

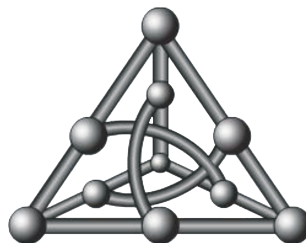
Dissertação de Mestrado

Sistema para Aquisição e Processamento
de Temperatura Cutânea em Bovinos e
Variáveis Ambientais

Cleison Marin

Orientação: Prof. Dr. Ricardo Ribeiro dos Santos
Co-orientação: Dra. Fabiana Villa Alves

Área de Concentração: Tecnologias Computacionais para Agricultura e Pecuária



Faculdade de Computação
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
19 de setembro de 2016.

Sistema para Aquisição e Processamento de Temperatura Cutânea em Bovinos e Variáveis Ambientais

Campo Grande, 19 de setembro de 2016.

Banca Examinadora:

- Prof. Dr. Ricardo Ribeiro dos Santos (FACOM/UFMS) - orientador
- Dra. Fabiana Villa Alves (EMBRAPA-GADO DE CORTE)
- Prof. Dr. Evandro Mazina Martins (FAENG/UFMS)
- Prof. Dr. Luciano Gonda (FACOM/UFMS) - suplente

Agradecimentos

Agradeço a Deus por todas as bênçãos, por todas as oportunidades e pelas vitórias concedidas.

À minha mãe Nilva e meu pai Antônio, por todo o seu sacrifício na criação de três filhos, orientando e demonstrando o valor de uma vida com moral e trabalho. Também agradeço aos meus irmãos Cleber e Diego, que contribuíram à sua maneira.

À minha esposa Angela, amiga e companheira, presente de Deus na minha vida, que me apoiou e incentivou desde minha primeira demonstração de interesse por este projeto. Aos nossos filhos Samuel, Giovanni e Julia que, embora pequeninos, abriram mão de várias noites de companhia do pai para que eu pudesse realizar esse sonho. Foram e sempre serão minha maior fonte de motivação para toda a luta, para todo o sorriso, para toda abnegação e para cada amanhecer.

Aos meus sogros Aduino e Maria, que nas minhas ausências sempre estiveram disponíveis para acompanhar e dar suporte a minha família, transmitindo todo carinho e atenção sem medidas.

Ao professor Dr. Ricardo Ribeiro dos Santos pela dedicação, profissionalismo, respeito, conselhos, entusiasmo em realizar um ótimo trabalho, e principalmente pela paciência com as minhas limitações.

À pesquisadora Dra. Fabiana Villa Alves e ao professor Dr. Evandro Mazina Martins pelos ensinamentos, motivação e sugestões para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas do LSCAD, principalmente os membros do time do projeto, Patrik, Felipe, João Paulo, Emílio, Leonardo, Rafael, Luiz Henrique dentre outros.

Aos queridos amigos Fábio e Lucas, que fizeram da kitnet em Campo Grande uma extensão de minha casa, nunca deixando faltar companheirismo, ânimo e incentivos. Aos momentos difíceis, e principalmente, aos momentos de riso e descontração proporcionados por essa maravilhosa amizade. Aos amigos Jean, Angelo, Patrik e Thiago, que fizeram parte desta jornada sempre com muita dedicação e bom humor.

Aos meus chefes e colegas na COIN/UFGD, pela compreensão e suporte durante a realização deste trabalho. Em especial aos amigos Renato Moreira, Rafael Fontes, Rafael Silva, Rafael Risalte, Leandro Steffen, Guilherme Albuquerque, Herciney Monaco, Emerson Peres e João Paulo Silva pela constante motivação, churrascos e *happy hours* para descontrair e socializar.

Aos professores da FACOM pelos conhecimentos transmitidos.

À UFMS pela qualidade na educação prestada à sociedade.

À Embrapa Gado de Corte por todo o apoio e suporte, principalmente pelos profissionais qualificados que contribuíram de forma significativa nos trabalhos. Agradeço pela oportunidade da realização deste trabalho em parceria com uma Instituição tão séria e respeitada.

Aos proprietários da Fazenda Cachoeirinha e também aos seus funcionários por toda ajuda, boa vontade e disponibilização dos animais para a realização dos experimentos.

A todos os amigos e pessoas que me ajudaram e colaboraram na construção deste trabalho.

Resumo

O desconforto térmico é um dos fatores mais impactantes na obtenção de bons resultados na produção de bovinos de corte. O monitoramento de variáveis como temperatura corporal, temperatura e umidade do ar, luminosidade e radiação UV mostra-se de suma importância para estimar o conforto térmico do animal, as condições do ambiente e assim identificar situações de estresse térmico. O objetivo deste trabalho é automatizar a aquisição de dados ambientais e fisiológicos para a identificação de estresse e desconforto térmico em bovinos. Para tanto, um sistema eletrônico foi desenvolvido para capturar e processar, em tempo real, variáveis fisiológicas e ambientais. Tal sistema permite indicar a adaptabilidade e comportamento de bovinos de corte sob diversas condições climáticas. O sistema desenvolvido neste trabalho consiste em uma plataforma eletrônica integrada com sensores de temperatura cutânea e sensores ambientais (temperatura e luminosidade do ambiente, umidade relativa do ar e radiação UV) e algoritmos para aquisição dos dados dos sensores, processamento, armazenamento e transferência de dados. Ressalta-se também o projeto e desenvolvimento de algoritmo *fuzzy* para estimativa de sombreamento (sol, sombra, nublado), a partir dos dados dos sensores ambientais. O sistema implementado foi validado e avaliado a partir de experimentos realizados com o uso de equipamentos comerciais específicos para aquisição de dados ambientais. Considerando o processamento de variáveis ambientais, dois experimentos foram realizados. O primeiro experimento utilizou um equipamento comercial para adquirir dados ambientais e, posteriormente, esses dados foram repassados para o sistema aqui proposto para identificação de níveis de sombreamento. Um segundo experimento utilizou exclusivamente o sistema proposto neste trabalho. Adicionalmente, um outro experimento também foi realizado com 4 animais visando adquirir e informar, em tempo real, a temperatura cutânea a partir da plataforma de hardware projetada. Os resultados obtidos permitem demonstrar a funcionalidade do sistema sobre a obtenção dos dados dos sensores assim como as estimativas de sombreamento obtidas pelo algoritmo projetado.

Abstract

Thermal discomfort is one of the key factors that impact on the improvement of beef cattle production. Body temperature, air temperature and humidity, luminosity and Ultra Violet (UV) are some variables used to estimate the animal thermal comfort and the environment conditions thus helping to identify possible thermal stresses situations. The goal of this work is to automatize the acquisition of physiological and environmental variables to identify cattle thermal stress. The automation has been performed by the design, development, and prototyping of a computational/electronic system to acquire and process, at real time, physiological and environmental variables from cattle. The usage of the system indicates the cattle adaptability and behaviour under different climate conditions. The proposed system consists in an electronic platform with a set of sensors responsible for acquiring body temperature, environment temperature, luminosity, UV radiation, environment humidity, and algorithms responsible for controlling such sensors, data processing, storage, and communication. The environmental data are processed by a fuzzy algorithm designed to estimate shadow levels (sunny, natural shadow - trees, cloudy) in the cattle environment. We have carried out a set of experiments to validate and evaluate our system. Experiments on the shadow levels estimates have been performed onto 2 sets of data. The first one has collected environmental data using a commercial equipment along 8 consecutive hours in a day. Those data are converted and passed to our algorithm to estimate shadow levels. The second one has been performed using our own electronic system to acquire the environment data and identifying the shadow levels. Experiments considering the cattle body temperature have also been performed on 4 animals where we have observed the body temperature increase along a short period of time. The results on those experiments show the designed system is able to automatically acquire and process physiological and environmental data from a set of sensors.

Sumário

Lista de Figuras	8
Lista de Tabelas	11
1 Introdução	13
2 Soluções Tecnológicas para o Monitoramento do Bem-Estar e Conforto Térmico em Bovinos	16
2.1 Considerações Iniciais	16
2.2 Pílula Ingerível Bólus	17
2.3 Termografia por Infravermelho	20
2.4 Discussão e Análise dos Trabalhos Relacionados	24
2.5 Considerações Finais	26
3 Sensores para Aquisição de Temperatura Cutânea em Bovinos e Variáveis Ambientais	27
3.1 Considerações Iniciais	27
3.2 Conceitos e Fundamentos: Termistores	27
3.2.1 Sensor DS1921H Thermochron	31
3.2.2 Sensor DHT22	35
3.3 Conceitos e Fundamentos: Resistores Dependentes de Luz	37
3.4 Conceitos e Fundamentos: Sensor de Raios Ultravioleta	38
3.5 Considerações Finais	40
4 Sistema para Classificação Automática de Sombreamento	42
4.1 Índices de Estresse Térmico	42
4.2 Algoritmo para Identificação Automática de Sombreamento	45

4.3	Sistema Eletrônico para Aquisição de Temperatura Corporal e Luminosidade do Ambiente	51
4.4	Considerações Finais	57
5	Experimentos e Resultados	61
5.1	Experimentos com Sensores do Ambiente	61
5.2	Experimentos com Sensor de Temperatura Cutânea	65
5.3	Considerações Finais	66
6	Conclusões e Trabalhos Futuros	68
6.1	Contribuições	69
6.2	Dificuldades Encontradas	69
6.3	Trabalhos Futuros	70
	Referências Bibliográficas	71

Lista de Figuras

2.1	Hardware do atual protótipo do sistema de monitoramento [16].	17
2.2	Diagrama de bloco funcional para o hardware/software que constitui o bolus ingerido (pílula) [17].	18
2.3	Hardware que incorpora o bolus e os circuitos de detecção dos sinais fisiológicos [17].	19
2.4	Visão geral do protótipo. a) Cinta Polar colocada na circunferência abdominal e o hardware (placa com o microcontrolador, sensores e bateria) fixada no pescoço do animal. b) Hardware fixado na placa de circuito impresso. c) Hardware alojado dentro de uma pequena caixa de plástico. d) Suporte adaptado para armazenar o protótipo e ao mesmo tempo prender no pescoço do animal [18].	20
2.5	Termografia Infravermelho da região ocular do animal, demonstrando a evolução da temperatura [20].	22
2.6	Termografia Infravermelho da face do bezerro, demonstrando a evolução da temperatura [21].	23
3.1	Termistores PTC e NTC.	28
3.2	Faixas de temperaturas de termistores PTC e NTC.	29
3.3	Ponte de Wheatstone.	29
3.4	Circuito de condicionamento de sinal.	29
3.5	Sensor de temperatura LM35.	30
3.6	Ibutton Thermochron DS1921H [32].	31
3.7	Arquitetura do iButton DS1921H.	32
3.8	Estrutura do protocolo 1Wire [32].	34
3.9	Vida útil da bateria do DS1921H [32].	35
3.10	Sensor DHT22.	36
3.11	Interior do Sensor DHT22.	37

3.12	Funcionamento do LDR.	37
3.13	Esquema elétrico do LDR.	38
3.14	Sensor Ultravioleta UVM-30A [35].	39
3.15	Índices de radiação UV [35]	40
3.16	Curva de tensão elétrica do sensor UVM-30A [35]	40
4.1	Modelo de diagrama Fuzzy para o algoritmo de classificação automática de sombreamento.	46
4.2	Entrada da variável Luz.	48
4.3	Entrada da variável UV.	49
4.4	Entrada da variável Temperatura Ambiente.	49
4.5	Entrada da variável Umidade Relativa do Ar.	50
4.6	Saída de dados com o estado de sombreamento definido pelo processamento das regras.	51
4.7	Esboço do sistema de hardware/software.	52
4.8	Fluxograma para aquisição dos sinais ambientais do bovino.	52
4.9	Esquema eletrônico da plataforma.	54
4.10	Protótipo do circuito eletrônico para aquisição e condicionamento dos sinais de luminosidade, radiação UV, temperatura ambiente e umidade relativa do ar.	55
4.11	Plataforma eletrônica com captura de sombreamento em local com sombra de árvore nativa.	55
4.12	Plataforma eletrônica com captura de sombreamento em local nublado.	56
4.13	Plataforma eletrônica com captura de sombreamento com sensor UV.	56
4.14	Plataforma eletrônica com captura de sombreamento com todos os sensores ambientais acoplados.	57
4.15	Face inferior da placa de circuito impresso da plataforma eletrônica com cartão μ SD e dispositivo RTC para registro dos dados dos sensores.	58
4.16	Face superior da placa de circuito impresso da plataforma eletrônica com acoplamento para todos os sensores ambientais (<i>bornes</i> azul e verde) e bateria 9V.	59
4.17	Arquivo de dados contendo variáveis adquiridas pelo sistema.	59
5.1	Valores para UV, Temperatura e Umidade do ar.	63
5.2	Valores para luz incidente sobre o sensor LDR.	64
5.3	Dados de temperatura de 4 animais.	66

5.4	Captura de temperatura de animais em curral.	66
-----	--	----

Lista de Tabelas

2.1	Principais características dos trabalhos apresentados	25
4.1	Tabela de valores Fuzzy entre 0 e 1.	45
5.1	Dados fornecidos pela Embrapa Gado de Corte.	62
5.2	Resultado do algoritmo de sombreamento a partir da conversão da radiação global para UV.	62
5.3	Dados experimentais coletados com a plataforma eletrônica na Embrapa Gado de Corte.	65

Capítulo 1

Introdução

O amplo e consolidado mercado global de produção animal exige produtos confiáveis, uniformes e de baixo custo [1]. No entanto, o gerenciamento das melhores práticas e procedimentos nem sempre são implementados nas fazendas de criação desses animais, mais especificamente os bovinos, para assegurar que essas exigências de mercado sejam sempre satisfeitas. Melhorias são necessárias na forma de gestão da exploração pecuária, assim como sistemas de produção de gado controlados eletronicamente para garantir a qualidade da informações disponíveis.

Novas tecnologias introduzidas em fazendas como parte do sistema *Precision Livestock Farming* (PLF), ou simplesmente pecuária de precisão, terão a capacidade de oferecer os melhores métodos de gestão pecuária [1]. Segundo C. Wathes [2], PLF é uma tecnologia embrionária que aplica os princípios da engenharia de processos para a criação de gado. A adoção de PLF assegura que o conhecimento existente e o conhecimento que está sendo produzido sobre a criação de bovinos seja aplicado com eficácia nas fazendas para melhorar o retorno dos investimentos aos produtores de gado, a qualidade dos produtos, o bem-estar dos animais e a sustentabilidade do meio ambiente. Tecnologias PLF abrangem métodos para mensurar eletronicamente os componentes críticos do sistema de produção de bovinos, além de possibilitar a captura e interpretação em tempo real das informações e o controle de processos, para garantir a máxima eficiência no uso de recursos e produtividade animal. Esses sistemas de controle e monitoramento em tempo real devem melhorar drasticamente a eficiência da produção pecuária. Contudo, como alguns dos componentes dos sistemas de PLF ainda não estão suficientemente desenvolvidos para serem facilmente implementados, é necessário mais investigação e desenvolvimento.

Para a pecuária de corte, um dos fatores mais enfatizados atualmente é o conforto térmico dos bovinos, preocupação esta muito mais recente que a busca pelo atendimento das necessidades de manejo, sanidade, genética e nutrição [3]. Além de interferir diretamente sobre o comportamento do animal, efeitos indiretos do estresse térmico como o comprometimento da qualidade do alimento e mudanças no regime pluviométrico (menor disponibilidade de água), também podem ser alusivos ao aumento da temperatura.

Alguns mecanismos termorreguladores, como o aumento da taxa respiratória, diminuição da ingestão de alimentos, aumento da ingestão de água, diminuição das atividades nas horas mais quentes do dia e alterações nos gases sanguíneos e eletrólitos do plasma são acionados em

contrapartida a períodos prolongados de calor excessivo, e afetam diretamente a produção animal [4]. Em [5], o autor afirma que temperaturas elevadas reduzem a frequência de alimentação nas horas mais quentes do dia, retardam o início do pico de procura à tarde e aumentam a frequência nas primeiras horas da manhã. Neste sentido, F. D. Glaser [6] afirma que a busca por sombreamento seria um dos recursos de defesa utilizados por bovinos na tentativa de amenizar temperaturas elevadas e alta radiação. De fato, em climas quentes, a procura por sombra é capaz de reduzir a carga de calor radiante em mais de 30% [7].

Visando maximizar a utilização da área disponível e, também, minimizar os efeitos de temperaturas elevadas no bem-estar animal, produtores têm lançado mão dos sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) [8]. Sistemas iLPF consistem na diversificação e integração dos diferentes sistemas produtivos: agrícolas, pecuários e florestais, dentro de uma mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotação, de forma que haja benefícios para todas as atividades. Sistemas iLPF podem proporcionar, dessa forma, sombra para mitigação do desconforto térmico e, conseqüentemente, beneficiando o incremento do bem-estar animal.

O manejo de bovinos em ambientes que consorciavam pasto e sombra já é conhecido e que o desempenho dos animais pode ser favoravelmente alterado se houverem abrigos ou árvores de sombra no pasto. Entretanto, diversos fatores afetam a eficiência da sombra, como a cobertura do solo, exposição ao céu aberto e elevação do sol [9]. Sombra pode ser definida como a ausência de radiação solar direta em uma superfície, que pode ser, por exemplo, o corpo de um animal. Apesar de não afetar a temperatura do ar e não ser considerada uma proteção contra o calor propriamente dito, a sombra é muito importante para a regulação da temperatura corporal dos animais, principalmente em ambientes tropicais.

Hahn [10] reportou um incidente ocorrido em *Chino Valley*, California, 1977, onde mais de 700 vacas leiteiras morreram durante uma intensa onda de calor; ele observou que onde abrigos e sombra eram disponíveis a perda foi de 50% menor e a mortalidade foi de 1/3 somente nos locais que não possuíam abrigos ou sombra. O primeiro artigo sobre o assunto foi provavelmente o de Kelly et al. [11], e desde então, vários estudos demonstram a eficiência da sombra para o aumento de produtividade das vacas européias em ambientes quentes. Roman-Ponce et al. [12] observou um aumento de 10,7% na produção de leite de vacas Holstein e Jersey com acesso à sombra. McDaniel e Roark [13] verificaram que na Louisiana os criadores que utilizaram sombra no pasto durante o verão obtiveram maior ganho de peso em novilhos Angus e Hereford. Um experimento realizado por McIlvain e Shoop [14] demonstrou que novilhos da raça Hereford com acesso a sombra ganharam 8,6 Kg a mais que os que não tiveram. Por outro lado, Baccari et al. [15] observaram 28 vacas leiteiras durante o verão em Botucatu, SP, Brasil, e não encontraram diferenças significativas entre animais sob sombra e expostos ao sol. Ressalta-se que esses animais eram cruzados com Zebu, raça com boa tolerância ao sol.

Diante deste cenário, este trabalho tem por objetivo principal automatizar a aquisição de dados para auxiliar o processo de identificação do estresse térmico em bovinos. Para tanto, uma solução integrada de hardware e software, não-invasiva, foi projetada e implementada para a obtenção de variáveis fisiológicas e ambientais visando o monitoramento do conforto térmico e análise dos dados do ambiente do animal. O monitoramento do conforto térmico utiliza-se de sensores de temperatura em contato com a pele do animal. A aquisição e análise dos dados ambientais é realizada pelos sensores de temperatura e luminosidade do

ambiente, umidade relativa do ar e radiação Ultra-Violeta (UV) conectados diretamente em uma plataforma eletrônica. Essa plataforma eletrônica é responsável por obter, organizar, processar os sinais e enviá-los para um equipamento servidor. Esse equipamento servidor por sua vez tem a função de manter o histórico dos dados obtidos e correlacionar esses dados (variáveis) a fim de oferecer respostas mais completas sobre o bem-estar e comportamento do animal.

Com um sistema capaz de adquirir, processar, armazenar e analisar esses dados, tem-se a possibilidade de denotar adaptabilidade dos animais submetidos em diferentes condições climáticas e, como consequência, indicar o conforto térmico desses animais. Isso é realizado pelo sistema tanto pelo acompanhamento das variações da temperatura cutânea em face das mudanças das variáveis do ambiente como também pela indicação da busca por sombra por parte do animal. Essa última análise é alcançada pela utilização de um algoritmo, projetado e desenvolvido neste trabalho, para identificação do nível de sombreamento (sol, sombra natural, nublado) utilizado pelo animal ao longo do período de monitoramento.

Diante do exposto, o texto desta dissertação, está organizado da seguinte forma:

- No Capítulo 2 é apresentada uma revisão da literatura sobre propostas de dispositivos e equipamentos tecnológicos para aquisição de sinais fisiológicos de animais como temperatura, frequência cardíaca, frequência respiratória, entre outros;
- Uma descrição sobre sensores para mensuração de temperatura cutânea e variáveis ambientais como temperatura, luminosidade, radiação UV e umidade do ambiente é apresentada no Capítulo 3;
- O Capítulo 4 apresenta o sistema projetado e implementado neste trabalho para aquisição de temperatura cutânea em bovinos e aquisição de variáveis ambientais. Além disso, apresenta-se também o algoritmo *fuzzy* para estimativa de sombreamento utilizado pelo animal;
- Os experimentos realizados com os sensores, assim como a apresentação e discussão dos resultados podem ser obtidos no Capítulo 5;
- Por fim, as conclusões do trabalho, dificuldades encontradas ao longo do projeto e desenvolvimento e propostas de trabalhos futuros são apresentados no Capítulo 6.

Capítulo 2

Soluções Tecnológicas para o Monitoramento do Bem-Estar e Conforto Térmico em Bovinos

Este capítulo apresenta trabalhos encontrados na literatura da área que propõem a utilização de tecnologias de hardware, software e de comunicação visando a aquisição e monitoramento de variáveis fisiológicas e ambientais para determinação de análises e conforto dos animais. As seções 2.2 e 2.3 apresentam soluções tecnológicas para aquisição de diversas variáveis ambientais com destaque para a temperatura corporal, temperatura e umidade do ambiente. Na seção 2.4, os trabalhos apresentados são discutidos e comparados em um espectro mais geral visando a identificação das principais variáveis fisiológicas analisadas e tecnologias empregadas.

2.1 Considerações Iniciais

Há uma variedade de propostas envolvendo soluções tecnológicas voltadas para a automação da aquisição de sinais fisiológicos e do ambiente na criação de bovinos. Há também uma variedade de questões de manejo e validade de resultados que tais soluções precisam lidar para serem realmente utilizáveis comercialmente. Tais questões são complexas e exigem a adoção de tecnologias avançadas tanto em nível de sensores e componentes eletrônicos quanto em nível de softwares para aquisição e tratamento dos dados.

A disponibilidade e o baixo custo para aquisição de componentes eletrônicos têm possibilitado que soluções tecnológicas contemplem vários sensores e, como consequência, a aquisição de diversas variáveis fisiológicas e ambientais. Em específico, diversas propostas de aquisição de temperaturas são baseadas na utilização da pílula bolus, que deve ser ingerida pelo animal, ou de técnicas de termografia, em que imagens do animal são adquiridas no espectro infravermelho visando identificar aumento de temperatura corporal.

