valores médios obtidos mediante o total de dados coletados são atribuídos às respectivas variáveis do índice. Esta mesma tela é apresentada quando a opção de definir índice (caixa de diálogo de conclusão de transferência de dados) é executada.

A Figura 25 ilustra um arquivo em formato *xml* contendo cinco grupos de dados, criado por meio da função de exportar dados.

```

1 <XMLObjList>
2 <XMLClass>
3 <cod>1</cod>
4 <ta>23.00</ta>
5 <tg>22.80</tg>
6 <time>10:32:13</time>
7 <ur>72.70</ur>
8 </XMLClass>
9 <XMLClass>
10 <cod>2</cod>
11 <ta>22.80</ta>
12 <tg>23.00</tg>
13 <time>10:32:22</time>
14 <ur>72.70</ur>
15 </XMLClass>
16 <XMLClass>
17 <cod>3</cod>
18 <ta>23.00</ta>
19 <tg>22.80</tg>
20 <time>10:32:27</time>
21 <ur>72.70</ur>
22 </XMLClass>
23 <XMLClass>
24 <cod>4</cod>
25 <ta>23.00</ta>
26 <tg>22.80</tg>
27 <time>10:32:32</time>
28 <ur>72.60</ur>
29 </XMLClass>
30 <XMLClass>
31 <cod>5</cod>
32 <ta>23.00</ta>
33 <tg>22.80</tg>
34 <time>10:32:36</time>
35 <ur>72.60</ur>
36 </XMLClass>
37 </XMLObjList>

```

Figura 25: Arquivo *xml* criado a partir da função de exportar dados

O último recurso presente no menu da tela de lista de dados (Figura 24 – C), que pode ser acessado por meio da opção compartilhar dados da caixa de diálogo de conclusão da exportação de dados, apresenta ao usuário todos os aplicativos instalados no sistema operacional do seu *smartphone* ou *tablet*, que podem ser utilizados para enviar o arquivo exportado em formato *xml*. Este recurso permite que, após uma análise de conforto térmico em tempo real, a lista contendo todas as medidas de temperatura do ar e de globo negro, e umidade relativa do ar, seja enviada imediatamente para um repositório externo, como por exemplo, *Google Drive* e *Dropbox* (armazenamento em nuvem), seja transferida por e-mail mediante aplicativos específicos, como *Gmail*, *Outlook* e *CloudMagic*, ou enviada por outros aplicativos que suportam transferências de arquivos do tipo *xml*. Além dos recursos de compartilhamento que necessitam de uma conexão estável à internet, os dados também podem ser transferidos via *Bluetooth* para outro aparelho. A Figura 26 A e B ilustra um exemplo de compartilhamento dos dados para um repositório em nuvem, utilizando o aplicativo *Google Drive* (Figura 26 – A), e o envio dos dados em forma de anexo por um cliente de e-mail (Figura 26 – B).

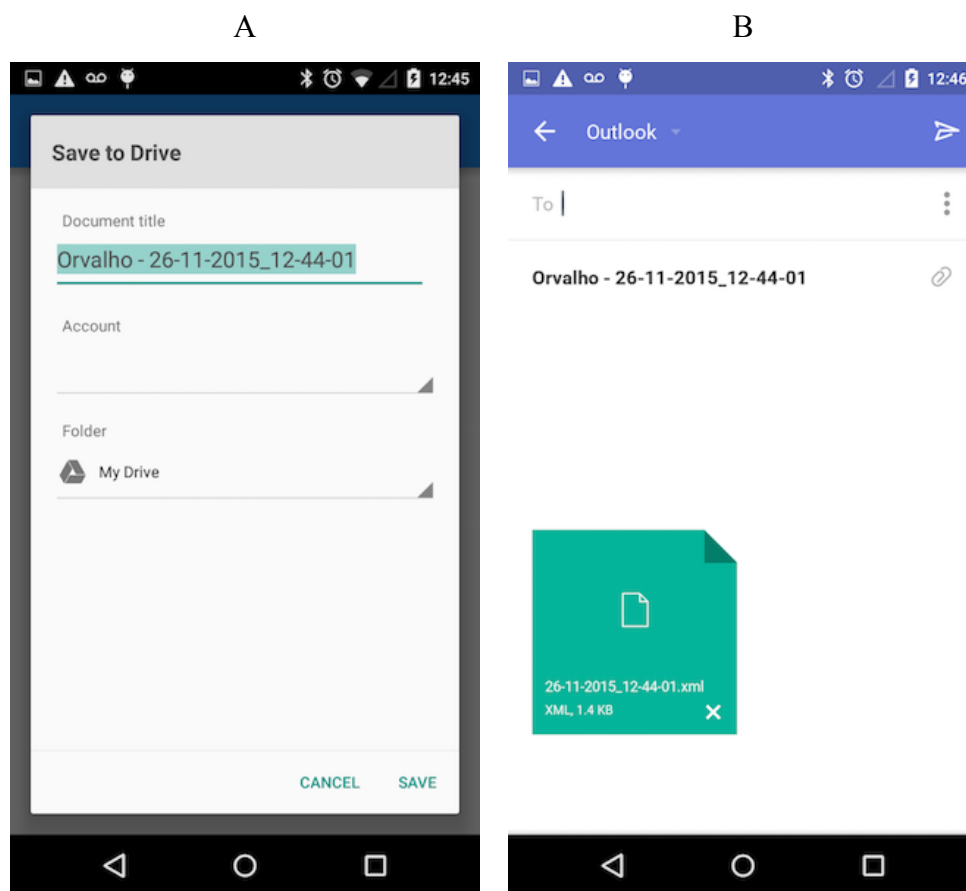


Figura 26 A e B: Compartilhamento de arquivo para *Google Drive* (A) e envio de arquivo utilizando um cliente de e-mail (B)

O nome dos arquivos é composto pela data da medição (dia, mês e ano) e horário (hora, minuto e segundo). Para o processo de compartilhamento de dados é obrigatório que os mesmos tenham sido previamente exportados. Caso haja a execução da função de compartilhar dados sem que o arquivo correspondente à lista de dados tenha sido criado, o aplicativo automaticamente faz a exportação dos dados. No processo de exportação de dados também existe uma verificação da criação de um arquivo de dados correspondente àquela lista específica, que permite informar ao usuário se o arquivo relacionado às medições apresentadas na lista já foi exportado.

As principais ações no método de cálculo de índices de conforto térmico por meio do dispositivo portátil, concentram-se em estabelecer uma conexão com o dispositivo, definir um tempo de coleta dos dados (ou tempo de medição) – proporcional ao volume de dados –, definir um indivíduo e aplicar as medidas em um determinado índice.

5.3.2. Entrada manual de dados

A opção de entrada manual de dados é destinada às análises em que o dispositivo portátil não é empregado. Esta forma de análise e de uso do aplicativo permite que outros instrumentos de medição sejam utilizados nas avaliações de conforto térmico. Na Figura 27 A e B é apresentada a tela de entrada manual de dados para o índice de temperatura de globo negro e umidade – ITGU – para aves.