2.2 Pílula Ingerível Bólus

A proposta apresentada em [16] descreve o desenvolvimento de uma infraestrutura de telemedicina veterinária baseada em tecnologia de monitoramento *wearable* (que pode ser adaptada, vestida). O objetivo dessa infraestrutura é suportar sistemas de monitoramento que avaliam continuamente o estado de saúde do gado em rebanhos concentrados e distribuídos. O protótipo do sistema de monitoramento utiliza a telemetria *Bluetooth* para a transferência dos dados. De acordo com [16], é utilizado o bolus CorTemp e um transceptor, responsável pelo envio e recebimento dos valores de frequência cardíaca e temperatura corporal dos animais. A pílula (bolus) deve ser ingerida pelo animal, e ficará alojada no retículo, sendo responsável pelo envio contínuo das mensurações dos sinais fisiológicos para o transceptor. O transceptor também é compatível com os cintos de eletrodos Polar®. Outros sensores utilizados são os baseados em luz, acelerômetros, dispositivos GPS dentre outros sensores *wearable*. Também foi utilizado um sensor de reflectância de luz conectado a um circuito de oxímetro de pulso para adquirir dados fotopletismográfico vermelho e infravermelho a partir da orelha do bovino. Os valores adquiridos pelo bolus CorTemp foram 70 batimentos por minuto e 38.8°C, respectivamente.

A Figura 2.1 ilustra o módulo sensor que é controlado por um microcontrolador PIC 18F8720 (A), unidade GPS Trimble Lassen SQ (B), dados de reflectância vermelho/infravermelho a partir do oxímetro de pulso (C), a temperatura corporal e frequência cardíaca a partir da unidade CorTemp HQI (D). O fluxo de dados dos sensores serão transmitidos via rede sem fio usando o módulo BrightCom Callisto 2 (E), o computador de mão utilizado é o modelo Compaq iPaq 3870 utilizando Anycom Bluetooth CF-2001 CompactFlash Card. Estes dispositivos se comunicam uns com os outros utilizando o Serial Port Profile no padrão *Bluetooth*.

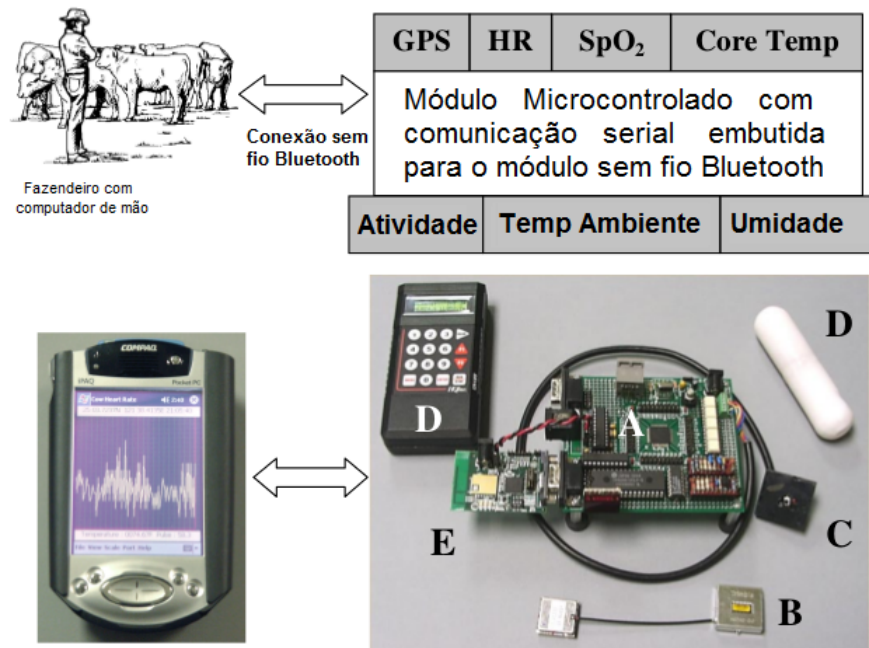


Figura 2.1: Hardware do atual protótipo do sistema de monitoramento [16].

O trabalho [17] aborda a utilização da pílula bolus para a obtenção da frequência cardíaca e da temperatura em bovinos, utilizando sensores inseridos na pílula bolus para captura desses sinais. A Figura 2.2 ilustra um diagrama de bloco funcional do hardware/software utilizado para a aquisição e o processamento dos dados do sensor bolus. As principais características incluem:

- **Aquisição de dados acústicos:** um microfone submersível obtém os dados acústicos, a partir do retículo;
- **Aquisição da temperatura corporal:** um sensor de temperatura superficial obtém uma mensuração calibrada da temperatura corporal;
- **Detector do pico da frequência cardíaca e filtro:** um circuito analógico detecta os pulsos acústicos e tenta filtrar os ruídos indesejados, como artefatos da ruminação;
- **Pré-processamento dos dados:** os dados são convertidos e ordenados antes da transmissão. O conversor analógico/digital do processador principal captura os dados de temperatura, em seguida o processador determina o tempo de *clock* entre os pulsos de frequência cardíaca;
- **Transmissão *wireless*:** os dados são transmitidos sem fio por meio de uma ligação de rádio frequência;
- **Pós-processamento:** algoritmos de nivelamento e de avaliação de parâmetro são aplicados nestes dados.

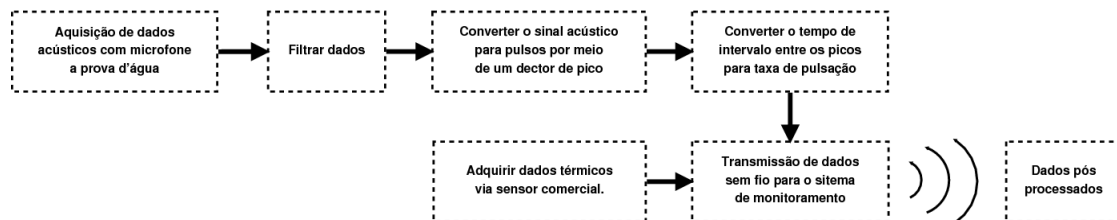


Figura 2.2: Diagrama de bloco funcional para o hardware/software que constitui o bolus ingerido (pílula) [17].

De acordo com os autores do artigo [17], a transmissão de dados dessa tecnologia com um servidor não foi estabelecida de forma confiável na maioria das tentativas, obtendo poucos sucessos, onde um dos principais fatores que levam a complicações, de acordo com os autores, é o fato do transmissor estar no interior do retículo do bovino. Outro fator complicador é o fato da pílula bolus não ficar parada, mas sim movimentando-se no retículo, motivo que um sinal acústico de confiança raramente pode ser obtido. Uma solução apresentada pelos autores é uma nova concepção do bolus, com o mesmo hardware mas com um formato diferente, tornando-a menor. Outra opção apresentada é a utilização de um metrônomo ao lado do microfone, onde o comportamento do hardware coincide com o comportamento das simulações do circuito.

A Figura 2.3 ilustra o hardware que incorpora o bolus e os circuitos de detecção. Na figura estão presentes: os módulos transmissor (A) e receptor (B) da Microchip; a placa de circuito (C) que integra o controle, a aquisição de dados e os circuitos de filtragem; a

embalagem construída para o bolus é mostrado em (D) e (E), onde o tampão (D) contém o microfone submersível, e o invólucro (E) é um corpo oco que protege o circuito de danos causados pela água.

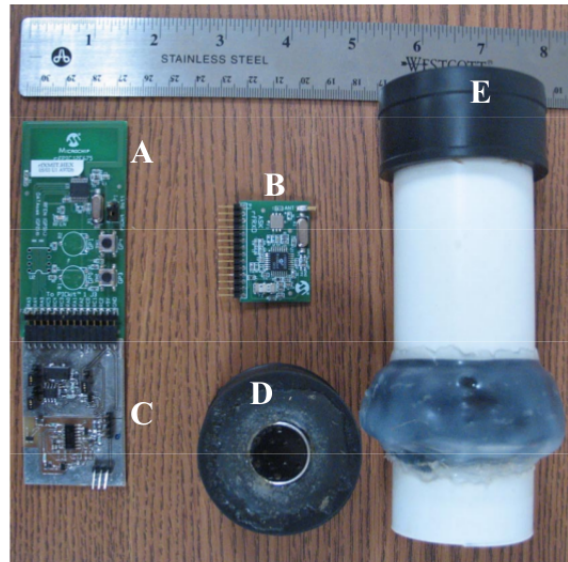


Figura 2.3: Hardware que incorpora o bolus e os circuitos de detecção dos sinais fisiológicos [17].

No trabalho [18] é apresentado o processo de desenvolvimento de um sistema composto por hardware e software capaz de monitorar animais utilizando uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) baseada no protocolo ZigBee 802.15.4. Cada animal utiliza um colar com um nó sensor sem fio responsável por medir a temperatura ambiente, umidade relativa e frequência cardíaca do animal, bem como estimar a sua localização, através de métodos baseados na intensidade do sinal recebido (RSSI - *Received Signal Strength Indicator*). O objetivo do trabalho é servir como ferramenta facilitadora no estudo do efeito de variáveis meteorológicas na qualidade de vida e produção dos animais, bem como na análise de hábitos de pastejo e alterações de comportamento dos animais através do rastreamento da sua localização. Cada animal é equipado com um colar que possui um nó sensor. A partir desse colar é possível mensurar a temperatura ambiente e umidade relativa do ar, a frequência cardíaca e determinar as coordenadas geográficas de cada animal.

A umidade relativa do ar é medida localmente, no ambiente em torno do animal. Para tanto, cada estação móvel utiliza um sensor Honeywell HIH-5031, que pode ser alimentado por uma tensão de 3,3V, possui uma precisão de aproximadamente 3% RH (*Relative Humidity*) e um tempo de resposta típico de 5 segundos. Para medir a temperatura ambiente em torno do animal utiliza-se um sensor de temperatura AD22103. Este sensor é um circuito integrado monolítico que engloba um circuito de condicionamento de sinal. É capaz de medir temperaturas na faixa de 0°C a 100°C, fornece uma saída praticamente linear com uma resolução de 28mV/°C (quando alimentado com 3,3V) e possui um erro máximo de 2,5°C (tipicamente 0,5°C).

Para medir a frequência cardíaca dos animais foi utilizado um sensor da fabricante Polar®. O microcontrolador utilizado nas estações móveis é o modelo PIC 18LF4620. O microcontrolador pode ser considerado o “cérebro” da estação móvel. Ele é responsável

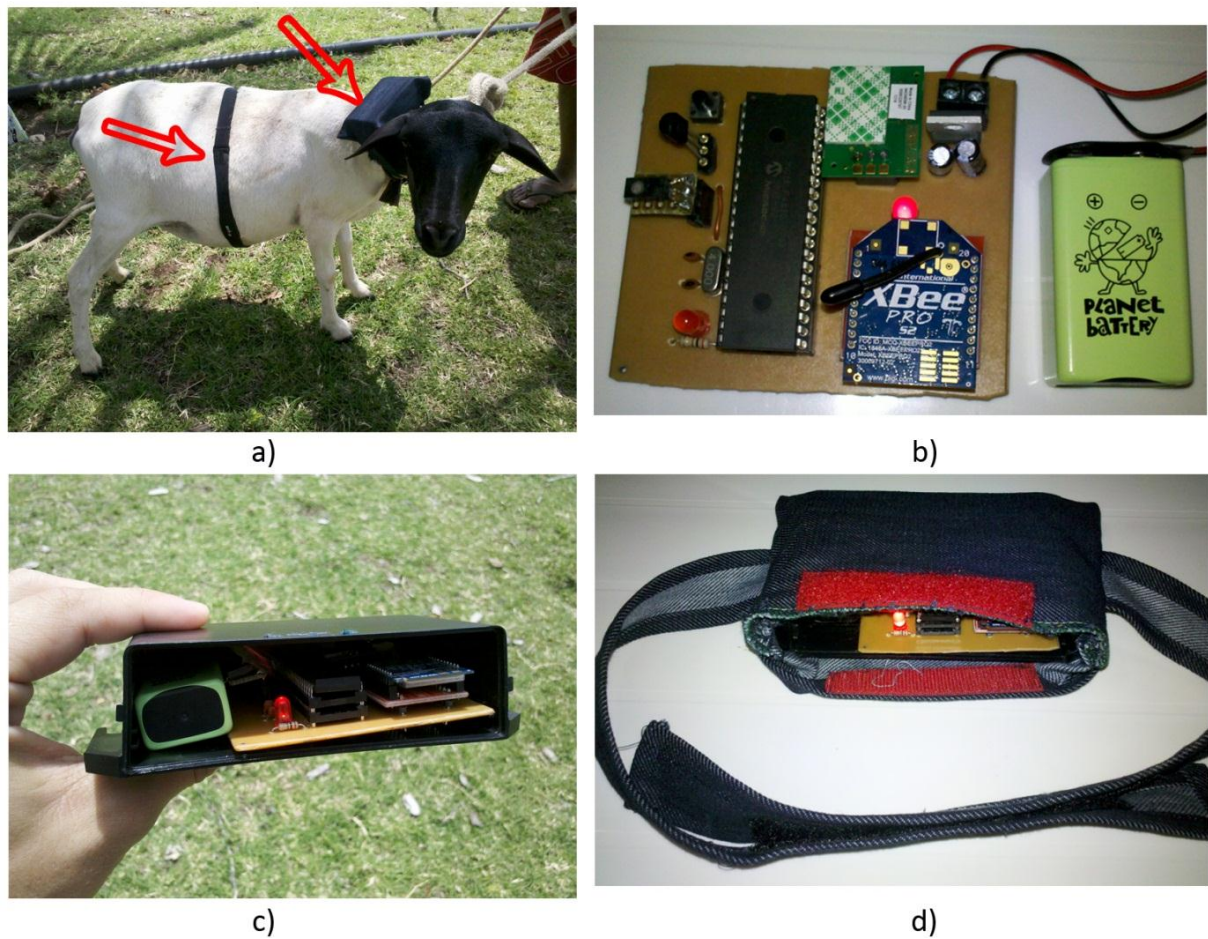


Figura 2.4: Visão geral do protótipo. **a)** Cinta Polar colocada na circunferência abdominal e o hardware (placa com o microcontrolador, sensores e bateria) fixada no pescoço do animal. **b)** Hardware fixado na placa de circuito impresso. **c)** Hardware alojado dentro de uma pequena caixa de plástico. **d)** Suporte adaptado para armazenar o protótipo e ao mesmo tempo prender no pescoço do animal [18].

por realizar duas tarefas: 1) cálculo da localização do nó móvel; 2) leitura dos sensores de temperatura do ar, umidade relativa e frequência cardíaca. O protótipo implementado pode ser visualizado na Figura 2.4.

2.3 Termografia por Infravermelho

A termografia por infravermelho (*Infrared Thermography*) ou *IRT* mede a energia radiante de uma fonte ou superfície, que pode ser usada para calcular a temperatura superficial usando a Lei Stefan-Boltzman. Termogramas detalhados da superfície do corpo são produzidos a partir da *IRT*, permitindo assim ao usuário quantificar as temperaturas reais da superfície e detectar alterações nestas. Segundo o trabalho [19], houveram especulações sobre a aplicação de *IRT* nos domínios da saúde e produção animal. Estas medidas foram utilizadas anteriormente para estudar indicadores de estado fisiológico em áreas aplicadas,

como a saúde, detecção de estro e qualidade da carne, estudando vários distúrbios de saúde em bovinos leiteiros, incluindo mastite.

Imagens do quarto traseiro, incluindo o úbere, foram usadas, e uma área designada por pontos de temperatura a 37°C e acima de 37°C (isotérmica) foi determinada. Este estudo foi capaz de detectar quatro dos seis casos de mastite clínica. No entanto, a detecção de infecções mais sistêmicas, como pneumonia tiveram uma maior taxa de sucesso. Em estudos realizados, a infusão de endotoxina no úbere para induzir uma resposta inflamatória semelhante à mastite causou um aumento mensurável ($+ 2,3^{\circ}\text{C}$) na temperatura do úbere durante 6 horas tal como medido por *IRT*. Este estudo também descobriu que havia uma elevação de temperatura no trimestre contralateral ao trimestre infundido. O uso de *IRT* para a detecção precoce de mastite seria claramente vantajoso. O tratamento imediato impede a sua última progressão e reduziria a necessidade de tratamento repetido e os custos associados.

Numerosos estudos têm mostrado que o gado leiteiro tem uma flutuação circadiana da temperatura corporal. Teoricamente, as flutuações circadianas da temperatura da superfície do úbere também podem ocorrer. Um método de detecção de mastite que se baseia na medida de mudanças na temperatura da superfície do úbere precisaria contar com a variação diária em diversas condições ambientais, ou seja, uma linha de base de referência teria de ser estabelecida. O principal objetivo do autor no artigo [19] foi usar *IRT* para reunir informações de base sobre a magnitude e padrão de variação diária de temperatura do úbere. O objetivo secundário foi determinar a influência da temperatura ambiental e se um modelo preditivo para temperatura da superfície do úbere poderia ser desenvolvido. O principal benefício da utilização da *IRT* é o fato de ser não-invasiva e medições precisas de muitos assuntos podem ser tomadas em rápida sucessão. Inferências podem então ser feitas entre a temperatura da superfície interna e o estado do animal. Muitos tipos de infecção resultam em uma resposta inflamatória e um aumento simultâneo da temperatura da zona afetada. A mastite é uma doença comum no gado leiteiro, números recentes colocam sua incidência entre 20 e 25 por cento de vacas $y-1$. Caracteristicamente, o seu início precoce tem uma resposta inflamatória associada e há um aumento detectável na temperatura da porção afetada do úbere.

Antes da medição inicial da imagem infravermelho, todos os animais foram colocados na posição de pé. Os úberes foram então escovados e lavados, se necessário, com uma quantidade mínima de água morna, para remover qualquer material fecal ou forrageiro. Apenas a área afetada foi lavada, não a totalidade da superfície posterior do úbere. Após a lavagem, o úbere foi completamente seco utilizando toalhas de papel e deixados em repouso durante pelo menos 10 minutos antes de todas as imagens serem capturadas.

A escovagem mecânica do úbere causa arrefecimento momentâneo (<10 seg) devido à remoção da camada de ar quente preso ao pelo. No entanto, a temperatura de superfície rapidamente voltou ao normal. A nota foi tomada no momento da amostragem para identificar quaisquer imagens que pertencem a um úbere anteriormente lavado. Estes foram usados para identificar os valores absurdos no conjunto de dados de imagem analisados. Normalmente, em qualquer amostra diária apenas uma lavagem de úbere foi necessária para todos os 10 animais. Imagens da superfície posterior da esquerda e da direita dos quartos traseiros do úbere foram capturadas diretamente atrás do animal. A superfície posterior foi escolhida em primeiro lugar por facilidade de medição e o fato de a maioria dos casos de mastite ocorrer

nos dois quartos traseiros. A imagem foi tirada a uma distância de 2-2,5 m, assegurando que a imagem do úbere estivesse em toda a área da fotografia.

Imagens foram feitas usando um scanner térmico (FLIR Inframetrics 760) calibrado para temperatura ambiente e condições de absorção meio de um corpo cinza antes de cada sessão de medição. A resolução do equipamento *IRT* foi de $0,01^{\circ}\text{C}$ com uma precisão de 2% ao longo de um determinado intervalo. As imagens foram capturadas com uma gama set de 20°C para aumentar a sensibilidade da câmera. Foi tomado cuidado para assegurar que o intervalo de 20°C fosse incluído na gama de temperaturas acima da superfície do úbere. A saída contínua de 5-10s para cada animal em cada tempo de coleta foi salvo em vídeo digital (Sony DCR-TRV520), a cada segundo, produzindo 30 quadros individuais de gravação.

Os resultados sugerem que um teste para a mastite dependente de *IRT* medindo a temperatura do úbere pode ser viável se somados a um rigoroso e detalhado monitoramento da temperatura ambiente. O estudo foi realizado sob condições térmicas moderadas, durante o verão. É incerto como as temperaturas do úbere vão se comportar sob temperaturas extremas sazonais. Além disso, também são necessárias informações sobre a temperatura do úbere em diferentes estágios de lactação.

Outro trabalho analisado por esta proposta é o de [20], que propõe a utilização de termografia infravermelho para a detecção e tratamento precoce da doença respiratória complexa em bezerras. Ao analisarem as medições infravermelhos de temperatura em torno dos olhos e na face dos animais, foram detectadas variações de até $2,5^{\circ}\text{C}$ em um período de 7 dias, correspondente a incubação da doença. A figura 2.5 trata-se de uma imagem termográfica que demonstra a evolução da temperatura em um animal infectado.

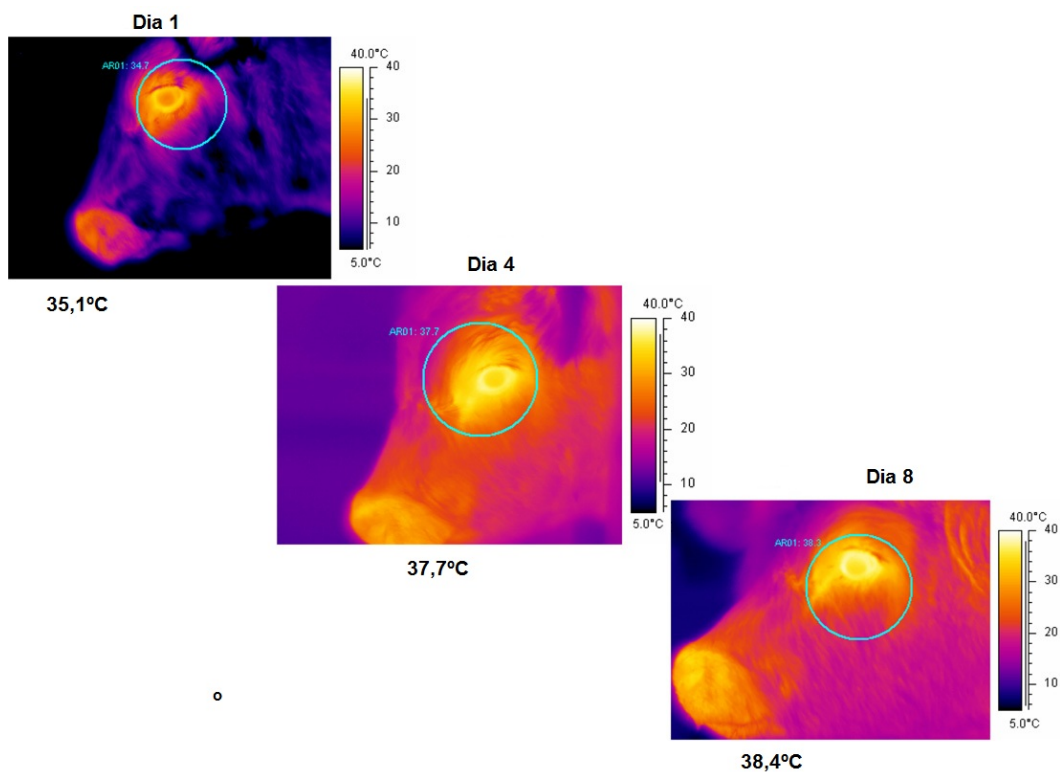


Figura 2.5: Termografia Infravermelho da região ocular do animal, demonstrando a evolução da temperatura [20].

Os animais foram submetidos a captura de imagem termográficas em um ambiente controlado. Foram descarregados em piso limpo, tiveram acesso a água e tiveram um descanso de algumas horas antes do início dos procedimentos. Os procedimentos utilizados foram medições para hematologia, escores clínicos, cortisol da saliva, medições térmicas infravermelhos e do peso corporal. Amostras de sangue para avaliação de hematologia e sorologia foram obtidas por punção venosa da veia jugular. Para este propósito, os animais foram brevemente contidos em uma gaiola hidráulica para manunseio de gado. Novas avaliações foram realizadas em todos os animais em intervalos de aproximadamente uma semana. Os animais foram mantidos com rações de silagem de grãos de cereais, que cumpriram as recomendações do NRC (1984). Qualquer animal considerado doente por avaliação veterinária direta ou sob orientação veterinária tiveram a administração de terapia antimicrobiana e / ou outros tratamentos e apoio até a recuperação. Todos os animais foram vacinados contra agentes comuns da doença respiratória complexa, incluindo clostrídios, diarreia viral bovina e rinite infecciosa bovina no final do estudo.

O aumento na temperatura da região ocular do animal confirmou o diagnóstico clínico nos 9 e 10 dias, apresentando resultados positivos nas análises de sangue e cortisol da saliva.

Um terceiro trabalho relacionado a captura de imagens termográficas infravermelhos foi analisado, e os autores do artigo [21] diagnosticaram a Diarreia Viral Bovina através da análise de tais imagens. A figura 2.6 representa claramente a evolução da doença relacionada ao aumento da temperatura da face do animal.

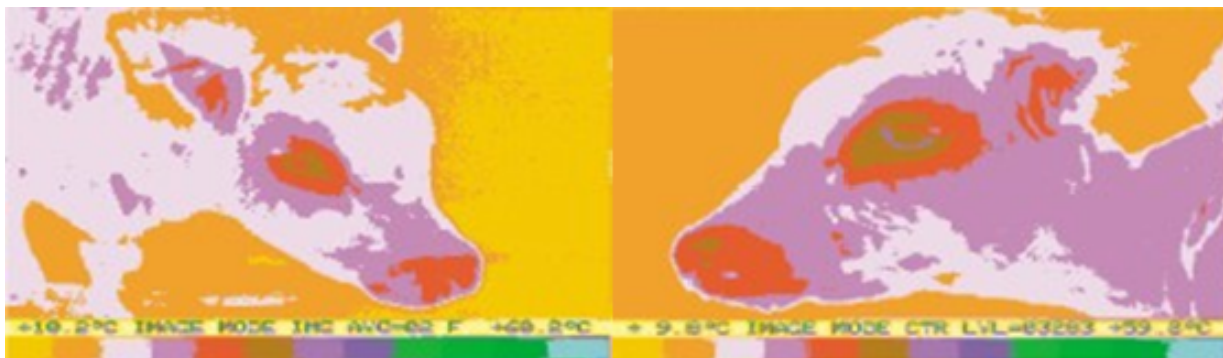


Figura 2.6: Termografia Infravermelho da face do bezerro, demonstrando a evolução da temperatura [21].

Imagens de termografia infravermelho foram capturadas em todos os animais da seguinte forma: Câmeras de mão Inframetrics 760 portáteis (FLIR Inframetrics 760) foram utilizadas para recolher imagens em todos os animais, aproximadamente 1000 imagens diárias. Foram necessárias duas do mesmo modelo, uma para o ambiente não-infectado ou sala de controle limpo e uma para uso no próximo aos animais. Os animais não foram capturados neste momento, mas em vez disso o técnico andava ao redor dos animais até que ele foi capaz de capturar a termografia infravermelho. Além das amostras dos dias pós inoculação (dpi) (0, 3, 7, 10, 14, 17 e 21), a câmera de mão também foi utilizada para captura dorsal, facial, lateral, e imagens distais. O objetivo do estudo foi examinar a capacidade de IRT para detectar a infecção BVDV durante a fase de desenvolvimento precoce da doença. Como ficou evidente através de dados clínicos, os bezerros infectados apresentaram a maior escores clínicos de 11 dpi. Portanto, a TRI e outros dados são apresentados para 0-12 dpi. Para assegurar a

integridade dos dados térmicos, as seguintes condições foram padronizadas no estudo atual: Todos os animais e / ou imagens de animais específicos foram digitalizadas a partir da mesma distância, aproximadamente 1-3 m. Fatores ambientais foram controlados: luz solar externa (animais foram digitalizados ao abrigo); Variação de temperaturas ambientais (temperatura do quarto foi mantida constante); Ausência de exercício (os animais estavam em repouso e não sob a influência de recente exercício); alimentação (os animais foram digitalizados pós-prandial); efeitos do ritmo circadiano (animais foram verificados na mesma hora todos os dias). Além disso, quaisquer detritos estranhos (tais como palha) foram removidos dos animais e as imagens foram recolhidas em superfícies secas.

Ainda utilizando-se de *IRT*, o trabalho [22] trata de uma abordagem inovadora de classificação automatizada de conforto térmico de bovinos de corte, onde propõe-se um classificador baseado em lógica difusa (*Fuzzy*) que integre variáveis fisiológicas e ambientais, gerando como saída o nível de conforto térmico experimentado por esses animais em determinadas condições.

O classificador foi construído da seguinte forma: como entradas, tem-se a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a temperatura cutânea do animal obtida através de *IRT*; como saída, o classificador retorna uma variável com valor estimado da temperatura retal do animal. Para fins de referência, usou-se um termômetro para a aquisição da temperatura retal (TR) do animal.

Um experimento foi realizado para avaliar o classificador com oito animais da raça Nelore com média 18 meses de idade e 380 kg de peso vivo, alocados em baias individuais, cobertas com telhas de fibrocimento e com piso de cimento. Foram capturadas *IRT*'s de vários pontos do corpo do animal, ficando definido como mais adequado a frente, em 8 dias não consecutivos, em 4 horários distintos, e os dados ambientais foram coletados em uma estação meteorológica localizada a 500 metros da instalação dos animais.

Após o processamento dos dados pelo classificador, os resultados foram comparados ao índice tradicional de temperatura e umidade (ITU) que define os níveis de conforto térmico através da relação com a TR do animal. O classificador Fuzzy obteve resposta muito próxima aos níveis de ITU, alcançando 75% de concordância nas classificações, demonstrando eficiência e praticidade, por não ser invasivo e assim facilitar a implantação de um sistema de monitoramento de conforto automatizado.

2.4 Discussão e Análise dos Trabalhos Relacionados

Ao analisar o conjunto de trabalhos, com um maior enfoque em comportamento animal, por meio de tecnologias que monitoram variáveis fisiológicas, nota-se que existe uma preocupação comum na busca por métodos não-invasivos, uma vez que tais métodos propiciam resultados que exprimem a situação real do animal. A Tabela 2.1 resume as principais características dos trabalhos relacionados.

Os trabalhos [1], [24], [21] e [20] tem abordagens comuns no que diz respeito a tecnologias da informação (hardware e software) e comunicação, utilizando sensores para aquisição de variáveis fisiológicas e detecção precoce de doenças. O trabalho [23] apresenta tecnologias baseadas em sensores para detectar temperatura corporal, frequência respiratória, monito-

Trabalhos	Frequência Cardíaca	Temperatura Corporal	Luminosidade	Outras
[1] [23] [24] [21] [20] [18]	X	X		X
[25] [4] [26] [8] [22] [27]				X
[7] [6] [5]	X	X	X	
[28] [19]				X
[16]	X	X	X	X
[17]	X	X		
[3]	X	X		X
[2]		X		

Tabela 2.1: Principais características dos trabalhos apresentados

ramento da segurança do gado e identificação eletrônica. A proposta apresentada em [18] consiste em um sistema baseado em redes de sensores sem fio (RSSF) que captura sinais de temperatura ambiente, umidade relativa do ar, frequência cardíaca e localização geográfica de animais. O trabalho aplica o circuito projetado e desenvolvido em pequenos ruminantes.

Os trabalhos [25], [4], [8] e [27] tratam desde mensuração de bem-estar animal e frequência respiratória até técnicas de alimentação e sustentabilidade animal. O trabalho apresentado em [26] demonstra um sistema de radiotelemetria que permite a transmissão e a gravação simultânea de 24 sinais fisiológicos relacionados com a respiração em animais não sedados, especificamente cordeiros.

Os trabalhos [7], [6] e [5] abordam as vantagens e efeitos diferenciais de comportamento em animais com disponibilidade de sombreamento para o controle do estresse térmico.

Os trabalhos [28] e [19] tratam do bem-estar animal e analisam propostas para a melhoria do mesmo, incluindo análises de doenças do úbere de vacas leiteiras a partir de imagens termográficas.

O projeto apresentado no artigo [16] é definido pelos autores como uma infraestrutura de telemedicina veterinária baseada em sensores. Até a publicação do trabalho, o módulo sensor possuía oxímetro de pulso, sensores para mensurar a temperatura corporal e a frequência cardíaca, além do GPS. Sensores para mensuração da temperatura ambiente e umidade estavam sendo implementados.

O trabalho [17] demonstra tecnologias baseadas em sensores para a obtenção da frequência cardíaca e da temperatura, permitindo adquirir o ritmo cardíaco por meio de um fonocardiógrafo inserido dentro da pílula bolus.

Os trabalho [3] e [2] utilizam-se de métodos de avaliação das condições de microclima e manejo de animais de forma a obter melhores resultados em diferentes abordagens.

Comparando, especificamente, os trabalhos envolvendo termografia infravermelho para detecção de temperatura em animais [19], [21], [20] e [22], nota-se que apesar de demonstrar-se muito válida para a mensuração de temperaturas corporais e ambientais, exige vários critérios para sua aquisição, tais como manejo animal, condicionamento do ambiente, posicionamento do animal e do técnico responsável pela aquisição das imagens. A aquisição das imagens comumente é realizada em locais que os animais estejam em ambiente controlado,

aprisionados ou sedados, rodeados de pessoas, e esses fatores aumentam o estresse e podem distorcer os resultados de estudos de bem-estar animal. A proposta deste trabalho difere dos trabalhos relacionados especificamente no que diz respeito à necessidade interferência humana e intrusão para implantação e utilização de sensores.

Mesmo diante dos reconhecidos ganhos atrativos que as tecnologias da informação (hardware e software) e comunicação podem gerar para a área de pecuária de precisão [1], as propostas existentes na literatura da área com enfoque em tecnologias para análise do comportamento animal em bovinos, são, na grande maioria, específicas (ad-hoc) e sempre baseadas em tecnologias proprietárias. Não há muito enfoque apresentado em ferramentas de software e, em particular, na adoção de tecnologias livres e abertas. Poucos trabalhos apresentam utilizações dos dados coletados além do objetivo direto da identificação do comportamento animal, e nenhum trabalho apresentado aborda a questão da luminosidade do ambiente com maiores detalhes, que é um dos objetivos deste trabalho. Isso é interessante pois há trabalhos como [2, 27] que apontam para a necessidade de utilizar tais tecnologias para aprimorar outros processos como dosagem alimentar, produção da carne e do couro. Já o trabalho [22] introduz o uso de lógica *Fuzzy* associada a sensores fisiológicos e ambientais para classificar a condição de conforto térmico dos animais a partir de comparações entre os dados dos sensores processados pelo algoritmo *Fuzzy* e a TR.

Ao analisar as propostas da literatura sob o ponto de vista de implantação e manutenção dos sensores e plataformas eletrônicas, verifica-se que a utilização de tecnologias como a pílula ingerível bolus e sensores de temperatura intra-auriculares ou subcutâneos causam desconforto aos animais e são intrusivos, exigindo procedimentos cirúrgicos, sedação e/ou manejo específico para sua utilização.

2.5 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentados os trabalhos relacionados com a presente dissertação. A apresentação dos trabalhos foi norteadada pela utilização dos sensores e/ou tecnologias para aquisição de dados de temperatura corporal e luminosidade do ambiente. Ao final do capítulo apresentou-se uma discussão envolvendo os trabalhos relacionados e suas soluções com enfoque em temperatura corporal, temperatura ambiente e luminosidade do ambiente, sendo de grande valia a utilização de mecanismos automatizados para a classificação de conforto térmico utilizando lógica difusa. O próximo capítulo detalha a discussão sobre tecnologias para aquisição de variáveis ambientais e fisiológicas, assim como a classificação automatizada do tipo de ambiente ao qual os animais estão submetidos.

Capítulo 3

Sensores para Aquisição de Temperatura Cutânea em Bovinos e Variáveis Ambientais

Este Capítulo apresenta fundamentos teóricos e o projeto de sensores para aquisição de temperatura corporal e variáveis ambientais. Tais sensores serão aplicados junto ao projeto de uma plataforma eletrônica voltada para o monitoramento do bem-estar de bovinos em ambiente a pasto.

3.1 Considerações Iniciais

Conforme apresentado no Capítulo 1, a proposta deste trabalho em nível de mestrado consiste no desenvolvimento de uma plataforma eletrônica (hardware e software) para aquisição de variáveis fisiológicas e ambientais. Especificamente, objetiva-se a aquisição não-invasiva de sinais relativos à temperatura cutânea do animal, luminosidade, radiação ultra-violeta, temperatura e umidade do ambiente.

Este capítulo aborda os conceitos envolvidos com a técnica de conversão analógica-digital dos sinais adquiridos por tais sensores, para processamento de temperatura corporal e nível de sombreamento procurado pelo animal ao longo do dia. Além dos principais fundamentos e conceitos, o capítulo também apresenta aplicações dessas técnicas para obtenção desses sinais em outros contextos.

3.2 Conceitos e Fundamentos: Termistores

O termistor é um tipo de transdutor passivo, sensível a temperatura e que experimenta uma enorme mudança em sua resistência elétrica quando está sujeito a pequenas variações de temperatura [29]. Esse transdutor é composto de ligas de metais, como óxidos de manganês e níquel, de manganês e de cobalto, de níquel e de cobalto, de manganês níquel e cobalto e de manganês níquel cobalto e ferro. O nome termistor provém do inglês *Thermally Sensitive*

Resistor, que significa resistor sensível a temperatura. Embora o termistor não seja tão conhecido como outros componentes semicondutores, tem múltiplas aplicações em diversas áreas, como instrumentação eletroeletrônica, aeronáutica, automóveis, medicina, indústria, entre outros. A Figura 3.1 apresenta dois exemplos de sensores termistores disponíveis comercialmente.



Figura 3.1: Termistores PTC e NTC.

De forma geral, os sensores de temperatura digitais empregam termistores para aquisição de temperatura. Os termistores são divididos em duas categorias:

1. PTC: Coeficiente de temperatura positivo. Sofre mudança brusca de resistência ao alcançar certa temperatura (aprox. 100°C) passando de valores de centenas de Ohms a dezenas de MegaOhms.
2. NTC: Coeficiente de temperatura negativo. Altamente sensível a mudanças de temperatura (valores de alfa entre $-2\%/K$ e $-6\%/K$). Dentro deste grupo se encontram a maioria dos termistores.

Pode-se observar a faixa de identificação de temperaturas, de cada um dos termistores, no gráfico da Figura 3.2:

Considerando o comportamento não linear da resistência em relação à variação da temperatura nos termistores, faz-se necessária a utilização de algum circuito que ajuste a curva exponencial para uma aproximação linear. Um exemplo de modelo de circuito que faz a aproximação é a Ponte de Wheatstone, conforme a Figura 3.3.

O esquema de montagem de um circuito de componentes elétricos foi desenvolvido por Charles Wheatstone, com a finalidade de medir resistências desconhecidas. Para determinar a resistência do resistor desconhecido (R_x), os outros três (R_1 , R_2 e R_3) são ajustados e balanceados até que a corrente elétrica medida no galvanômetro (V) seja nula [30].

No trabalho [30], o autor indica a necessidade de calibração e ajuste do sinal obtido pelo termistor para a utilização dos dados de temperatura com precisão e acurácia. Nesse trabalho, o autor utilizou um circuito de condicionamento de sinal para a aquisição dos dados de temperatura, conforme a Figura 3.4.

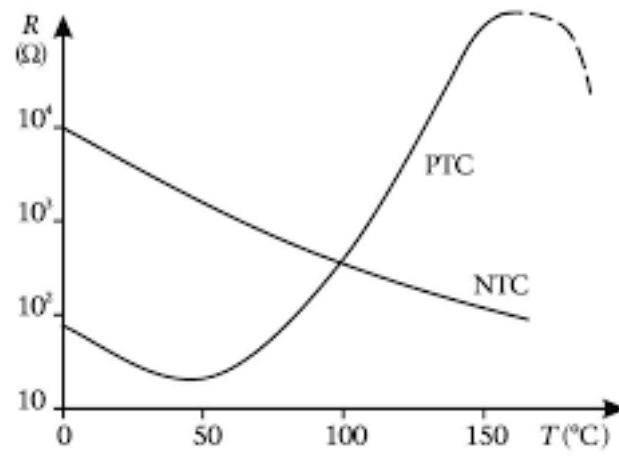


Figura 3.2: Faixas de temperaturas de termistores PTC e NTC.

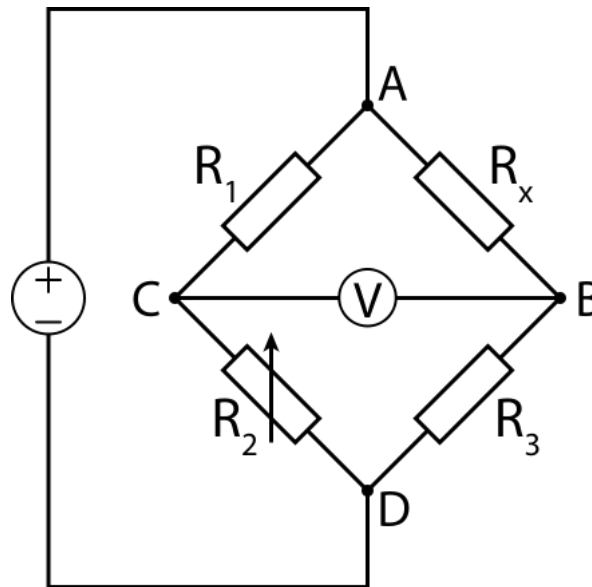


Figura 3.3: Ponte de Wheatstone.

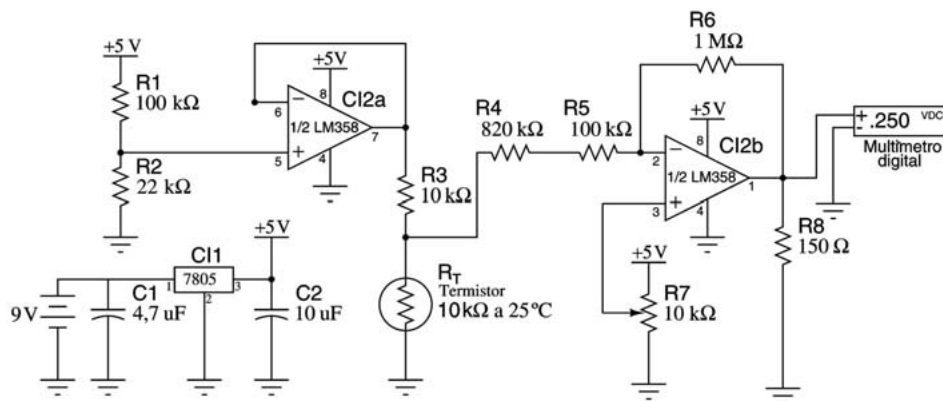


Figura 3.4: Circuito de condicionamento de sinal.

O esquema elétrico do termômetro inclui a fonte de alimentação, o circuito em série contendo o termistor e o resistor, e o circuito de condicionamento de sinal. Para a operação do equipamento, um regulador de tensão 7805 (CI1) é utilizado para estabilizar a tensão em 5V. O regulador de tensão pode ser alimentado com uma bateria de 9V ou com uma fonte de alimentação regulada para tensão entre 9V e 12V.

O termômetro utiliza o circuito integrado de baixo custo LM358, que possui internamente dois amplificadores operacionais (CI2a e CI2b) os quais foram projetados especificamente para operar com fontes de alimentação simples e com baixo consumo de energia. A escolha desse circuito integrado confere maior simplicidade ao circuito, pois não há necessidade de se utilizar duas baterias ou um circuito adicional para gerar tensões positivas e negativas em relação a um ponto comum. O termistor é um sensor que exige uma corrente de excitação, e portanto gera energia térmica que tende a aumentar a sua própria temperatura, podendo comprometer a exatidão das medidas. No modo de trabalho descrito, o termistor deve ser operado em uma condição de dissipação de potência desprezível, o que implica que o auto-aquecimento do termistor, devido à corrente de excitação, seja desprezível. Na prática, recomenda-se que a corrente de excitação não seja maior que 100 mA para que variações de temperatura da ordem de $0,1^{\circ}\text{C}$ possam ser medidas com confiabilidade.

Pode-se citar como exemplo de termistor encapsulado o LM35, ilustrado na Figura 3.5. O LM35 apresenta uma saída de tensão linear relativa à temperatura do ambiente no momento em que for alimentado por uma tensão de 2,7V a 5,5V no terminal 1 e aterrado no terminal 3 (GND), tendo em sua saída analógica (terminal 2) um sinal de 10mV para cada grau Celsius de temperatura. Apresenta boa vantagem com relação aos demais sensores de temperatura calibrados em “KELVIN”, não necessitando assim de qualquer subtração de variáveis para que se obtenha uma escala de temperatura em graus Celsius.

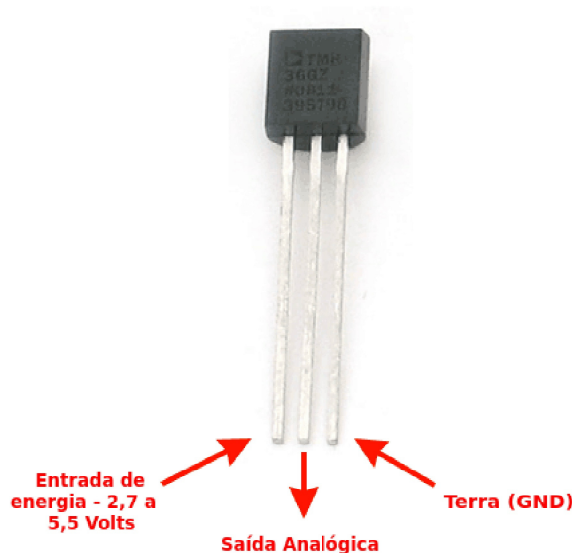


Figura 3.5: Sensor de temperatura LM35.