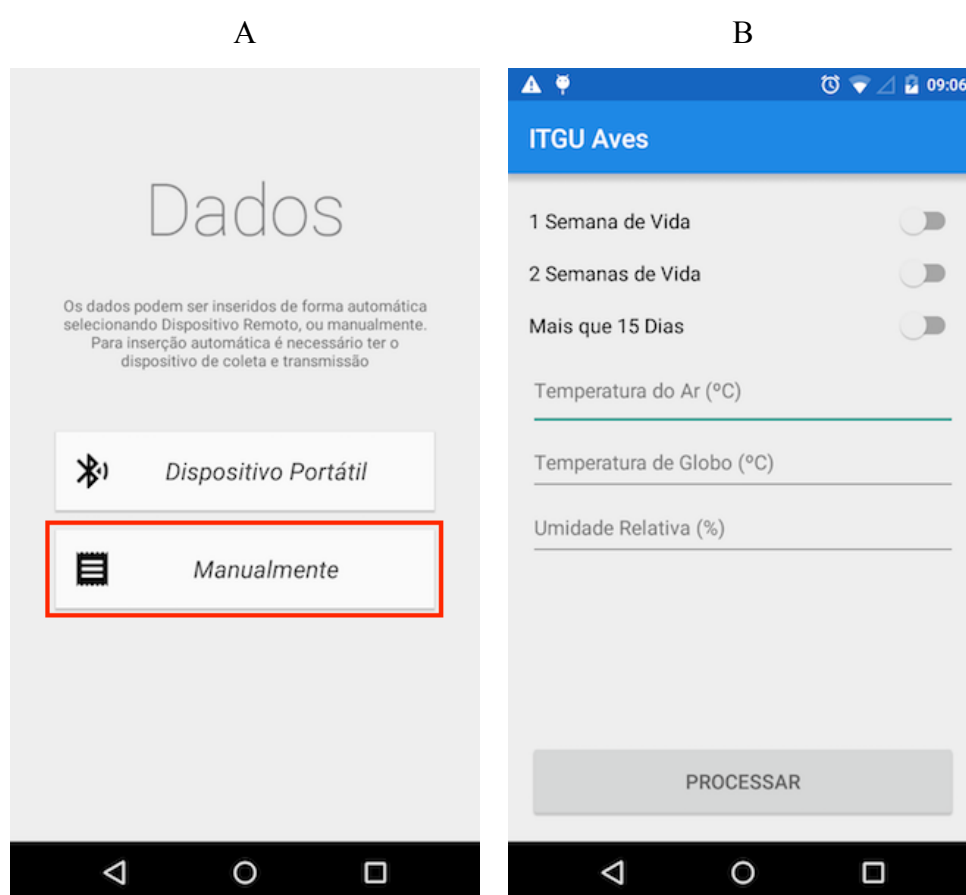


Figura 27 A e B: Opções de entrada manual de dados da tela inicial do aplicativo (A) e tela de inserção manual de dados para para o índice de temperatura de globo negro e umidade – ITGU Aves (B)

Além da opção de uso de outros instrumentos de medição junto ao aplicativo, a entrada manual de dados concede ao usuário análises de conforto térmico de dados coletados em períodos anteriores, por exemplo. Nessas condições, pode-se utilizar o aplicativo com boa usabilidade para avaliar o conforto térmico de ambientes mediante

valores médios diários, semanais ou mensais de medições. Desta forma, o usuário não se limita somente às medidas dispostas pelo dispositivo portátil.

O aplicativo para dispositivos móveis Orvalho está disponível para download gratuito no *Google Play* (OLVAPP, 2016). A aplicação atualmente é oferecida nos idiomas português e inglês, ajustada automaticamente de acordo com a configuração de linguagem do sistema operacional Android.

5.4. Dispositivo portátil

O dispositivo portátil, responsável pela transmissão dos dados climatológicos para o aplicativo, foi desenvolvido e pode ser observado na vista superior apresentada na Figura 28.



Figura 28: Dispositivo portátil Orvalho (vista superior)

Como forma de alimentação do microcontrolador, dos sensores e demais componentes do dispositivo, o equipamento foi projetado para receber dois tipos de alimentação, via cabo USB ou fonte externa de 9V. Por meio do cabo USB é possível modificar e/ou implementar novos códigos para o dispositivo portátil. A Figura 29 apresenta os componentes externos presentes no dispositivo, em vista superior.

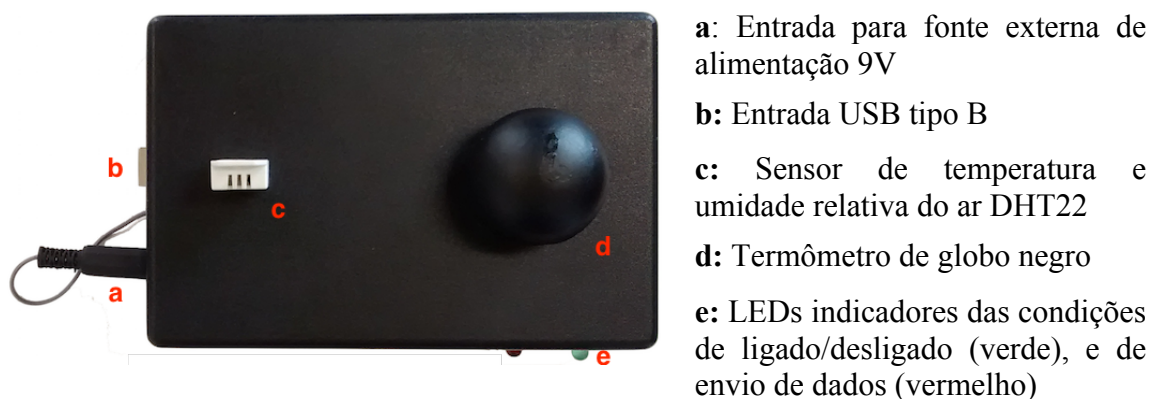


Figura 29: Dispositivo portátil Orvalho e seus componentes

Na Tabela 13 são apresentadas as descrições dos componentes do dispositivo portátil.

Tabela 13: Descrição dos componentes do dispositivo portátil Orvalho

Componente	Descrição
a.	Entrada para fonte externa de alimentação 9V.
b.	Entrada USB tipo B.
c.	Sensor de temperatura e umidade relativa do ar DHT22.
d.	Termômetro de globo negro.
e.	LEDs indicadores das condições de ligado/desligado (verde), e de envio de dados (vermelho).

Os componentes eletrônicos do dispositivo portátil foram organizados em uma caixa plástica de acabamento fosco (gabinete injetado sob alta pressão de injeção), com dimensões de 36x97x147mm.

A Figura 30 apresenta o esquema elétrico do dispositivo portátil.

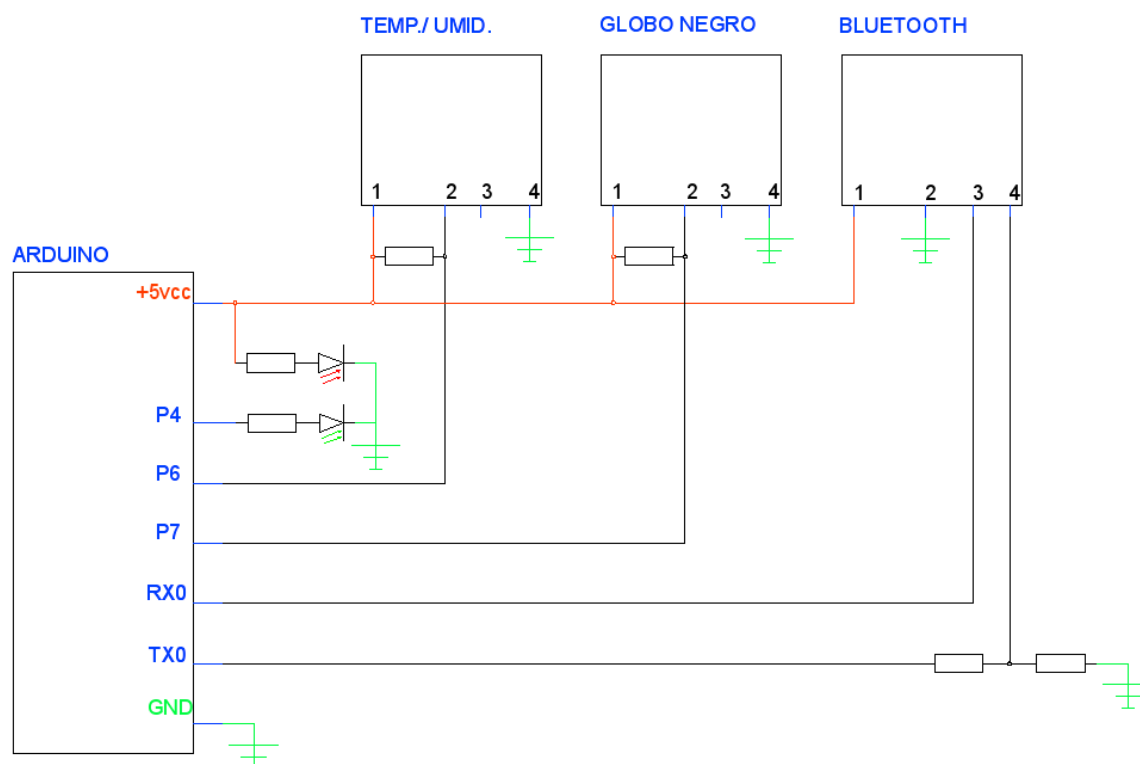


Figura 30: Esquema elétrico do dispositivo portátil Orvalho

Na Figura 31 pode-se visualizar a vista frontal do dispositivo portátil Orvalho.