O LM35 [31] não necessita de qualquer calibração externa ou *trimming* para fornecer com exatidão, valores de temperatura com variações de $1/4^{\circ}\text{C}$ ou até mesmo $3/4^{\circ}\text{C}$ dentro da faixa de temperatura de -55°C à 150°C . Este sensor tem saída com baixa impedância,

tensão linear e calibração inerente precisa. Pode ser energizado com alimentação simples ou simétrica, dependendo do que se desejar como sinal de saída, mas independentemente disso, a saída continuará sendo de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$. Ele drena apenas 60mA para estas alimentações, sendo assim seu auto-aquecimento é de aproximadamente $0,1^{\circ}\text{C}$ ao ar livre.

3.2.1 Sensor DS1921H Thermochron

O dispositivo Thermochron® iButton® (DS1921H) [32], apresentado na Figura 3.6, é um sistema robusto, auto-suficiente, que mede temperatura e registra o resultado em uma seção de memória protegida. Esse dispositivo implementa um sensor de temperatura NTC utilizando o chip DS1820 [33]. O registro de temperaturas na memória do dispositivo é realizado em uma taxa definida pelo utilizador, tanto como um armazenamento direto dos valores da temperatura, como sob a forma de um histograma. Podem ser armazenados até 2048 valores de temperatura em intervalos equidistantes que variam de 1 a 255 minutos.



Figura 3.6: Ibutton Thermochron DS1921H [32].

No invólucro de aço inoxidável estão encapsulados os seguintes componentes:

1. Uma bateria que mantém os dados na memória;
2. Memória SRAM para armazenamento de até 2048 temperaturas;
3. *Real Time Clock* (RTC) para controle de data/hora;
4. Sensor de temperatura com saída digital baseado em termistor NTC.

A arquitetura do dispositivo *ibutton* DS1921H é demonstrada na Figura 3.7.

O dispositivo tem sete componentes de memória para armazenamento de dados:

1. Memória ROM de 64-bits escrita a laser;
2. 256-bits de rascunho;
3. 4096-bits de SRAM de uso geral;
4. 256-bits para cadastro de cronometragem, controle e registros de contador;
5. 96 bytes de registro de alarme e memória de registro duração;

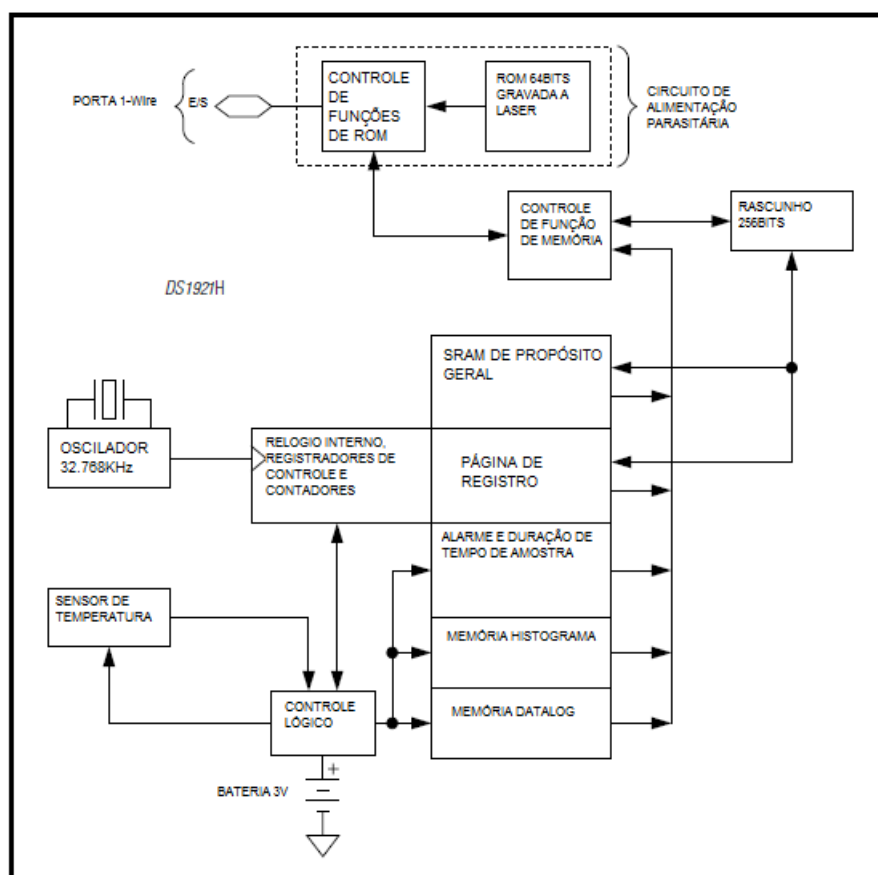


Figura 3.7: Arquitetura do iButton DS1921H.

6. 126 bytes de memória histograma;
7. 2.048 bytes de memória de registro de dados.

Exceto para a ROM e rascunho, todas as outras memórias são organizadas em um único espaço de endereço linear. Toda a memória reservada para fins de registro, incluindo registros de contador e vários outros registros, é de apenas leitura para o usuário. Os registros de cronometragem e de controle são protegidos contra gravação enquanto o dispositivo está programado para uma missão.

O acesso a memória é feito de forma sequencial, passando por vários níveis hierárquicos. O nível primário fornece acesso aos dados de *scratchpad* ou rascunho, localizado no canto superior direito da Figura 3.7, que corresponde a uma leitura momentânea da memória do dispositivo. As páginas de registradores contêm dados de missões e alarmes de temperaturas mínimas e máximas. Em seguida, pode-se acessar o *datalog* do dispositivo, e em um nível mais baixo, os dados de data e hora disponibilizados pelo oscilador (*Real Time Clock*) embutido, localizado no lado esquerdo da Figura 3.7.

No topo da Figura 3.7 está indicado que a comunicação utiliza o protocolo 1Wire[®], que trabalha com transmissão e recepção de dados através de um único fio, que fornece a conexão de dados e alimentação parasitária. A alimentação parasitária consiste em um circuito elétrico que armazena energia suficiente para realizar um ciclo de recepção e transmissão de dados utilizando um capacitor, que armazena energia elétrica fornecida pelo barramento para alimentar o sensor e acessar a memória. Estando conectado, o sensor não utiliza a bateria interna, maximizando a vida útil do conjunto.

A estrutura hierárquica do protocolo 1-Wire é exibida na Figura 3.8. O mestre de barramento deve primeiro fornecer um dos sete comandos de função ROM:

1. *Read ROM*;
2. *Match ROM*;
3. *Search ROM*;
4. *Conditional Search ROM*;
5. *Skip ROM*;
6. *Overdrive Skip-ROM*;
7. *Overdrive-Match ROM*.

Após a conclusão de um comando *ROM Overdrive* executado em velocidade padrão, o dispositivo entra em modo de *bypass*, fazendo com que toda a comunicação subsequente ocorra a uma velocidade maior. Depois que um comando de função ROM é executado com sucesso, as funções de memória tornam-se acessíveis e o mestre pode fornecer qualquer um dos sete comandos disponíveis. Todos os dados são lidos e gravados, iniciando pelo bit menos significativo.

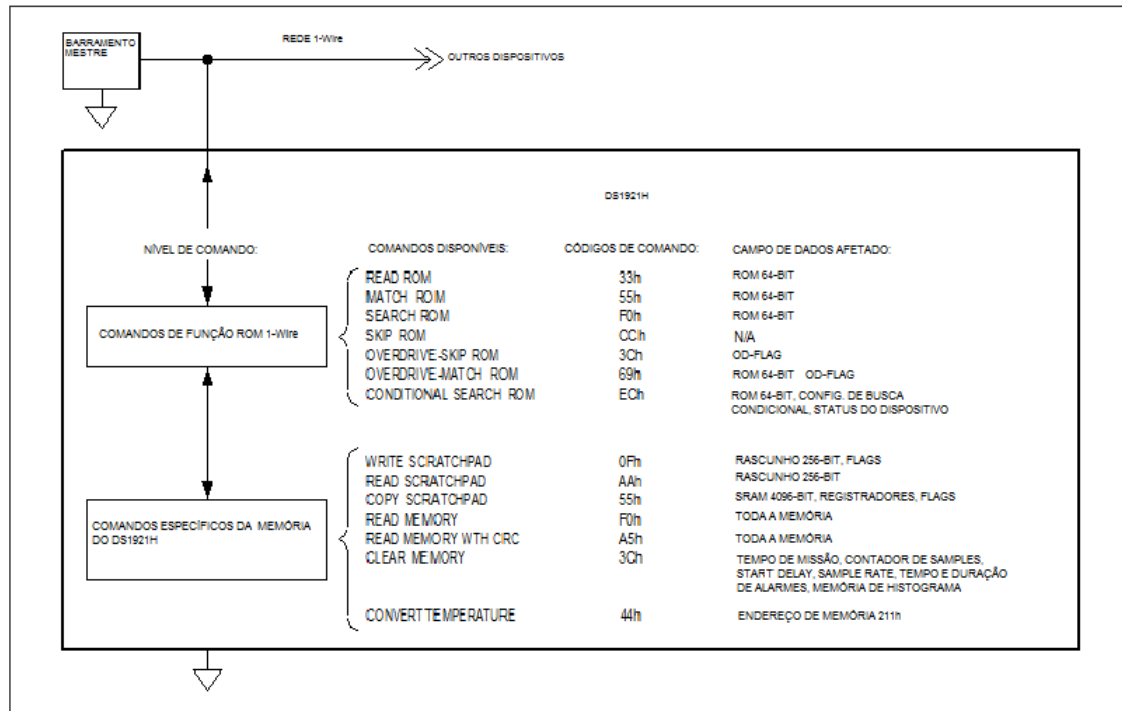


Figura 3.8: Estrutura do protocolo 1Wire [32].

O circuito *parasite-power* ou alimentação parasitária armazena energia sempre que a entrada IO é alta. IO fornece energia suficiente, desde que os requisitos de tempo e de tensão especificados forem atingidos. As vantagens do *parasite-power* são duas: 1) Parasitando essa entrada, a carga da bateria não é consumida por comandos de função ROM 1-wire, e 2) Se a bateria estiver descarregada, por qualquer motivo, a ROM pode ainda ser lida. O circuito restante do DS1921H é exclusivamente operado por energia da bateria. Como consequência, se a bateria se esgota, todos os dados da memória são perdidos, incluindo os dados da última missão, e nenhuma nova missão pode ser iniciada. A Figura 3.9 exibe um gráfico de vida útil da bateria em anos, relacionado a temperatura de operação e a quantidade de amostras usada.

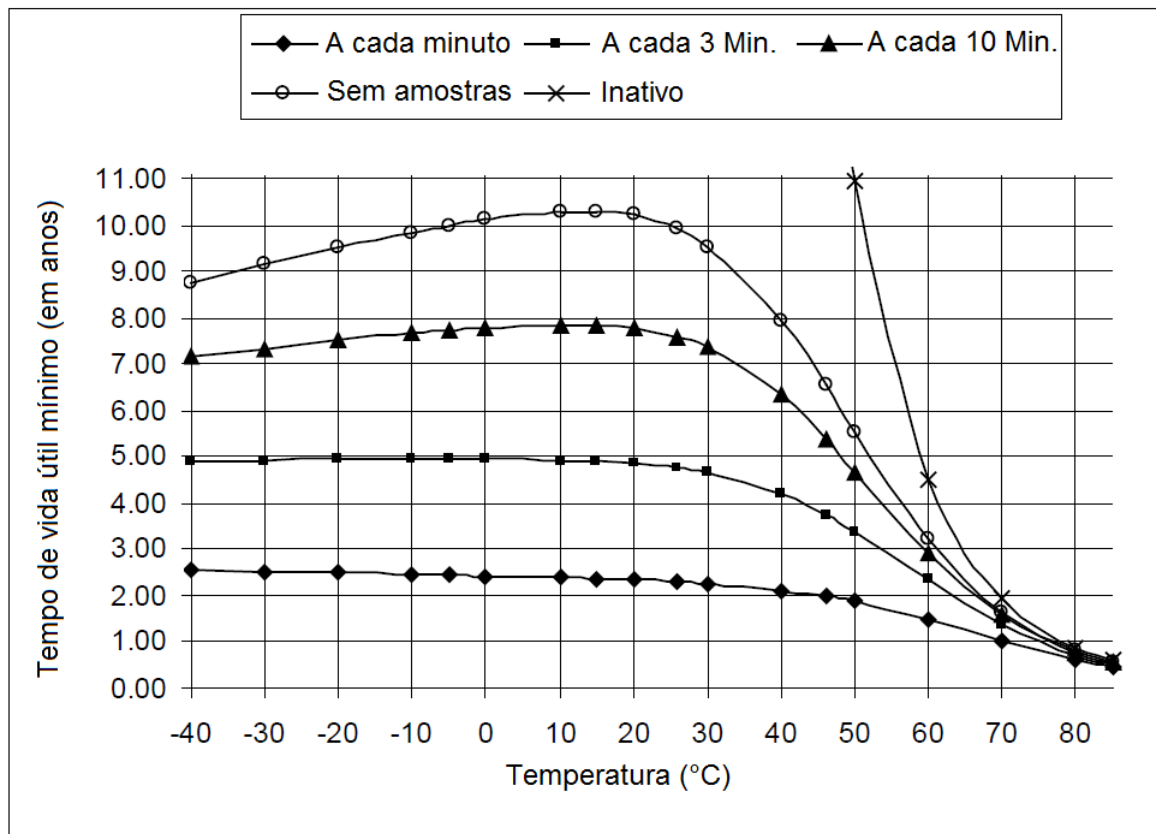


Figura 3.9: Vida útil da bateria do DS1921H [32].

O histograma proporciona 63 contêineres de dados com uma resolução de 2°C. Se a temperatura sair de uma faixa determinada pelo usuário, o DS1921H também registra quando isso aconteceu, por quanto tempo a temperatura ficou fora da faixa permitida, e se a temperatura era muito alta ou muito baixa.

Uma memória adicional SRAM de 512 bytes mantida por uma bateria permite o armazenamento de informações referentes ao objeto ao qual o DS1921H está acoplado. Os dados são transferidos por comunicação serial usando o protocolo 1-Wire®. Cada DS1921H é fabricado com um número único garantido, gravado a laser, eletricamente legível, com 64-bits de registro que permitem a rastreabilidade absoluta. O invólucro de aço inoxidável é altamente resistente a fatores ambientais, como sujeira, umidade e choque.

O dispositivo DS1921H apresenta atratividade para monitorar a temperatura de qualquer objeto ao qual esteja fixado, tais como produtos perecíveis ou recipientes com temperatura de produtos químicos sensíveis. O nível inicial de vedação do DS1921H atinge o IP56 (*Ingress Protection*). Envelhecimento e condições de uso podem degradar a integridade da vedação ao longo do tempo.

3.2.2 Sensor DHT22

O sensor de umidade relativa do ar e temperatura ambiente DHT22 [34] é um sensor digital que funciona integrando a tecnologia de dois sensores, retornando valores com range

de detecção de 5% a 99% para umidade relativa do ar, e de -40°C a 125°C para temperatura ambiente. Sua precisão atinge até 2% para umidade e $0,5^{\circ}\text{C}$ para temperatura.

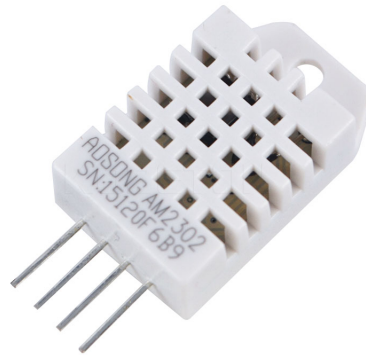


Figura 3.10: Sensor DHT22.

Para medição de umidade o DHT22 utiliza um componente com dois eletrodos separados por um substrato de retenção de umidade entre eles. Assim, com alterações nos níveis de umidade, a condutividade do substrato sofre alteração de resistência entre esses eletrodos, alterando a voltagem de saída. Esta alteração da resistência é medida e processada pelo microprocessador, e transmitida por sinalização digital.

Já para medir a temperatura o DHT22 utiliza um sensor de temperatura NTC ou um termistor. O termo "NTC" significa "Negative Temperature Coefficient", o que indica que a resistência diminui com o aumento da temperatura. Um termistor é, na verdade, uma resistência variável, que muda a sua resistência conforme há mudanças de temperatura, como citado na seção 3.2. Estes sensores são feitos por sinterização de materiais semicondutores, tais como materiais cerâmicos ou polímeros, a fim de proporcionar maiores alterações na resistência com apenas pequenas mudanças de temperatura.

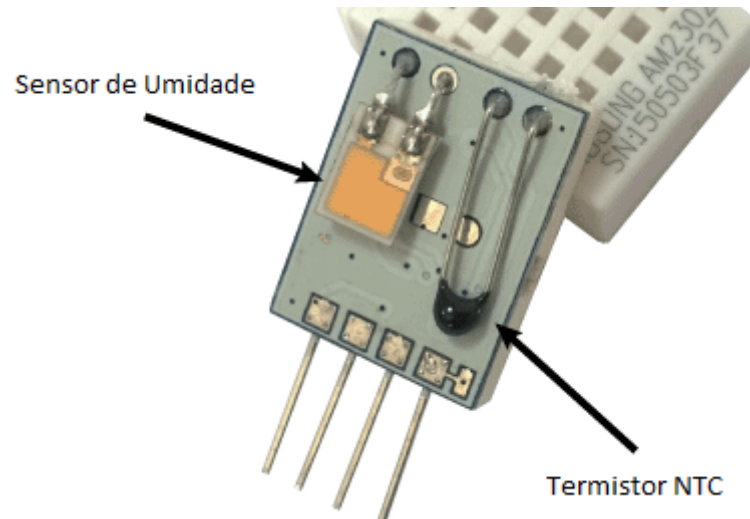


Figura 3.11: Interior do Sensor DHT22.

3.3 Conceitos e Fundamentos: Resistores Dependentes de Luz

Um resistor dependente de luz (*Light Dependent Resistor* ou LDR) é um componente eletrônico que possui a característica de ter sua resistência elétrica diminuída quando incide sobre ele energia luminosa. Essa característica permite o desenvolvimento de aplicações ou circuitos que podem variar, serem ativados ou desativados calculando a quantidade de energia luminosa incidente sobre o mesmo. As Figuras 3.12 e 3.13 apresentam o funcionamento, os materiais e componentes elétricos do sensor LDR.

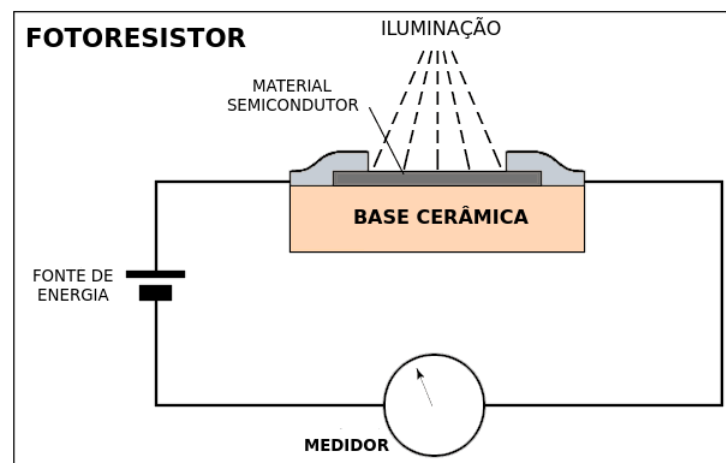


Figura 3.12: Funcionamento do LDR.

O material semicondutor que compõe o LDR varia a resistência elétrica de forma inversamente proporcional à quantidade de energia luminosa incidente em sua superfície, sendo que enquanto o feixe de luz estiver incidindo, o LDR oferece uma resistência muito baixa, e quando este feixe é interrompido ou tem sua intensidade reduzida, sua resistência aumenta.

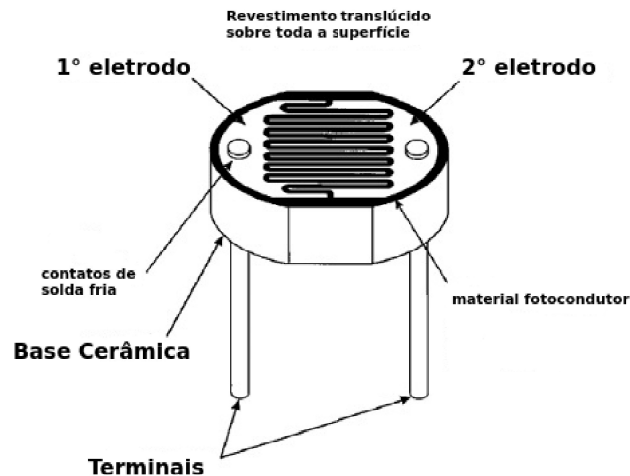


Figura 3.13: Esquema elétrico do LDR.

Usando conversores análogo-digitais, pode-se calcular a variação de luminosidade por meio da variação de resistência elétrica do LDR no circuito.

O sensor é composto por um material semicondutor, o sulfeto de cádmio ou o sulfeto de chumbo. A construção de um LDR consiste na conexão do material fotossensível com os terminais, sendo que uma fina camada é simplesmente exposta à incidência de energia luminosa externa. Devido aos custos baixos e dimensões reduzidas, o LDR é uma excelente opção para a mensuração de luminosidade de ambientes e detecção de alterações de luminosidade para o acionamento ou interrupção de circuitos eletro-eletrônicos. Algumas aplicações mais comuns do LDR são controle automático de portas, alarmes, controle de iluminação em um recinto, contagem industrial, entre outros.

3.4 Conceitos e Fundamentos: Sensor de Raios Ultravioleta

Os raios ultravioleta são, na maior parte do tempo, prejudiciais aos seres humanos. Não diferentemente para os bovinos, porém com menos impacto a pele, devido a camada de pelos que a recobre. A análise de tais raios é de suma importância para a caracterização do estado de sombreamento em que os animais se encontram, pois é possível utilizar os dados de radiação ultravioleta, cruzados aos dados de luminosidade para determinar a condição de luz, seja ela sol, sombra ou nublado.

Para possibilitar essa medição, existem no mercado vários sensores para captura de radiação ultravioleta, que utilizam-se de fotodiodos, geralmente o GUVAS10GD para a aquisição de ondas com larguras específicas, de 200 a 370nm, que cobrem 65,5% do espectro de UV-A e todo o espectro de UV-B.