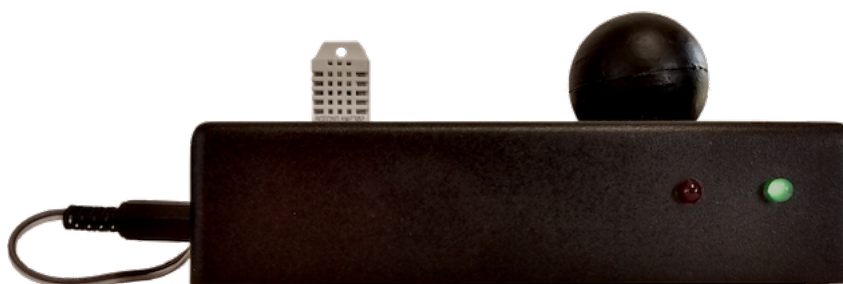


Figura 31: Dispositivo portátil Orvalho (vista frontal)

O dispositivo portátil foi testado mediante inserção em diferentes ambientes para análise de conforto térmico. Dentre as análises, o dispositivo mostrou-se eficiente no processo de coleta e transmissão dos dados para o aplicativo Orvalho, não apresentando interrupções ou falhas no volume de dados especificado para medição.

Amostras de dados coletados e enviados ao aplicativo em diferentes ambientes é apresentada detalhadamente em 5.5 *Análise comparativa de medições*.

5.5. Calibração do sensor DHT22

O sensor de temperatura e umidade relativa do ar DHT22 foi submetido a uma calibração junto ao sensor Vaisala HMP45C, em uma estação meteorológica do departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas, FCA, UNESP, Botucatu-SP. Os dados foram coletados entre os dias 13 e 16 de agosto de 2016, em intervalos de 10 minutos, totalizando 505 dados.

Na Tabela 14 são apresentados os valores médios e desvios padrão das medidas de temperatura e umidade relativa do ar dos sensores Vaisala HMP45C e DHT22.

Tabela 14: Comparação das médias de temperatura e umidade relativa do ar entre os sensores Vaisala HMP45C e DHT22

Dia	Sensor	N	Ta (°C)		Ur (%)	
			Média	StDev	Média	StDev
13/08	Vaisala HMP45C	139	14,71 a	4,16	64,9 a	13,8
	DHT22	139	14,48 a	4,43	64,2 a	15,4
14/08	Vaisala HMP45C	144	16,62 a	5,03	55,1 a	19,7
	DHT22	144	16,24 a	5,38	54,7 a	21,4
15/08	Vaisala HMP45C	144	22,38 a	5,20	38,14 a	7,59
	DHT22	144	22,00 a	6,09	37,68 a	8,83
16/08	Vaisala HMP45C	78	22,36 a	3,23	41,90 a	4,00
	DHT22	78	22,35 a	5,14	41,78 a	6,31

Valores médios seguidos da mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste t. StDev: desvio padrão

5.6. Análise comparativa de medições

A fim de comparar e verificar a correlação entre as medições realizadas pelo dispositivo portátil e um *data logger* comercial, considerando as medidas de temperatura do ar, temperatura de globo negro e umidade relativa do ar, o dispositivo

portátil e um *data logger* HOBO U12-012 foram inseridos em dois tipos de ambientes. O primeiro ambiente analisado foi um escritório, onde foi realizada uma coleta durante um período de 40 minutos com intervalos de gravação de dados de 30 segundos, totalizando 81 dados. Obteve-se uma média de temperatura do ar (T_a) de 24,355°C (dispositivo portátil Orvalho) e 23,674°C (*data logger* HOBO). Para as medidas de umidade relativa do ar (U_r) foram obtidas médias de 50,069% (dispositivo portátil Orvalho) e 60,900% (*data logger* HOBO).

Os gráficos dos valores correspondentes à temperatura do ar e umidade relativa do ar são apresentados nas Figuras 32 e 33.

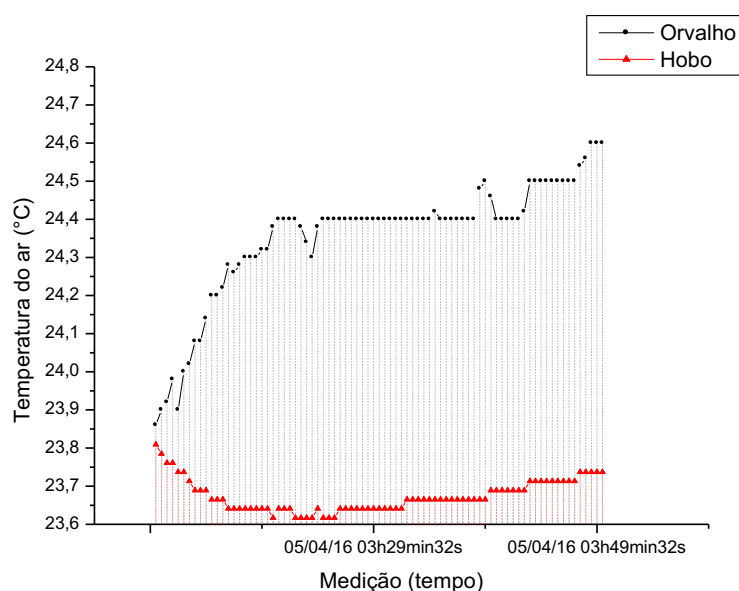


Figura 32: Temperatura do ar de um escritório medida pelo dispositivo portátil Orvalho e um *data logger* HOBO

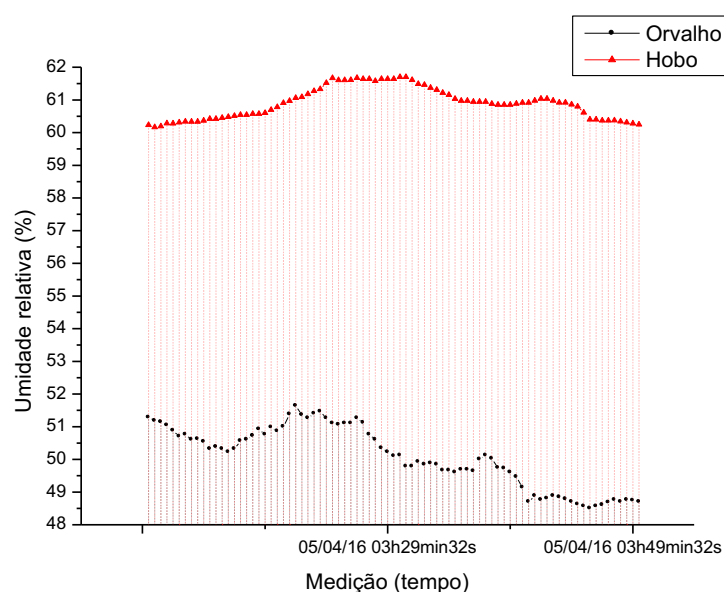


Figura 33: Umidade relativa do ar de um escritório medida pelo dispositivo portátil Orvalho e um *data logger* HOBO

Por meio dos gráficos e das médias apresentadas para ambas as medidas (Ta e Ur), observou-se uma diferença estatística significativa entre os dispositivos ($p < 0,05$) para ambas as medidas, em média a Ta diferiu em $0,681^{\circ}\text{C}$, e a Ur em $10,831\%$. Todavia, ao aplicar as médias no índice de desconforto – ID (ONO e KAWAMURA, 1991), não houve diferença na condição térmica (Tabela 15).

Tabela 15: Comparação entre condições de conforto térmico obtidas por meio do dispositivo portátil Orvalho e *data logger* HOBO

Dispositivo	Ta	Ur	ID	Condição
Dispositivo portátil Orvalho	24,355	50,069	70,39	Conforto Térmico
<i>Data logger</i> Hobo	23,674	60,900	70,58	Conforto Térmico

O segundo tipo de ambiente adota foi uma instalação de suínos, onde foram realizadas medições de temperatura do ar (Ta), temperatura de globo negro (Tg) e umidade relativa do ar (Ur). Os gráficos correspondentes são ilustrados nas Figuras 34, 35 e 36.

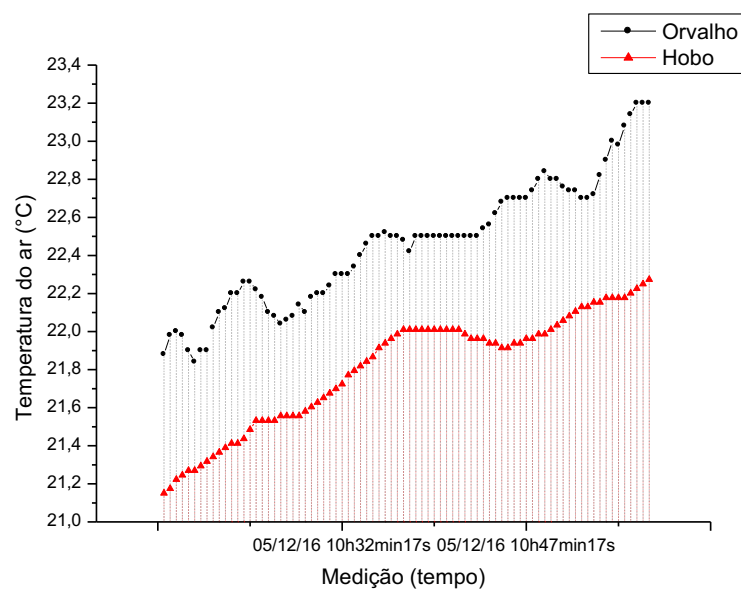


Figura 34: Temperatura do ar em instalação de suínos medida pelo dispositivo portátil Orvalho e um *data logger* HOBO

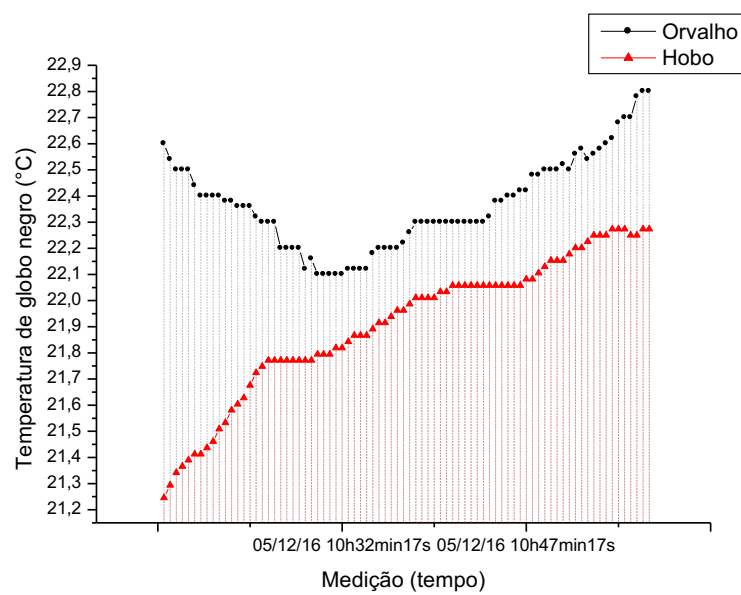


Figura 35: Temperatura de globo negro em instalação de suínos medida pelo dispositivo portátil Orvalho e um *data logger* HOBO

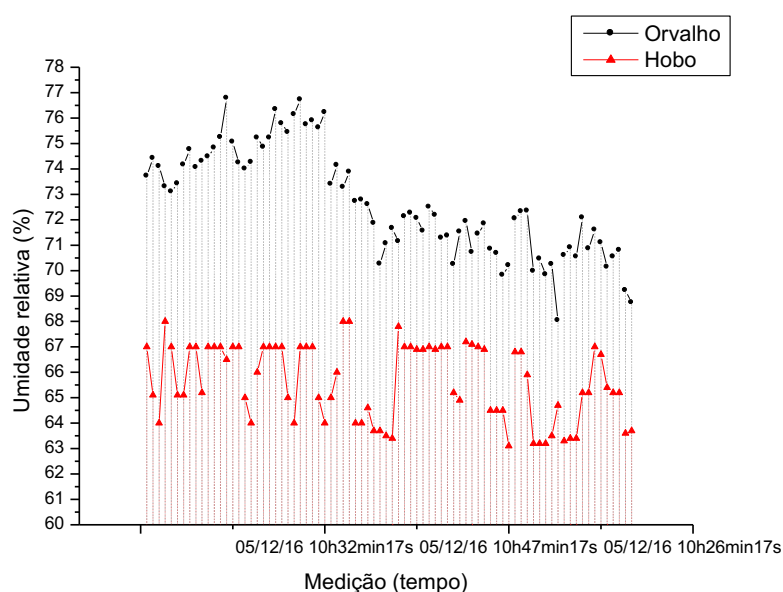


Figura 36: Umidade relativa do ar em instalação de suínos medida pelo dispositivo portátil Orvalho e um *data logger* HOB0

Para as medições em uma suinocultura, obteve-se média de Ta de 22,456°C (dispositivo portátil Orvalho) e 21,808°C (*data logger* HOB0), para Tg uma média de 22,369°C (dispositivo portátil Orvalho) e 21,908°C (*data logger* HOB0), e para Ur 72,664% (dispositivo portátil Orvalho) e 65,826% (*data logger* HOB0). Em médias as diferenças observadas foram de 0,648°C para Ta, 0,461°C para Tg, e 6,838% para Ur.

Houve uma diferença estatística significativa entre os dispositivos para as medidas de Ta, Tg e Ur ($p < 0,05$). Entretanto, mediante o índice de temperatura de globo e umidade para suínos – ITGU (BUFFINGTON et al., 1981), as condições térmicas obtidas foram semelhantes, conforme ilustra a Tabela 16.

Tabela 16: Comparação entre condições de conforto térmico obtidas por meio do dispositivo portátil Orvalho e *data logger* HOB0

Dispositivo	Ta	Tg	Ur	ITGU	Condição
Dispositivo portátil Orvalho	22,456	22,369	72,664	70,10	Conforto Térmico
<i>Data logger</i> Hobo	21,808	21,908	65,826	68,86	Conforto Térmico

5.7. Custo x benefício

No desenvolvimento do dispositivo portátil foram investidos um total de aproximadamente cento e sete reais – R\$107,00. A Tabela 17 descreve os custos individuais dos componentes.

Tabela 17: Custo dos componentes eletrônicos do dispositivo portátil

COMPONENTES	QUANT.	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
Microcontrolador <i>Arduino Mega 2560</i>	1	R\$32,50	R\$32,50
Sensor de temperatura e umidade relativa do ar <i>DHT22</i>	2	US\$2.64	US\$5.28 R\$20,30*
Módulo <i>Bluetooth BC 417 HC-06</i>	1	R\$14,97	R\$14,97
Globo Negro	1	R\$3,00	R\$3,00
Bateria Alcalina 9V	1	R\$16,00	R\$16,00
Estrutura de armazenamento dos componentes eletrônicos – <i>Case Box</i>	1	R\$16,40	R\$16,40
Placa de circuito impresso	1	R\$7,35	R\$7,35
TOTAL			R\$107,00

*Cotação do Dólar 01/12/2015 – US\$1,00: R\$3,844

Para que os usuários possam fazer o *download* e a instalação do aplicativo em *smartphones* e *tablets*, o aplicativo foi disponibilizado na loja virtual de aplicativos da Google – *Google Play* (GOOGLE PLAY, 2015; OLVAPP, 2016). Para a disponibilidade do aplicativo aos usuários do sistema operacional Android foram investidos vinte e cinco dólares – \$25,00 (R\$96,00 – US\$1,00: R\$3,844) (GOOGLE PUBLISH, 2016). O valor total de investimento para o desenvolvimento do sistema computacional (dispositivo portátil e aplicativo para *smartphones* e *tablets*) foi de duzentos e três reais – R\$203,00.

Os métodos atuais de análise de conforto térmico de ambientes, em sua maioria, fazem uso de sensores específicos para cada variável climatológica, comumente conectados em um armazenador de dados – *datalogger*. Alguns equipamentos têm capacidade de reunir em um único aparelho mais de uma medida, como por exemplo,

temperatura e umidade relativa do ar, como apresentado por Carvalho et al. (2014), Schüller, Burfeind e Heuwieser (2014) e Giannopoulou et al. (2014). Alguns anemômetros, destinados à medição da velocidade do vento, integram além da medição principal do dispositivo (velocidade do vento), também as medidas de temperatura e umidade relativa do ar. Os métodos mais tradicionais para este tipo de análise baseiam-se na montagem de sensores específicos para cada medida, e na configuração do armazenamento dos dados em um *data logger*. Comparando-se a acurácia, custo, mobilidade e o nível tecnológico do dispositivo portátil desenvolvido, frente aos equipamentos atuais empregados nos métodos de análise de conforto térmico, observou-se que o valor investido nos métodos tradicionais difere significativamente do dispositivo portátil desenvolvido. Na Tabela 18 é apresentada uma comparação entre o custo do dispositivo portátil e dos equipamentos utilizados atualmente, divididos nos grupos 1, 2 e 3.