O sensor de raios UltraVioletas (UV) pode ser utilizado para definir o índice de incidência de raios UV em um determinado local, e permite diferenciar, aliado ao sensor LDR, a iluminação proveniente de um dia nublado de uma iluminação em um local sombreado, mesmo que possuam a mesma medida informada pelo sensor LDR.

Neste trabalho, utilizou-se o sensor UVM-30A, da Guangzhou Logoele Electronics Technology Co. Ltd. (Guangzhou, China), por ter dimensões reduzidas (9x9x10 mm), possuir um custo relativamente baixo (aproximadamente US\$ 6,00) e apresentar um tempo de resposta baixo ($< 5s$).

O sensor UVM-30A [35] é capaz de detectar raios UV com tamanho de onda entre 200-370nm. A tensão de operação varia entre 3V a 5V, o que viabiliza sua utilização conectado a diversas plataformas de desenvolvimento de hardware. A Figura 3.14 apresenta o sensor UVM-30A.



Figura 3.14: Sensor Ultravioleta UVM-30A [35].

O sensor possui as seguintes especificações:

1. Tensão de operação: $3V - 5V$;
2. Tensão de saída: $0V - 1V$ (correspondente a 0-10 INDEX);
3. Exatidão: 1UV INDEX;
4. Corrente padrão: $0,06mA$;
5. Tamanho de onda UV: $200nm - 370nm$;
6. Tempo de resposta: $< 0,5$ seg;
7. Temperatura de trabalho: $-20^{\circ}C$ a $+85^{\circ}C$;
8. Dimensões: $27mm \times 22mm$.

Índice UV	Cor do Grafico	Risco de Danos por Exposição Desprotegida
0 - 2,9	Verde	Baixo
3 - 5,9	Amarelo	Moderado
6 - 7,9	Laranja	Alto
8 - 10,9	Vermelho	Muito Alto
11 +	Violeta	Extremo

Figura 3.15: Índices de radiação UV [35]

A Figura 3.15 apresenta os níveis de UV que podem ser medidos com o sensor e a classificação em uma escala de 0 a 11.

O gráfico da Figura 3.16 apresenta a variação da tensão de saída (V_{out}) em função do índice UV no sensor UVM-30A.

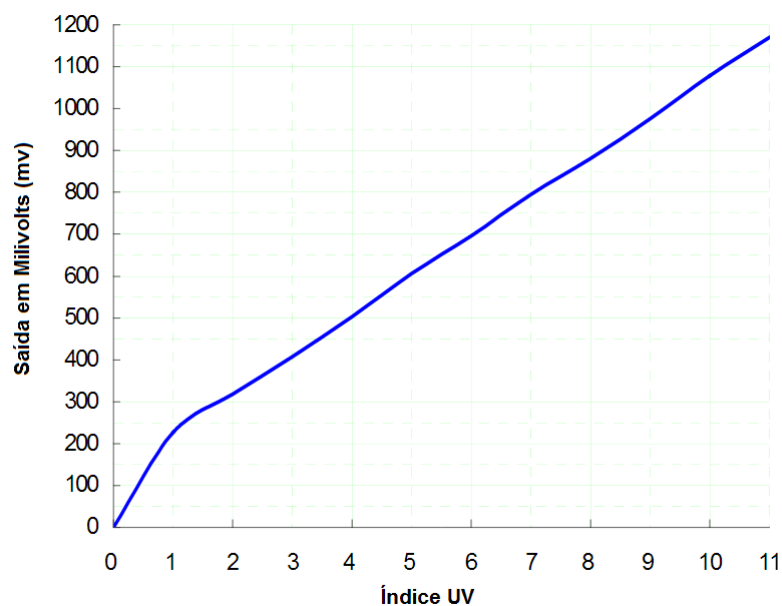


Figura 3.16: Curva de tensão elétrica do sensor UVM-30A [35]

3.5 Considerações Finais

Este Capítulo apresentou os conceitos e fundamentos para obtenção de sinais fisiológicos de bovinos e ambientais. Especificamente, o capítulo abordou a teoria, projeto e especificação de sensores voltados para aquisição de sinais de temperatura cutânea, temperatura e umidade do ambiente, luminosidade e radiação ultra-violeta. Os sensores apresentados e detalhados neste capítulo foram adotados como parte da solução de hardware, proposta neste trabalho,

para a aquisição de sinais e monitoramento do bem-estar de bovinos. O próximo capítulo apresenta o detalhamento da proposta em nível de mestrado, considerando as tecnologias apresentadas.

Capítulo 4

Sistema para Classificação Automática de Sombreamento

Este capítulo apresenta a solução proposta nesta dissertação para aquisição de variáveis ambientais para identificação automática de sombreamento usado por bovinos. O capítulo apresenta o impacto da sombra no estresse e conforto térmico em bovinos. Na sequência, apresenta o algoritmo utilizado para identificação automática de sombreamento e, por fim, apresenta o sistema eletrônico utilizado para aquisição de variáveis ambientais utilizadas na determinação do sombreamento.

4.1 Índices de Estresse Térmico

Considerando que animais possuem diferentes tolerâncias a fatores ambientais, muitas propostas foram apresentadas visando estabelecer algum tipo de critério para selecionar os melhores indivíduos para ambientes específicos [9].

Os principais fatores que regem a troca térmica entre organismos e ambientes podem ser resumidas como segue [9]:

Ambiente Externo:

- Temperatura radiante média;
- Temperatura do ar;
- Radiação solar;
- Pressão parcial de vapor;
- Deslocamentos atmosféricos (vento);
- Pressão atmosférica.

Superfície corporal:

- Temperatura da superfície;
- Umidade da superfície e permeabilidade ao vapor de água;
- Propriedades radiativas.

Revestimento de superfície corporal:

- Características morfológicas;
- Isolamento térmico;
- Permeabilidade ao vento;
- Permeabilidade ao vapor de água;
- Propriedades radiativas.

Outros fatores:

- Funções respiratórias;
- Aspectos comportamentais.

A busca por um índice que considere variáveis ambientais e fisiológicas e que determine o nível de estresse térmico dos animais deve ser linear, com pesos que possibilitam atribuir a importância relativa das variáveis escolhidas [36]. O desempenho fisiológica, o comportamento ou qualquer manifestação aparente de um animal depende do estado do seu equilíbrio energético - uma parte fundamental do que é o componente térmico.

A maioria das pesquisas e informações sobre os efeitos do ambiente térmico até tempos atuais têm sido aqueles associados a reações fisiológicas de termorregulação. Tais índices podem ser divididos em três grupos [37]:

- *Índices racionais* com base no balanço de energia térmica;
- *Índices empíricos* com base na avaliação da estirpe;
- *Índices diretos* com base em medições do ambiente.

Os dois primeiros tipos envolvem muitas variáveis ambientais e fisiológicas e são mais difíceis de apreciar, enquanto o terceiro é o mais amplamente utilizado. Yamamoto [36] sugeriu que um índice destinado a indicar o ambiente térmico deve ser linear:

$$I = aE + bT_a + cU_R + dU + \mathbf{R} \quad (4.1)$$

onde E é a entrada de energia, em Watts, para o organismo, T_a é a temperatura de bulbo seco, U_R é a umidade relativa, U é a velocidade do vento e $\mathbf{R}$ é a radiação incidente. Tal conceito é coerente com a definição formal real de estresse térmico.

Outro índice foi proposto por Albert O. Rhoad [38] baseado em suas observações do comportamento do gado na Universidade Federal de Viçosa, MG, Brasil. Esse trabalho resultou no primeiro índice de conforto térmico, o índice Iberia ou coeficiente de tolerância a calor:

$$HTC = 100 - 10(TR - 38.33) \quad (4.2)$$

onde TR representa a média de seis medições de temperatura retal sucessivas ($^{\circ}\text{C}$) sempre feitas nas horas mais quentes do dia após 5h de exposição ao sol. Quanto maior o valor HTC , mais adequado para as condições tropicais um animal é considerado.

Diversos índices foram propostos posteriormente com diferentes objetivos, como o conforto térmico humano, de Thom [39] e de Bianca [40] que se basearam apenas na temperatura e umidade relativa do ar. No entanto, a temperatura do ar é uma medida do conteúdo de calor perceptível apenas na atmosfera, enquanto a umidade estima o conteúdo de calor latente. Apesar destes dois fatores serem importantes para o processo de troca de calor entre os animais e o ambiente, é reconhecido que a radiação térmica tem um papel fundamental como um fator de estresse térmico tanto para o homem [41] como para animais [42], [36], [43].

De fato, a radiação solar é de grande magnitude em uma região intertropical em que a média de temperatura radiante é normalmente mais elevada do que a temperatura do ar [44]. Portanto, a radiação térmica foi incorporada aos índices mais recentemente desenvolvidos para regiões quentes, com maior frequência de sol, em conjunto com a velocidade do vento, que é de grande importância para a troca de calor por convecção. No entanto, deve-se ressaltar que a capacidade de um animal para enfrentar os efeitos da energia de radiação solar é altamente dependente de diversas características da pele e do pêlo [45], [46], [47], [44].

Muitos índices foram estimados a partir de medições meteorológicas primárias, como o índice de temperatura e umidade, THI [39]; temperatura eficaz, ET [40], índice de umidade de globo negro, $ITGU$ [42], índice de temperatura equivalente, ETI [48] e diversos outros. Alguns dos que foram originalmente desenvolvidos para uso humano, também foram aplicados para animais, como o THI . No caso dos seres humanos, esses índices foram usados com foco em conforto térmico, enquanto em animais havia interesse na ajuda que poderiam fornecer no gerenciamento racional do ambiente e permitir decisões sobre seu comportamento, saúde e bem-estar [49].

Considerando-se que o desempenho do gado está diretamente relacionado com a adaptação dos animais ao seu ambiente, Silva [50], [51] propôs a seleção simultânea para a produção e adaptação dos bovinos existentes nas regiões tropicais, com base nas relações genéticas e fenotípicas entre características de produção e aqueles associados à adaptação. Bois e novilhas da raça Canchim com idade até 28 meses foram expostos ao sol direto de 09:00 até 15:00h, durante o verão; a temperatura retal e a frequência respiratória foram registrados antes e depois de cada tratamento, juntamente com o ganho de peso médio diário da desmama aos 18 meses de idade. O índice de seleção estimado foi:

$$SIA = 100 - 0.026T_{ri} - 0,064(T_{rf} - T_{ri}) - 0,009F_{ri} - 0,133\log(F_{rf} - F_{ri}) + 0.281W \quad (4.3)$$

onde T_{ri} e F_{ri} são a temperatura retal ($^{\circ}\text{C}$) e frequência respiratória (respirações/ min^{-1}) tomadas antes da exposição ao sol, enquanto T_{rf} e F_{rf} são as respectivas medições feitas após a exposição. W é o ganho de peso (kg) médio diário da desmama aos 18 meses de idade. O valor SIA é uma estimativa do valor genético aditivo de um animal para ser utilizada na seleção de touros para reprodução.

4.2 Algoritmo para Identificação Automática de Sombreamento

Esta seção apresenta o algoritmo de identificação automática de sombreamento, utilizado para obter o estado (sol, sombra ou nublado) em que o animal encontra-se ou esteve em determinado período do dia. Ressalta-se que o algoritmo proposto identifica e informa se há sombreamento sobre o animal considerando os valores indicados pelos sensores. Embora o algoritmo não utilize índices de estresse térmico, uma vez obtido os valores dos sensores, é direto incluir um índice para ser calculado pelo algoritmo.

Para o desenvolvimento desse algoritmo utilizou-se a teoria de lógica difusa ou *Fuzzy* [22] para determinação do sombreamento a partir dos valores de entrada dos sensores. A lógica *fuzzy* consiste da interpretação de valores lógicos booleanos intermediários. Diferente da lógica booleana clássica que admite valores 0 ou 1, a lógica Fuzzy foi estendida para lidar com o conceito de verdade parcial, onde o valor verdade pode compreender entre completamente verdadeiro e completamente falso. Tem-se então 11 valores possíveis, onde 0 é totalmente falso, 1 é totalmente verdadeiro e os valores intermediários tem pesos conforme sua proximidade dos valores absolutos. A tabela 4.1 demonstra essa relação.

Valor de Verdade	Categoria
0	Falso
0,1	Quase Falso
0,2	Bastante Falso
0,3	Algo Falso
0,4	Mais Falso que Verdadeiro
0,5	Tão Verdadeiro quanto Falso
0,6	Mais Verdadeiro que Falso
0,7	Algo Verdadeiro
0,8	Bastante Verdadeiro
0,9	Quase Verdadeiro
1	Verdadeiro

Tabela 4.1: Tabela de valores Fuzzy entre 0 e 1.

O algoritmo *fuzzy* projetado e implementado no âmbito deste trabalho funciona com dados ambientais (Luz ambiente, nível de radiação UV, temperatura do ambiente e umidade relativa do ar) provenientes da plataforma eletrônica de bovinos. Esses dados consistem nos valores de entrada para o algoritmo. O algoritmo possui ainda um conjunto de regras que considera o nível de pertinência de cada uma das variáveis de entrada. Após a comparação da entrada com essa base de regras, o algoritmo calcula o estado e fornece o dado de

sombreamento em formato Booleano, que pode ser Sol, Sombra ou Nublado. A Figura 4.1 demonstra como o algoritmo recebe, trata os dados e fornece a saída.

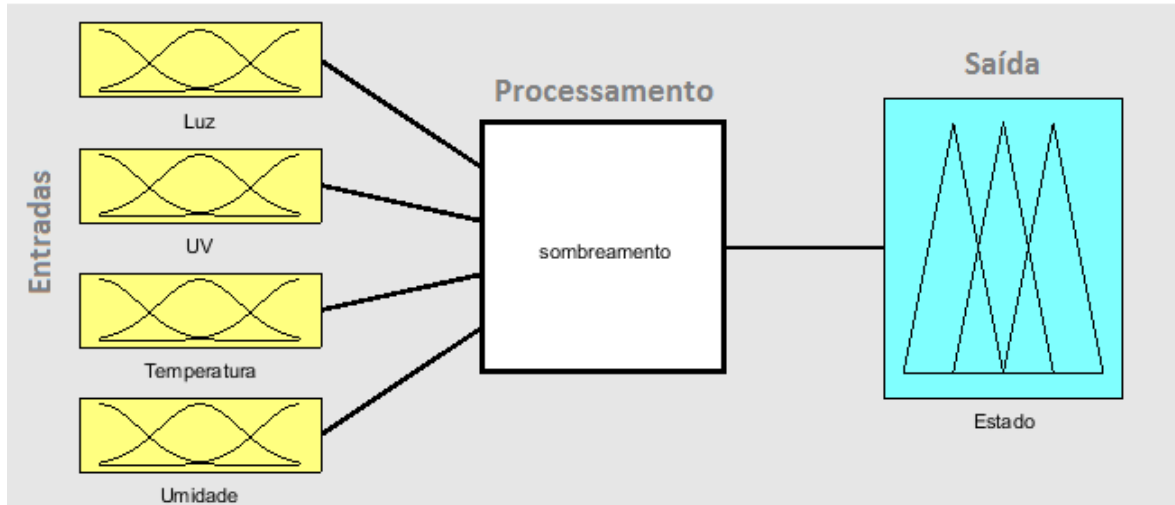


Figura 4.1: Modelo de diagrama Fuzzy para o algoritmo de classificação automática de sombreamento.

As entradas de dados foram organizadas em escalas diferentes de acordo com a capacidade de representação de cada sensor. A entrada da variável Luz tem valores de 0 a 1023, onde 0 representa ausência total de luminosidade e 1023 representa incidência máxima de luz no sensor LDR. A entrada da variável UV tem valores de 0 a 11, onde 0 representa ausência total de radiação UV e 11 representa o nível máximo de radiação. A entrada da variável temperatura tem valores de 0 a 40, onde 0 é a condição mais fria processada pelo sistema e 40 ou mais, a mais quente. A variável umidade tem valores de 0 a 100, que representam o valor percentual de umidade relativa do ar. O Algoritmo 1 apresenta as etapas básicas para aquisição de variáveis e processamento do sombreamento.

Algoritmo 1: ALGORITMO PARA DETERMINAÇÃO DE SOMBREAMENTO.

Input: Sensores: *Luz*, *UV*, *Temp*, *Humi*

Output: *Estado* : Resultado do processamento

- 1 **Function** *Fuzzyfy*(*L*, *U*, *T*, *H*)
 - 2 **Function** *Defuzzyfy*(*Natural*[])
 - 3 *L* $\leftarrow$ *Luz*
 - 4 *U* $\leftarrow$ *UV*
 - 5 *T* $\leftarrow$ *Temp*
 - 6 *H* $\leftarrow$ *Humi*
 - 7 *Natural*[*L*, *U*, *T*, *H*] $\leftarrow$ *Fuzzyfy*(*L*, *U*, *T*, *H*)
 - 8 *Estado* $\leftarrow$ *Defuzzyfy*(*Natural*[*L*, *U*, *T*, *H*])
 - 9 **return** *Estado*
-

No Algoritmo 1, a variável *L* recebe o valor lido pelo sensor LDR, que corresponde ao nível de luz incidente sobre o animal. A variável *U* recebe o valor lido pelo sensor UVM-30A, que corresponde ao nível de radiação UV incidente. As variáveis *T* e *H* recebem, respectivamente, os valores de temperatura e umidade relativa do ar, lidos pelo sensor DHT22. Cada ciclo de

leitura tem um tempo mínimo de 2 segundos, devido à latência de leitura do sensor DHT22. Após atribuição das leituras às variáveis específicas do algoritmo, um objeto Fuzzy é criado com as seguintes características:

- Input Light;
- Input UV;
- Input Temp;
- Input Humi;
- Output Estado;

Após a determinação das entradas e saídas, o algoritmo gera *fuzzysets* (conjunto de dados válidos) para cada *input* criada anteriormente. Tem-se então as seguintes *fuzzysets*:

- LuzAlta(630, 1000, 1000, 1023);
- LuzMédia(200, 500, 500, 820);
- LuzBaixa(0, 0, 0, 300);
- UVAlta(6, 11, 11, 15);
- UVMédia(2, 5, 5, 8);
- UVBaixa(0, 0, 0, 3);
- TempAlta(23,40,40,50);
- TempMédia(12,22,22,32);
- TempBaixa(-5, 0, 0 21);
- HumiAlta(56, 100, 100, 100);
- HumiMédia(20, 50, 50, 75);
- HumiBaixa(0, 2, 2, 32);

Cada *fuzzyset* possui 3 tipos de classificação para os dados lidos de seu respectivo sensor. As classificações são formas de linguagem natural que representam faixas de valores aceitáveis para cada uma das classificações, e os valores predefinidos em cada *fuzzyset* determinam o formato e área de plotagem do gráfico para essa variável. Por exemplo, o *fuzzyset* LuzAlta(630, 1000, 1000, 1023) indica que o valor 630 para o sensor LDR significa Falso (0), os valores 1000 e 1000 representam Verdadeiro (1), enquanto que o valor 1023 representa, novamente Falso (0). Pode-se observar que o Verdadeiro é representado exclusivamente pelo valor 1000, assim que a área desse *fuzzyset* é um triângulo sendo que um lado inicia no vértice 630 e termina no vértice 1000. O segundo lado inicia no vértice 1000 até o vértice 1023. A base do triângulo é formada pelos vértices 630 e 1023. Observe que se os valores de pertinência

Verdadeiro (1) fossem diferentes (por exemplo, 1000 e 1015), tem-se então a formação de um trapézio.

Ressalta-se que os *fuzzysets* são definidos a partir da experiência do especialista em indicar os valores dos sensores que determinam cada situação relevante para o algoritmo. As Figuras 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 demonstram respectivamente os gráficos Fuzzy (gráficos de pertinência) das entradas Luz, UV, Temperatura ambiente e Humidade relativa do ar.

O eixo X apresenta os valores válidos para entrada em cada uma das variáveis, e o eixo Y representa a escala de verdade dos estados de cada variável, como demonstrado na Tabela 4.1. Considerando que a variável Luz é determinada como “Baixa” se o valor lido for entre 0 e 300; “Media” se o valor for definido entre 200 e 800; “Alta” entre 630 e 1023, relacionando os valores do eixo X com o nível de verdade da variável para o estado no eixo Y, tem-se a pertinência dessa variável. Se o valor estiver entre 0 e 200, pode-se considerá-lo totalmente verdadeiro para “Baixa”. Entre 200 e 300, tem-se uma intersecção entre “Baixa” e “Media”, e quanto mais próximo de cada extremo a leitura for, mais verdadeiro o estado correspondente será.

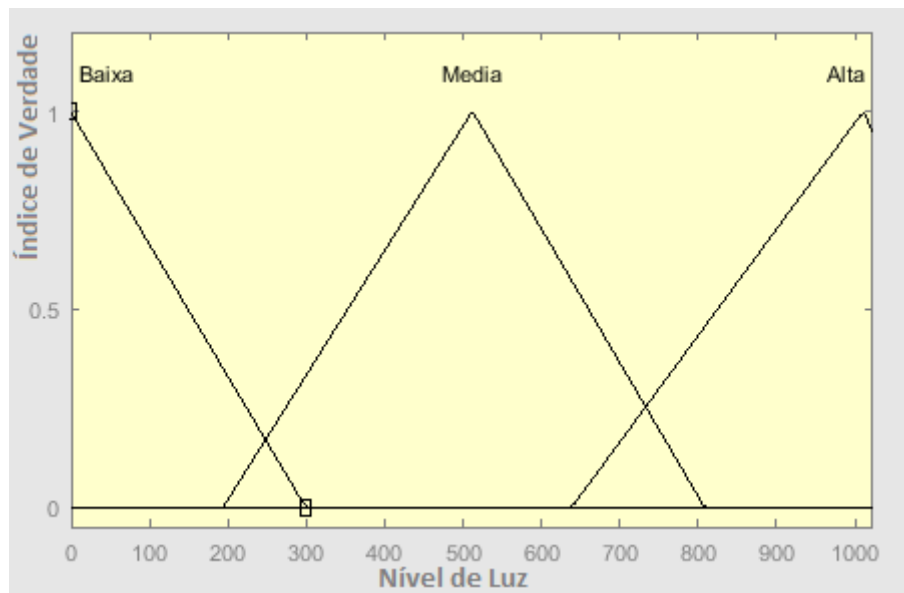


Figura 4.2: Entrada da variável Luz.