Tabela 18: Comparação de custos entre o dispositivo portátil criado e os equipamentos aplicados atualmente em análises de conforto térmico

GRUPO	COMPONENTES	QUANT.	VALOR TOTAL
1	Dispositivo Portátil	1	R\$107,00
	Aplicativo para <i>smartphones</i> e <i>tablets</i>	1	R\$96,00
	TOTAL		R\$203,00
2	Esfera de Cobre <i>Instrutherm ESF-206</i>	1	R\$531,30
	<i>Extech RHT10 Humidity and Temperature</i> <i>USB Datalogger</i>	1	US\$75,00 R\$288,00*
	TOTAL		R\$819,30
3	<i>Tinytag Plus 2TGP-4500</i>	1	£160,72 R\$934,81**
	Esfera de Cobre <i>Instrutherm ESF-206</i>	1	R\$531,30
	TOTAL		R\$1.466,11

*Cotação do Dólar 01/12/2015 – US\$1,00: R\$3,8440

**Cotação da Libra Britânica 01/12/2015 – £1,00: R\$5,8164

As comparações mostraram que, mediante os valores aproximados de venda dos equipamentos atualmente utilizados em análises de conforto térmico (sensores e *data loggers* – grupos 2 e 3), o dispositivo portátil e o aplicativo apresentaram uma equivalência de redução de aproximadamente 75% do investimento total aplicado no

grupo 2, e 86% do total aplicado no grupo 3. A diferença significativa do valor investido no dispositivo portátil, tem como base não somente o custo dos componentes e artefatos utilizados em todo o desenvolvimento, mas também o valor agregado em relação à montagem e aplicação de um dispositivo exclusivo para análise de conforto térmico. Vale ressaltar que essa consideração tem como premissa análises em tempo real de conforto térmico em períodos de tempo menores, suficientes para um diagnóstico *in loco* de um ambiente. Assim, desconsidera-se características de monitoramento e armazenamento de grandes volumes de dados por longos períodos, embora o dispositivo portátil desenvolvido tenha capacidade para agregar tais funcionalidades, inclusive, numa arquitetura ainda mais redundante e interativa por meio dos dispositivos comuns de armazenamento em servidores externos, acessíveis de qualquer lugar mediante conexão segura à internet.

Outro fator a ser levado em conta é a capacidade de interação do dispositivo portátil com um aplicativo para *smartphones* e *tablets*, capaz de fornecer aos profissionais e pesquisadores da área agrícola, zootécnica e de segurança do trabalho, uma nova experiência em avaliações de conforto térmico de ambientes. Apesar dos dispositivos de armazenamento de dados – usados nas formas tradicionais de análise – oferecerem suporte para os processos de configuração e importação dos dados coletados a *softwares* específicos, em determinadas análises este tipo de operação carece de uma mão de obra especializada, tanto na montagem dos equipamentos, quanto nos processos de configuração. Além de limitar os usuários a uma estrutura dependente de conexões a cabo e de um computador pessoal.

A praticidade e mobilidade que o dispositivo portátil oferece é outro fator a ser considerado relevante no investimento total. Os equipamentos empregados nas análises tradicionais nem sempre são dispositivos portáteis, de fácil locomoção e instalação.

6 CONCLUSÕES

Conclui-se que o desenvolvimento do sistema computacional constituído de um dispositivo portátil para coleta e transmissão de medidas climatológicas e de um aplicativo para dispositivos móveis (*smartphones* e *tablets*), destinado à análise em tempo real de conforto térmico, foi desenvolvido e testado conforme o objetivo principal do trabalho.

A partir da inserção do dispositivo portátil em diferentes ambientes, pode-se considerar que o dispositivo demonstrou ser um produto funcional no estabelecimento de conexões mediante a tecnologia *Bluetooth*, e transmissão de dados climatológicos para dispositivos móveis (*smartphones* e *tablets*).

Por meio das análises comparativas de medições foi possível verificar a correta operação do aplicativo para *smartphones* e *tablets* em avaliações de conforto térmico. O aplicativo Orvalho demonstrou ser eficaz nos cálculos dos índices de conforto térmico ITGU para suínos e ID para humanos.

O aplicativo Orvalho possibilitou à obtenção de diagnósticos de condições térmicas (conforto, desconforto ou estresse térmico), baseados em índices de conforto térmico mediante coletas minimalistas de dados *in loco*.

REFERÊNCIAS

ALDUCHOV, O. A.; ESKRIDGE, R. E. Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure. **J. Appl. Meteor.**, 35, 601–609, 1996.

ALMEIDA, G. L. P.; PANDORFI, H.; GUISELINI, C.; ALMEIDA, G. A. P.; MORRIL, W. B. B. Investimento em climatização na pré-ordenha de vacas girolando e seus efeitos na produção de leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p.1337-1344, 2010.

ALVES, S. P.; SILVA, I. J. O.; PIEDADE, S. M. S.; Avaliação do bem-estar de aves poedeiras comerciais: efeitos do sistema de criação e do ambiente bioclimático sobre o desempenho das aves e a qualidade de ovos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5, p.1388-1394, 2007.

ANALYSYS MASON. **The Connected Consumer Survey 2015**. Disponível em: <<http://www.analysismason.com/Research/Content/Reports/connected-consumer-survey-Dec2014-RDMB0-RDMM0-RDMD0-RDMY0-RDMV0/>>. Acesso em: 1 dez. 2015.

ANDROID. **Android Studio**. Disponível em: <<http://developer.android.com/sdk/index.html>>. Acesso em: 27 jul. 2015.

AOSONG. **AM2302**. Disponível em: <<http://www.aosong.com/en/products/details.asp?id=117>>. Acesso em: 23 nov. 2015.

ARCARO JÚNIOR, I. **Avaliação da Influência de Ventilação e Aspersão em Coberturas de Sombríte para Vacas em Lactação**. 2000. 94 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

ARDUINO. **About**. 2016. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

ARDUINO PRODUCTS. **Arduino Mega 2560**. 2015. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>>. Acesso em: 1 dez. 2015.

ARDUINO & GENUINO PRODUCTS. **GENUINO 101**. 2015. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoard101>>. Acesso em: 23 nov. 2015.

ARMBRUST, M.; FOX, A.; GRIFFITH, R.; JOSEPH, A.; KATZ, R.; KONWINSKI, A.; LEE, G.; PATTERSON, D.; RABKIN, A.; STOICA, I.; **Above the clouds: A Berkeley view of cloud computing**, Technical Report UCB/EECS-2009-28, 2009.

ARMSTRONG, D.V. Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*, New York, v.77, p.2044-2050, 1994.

ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2010. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc; 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2004. 209 p.

AUTODESK. **AutoCAD 2014**. Disponível em: <<http://www.autodesk.com/products/autocad/overview>>. Acesso em: 17 maio 2016.

AZIZPOUR, F.; MOGHIMI, S.; SALLEH, E.; MAT, S.; LIM, C. H.; SOPIAN, K. Thermal comfort assessment of large-scale hospitals in tropical climates: A case study of University Kebangsaan Malaysia Medical Centre (UKMMC). **Energy And Buildings**, v. 64, p.317-322, maio 2013.

BAÊTA, F.C. Responses of lactating dairy cows to the combined effects of temperature, humidity and wind velocity in the warm season. 1985. 218 f. Thesis (Ph.D.) - University of Missouri, Columbia, 1985.

BAETA, F. C.; MEADOR, N. F.; SHANKLIN, M. D. **Equivalent temperature index at temperatures above the thermoneutral for lactating cows**. In: MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1987, Baltimore.

Proceedings... Baltimore: American Society of Agricultural Engineers, 1987.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais – conforto animal**. Universidade federal de Viçosa, 2010.

BARBOSA, S. D.; SILVA, B. **Interação humano-computador**. Rio de Janeiro: Campus-Elsevier, 2010.

BIANCA, W. 1962. Relative importance of dry- and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle. **Nature** 195:251–252.

BOHLOULI, M.; SHODJA, J.; ALIJANI, S.; EGHBAL, A. The relationship between temperature-humidity index and test-day milk yield of Iranian Holstein dairy cattle using random regression model. **Livestock Science**, v. 157, p.414-420, set. 2013.

BOOCK, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **The Unified Modeling Language User Guide**. 2. ed. USA: Pearson Education, 2005.

BRÜGEMANN, K.; GERNAND, E.; VON BORSTEL, U. U.; KÖNIG, S. Application of random regression models to infer the genetic background and phenotypic trajectory of binary conception rate by alterations of temperature x humidity indices. **Livestock Science**, v. 157, p.389-396, ago. 2013.

BUDD, G. M. Wet-bulb globe temperature (WBGT)—its history and its limitations. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 11, p.20-32, 2008.

BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G.H.; PITT, D. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. Transactions of the A.S.A.E., v.24, p.711-714, 1981.

BUFFINGTON, D. E., COLLIER, R.J., CANTON, G.H. Shade management systems to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. Transactions of the A.S.A.E, no 26, pp. 1798-1802, 1983.

BUYYA, R.; YEO, C. S.; VENUGOPAL, S.; BROBERG, J.; BRANDIC, I. Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. **Future Generation Computer Systems**, Amsterdam, v. 25, n. 6, p.599-616, jun. 2009.

CAMPBELL SCIENTIFIC. HMP45C-L **Temperature and Relative Humidity Probe**. Disponível em: <<https://www.campbellsci.com/hmp45c-l>>. Acesso em: 04 ago. 2016.

CARVALHO, A. M. B. R.; CHIOSSI, T. C. S. **Introdução à engenharia de software**.

Capinas: Editora da Unicamp, 2001.

CARVALHO, C. C. S.; SANTOS, T. C.; SILVA, G. C.; SANTOS, L. V.; MOREIRA, S. J. M.; BOTELHO, L. F. R. Conforto térmico animal e humano em galpões de frangos de corte no semiárido mineiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 7, p.769-773, 2014.

CEZAR, M. F.; SOUZA, B. B.; SOUZA, W. H.; PIMENTA FILHO, E. C.; TAVARES, G. P.; MEDEIROS, G. X. Avaliação de parâmetros fisiológicos de ovinos dorper, santa inês e seus mestiços perante condições climáticas do trópico semi-árido nordestino. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p.614-620, jun. 2004.

CORDEIRO, M. B.; TINÔCO, I. F. F.; OLIVEIRA, P. A. V.; MENEGALI, I.; GUIMARÃES, M. C. C.; BAÊTA, F. C.; SILVA, J. N. Efeito de sistemas de criação no conforto térmico ambiente e no desempenho produtivo de suínos na primavera. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5, p.1597-1602, 2007.

DAMASCENO, F. A.; YANAGI JUNIOR, T.; LIMA, R. R.; GOMES, R. C. C.; MORAES, S. R. P. Avaliação do bem-estar de frangos de corte em dois galpões comerciais climatizados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p.1031-1038, ago. 2010.

DEITEL, P.; DEITEL, H. **Java Como Programar**. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2010. 1104 p.

DEVARAJU, J. T.; SUHAS, K. R.; MOHANA, H. K.; PATIL, V. A. Wireless Portable Microcontroller based Weather Monitoring Station. **Measurement**, Amsterdam, v. 76, p.189-200, dez. 2015. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.measurement.2015.08.027.

DIKMEN, S.; HANSEN, P. J. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? **Journal Of Dairy Science**, New York, v. 92, n. 1, p.109-116, jan. 2009.

DIN, M. F. M. LEE, Y. Y.; PONRAJ, M.; OSSEN, D. R.; IWAO, K.; CHELLIAPAN, S. Thermal comfort of various building layouts with a proposed discomfort index range for tropical climate. **Journal Of Thermal Biology**, v. 41, p.6-15, 4 fev. 2014.

DOMINGOS, F. C.; MAIA, J. M.; MAIA, O. M. A.; SCHNEIDER, F. K. Microcontroller based Control System for Ultrasound NDT in Wood. **Physics Procedia**, Amsterdam, v. 70, p.428-432, 2015. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.phpro.2015.08.136.

EUROPEAN STANDARD, EN 15251, Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings – Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics, 2007.

FARI, F. F.; MOURA, D. J.; SOUZA, Z. M.; MATARAZZO, S. V. Variabilidade espacial do microclima de um galpão utilizado para confinamento de bovinos de leite. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p.2498-2505, dez. 2008.

FATEHNIA, M.; PARAN, S.; KISH, S.; TAWFIQ, K. Automating double ring in filterometer with an Arduino microcontroller. *Geoderma*, Amsterdam, v. 262, p.133-139, jan. 2016. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.08.022

FEHER, R.L.; PRIDY, K.T.; MCNEIL, S.G.; OVERHULTS, D.G. Limiting swine stress with evaporative cooling in the south-east. **Transactions of the ASAE**, 26(2), 542-545, 1983.

FERREIRA, F.; PIRES, M. F. A.; MARTINEZ, M. L.; COELHO, S. G.; CARVALHO, A. U.; FERREIRA, P. M.; FACURY FILHO, E. J.; CAMPOS, W. E. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, n. 5, p.732-738, 2006.

FERNANDO, N.; LOKE, S. W.; RAHAYU, W. Mobile cloud computing: A survey. **Future Generation Computer Systems**, Amsterdam, v. 29, n. 1, p.84-106, jan. 2013.

FERNANDES, H. C.; MOREIRA, R. F.; LONGUI, F. C.; RINALDI, P. C.; SIQUEIRA, W. C. Efeito do aquecimento e resfriamento de pisos no desempenho de matrizes e leitões. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 6, p.701-706, dez. 2011.

FIORELLI, J.; FONSECA, R.; MORCELI, J. A. B.; DIAS, A. A. Influência de diferentes materiais de cobertura no conforto térmico de instalações para frangos de corte no oeste paulista. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p.986-992, set./out. 2010.

FIORELLI, J.; MORCELI, J. A. B.; VAZ, R. I.; DIAS, A. A. Avaliação da eficiência térmica de telha reciclada à base de embalagens longa vida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p.204-209, 2009.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico: arquitetura e urbanismo**. 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2006.

FURTADO, D. A.; DANTAS, R. T.; NASCIMENTO, J. W. B. SANTOS, J. T.; COSTA, F. G. P. Efeitos de diferentes sistemas de condicionamento ambiente sobre o desempenho produtivo de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p.484-489, 2006.

GATES, R. S.; ZHANG, H.; COLLIVER, D. G.; OVERHULTS, D. G. Regional Variation in Temperature Humidity Index for Poultry Housing. *Transactions of the A.S.A.E.*, v.38, n.1, p.197-205, 1995.

GATES, R.S.; USRY, J.L.; NIENABER, L.A.; TUNER, L.W.; BRIDGES, T.C. An optimal misting method for cooling housing. **Transactions of the ASAE**, 34(5)2199-2206, 1991.

GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; HOLT, S. M.; LISLE, A. A new heat load index for feedlot cattle. **Journal Of Animal Science**, Champaign, v. 86, n. 1, p.226-234, 18 set. 2007. American Society of Animal Science (ASAS). DOI: 10.2527/jas.2007-0305.

GIANNOPOULOU, K.; LIVADA, I.; SANTAMOURIS, M.; SALIARI, M.; ASSIMAKOPOULOS, M.; CAOURIS, Y. The influence of air temperature and humidity on human thermal comfort over the greater Athens area. **Sustainable Cities And Society**, v. 10, p.184-194, 2014.

GIVONI, B. (1963). **Mean climate and architecture**. Amsterdam: Elsevier Press.

GITHUB. **About**. Disponível em: <<https://github.com/about/>>. Acesso em: 13 jun. 2014.

GOMES, R. C. C.; YANAGI JUNIOR, T.; LIMA, R. R.; YANAGI, S. N. M.; CARVALHO, V. F.; DAMASCENO, F. A. Predição do índice de temperatura do globo negro e umidade e do impacto das variações climáticas em galpões avícolas climatizados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p.1645-1651, set. 2011.

GOOGLE ANDROID. **Android Interfaces and Architecture**. 2016. Disponível em: <<https://source.android.com/devices/>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

GOOGLE DEVELOP. **Application Fundamentals**. 2016. Disponível em: <<http://developer.android.com/guide/components/fundamentals.html>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

GOOGLE MOBILE PLANET. **Our Mobile Planet: Smartphone consumer behavior**. 2013. Disponível em: <<https://think.withgoogle.com/mobileplanet/en/downloads/>>. Acesso em: 23 out. 2015.

GOOGLE PLAY. **Google Play Apps**. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps>>. Acesso em: 18 maio 2016.

GOOGLE PUBLISH. **Google Play Publish**. Disponível em: <<https://play.google.com/apps/publish/signup/>>. Acesso em: 18 maio 2016.