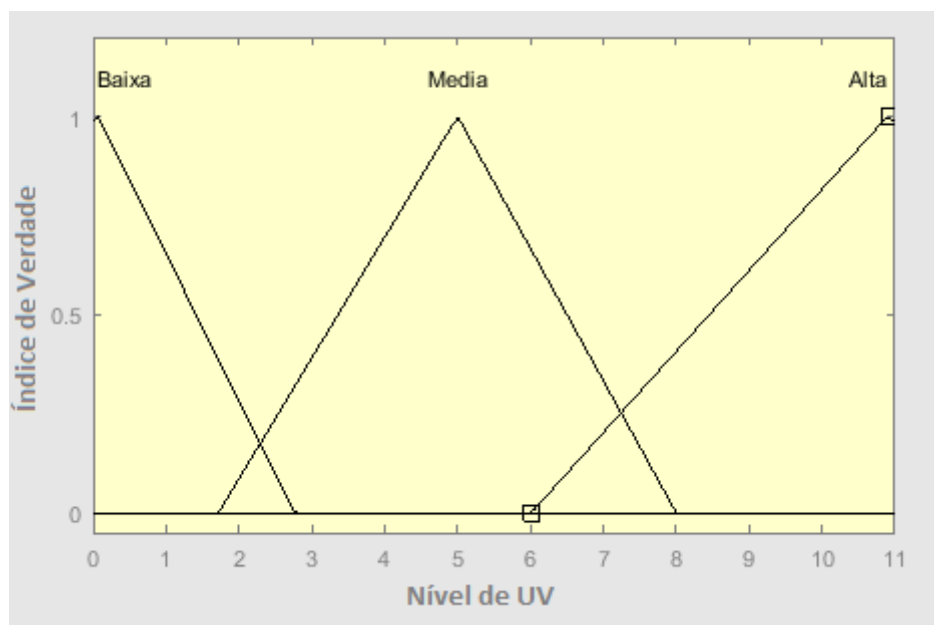


Figura 4.3: Entrada da variável UV.

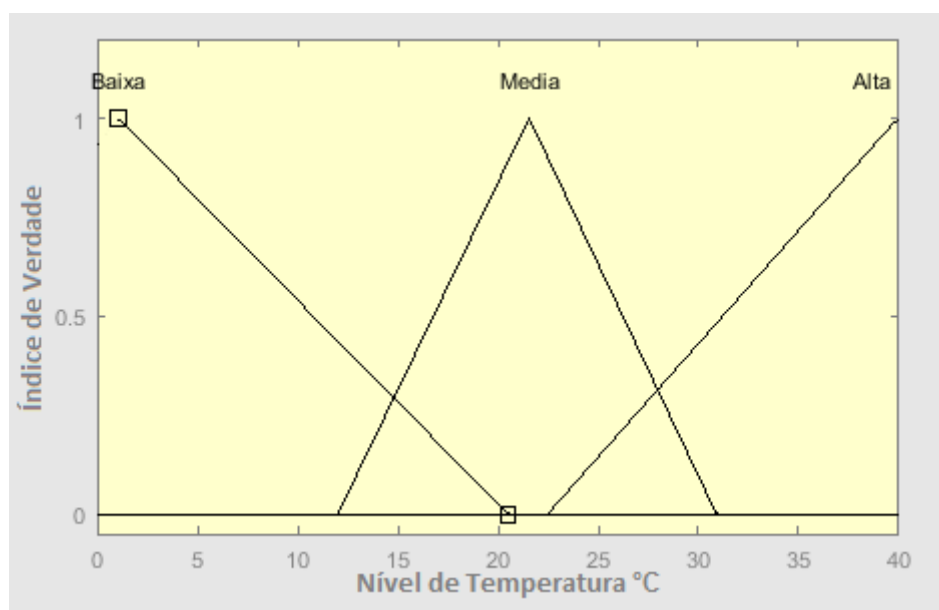


Figura 4.4: Entrada da variável Temperatura Ambiente.

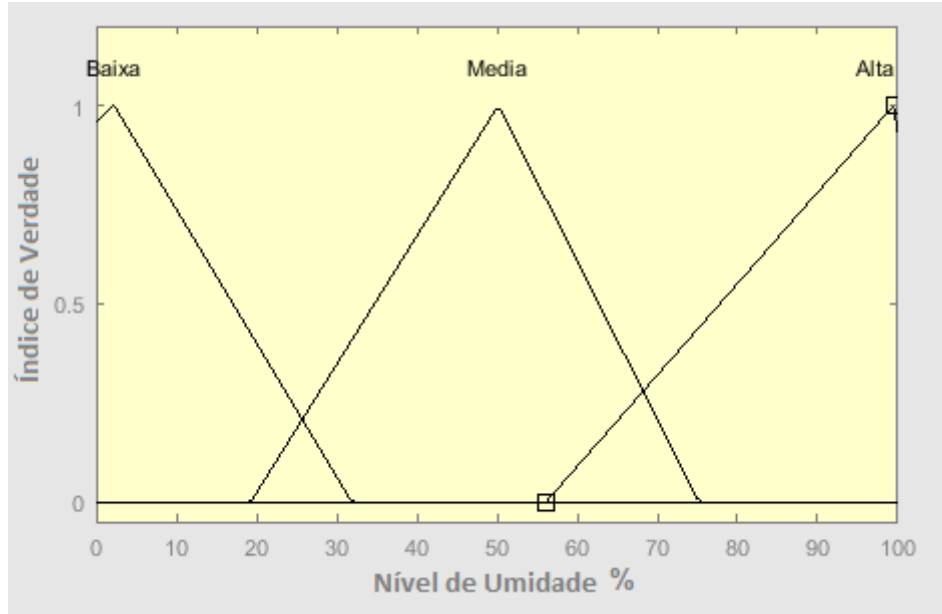


Figura 4.5: Entrada da variável Umidade Relativa do Ar.

O Algoritmo 1 invoca, na linha 7, a função $Fuzzify(L,U,T,H)$ que implementa um conjunto de regras considerando todas as possibilidades de entrada. A função $Fuzzify$ recebe 4 variáveis e atribui um dos 3 estados possíveis para cada, sendo esses Alta, Média ou Baixa. Ao final, tem-se um total de 81 regras de validação para gerar o resultado de saída, denominado Estado. O algoritmo 2 exemplifica, com 3 comparações, o funcionamento dessa função.

Algoritmo 2: FUNÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DE ESTADO.

Input: $Natural[L, U, T, H]$

Output: $Estado: Sol, Nublado, Sombra$

```

1 if  $Natural[L] = Alta \wedge Natural[U] = Alta \wedge Natural[T] = Alta \wedge Natural[H] = Alta$ 
  then
2   |  $Estado \leftarrow Sol$ 
3 if  $Natural[L] = Media \wedge Natural[U] = Media \wedge Natural[T] = Alta \wedge Natural[H] =$ 
   $Media$  then
4   |  $Estado \leftarrow Nublado$ 
5 if  $Natural[L] = Baixa \wedge Natural[U] = Baixa \wedge Natural[T] =$ 
   $Baixa \wedge Natural[H] = Alta$  then
6   |  $Estado \leftarrow Sombra$ 
7 :
8 return  $Estado$ 

```

A saída gerada após a comparação das entradas com as regras da função $Fuzzify$ é demonstrada na Figura 4.6, onde considera-se o nível de sombreamento encontrado pelo algoritmo entre 0 e 1, 0 é a total ausência de sombra, chamado de Sol, e 1 é a presença de sombra densa. O estado intermediário é chamado Nublado, e as regiões de intersecção são classificadas conforme a pertinência de cada saída.

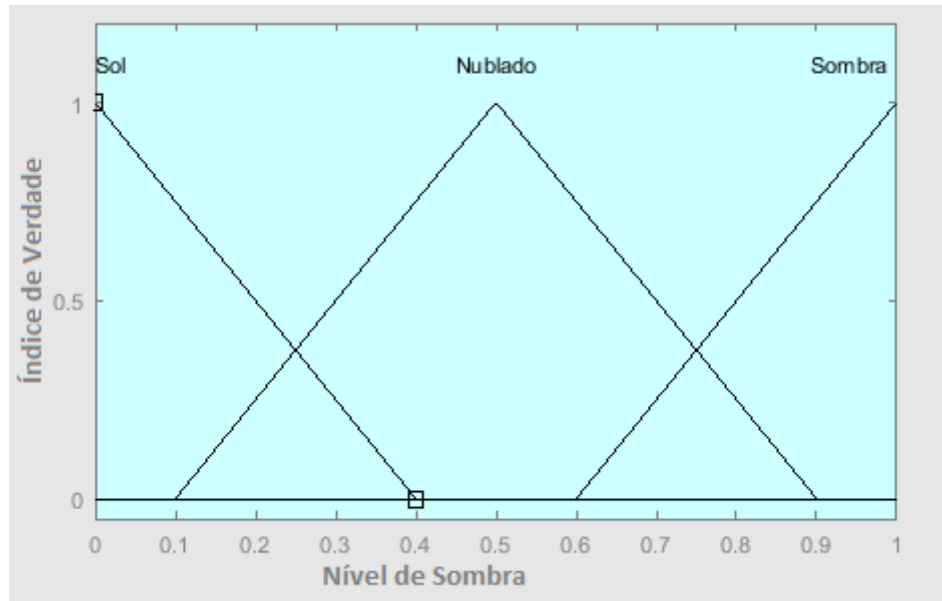


Figura 4.6: Saída de dados com o estado de sombreamento definido pelo processamento das regras.

A função Defuzzify recebe o valor de *Estado*, retornado pela função Fuzzify, e converte o resultado, que está em linguagem natural, para um número em ponto flutuante, entre 0 e 1, que determinará quão verdadeira e quão falsa é a pertinência de cada um dos estados possíveis.

4.3 Sistema Eletrônico para Aquisição de Temperatura Corporal e Luminosidade do Ambiente

Neste trabalho foi projetada uma plataforma eletrônica composta pelos sensores para aquisição dessas variáveis no entorno do bovino. Essa plataforma foi posteriormente incorporada em um sistema eletrônico mais abrangente que também manipula sinais fisiológicos de bovinos. Além de adquirir e digitalizar esses sinais, esse sistema eletrônico envia esses dados para um dispositivo computadorizado visando o processamento e a geração de informações.

As Figuras 4.7 e 4.8 apresentam o esboço do sistema e o fluxo de aquisição e tratamento das variáveis ambientais a partir do bovino.

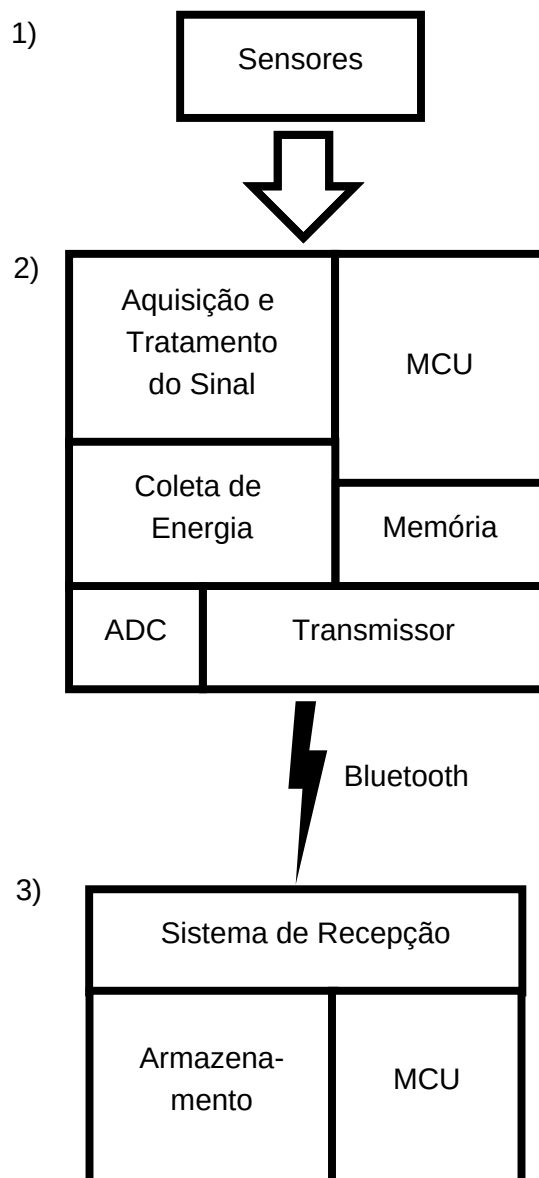


Figura 4.7: Esboço do sistema de hardware/software.

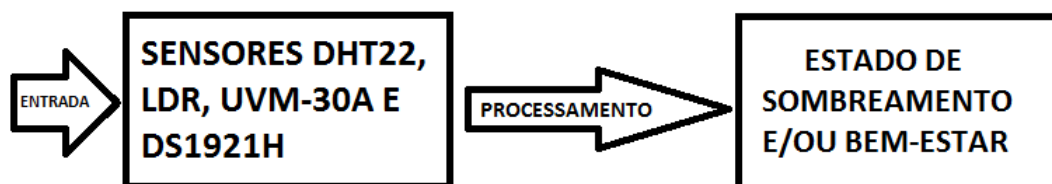


Figura 4.8: Fluxograma para aquisição dos sinais ambientais do bovino.

De acordo com o esquema apresentado na Figura 4.7 tem-se que os sensores de luminosidade, radiação UV, temperatura ambiente e umidade relativa do ar estarão acoplados

diretamente à plataforma, de forma a reduzir a quantidade de fios e cabos (1). O sensor de temperatura cutânea será fixado no cabresto utilizado pelo animal, de forma a mantê-lo em contato com uma região com cobertura menos espessa de pelos. O sistema eletrônico (este é chamado de nó) que controla a ação dos sensores e transmite esses dados para computador, *smartphone* ou *tablet* do usuário, será colocado no pescoço do animal (2). Os dados adquiridos pelos sensores serão convertidos para o formato digital, tratados e memorizados (cada animal terá seus dados registrados neste nó) por um sistema de hardware e software. Após esse processo, os dados serão transmitidos por um meio sem fio (3) para um sistema de recepção, que terá os registros de todos os animais monitorados, podendo assim fornecer informações a respeito das condições de cada animal após esses dados serem analisados.

Na Figura 4.8 é ilustrado a sequência de obtenção dos dados de temperatura e umidade do ambiente, luminosidade, radiação UV e temperatura cutânea do animal, possibilitando ao sistema verificar se o mesmo encontra-se a sol ou na sombra. Após os sinais fisiológicos e ambientais serem adquiridos pelos respectivos sensores, esses serão repassados para um circuito de filtragem e condicionamento do sinal para, posteriormente, serem armazenados e enviados para dispositivo onde será feito o processamento, disponibilização e armazenamento de dados.

As Figuras 4.9 e 4.10 apresentam, respectivamente, o esquemático eletrônico da plataforma eletrônica inicialmente implementada para aquisição e condicionamento do sinal de temperatura cutânea a partir do sensor DS1921H citado na seção 3.2.1 e o protótipo plataforma eletrônica com módulos RTC, cartão μSD e *jumpers* para os sensores DS1921H, UV e LDR citado na seção 3.3, além de um LCD para visualização dos resultados.

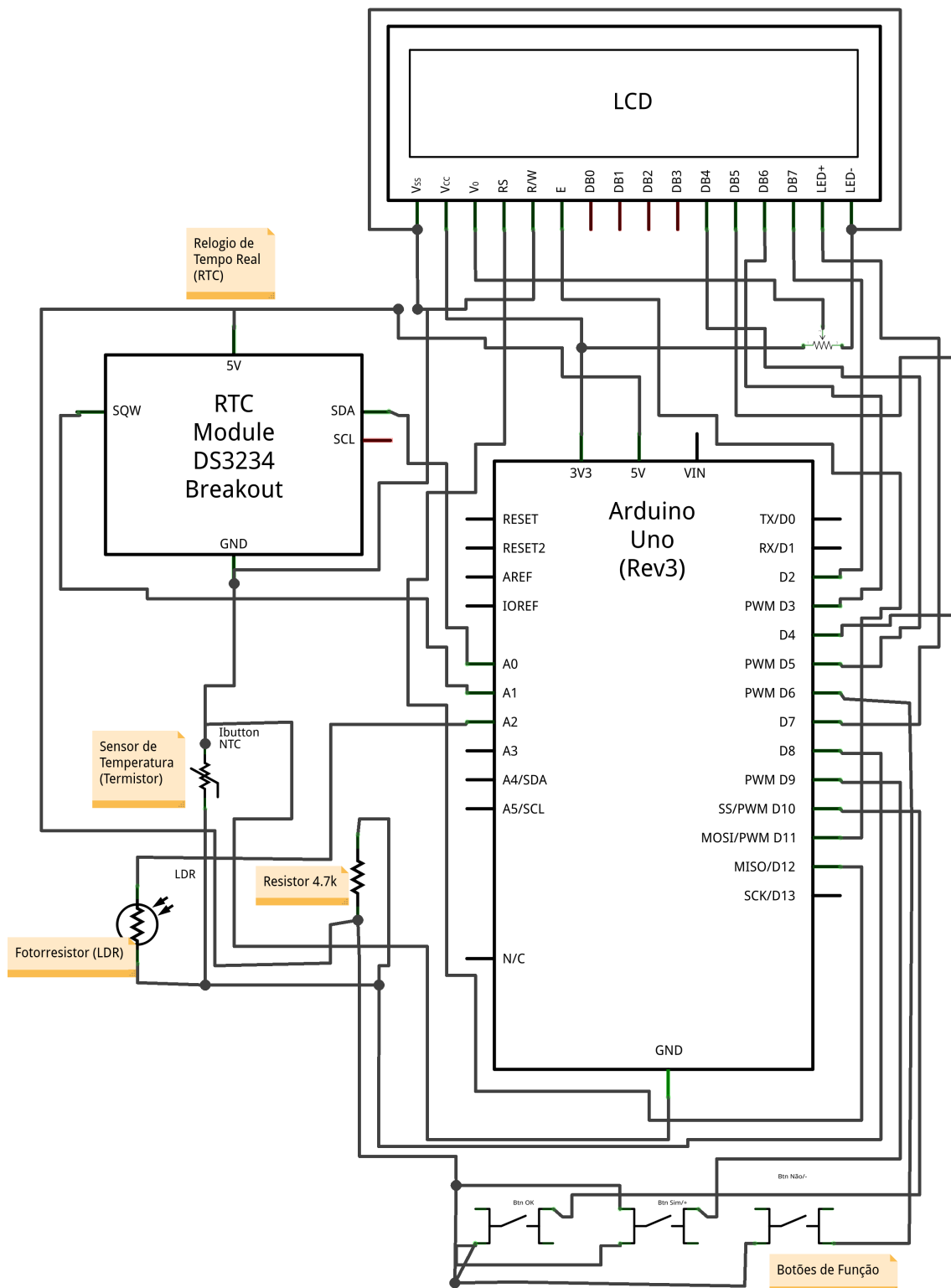


Figura 4.9: Esquema eletrônico da plataforma.

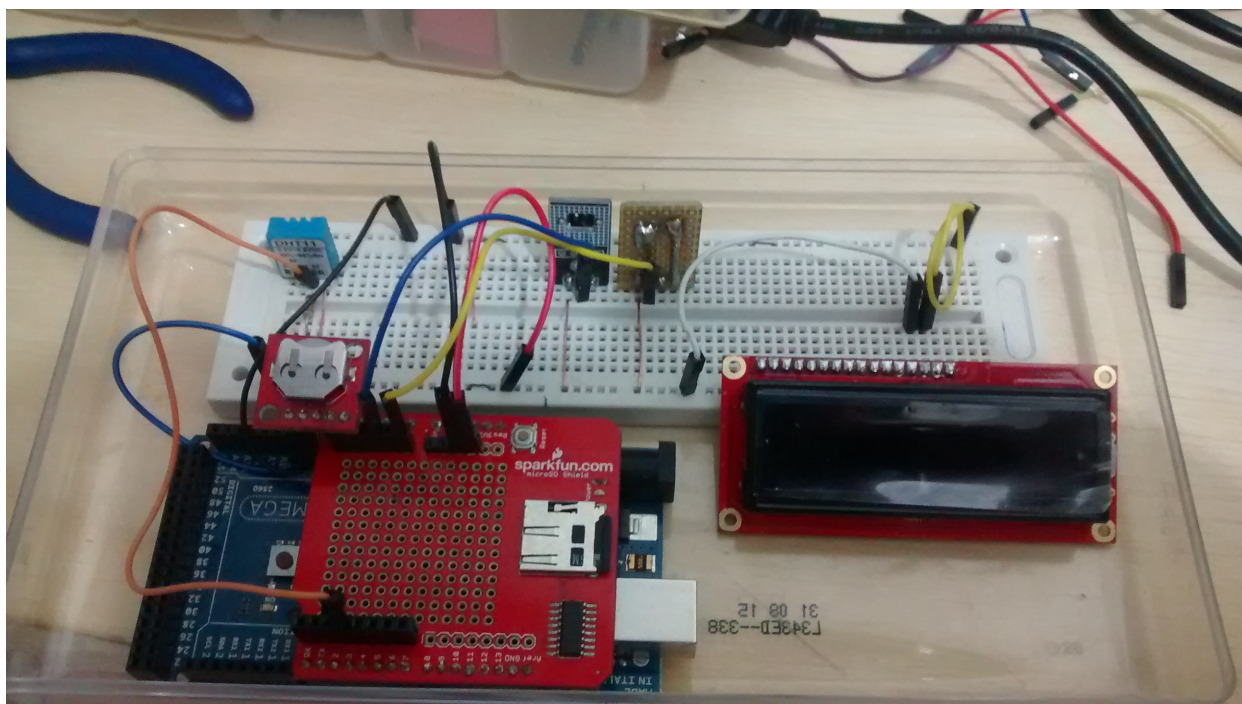


Figura 4.10: Protótipo do circuito eletrônico para aquisição e condicionamento dos sinais de luminosidade, radiação UV, temperatura ambiente e umidade relativa do ar.

A Figura 4.11 apresenta a plataforma eletrônica em um experimento de campo utilizando apenas os sensores LDR, temperatura do ambiente e umidade relativa do ar. O nível de incidência de luz estava predeterminado (a plataforma estava sob sombra de árvore) assim que foram verificadas diferenças de leituras nos sensores de temperatura e umidade do ar.



Figura 4.11: Plataforma eletrônica com captura de sombreamento em local com sombra de árvore nativa.

A Figura 4.12 apresenta a plataforma eletrônica sendo utilizada em um período do tempo em que o ambiente estava nublado.



Figura 4.12: Plataforma eletrônica com captura de sombreamento em local nublado.

Após analisar a incidência de luz sobre o sensor, pode-se verificar que mesmo em condições diferenciadas de abrigo, sombra ou exposição a céu aberto, haviam situações em que não foi possível classificar de forma correta o estado de sombreamento, pois o sensor identifica a luz incidente apenas em sua superfície. Em determinadas situações, o sombreamento existente com sombras de árvore e em ambiente nublado tornavam-se idênticos. Para resolver esse problema foi adicionado o sensor de radiação UV, conforme Figura 4.13. Esse sensor identifica a incidência de raios ultravioleta sobre a plataforma, possibilitando assim que mesmo que o sensor de luminosidade classifique o estado como sombra, pode-se diferenciar este do estado nublado com a presença de raios UV. Nos experimentos realizados, observou-se que sob a sombra de árvores nativas com cobertura densa a radiação UV foi praticamente anulada.