HAHN, G. L.; YOUSEF, M. K. Management and housing of farm animals in hot environment. In: **Stress physiology in livestock**. v.2, 1985. p. 151-174.

HANNAS, M. I.; OLIVEIRA, R. F. M.; DONZELE, J. L.; FERREIRA, A. S.; LOPES, D. C.; SOARES, J. L.; MORETTI, A. M. Proteína bruta para suínos machos castrados mantidos em ambiente de conforto térmico dos 15 aos 30 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 2, p.476-484, 2000.

HERMUCHE, P.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JR, O. A.; GOMES, R. A. T.; PAIVA, S. R.; McMANUS, C. M. Environmental factors that affect sheep production in Brazil. **Applied Geography**, Oxford, v. 44, p.172-181, 2013.

HIGASHIYAMA, Y.; HIGASHIYAMA, M.; IKEDA, K.; KOMATSU, T.; FUKASAWA, M. Welfare of lactating Holstein cows under outdoor grazing and indoor housing in relation to temperature and humidity in summer in Japan. **Livestock Science**, v. 155, p.86-91, feb. 2013.

HIRAMA, K. **Engenharia de Software: Qualidade e Produtividade com Tecnologia**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2011.

HOBO. **HOBO Temperature/Relative Humidity/Light/External Data Logger**. Disponível em: < <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-012>>. Acesso em: 17 jan. 2016.

HUGHES, J. M. **Arduino in a Nutshell**. 1. ed.: O'Reilly Media, 2016.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION, ISO 7730, Ergonomics of the Thermal Environment – Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria, 2005.

INTERNATIONAL TELECOMS UNION. **ICT STATISTICS**. 2015. Disponível em: <<http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/default.aspx>>. Acesso em: 23 out. 2015.

JÁCOME, I. M. T. D.; FURTADO, D. A.; LEAL, A. F.; SILVA, J. H. V.; MOURA, J. F. P. Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p.527-531, 2007.

JONES, S. Cloud computing procurement and implementation: Lessons learnt from a United Kingdom case study. **International Journal Of Information Management**, Oxford, v. 35, n. 6, p.712-716, dez. 2015. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2015.07.007.

KAWABATA, C. Y.; CASTRO, R. C.; SAVASTANO JÚNIOR, H. Índices de conforto térmico e respostas fisiológicas de bezerros da raça holandesa em bezerreiros individuais com diferentes coberturas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p.598-607, dez. 2005.

KAWAMURA, T. Distribution of discomfort index in Japan in summer season. **J Meteorol Res**, v. 17, p.460-466, 1965.

KELLY, C.F.; T.E., BOND. Bioclimatic factors and their measurements. Page 7 in A Guide to Environmental Research in Animals. **Natl. Acad. Scs.**, Washington, DC, 1971.

KIEFER, C.; MEIGNEN, B. C. G.; SANCHES, J. F.; CARRIJO, A. S. Resposta de suínos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas. **Archivos de Zootecnia**, v. 51, n. 221, p.55-64, 2009.

KIEFER, C.; SANTOS, T. M. B.; MOURA, M. S.; SILVA, C. M.; LUCAS, L. S.; ROSA, E. M. Digestibilidade de dietas suplementadas com fitase para suínos sob diferentes ambientes térmicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 8, p.1483-1489, ago. 2012.

KRALIKOVA, R.; SOKOLOVA, H.; WESSELY, E. Thermal environment evaluation according to indices in industrial workplaces. **Procedia Engineering**, v. 69, p.158-167, 2014.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto Térmico e Stress Térmico**. Disponível em: <<http://dec.ufms.br/lade/docs/cft/ap-labee.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

LAWRENCE, M. G. The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air. **American Meteorological Society**, p.225-233, fev. 2005.

LI, L.; WANG, C.; XIE, G. A general CPG network and its implementation on the microcontroller. **Neurocomputing**, Amsterdam, v. 167, p.299-305, nov. 2015. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.neucom.2015.04.066.

LIMA, K. R. S.; ALVES, J. A. K.; ARAÚJO, C. V.; MANNO, M. C.; JESUS, M. L. C.; FERNANDES, D. L.; TAVARES, F. Avaliação do ambiente térmico interno em galpões de frango de corte com diferentes materiais de cobertura na mesorregião metropolitana de Belém. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Belém, v. 51, n. 1, p.37-50, jun. 2009.

LIMA, K.A.O.; MOURA, D.J.; NAAS, I.A.; PERISSINOTTO, M. Estudo da influência das ondas de calor sobre a produção de leite no Estado de São Paulo. **Bio Eng**, Campinas, v.1, p.70-81, 2007.

LIN, Y.; CHANG, C.; LI, M.; WU, Y.; WANG, Y. High-temperature indices associated with mortality and outpatient visits: Characterizing the association with elevated temperature. **Science Of The Total Environment**, Amsterdam, v. 428, p.41-49, 2012.

LUOA, M.; CAO, B.; ZHOU, X.; LI, M.; ZHANG, J.; OUYANG, Q.; ZHU, Y. Can personal control influence human thermal comfort? A field study in residential buildings in China in winter. **Energy And Buildings**, v. 72, p.411-418, dez. 2013.

MALAMA, E.; BOLLWEIN, H.; TAITZOGLU, I. A.; THEODOSIOU, T.; BOSCO, C. M.; KIOSSIS, E. Chromatin integrity of ram spermatozoa. Relationships to annual fluctuations of scrotal surface temperature and temperature-humidity index. **Theriogenology**, Philadelphia, p.533-541, 2013.

MANNO, M. C.; OLIVEIRA, R. F. M.; DONZELE, J. L.; FERREIRA, A. S.; OLIVEIRA, W. P.; LIMA, K. R. S.; VAZ, R. G. M. V. Efeito da Temperatura Ambiente sobre o Desempenho de Suínos dos 15 aos 30 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 6, p.1963-1970, 2005.

MEDEIROS, C. M.; BAÊTA, F. C.; OLIVEIRA, R. F. M.; TINÔCO, I. F. F.; ALBINO, L. F. T.; CECON, P. R. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 4, p.277-286, dez. 2005.

MELLADO, M.; ROMERO, P.; GARCÍA, J. E.; VÉLIZ, F. G.; ARÉVALO, J. R. The effects of ambient temperature and humidity on pregnancy rate in Beefmaster cows in a subtropical environment of Mexico. **Livestock Science**, v. 131, p.149-154, mar. 2010.

MENEGALI, I.; BAÊTA, F. C.; TINÔCO, I. F. F.; CORDEIRO, M. B.; GUIMARÃES, M. C. C. Desempenho produtivo de frangos de corte em diferentes sistemas de instalações semiclimatizadas no sul do Brasil. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 18, n. 6, p.461-471, dez. 2010.

MKLAB. **StarUML**. Disponível em: <<http://staruml.io/>>. Acesso em: 28 out. 2015.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 15: ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2014. 82 p.

MINITAB. Minitab statistical software. Disponível em: <<http://www.minitab.com>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

MOURA, D. J.; *Ambiência na avicultura de corte*. In: SILVA, I. J. O. *Ambiência na produção de aves em clima tropical*. Piracicaba: FUNEP, 2001. p. 75-149.

NAVARIN, F. C.; KLOSOWSKI, E. S.; CAMPOS, A. T.; TEIXEIRA, R. A.; ALMEIDA, C. P. Conforto térmico de bovinos da raça Nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p.508-517, dez. 2009.

NEMATCHOUA, M. K.; TCHINDA, R.; OROSA, J. A. Thermal comfort and energy consumption in modern versus traditional buildings in Cameroon: A questionnaire-based statistical study. **Applied Energy**, v. 114, p.687-699, 12 nov. 2013.

NRC. 1971. A Guide to Environmental Research on Animals. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.

OLGYAY, V. (1973). Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton, NJ: Princeton University Press.

OLIVEIRA, R. F. M.; DONZELE, J. L.; ABREU, M. L. T.; FERREIRA, R. A.; VAZ, R. G. M. V.; CELLA, P. S. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 3, p.797-803, 2006.

OLVAPP. **Aplicativo Orvalho**. 2016. Disponível em: <play.google.com/store/apps/details?id=com.orvalho>. Acesso em: 17 maio 2016.

ONO, H.S.P.; KAWAMURA, T. Sensible climates in monsoon Asia. **International Journal of Biometeorol**, Ibaraki, v. 35, p.39-47, jan. 1991.

ORACLE. **Java**. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technetwork/java/index.html>>. Acesso em: 13 jun. 2014.

ORIGIN LAB. **Origin**. Disponível em: <<http://www.originlab.com/index.aspx?go=PRODUCTS/Origin>>. Acesso em: 18 maio 2016.

PANAGAKIS, P. Black-globe temperature effect on short-term heat stress of dairy ewes housed under hot weather conditions. **Small Ruminant Research**, Amsterdam, v. 100, p.96-99, 2011.

PANDIARAJ, M.; BENJAMIN, A. R.; MADASAMY, T.; VAIRAMANI, K.; ARYA, A.; SETHY, N. K.; BHARGAVA, K.; KARUNAKARAN, C. A cost-effective volume miniaturized and microcontroller based cytochrome c assay. **Sensors And Actuators A: Physical**, Amsterdam, v. 220, p.290-297, dez. 2014. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.sna.2014.10.018.

PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; PIEDADE, S. M. S. Conforto térmico para matrizes suínas em fase de gestão, alojadas em baias individuais e coletivas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p.326-332, 2008.

PASSINI, R.; FERREIRA, F. A.; BORGATTI, L. M. O.; TERÊNCIO, P. H.; SOUZA, R. T. Y. B.; RODRIGUES, P. H. M. Estresse térmico sobre a seleção da dieta por bovinos. **Acta Scientiarum: Animal Science**, Maringá, v. 31, n. 3, p.303-309, 2009.

PROCESSING. **About**. 2016. Disponível em: <<https://processing.org>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

RENATO, A. S. **Programando microcontroladores PIC: Linguagem “C”**. 2. ed. São Paulo: Ensino Profissional, 2006. 181 p.

ROLLER, W.L.; GOLDMANN, R.F. Response of swine to acute heat exposure. **Transactions of the ASAE**, 12 (2), 164-169, 1969.

RUPP, R. F.; VÁSQUEZ, N. G.; LAMBERTS, R. A review of human thermal comfort in the built environment. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 105, p.178-205, out. 2015.

SAFARI. **Arduino Technical Details**. 2016. Disponível em: <<https://www.safaribooksonline.com/library/view/arduino-in-a/9781491934319/ch04.html>> Acesso em: 18 abril. 2016.

SAKOI, T.; MOCHIDA, T. Concept of the equivalent wet bulb globe temperature index for indicating safe thermal occupational environments. **Building and Environment**, Oxford, v. 67, p.167-178, 2013.

SAMPAIO, C. A. P.; CRISTANI, J.; DUBIELA, J. A.; BOFF, C. E.; OLIVEIRA, M. A. Avaliação do ambiente térmico em instalação para crescimento e terminação de suínos utilizando os índices de conforto térmico nas condições tropicais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p.785-790, jun. 2004.

SANCHES, J. F.; KIEFER, C.; MOURA, M. S.; SILVA, C. M.; LUZ, M. F.; CARRIJO, A. S. Níveis de ractopamina para suínos machos castrados em terminação e mantidos sob conforto térmico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 2, p.403-408, fev. 2010.

SANTOS, F. C. B.; SOUZA, B. B.; ALFARO, C. E. P.; CÉZAR, M. F.; PIMENTA FILHO, E. C.; ACOSTA, A. A. A.; SANTOS, J. R. S. Adaptabilidade de caprinos exóticos e naturalizados ao clima semi-árido do nordeste brasileiro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p.142-149, fev. 2005.

SANTOS, P. A.; YANAGI JUNIOR, T. Y.; TEIXEIRA, V. H.; FERREIRA, L. Ambiente térmico no interior de modelos de galpões avícolas em escala reduzida com ventilação natural e artificial dos telhados. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p.575-584, dez. 2005.

SANTOS, R. C.; TINÔCO, I. F. F.; PAULO, M. O.; CORDEIRO, M. B.; SILVA, J. N. Análise de coberturas com telhas de barro e alumínio, utilizadas em instalações animais para duas distintas alturas de pé-direito. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, vol.6, n.1, pp. 142-146, 2002.

SARUBBI, J.; ROSSI, L. A.; MOURA, D. J.; OLIVEIRA, R. A.; MAIA, A. P. A. Nocturnal thermal comfort in facilities for growing swines. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 6, p.1034-1040, 2012.

SCHÜLLER, L. K.; BURFEIND, O.; HEUWIESER, W. Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature–humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. **Theriogenology**, v. 81, p.1050-1057, jan. 2014.

SIERRA, K.; BATES, B. **Head First Java**. 2. ed.: O'Reilly Media, 2005. 720 p.

SILVA, G. A.; SOUZA, B. B.; ALFARO, C. E. P.; SILVA, E. M. N.; AZEVEDO, S. A.; AZEVEDO NETO, J.; SILVA, R. M. N. Efeito da época do ano e período do dia sobre os parâmetros fisiológicos de reprodutores caprinos no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p.903-909, 2006.

SILVA, I. J. O.; PANDORFI, H.; PIEDADE, S. M. S. Influência do sistema de alojamento no comportamento e bem-estar de matrizes suínas em gestação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 7, p.1319-1329, 2008.

SILVA, I. J. O.; PANDORFI, H.; PIEDADE, S. M. S. Uso da zootecnia de precisão na avaliação do comportamento de leitões lactentes submetidos a diferentes sistemas de aquecimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 1, p.220-229, 2005.

SILVA, R. G.; MORAIS, D. A. E. F.; GUILHERMINO, M. M. Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 4, p.1192-1198, 2007.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; SÁ, I. I. S.; ZOLNIER, S.; TURCO, S. H. N.; SOUZA, L. S. B. Cenários de mudanças climáticas e seus impactos na produção leiteira em estados nordestinos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 8, p.863-870, 2010.

SOEBARTO, V.; BENNETTS, H. Thermal comfort and occupant responses during summer in a low to middle income housing development in South Australia. **Building and Environment**, Oxford, v. 75, n. 1, p.19-29, jan. 2014.

SOUSA, F. A. ANÁLISE DE FATORES AMBIENTAIS NA CRIAÇÃO DE SUÍNOS EM CAMAS SOBREPOSTAS E PRODUÇÃO DE BIOGÁS. 2014. 125 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SOUZA, C. F.; TINÔCO, I. F. F.; BAÊTA, F. C.; FERREIRA, W. P. M.; SILVA, R. S. Avaliação de materiais alternativos para confecção do termômetro de globo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 1, p.157-164, fev. 2002.

SOUZA, S. R. L.; NAAS, I. A.; MARCHETO, F. G.; SALGADO, D. D. Análise das condições ambientais em sistemas de alojamento 'freestall' para bovinos de leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.2/3, p.299-303, 2004

SOMMERVILLE, I. **Software Engineering**. 9. ed. Boston: Pearson Education Inc, 2011.

TAO, T.; XIN, H. Acute synergistic effects of air temperature, humidity, and velocity on homeostasis of market-size broilers. **Transactions of the ASAE**, 46(2)491, 497, 2003.

TEWARI, V. K. KUMAR, A. A.; NARE, B.; PRAKASH, S.; TYAGI, A. Microcontroller based roller contact type herbicide applicator for weed control under row crops. **Computers And Electronics In Agriculture**, Amsterdam, v. 104, p.40-45, jun. 2014. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.compag.2014.03.005.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v.12, p.57- 59, 1959.

TONSIG, S. L. **Engenharia de Software: Análise e Projeto de Sistemas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2008.

VIEIRA, S. **Análise de variância: Anova**. São Paulo: Atlas, 2006. 204 p.

VITALI, A.; SEGHALINI, M.; BERTOCCHINI, L.; BERNABUCCINI, U.; NARDONE, A.; LACETERA, N. Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows. **Journal Dairy Science**. v.92, p. 3781-3790, 2009. DOI10.3618/jds.2209-2127.

WANG, B.; QI, Z.; MA, R.; GUAN, H.; VASILAKOS, A. V. A survey on data center networking for cloud computing. **Computer Networks**, Amsterdam, v. 91, p.528-547, nov. 2015. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.comnet.2015.08.040.

WEISER, M. The computer for the 21st century, **Scientific American**, vol 265, no 3, pp 94-104, 1991.

WIRING. **About**. 2016. Disponível em: <<http://wiring.org.co>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

WYRWOŁ, B.; HRYNKIEWICZ, E. Implementation of the FITA Fuzzy Inference System on the specific microcontroller platform. **Ifac-papersonline**, Laxenburg, v. 48, n. 4, p.165-169, 2015. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.07.026.