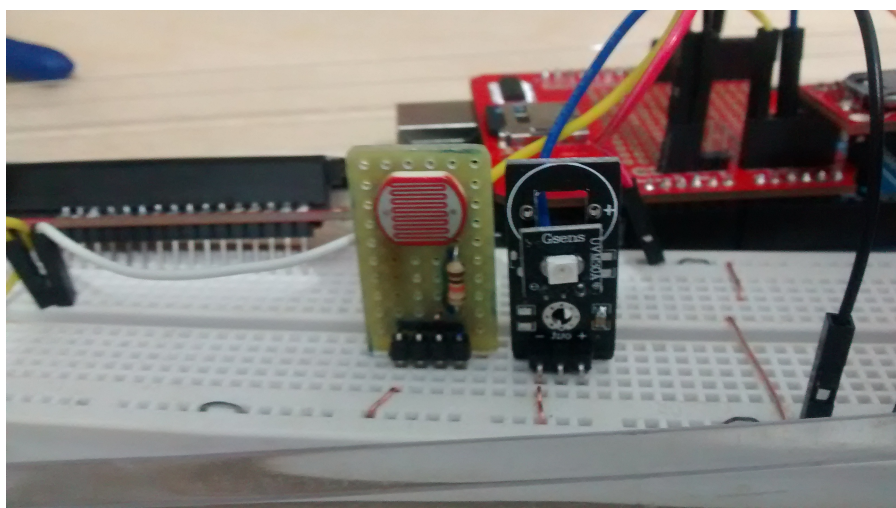


Figura 4.13: Plataforma eletrônica com captura de sombreamento com sensor UV.

Em casos mais específicos, além de dados de luz e radiação UV, utiliza-se de dados de temperatura ambiente e umidade relativa do ar, pois as duas variáveis anteriores não contemplam todos os estados possíveis. Analisando as variações de temperatura e umidade

entre os estados, pode-se observar alterações sutis nos níveis obtidos com esses sensores quando o sistema altera o estado, principalmente entre sombra e nublado. A Figura 4.14 apresenta todos os sensores necessários para essa classificação.

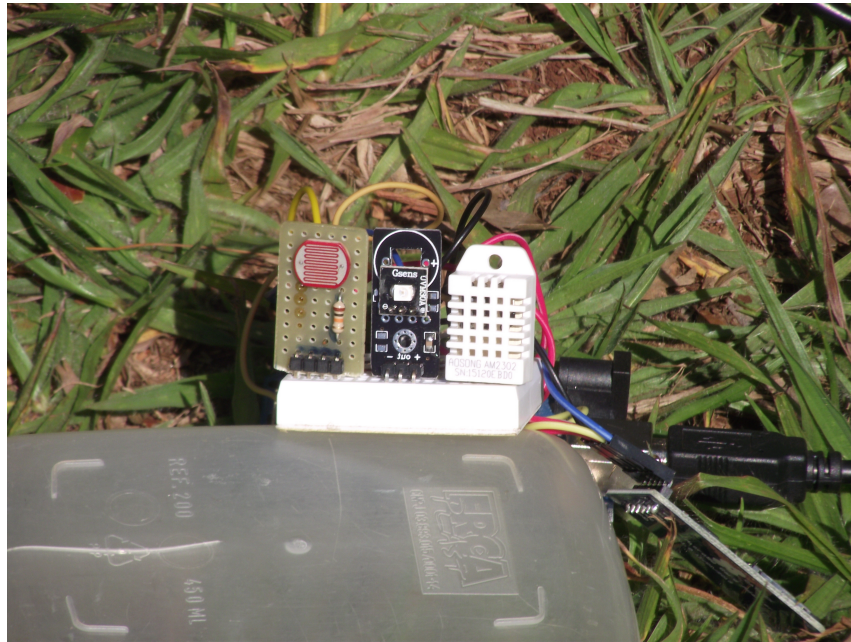


Figura 4.14: Plataforma eletrônica com captura de sombreamento com todos os sensores ambientais acoplados.

As Figuras 4.15 e 4.16 apresentam a placa de circuito impresso da plataforma eletrônica atualmente em utilização. Essa plataforma foi totalmente reprojeta e prototipada com componentes eletrônicos com tecnologia SMD e utilizando duas faces da placa de circuito impresso visando reduzir o tamanho final do hardware, o custo de prototipação, além de minimizar erros de utilização dos componentes.

Ressalta-se que o circuito representado nas Figuras 4.15, 4.16 correspondem ao dispositivo chamado de nó na Figura 4.7. A saída desse circuito é um arquivo de texto, criado no cartão μSD , que registra as temperaturas do animal em intervalos equidistantes.

A Figura 4.17 apresenta um exemplo de arquivo gerado pela plataforma eletrônica e gravado em sua memória interna. Os dados contidos no arquivo são enviados utilizando comunicação sem fio para um dispositivo móvel, como um *smartphone* ou *tablet*, e o software contido nesse dispositivo realiza o processamento de tais dados para fornecer as informações detalhadas sobre o estado de sombreamento, além das funcionalidades de determinação de frequência respiratória, frequência cardíaca e outras informações relevantes.

4.4 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentados os componentes do sistema de classificação automática de sombreamento, detalhando a integração de hardware e software. Após testes com dados reais, adquiridos por experimentos realizados em campo, verificou-se que o sistema de classificação automática de sombreamento obteve um nível de acerto de 75%, enquanto

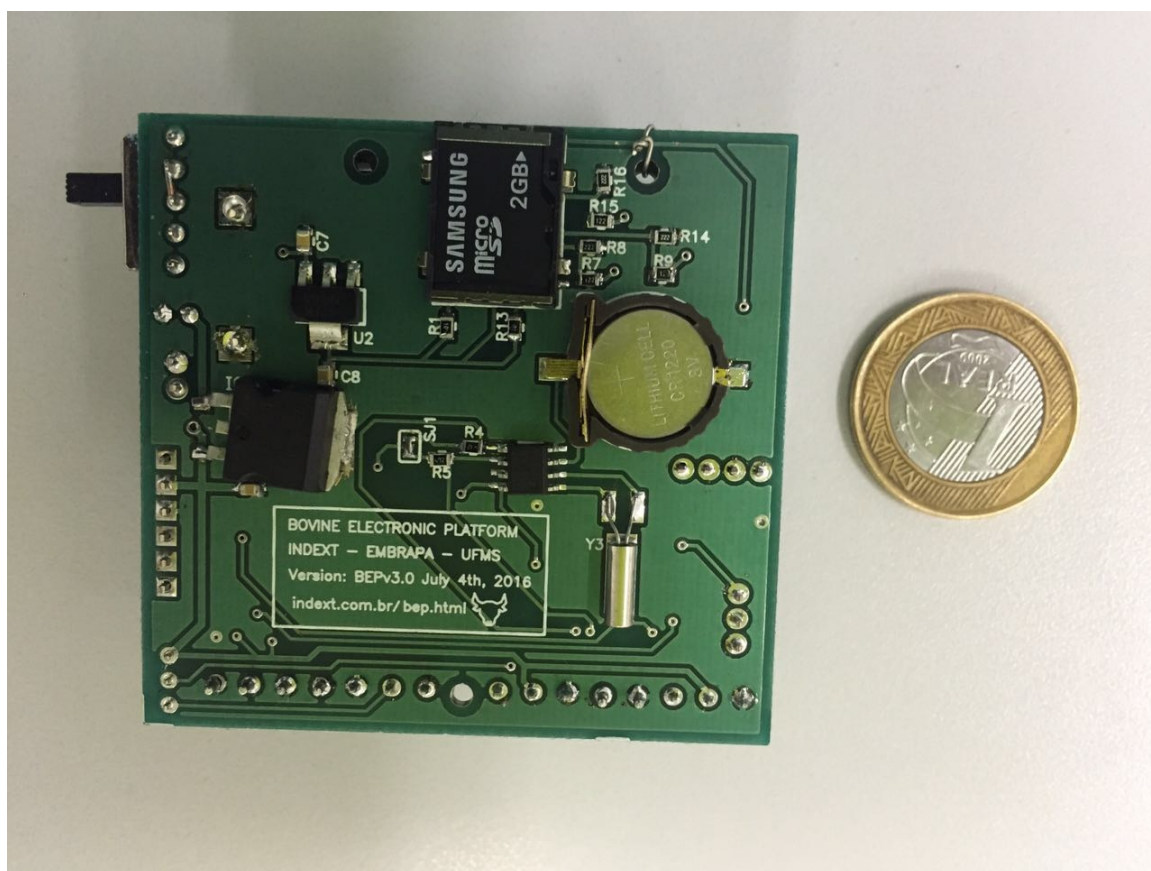


Figura 4.15: Face inferior da placa de circuito impresso da plataforma eletrônica com cartão μ SD e dispositivo RTC para registro dos dados dos sensores.



Figura 4.16: Face superior da placa de circuito impresso da plataforma eletrônica com acoplamento para todos os sensores ambientais (*bornes* azul e verde) e bateria 9V.

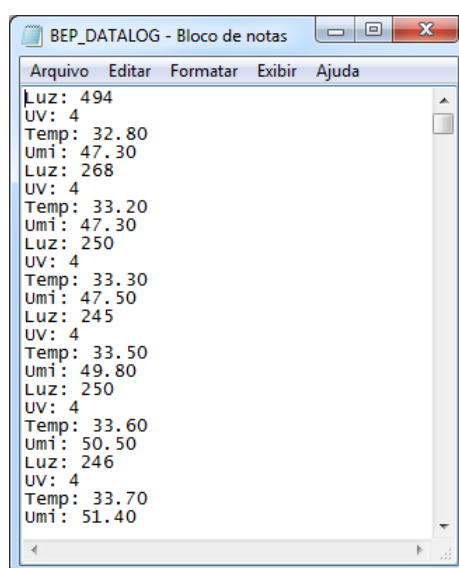


Figura 4.17: Arquivo de dados contendo variáveis adquiridas pelo sistema.

o modelo booleano tradicional não conseguiu classificar várias situações onde os fatores de entrada tinham diferentes variações e o algoritmo não encontrava nenhuma solução possível para a saída de dados. Em um experimento realizado em campo, na Embrapa Gado de Corte, próximo ao local onde os animais pastejam, observou-se o sistema classifica o estado conforme a entrada de valores lidos pelo sensores de forma automática e com significativa taxa de acerto. Pode-se observar que ao verificar mudanças de níveis de luz, radiação UV, temperatura ambiente e umidade relativa do ar, não necessariamente nesta ordem, o sistema recalcula a saída para fornecer o estado em que a plataforma, e consequentemente o animal que a utilizará, se encontram.

O próximo capítulo apresenta o conjunto de experimentos utilizados para validar e avaliar a estratégia de hardware e software, implementada neste trabalho, para determinação do sombreamento.

Capítulo 5

Experimentos e Resultados

Este capítulo apresenta os experimentos realizados para a avaliação e validação do sistema proposto. Os experimentos abrangem desde a calibração e testes funcionais com os sensores, até a utilização do sensor de temperatura cutânea em animais e os sensores ambientais em diferentes períodos de tempo. Os resultados obtidos pelo sistema foram comparados com dados advindos de coletas manuais. Nessas coletas, profissionais da área observaram dados do ambiente como luminosidade, radiação UV, temperatura, umidade relativa do ar, além do tipo de sombreamento para, posteriormente, compará-los com dados dos sensores.

5.1 Experimentos com Sensores do Ambiente

Os dados do ambiente foram coletados em 2 experimentos, realizados na sede da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Gado de Corte, localizada em Campo Grande, MS. Tais experimentos envolveram a aquisição de dados de luminosidade, radiação UV, temperatura ambiente e umidade relativa do ar. A presença dessas variáveis como entrada para o algoritmo de estimativa de sombreamento possibilitou a comparação com os dados da base de conhecimento dos profissionais da área de zootecnia.

A equipe de pesquisadores da Embrapa Gado de Corte realiza frequentemente experimentos com equipamentos providos de sensores de radiação solar global, radiação PAR e um piranômetro, que mede a luz em *Lux*. Um desses experimentos foi utilizado como base para comparação aos resultados que o sistema de classificação automática de sombreamento forneceu, aplicando a fórmula de cálculo de índice de UV desenvolvida por Escobedo et al. [52], que consiste em derivar as radiações UV, IV e PAR da radiação global. As radiações UV, PAR e IV foram correlacionadas com a radiação global, com coeficientes de determinação r^2 em torno de 0,99. As equações de estimativas quantificam as frações das radiações UV, PAR e IV no espectro global como: $UV/G=4,2\%$; $PAR/G= 49,0\%$ e $IV/G= 46,8\%$ conforme a seguir:

$$1 : H_{UV}^h = 0,04146H_G^h \quad 2 : H_{IV}^h = 0,49057H_G^h \quad 3 : H_{PAR}^h = 0,46797H_G^h \quad (5.1)$$

Os experimentos tem como padrão a medição de variáveis ambientais a partir de observação dos sensores. A cada hora, um profissional coleta esses dados e os insere na planilha, indicando qual o estado de sombreamento utilizado para aquele experimento. Normalmente realiza-se a medição de dois locais distintos simultaneamente, um exposto ao sol e outro a sombra de árvores, como o eucalipto, utilizadas em ambiente iLPF. As anotações são feitas das 08:00hs as 16:00hs. A Tabela 5.1 apresenta os dados de um experimento realizado na Embrapa Gado de Corte.

horário	Microclima					Radiação		
	Vv	Ta(°C)	UR(%)	Tpo(°C)	Tgn(°C)	Rad. Global	Piranômetro	Fotômetro
08:00	1,4	26,3	61,3	18,2	27,2	173,3	55,9	8,7
09:00	2,1	28,0	55,9	18,3	28,8	162,2	54,4	8,1
10:00	2,3	28,7	54,0	18,4	30,6	187,9	70,1	9,4
11:00	0,7	30,0	48,3	17,8	31,3	163,7	63,7	8,2
12:00	0,3	29,5	50,7	18,2	32,1	200,6	91,1	10,5
13:00	0,6	29,3	51,1	18,1	31,8	292,4	133,7	15,7
14:00	0,0	29,8	51,9	18,8	30,9	285,4	157,9	17,0
15:00	0,0	26,6	61,0	18,4	28,3	132,5	53,5	7,0
16:00	0,2	24,3	66,8	17,7	25,4	157,6	52,6	7,9

Tabela 5.1: Dados fornecidos pela Embrapa Gado de Corte.

Aplicando a equação de Escobedo aos dados de radiação global da Tabela 5.1, normalizando os resultados obtidos para a faixa (0-11) de UV, aceita pelo algoritmo de estimativas de sombreamento, e normalizando os dados do LDR para a faixa de valores (0 a 1023) suportada pelo sistema para a variável Luz, obtém-se os seguintes resultados:

Horário	Ta(°C)	UR(%)	UV(0-11)	Luz(0-1023)	Estado
08:00	26,3	61,3	7	892	Sol
09:00	28,0	55,9	6	791	Nublado
10:00	28,7	54,0	7	890	Sol
11:00	30,0	48,3	6	774	Nublado
12:00	29,5	50,7	8	887	Sol
13:00	29,3	51,1	11	953	Sol
14:00	29,8	51,9	11	961	Sol
15:00	26,6	61,0	5	713	Sombra
16:00	24,3	66,8	6	778	Nublado

Tabela 5.2: Resultado do algoritmo de sombreamento a partir da conversão da radiação global para UV.

A coluna UV corresponde à conversão de Radiação Global da Tabela 5.1 para UV da Tabela 5.2 conforme equação linear de Escobedo [52]. Note que a coluna Estado é o resultado que o algoritmo de classificação automática de sombreamento atribuiu após processar os dados da Tabela 5.2. Algumas instâncias do experimento obtiveram "Sol" como estado de sombreamento, contrariando o estado observado nos dados de origem, conforme indicado pelo profissional responsável por essas informações. A justificativa para essa situação deve-se à pouca exatidão da conversão e normalização dos valores de radiação global para UV. Essas

atividades de normalização e conversão serão alvo de futuras pesquisas visando a melhoria desse processo.

Um novo experimento foi realizado na sede da Embrapa Gado de Corte utilizando exclusivamente a plataforma eletrônica projetada neste trabalho para aquisição e processamento dos dados ambientais. Os gráficos das Figuras 5.1 e 5.2 apresentam os resultados obtidos pelos sensores da plataforma eletrônica.

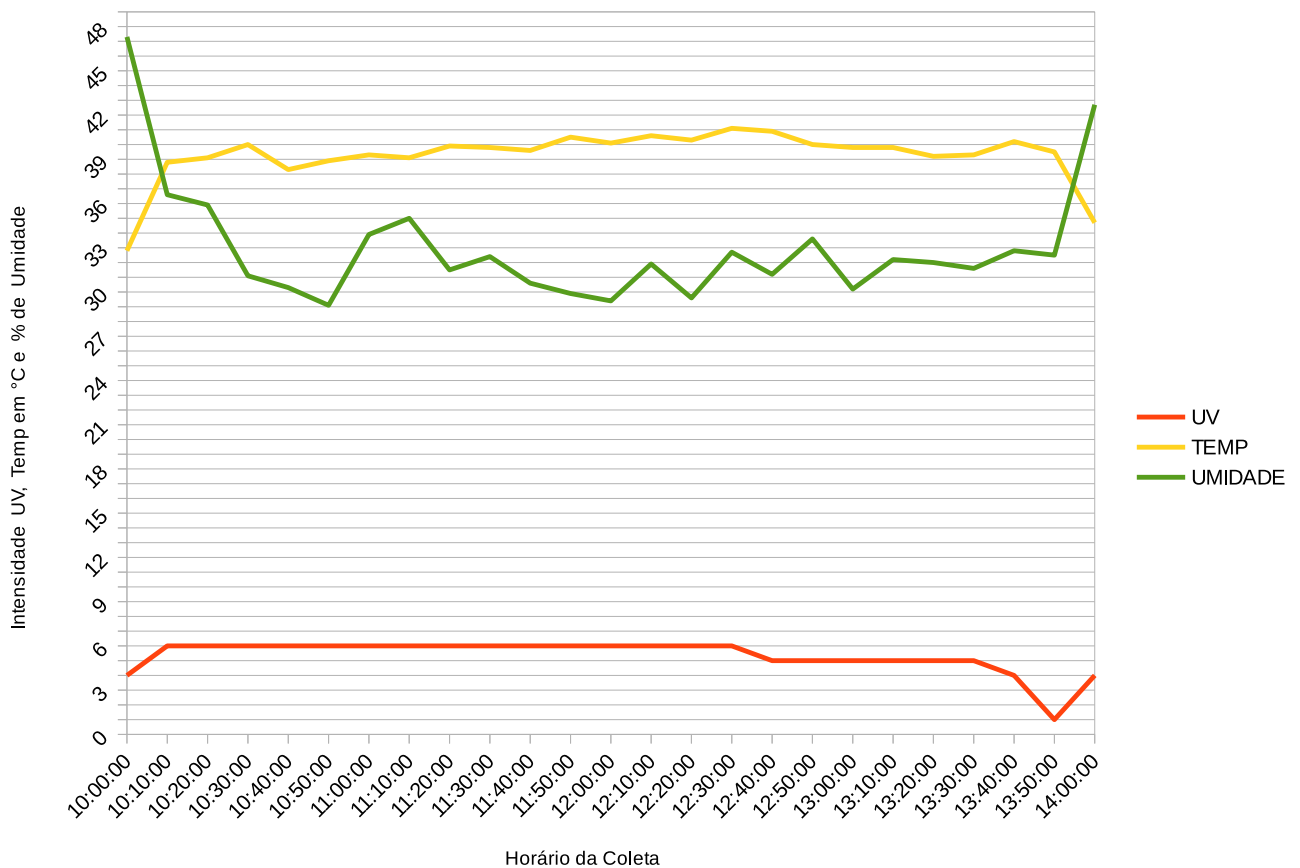


Figura 5.1: Valores para UV, Temperatura e Umidade do ar.

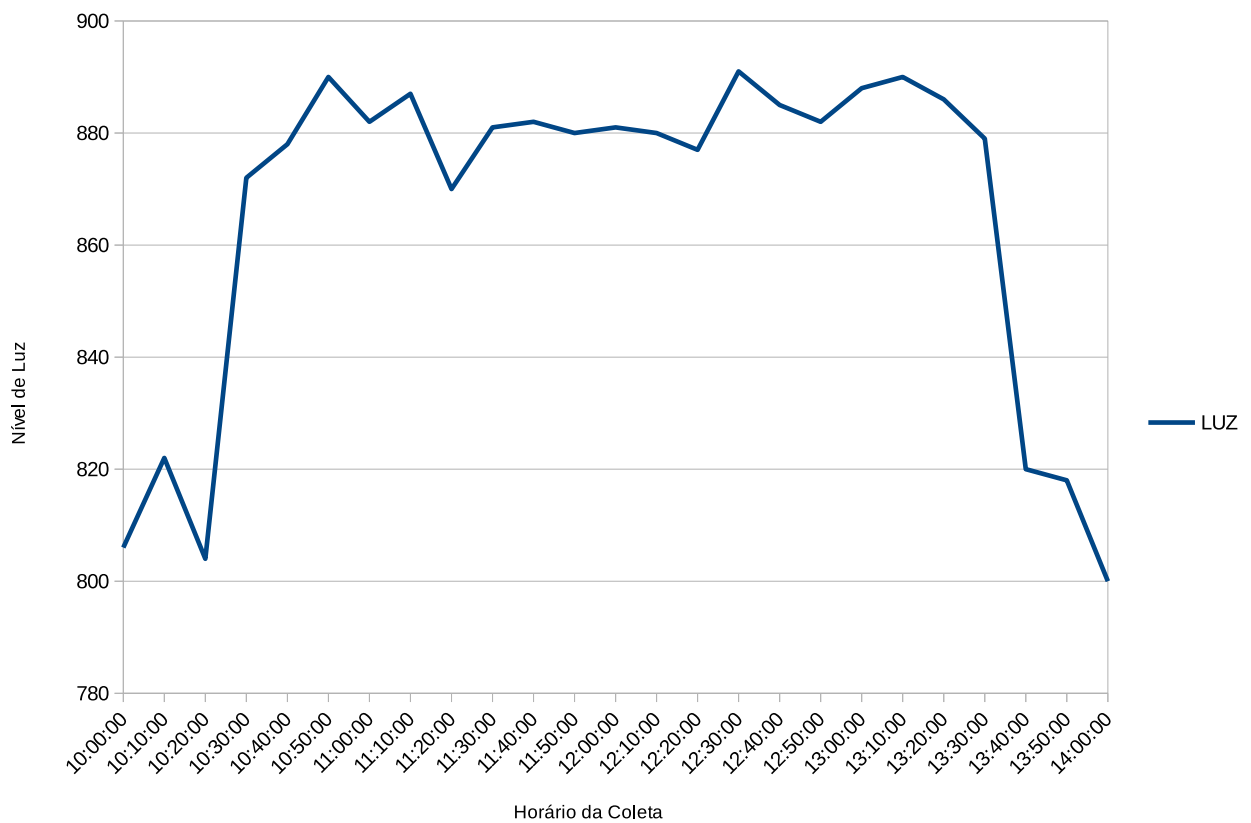


Figura 5.2: Valores para luz incidente sobre o sensor LDR.

Analisando os resultados do experimento com o algoritmo de classificação automática de sombreamento baseado em lógica difusa, obteve-se os resultados listados na Tabela 5.3. O experimento foi iniciado às 10:00hs do dia 13/07/2016, e durou 4 horas, com medições a cada 3 segundos. A frequência dos dados foi reduzida para um intervalo de 10 minutos para fins de apresentação. A coleta foi feita sob sol, e por volta das 13:50hs observou-se uma nuvem densa sobre o local. O comportamento do sistema foi o esperado, classificando as alterações de níveis de Luz, UV, Temperatura e Umidade conforme as regras definidas nos *fuzzysets*.

Horário	Luz(0-1023)	UV(0-11)	Temperatura($^{\circ}C$)	Umidade(%)	Estado
10:00:00	806	4	32,8	47,3	Sol
10:10:00	822	6	38,8	36,6	Sol
10:20:00	804	6	39,1	35,9	Sol
10:30:00	872	6	40	31,1	Sol
10:40:00	878	6	38,3	30,3	Sol
10:50:00	890	6	38,9	29,1	Sol
11:00:00	882	6	39,3	33,9	Sol
11:10:00	887	6	39,1	35	Sol
11:20:00	870	6	39,9	31,5	Sol
11:30:00	881	6	39,8	32,4	Sol
11:40:00	882	6	39,6	30,6	Sol
11:50:00	880	6	40,5	29,9	Sol
12:00:00	881	6	40,1	29,4	Sol
12:10:00	880	6	40,6	31,9	Sol
12:20:00	877	6	40,3	29,6	Sol
12:30:00	891	6	41,1	32,7	Sol
12:40:00	885	5	40,9	31,2	Sol
12:50:00	882	5	40	33,6	Sol
13:00:00	888	5	39,8	30,2	Sol
13:10:00	890	5	39,8	32,2	Sol
13:20:00	886	5	39,2	32	Sol
13:30:00	879	5	39,3	31,6	Sol
13:40:00	820	4	40,2	32,8	Sol
13:50:00	818	1	39,5	32,5	Nublado
14:00:00	800	4	34,7	42,7	Sol

Tabela 5.3: Dados experimentais coletados com a plataforma eletrônica na Embrapa Gado de Corte.

5.2 Experimentos com Sensor de Temperatura Cutânea

A obtenção de dados fisiológicos pelo sistema possibilita a verificação da saúde do animal analisando índices regulares de temperatura corporal, frequência cardíaca e respiratória, comparando-os com a base de conhecimento fornecida pelos profissionais da área de zootecnia. O sensor de temperatura utilizado para os experimentos foi detalhado na seção 3.2.1. Utilizando-se de um circuito especificamente projetado para acoplar esse sensor na plataforma eletrônica, realizou-se experimento de aquisição de sinais de temperatura cutânea com 4 animais da raça Nelore.

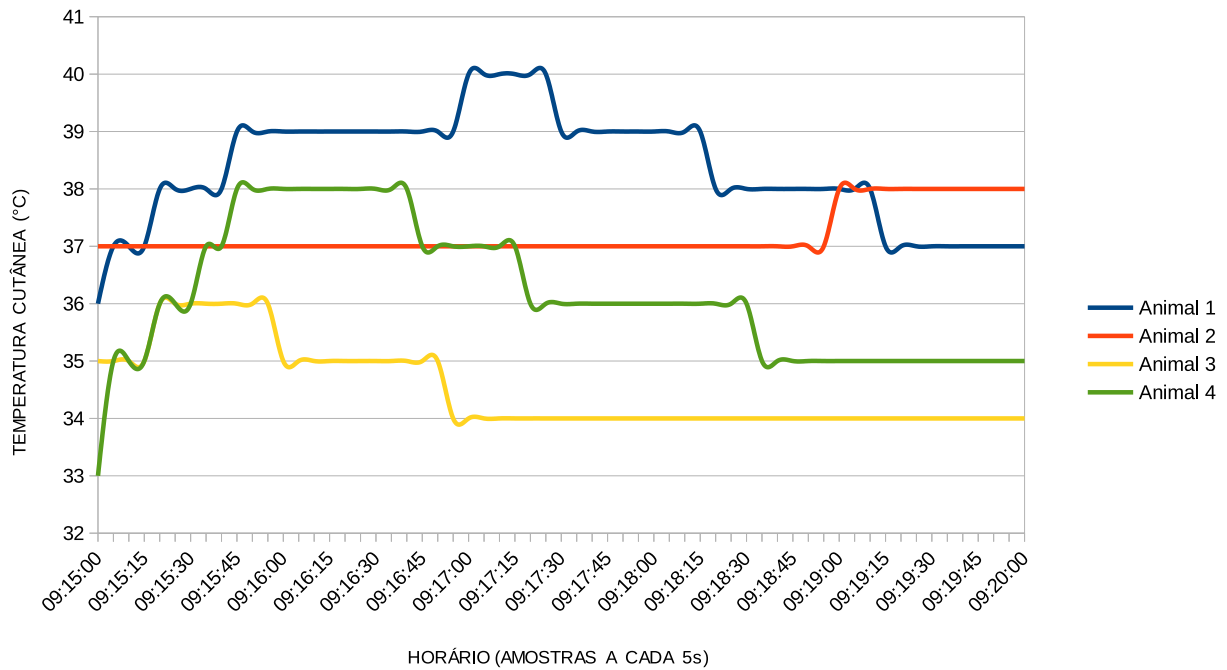


Figura 5.3: Dados de temperatura de 4 animais.

Pode-se observar medidas de temperatura cutânea constantes, com variações pequenas, muitas vezes causadas pelo deslocamento do sensor.



Figura 5.4: Captura de temperatura de animais em curral.

5.3 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentados os experimentos para a validação do sistema de classificação automática de sombreamento. Os experimentos realizados permitiram observar

que o sistema proposto cumpre com seu objetivo de automatizar o processo de aquisição das variáveis fisiológicas e ambientais. Nota-se, entretanto, que trabalhos futuros visando o avanço do sistema precisam ser realizados para utilizar esses dados automatizados nas equações de conforto térmico.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho objetivou automatizar o processo de aquisição de dados fisiológicos de animais e ambientais visando a identificação e mensuração do conforto térmico em bovinos. Dessa forma, desenvolveu-se um sistema eletrônico para automatizar a aquisição de dados fisiológicos (temperatura cutânea) e ambientais (temperatura e luminosidade do ambiente, radiação UV, umidade do ambiente). Esse sistema é composto por uma plataforma eletrônica e um algoritmo de estimativa de sombreamento. A plataforma agrega sensores fisiológicos e ambientais, possui alimentação energética autônoma, realiza o processamento dos dados dos sensores, armazena os dados processados e permite o envio desses dados para outro dispositivo do usuário utilizando tecnologia *bluetooth*. O algoritmo de sombreamento utiliza os dados recebidos pela plataforma eletrônica e possibilita estimar o nível de sombreamento utilizado pelo animal ao longo de período de tempo. Tal informação, aliada aos dados dos sensores, permite estimar se o animal encontra-se em conforto térmico e dá indicativos sobre seu bem-estar.

Para a aquisição da temperatura cutânea foi utilizado o sensor ibutton DS1921H, descrito no Capítulo 3, que mostrou-se suficientemente robusto e compacto para a utilização em ambiente com exposição a radiação solar, chuvas e demais intempéries, sem afetar seu desempenho. Os sensores utilizados para a aquisição de variáveis ambientais foram escolhidos com base em alguns critérios, como preço acessível e facilidade de projeto e interfaceamento com plataformas de microcontroladores.

Experimentos foram realizados visando a validação dos dados adquiridos através dos sensores, assim como as estimativas de sombreamento pelo algoritmo *fuzzy* de identificação de sombreamento sobre o animal. Dois experimentos foram realizados nas dependências da Embrapa Gado de Corte, totalizando 12 horas de aquisição de dados ambientais, visando validar os dados retornados pelos sensores e as estimativas do algoritmo. No primeiro experimento realizado, os dados foram obtidos a partir de equipamento utilizados por profissionais da área de zootecnia na Embrapa Gado de Corte, seguindo protocolos adotados para experimentos manuais realizados por profissionais da empresa. Um segundo experimento utilizou o sistema aqui proposto para adquirir os dados e determinar os níveis de sombreamento. Também foi realizado um experimento com o sensor de temperatura cutânea para verificação de sua eficiência em diferentes regiões do corpo do animal e diferentes configurações de acionamento.

Parte dos projetos e desenvolvimentos realizados no âmbito deste trabalho constituíram um pedido de patente de invenção, solicitado junto ao INPI, com pesquisadores da UFMS e da Embrapa Gado de Corte. Esse pedido de patente foi instituído: "EQUIPAMENTO, MÉTODO E SISTEMA NÃO INTRUSIVOS DE MONITORAMENTO DE SINAIS FISIOLÓGICOS DE ANIMAIS E PARÂMETROS AMBIENTAIS". Número do registro: BR10201600222, data de depósito: 20/01/2016.

6.1 Contribuições

O fato deste trabalho tratar da automatização sobre a aquisição, processamento e análise de dados de temperatura cutânea e variáveis ambientais em bovinos, de forma não invasiva e sem a necessidade de captura e contenção dos animais, pode ser visto como uma das principais contribuições. Nota-se que ainda há poucos trabalhos encontrados na literatura que tratam dessas questões, geralmente lançando mão de soluções comerciais ou que não prezam o bem-estar dos animais durante os experimentos. De forma geral, outras contribuições deste trabalho são elencadas a seguir:

- Projeto e desenvolvimento de plataforma eletrônica para aquisição, processamento, armazenamento e comunicação de dados fisiológicos e ambientais. Essa plataforma eletrônica foi agregada a um sistema eletrônico com mais funcionalidades e em desenvolvimento pelos demais pesquisadores do Laboratório de Sistemas Computacionais de Alto Desempenho (LSCAD) da Faculdade de Computação (FACOM) da UFMS;
- Projeto e desenvolvimento de algoritmo para estimativas de sombreamento, baseado em lógica Fuzzy, a partir dos dados de sensores ambientais;

6.2 Dificuldades Encontradas

A determinação de integrar aspectos teóricos (fisiologia animal, biometeorologia de bovinos e modelos matemáticos para estimativa de sombreamento) com prática (projeto, implementação, validação, experimentos) adiciona dificuldade para o completo desenvolvimento deste trabalho. Em muitos materiais da literatura deste projeto, que é intrinsecamente multidisciplinar, tornou-se difícil alcançar a compreensão de pontos fundamentais para a realização do trabalho, como a fisiologia bovina e os métodos de análise de dados ambientais. Mais especificamente, durante a fase de coleta de dados (experimentos) e implementação dos algoritmos, algumas dificuldades técnicas foram encontradas, tais como:

- Sensor de Temperatura Cutânea: Transcrição dos métodos de leitura, escrita e programação da memória do sensor DHT1921H, utilizando-se somente de *datasheets*, engenharia reversa e conhecimentos em programação.
- Diferenciação dos estados de sombreamento: A partir da necessidade em diferenciar três situações de sombreamento, houve necessidade de incluir novos sensores no projeto original da plataforma eletrônica além da necessidade de realizar análise detalhada

sobre a modelagem do conhecimento do especialista para automatizar a identificação de sombreamento.

6.3 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, pode-se citar:

- Realização de experimentos com sensor de temperatura cutânea envolvendo mais animais e com diferentes configurações de aquisição de dados;
- Realização de experimentos com sensores ambientais e de temperatura cutânea acoplados ao animal e em ambientes que possibilitem identificar a presença de sombras naturais, tempo nublado e ensolarado.
- Caracterização energética da plataforma eletrônica visando identificar picos de consumo energético;
- Comparação do algoritmo *fuzzy* para estimativa de sombreamento com outros algoritmos de aprendizado de máquina visando utilizar algoritmos robustos e mais adaptáveis para situações inicialmente não modeladas pelo algoritmo.

Referências Bibliográficas

- [1] T. Banhazi and J. Black, “Precision livestock farming: A suite of electronic systems to ensure the application of best practice management on livestock farms,” *Australian Journal of Multi-disciplinary Engineering*, 2009.
- [2] C. Wathes, “Precision livestock farming for animal health, welfare and production,” tech. rep., Tartu: Estonian University of Life Sciences, Jogeve Plant Breeding Institute, Estonian Research Institute of Agriculture, 2007.
- [3] F. V. Alves, “Adaptabilidade de bovinos e ovinos de corte sob diferentes condições climáticas,” tech. rep., Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2012.
- [4] J. Albright, “Nutrition, feeding and calves: feeding behavior of dairy cattle,” *Journal of Dairy Science*, vol. 76, pp. 485–498, 1993.
- [5] N. Silanikove, “Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants,” *Livestock Production Science*, vol. 67, pp. 1–18, 2000.
- [6] F. Glaser, *Aspectos comportamentais de bovinos das raças Angus, Caracu e Nelore a pasto frente à disponibilidade de recursos de sombra e água para imersão*. PhD thesis, Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, 2008.
- [7] A. B. J.K. Blackshaw, “Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review,” *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 34, pp. 285–295, 1994.
- [8] L. D. T. S. et al, *Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: potencialidades e técnicas de produção*. Montes Claros-MG: ICA, 1 ed., 2012.
- [9] R. da Silva and A. Maia, *Principles of Animal Biometeorology*. Biometeorology, Springer Netherlands, 2012.
- [10] G. Hahn *et al.*, “Management and housing of farm animals in hot environments,” *Stress physiology in livestock. Volume II. Ungulates.*, pp. 151–174, 1985.
- [11] C. Kelly, T. Bond, and N. Ittner, “Thermal design of livestock shades,” *Agric. Eng.*, vol. 31, no. 12, 1950.
- [12] H. Roman-Ponce, W. Thatcher, D. Buffington, C. Wilcox, and H. Van Horn, “Physiological and production responses of dairy cattle to a shade structure in a subtropical environment,” *Journal of Dairy Science*, vol. 60, no. 3, pp. 424–430, 1977.

- [13] A. McDaniel and C. Roark, "Performance and grazing habits of hereford and aberdeen-angus cows and calves on improved pastures as related to types of shade," *Journal of Animal Science*, vol. 15, no. 1, pp. 59–63, 1956.
- [14] E. McIlvain and M. Shoop, "Shade for improving cattle gains and rangeland use (el uso de sombreadores para mejorar las ganancias de novillas y pastoreo de animales)," *Journal of Range Management*, pp. 181–184, 1971.
- [15] F. Baccari Jr, P. Assis, R. Polastre, and C. Fre, "Shade management in tropical environment for milk production in crossbred cows," *Proceedings Western Section American Society of Agricultural Engineering*, vol. 33, pp. 209–210, 1982.
- [16] S. Warren, L. Nagl, R. Schmitz, J. Yao, T. Hildreth, H. Erickson, D. Poole, and D. Andresen, "A distributed infrastructure for veterinary telemedicine; engineering," in *in Medicine and Biology Society, proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE, Vol: 2, Pages:1394 – 1397*, pp. 17–21.
- [17] A. Martinez, S. Schoenig, D. Andresen, and S. Warren, "Ingestible pill for heart rate and core temperature measurement in cattle," in *Engineering in Medicine and Biology Society, 2006. EMBS '06. 28th Annual International Conference of the IEEE*, pp. 3190–3193, 2006.
- [18] S. A. F. Soares, "Rede de sensores sem fio (rssf) para localização e monitoramento de pequenos ruminantes.," tech. rep., Universidade Federal do Vale do São Francisco–UNIVASF, campus Juazeiro – BA., 2012.
- [19] R. Berry, A. Kennedy, S. Scott, B. Kyle, and A. Schaefer, "Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection," *Canadian journal of animal science*, vol. 83, no. 4, pp. 687–693, 2003.
- [20] A. Schaefer, N. Cook, J. Church, J. Basarab, B. Perry, C. Miller, and A. Tong, "The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves," *Research in veterinary science*, vol. 83, no. 3, pp. 376–384, 2007.
- [21] A. Schaefer, N. Cook, S. Tessaro, D. Dereg, G. Desroches, P. Dubeski, A. Tong, and D. Godson, "Early detection and prediction of infection using infrared thermography," *Canadian journal of animal science*, vol. 84, no. 1, pp. 73–80, 2004.
- [22] R. V. Sousa, T. F. Canata, and M. L. Silva, "Classificador baseado em lógica fuzzy para avaliação de conforto de bovinos de corte utilizando termografia de infravermelho," *ResearchGate*.
- [23] R. A. Eigenberg, T. M. Brown-Brandl, and J. A. Nienaber, "Sensors for dynamic physiological measurements," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 62, pp. 41–47, June 2008.
- [24] L. M. Filho, "Bem-estar de suínos e qualidade da carne: uma visão brasileira.," *1a Conferência Internacional Virtual sobre Qualidade de Carne Suína.*, 2000.
- [25] D. M. Broom, "Animal welfare: concepts and measurement.," *Journal of Animal Science*, vol. 68, pp. 4167–4175, 1991.

- [26] N. Samson, S. Dumont, M. Specq, and J. Praud, "Radio telemetry devices to monitor breathing in non-sedated animals," *Respiratory Physiology e Neurobiology*, vol. 179, no. 2–3, pp. 111 – 118, 2011.
- [27] V. H. M. T. T. M. Banhazi, L. Babinszky, "Precision livestock farming: Precision feeding technologies and sustainable animal production," *International Journal on Agriculture & Biology Engineering*, no. 4, 2012.
- [28] C. M. D.M. Broom, "Bem-estar animal: conceito e questões relacionadas - revisão.," *Archives of Veterinary Science*, vol. 9, pp. 1–11, 2004.
- [29] J. Ferreira Jr, O. Cordeiro, Y. França, E. Muccillo, J. Matos, and R. Muccillo, "Análise térmica e caracterização elétrica de materiais cerâmicos com comportamento termistor à base de óxidos de manganês, de níquel e de cobalto (thermal analysis and electrical characterization of ceramic thermistors based on manganese, nickel and cobalt oxides)," *Cerâmica*, vol. 53, pp. 448–454, 2007.
- [30] P. H. Guadagnini and V. E. Barlette, "Um termômetro eletrônico de leitura direta com termistor," *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 27, no. 3, pp. 369–375, 2005.
- [31] National Semiconductor Corporation, *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*, 2000. DS005516 - Rev 11, Disponível em <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/8866/NSC/LM35.html>, Data da consulta 11/07/2016.
- [32] I. Maxim Integrated Products., *DS1921H Thermochron iButton Device Datasheet*, 2013. 19-4887 - Rev 11, Disponível em <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1921H-DS1921Z.pdf>, Data da consulta 05/07/2016.
- [33] I. Maxim, *DS1820 pdf, DS1820 description, DS1820 datasheets, DS1820 view*. (Accessed on 08/24/2016).
- [34] L. Aosong Electronics Co., *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22*. Disponível em <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>, Data da consulta 11/07/2016.
- [35] L. . GmbH, *Ultraviolet selective GaN based UV sensor GUV A-S10GD*. Disponível em <http://www.electronicaestudio.com/docs/SHT-163hd.pdf>.
- [36] S. Yamamoto, "assessment of thermal environment for farm animals," in *New strategies for improving animal production for human welfare: proceedings/the Fifth World Conference on Animal Production, August 14-19, 1983*, Tokyo, Japan: Japanese Society of Zootechnical Science, 1983., 1983.
- [37] Y. Epstein and D. S. Moran, "Thermal comfort and the heat stress indices," *Industrial health*, vol. 44, no. 3, pp. 388–398, 2006.
- [38] A. O. Rhoad, "The iberia heat tolerance test for cattle," *Tropical Agriculture*, vol. 21, no. 9, pp. 162–164, 1944.
- [39] E. C. Thom, "The discomfort index," *Weatherwise*, vol. 12, no. 2, pp. 57–61, 1959.

- [40] W. Bianca, "Relative importance of dry-and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle.," *Nature*, vol. 195, p. 251, 1962.
- [41] A. Matzarakis, F. Rutz, and H. Mayer, "Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the rayman model," *International Journal of Biometeorology*, vol. 51, no. 4, pp. 323–334, 2007.
- [42] D. Buffington, A. Collazo-Arocho, G. Canton, D. Pitt, W. Thatcher, and R. Collier, "Black globe-humidity index (bghi) as comfort equation for dairy cows," *Transactions of the ASAE*, vol. 24, no. 3, pp. 711–0714, 1981.
- [43] S. Shioya, F. Terada, and Y. Iwama, "Physiological responses of lactating dairy cows under hot environments," *Eiyoseiri-kenkyuukaiho*, vol. 41, pp. 61–68, 1997.
- [44] R. G. Da Silva, M. M. Guilhermino, and D. A. E. F. de Moraes, "Thermal radiation absorbed by dairy cows in pasture," *International journal of biometeorology*, vol. 54, no. 1, pp. 5–11, 2010.
- [45] G. Riemerschmid, "The amount of solar radiation and its absorption on the hairy coat of cattle under south african and european conditions," *Journal South African Veterinary Association*, vol. 14, pp. 121–141, 1943.
- [46] R. G. Da Silva, "Um modelo para a determinação do equilíbrio térmico de bovinos em ambientes tropicais1," *Rev. bras. zootec*, vol. 29, no. 4, pp. 1244–1252, 2000.
- [47] P. Hillman, C. Lee, J. Carpenter, K. Baek, and A. Parkhurst, "Impact of hair color on thermoregulation of dairy cows to direct sunlight," in *2001 ASAE Annual Meeting*, p. 1, American Society of Agricultural and Biological Engineers, 1998.
- [48] F. Baeta, N. Meador, M. Shanklin, and H. Johnson, "Equivalent temperature index at temperatures above the thermoneutral for lactating dairy cows," *American Society of Agricultural Engineers (USA)*, 1987.
- [49] G. Hahn, T. Mader, and R. Eigenberg, "Perspective on development of thermal indices for animal studies and management," *EAAP Technic Ser*, vol. 7, pp. 31–44, 2003.
- [50] R. G. da Silva, "Improving tropical beef cattle by simultaneous selection for weight and heat tolerance. heritabilities and correlations of the traits," *Journal of animal science*, vol. 37, no. 3, pp. 637–642, 1973.
- [51] R. da SILVA, *Índices de seleção para ganho de peso e tolerância ao calor no gado Canchim e progresso genético esperado em população simulada*. USP, 1975.
- [52] J. F. Escobedo, E. N. Gomes, A. Oliveira, and J. Soares, "Radiações solares uv, par e iv: I-estimativa em função da global," *Avances en energias renovables y medio ambiente*, vol. 10, pp. 79–86, 2006.