

# DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA DE MONITORAMENTO DE AMBIENTES PARA BIOTÉRIOS

DANILO DUARTE LISBOA\*<sup>†</sup>, TATIANE CRISTINA DE ALCÂNTARA<sup>†</sup>, GRADIMILO CÂNDIDO DE JESUS<sup>†</sup>,  
ALAN KARDEK RÊGO SEGUNDO\*<sup>†</sup>, CLÁUDIA MARTINS CARNEIRO<sup>‡</sup>

*\*Instituto Tecnológico Vale — ITV  
Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil*

*†Departamento de Engenharia de Controle e Automação — DECAT  
Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto — UFOP  
Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil*

*‡Laboratório de Imunopatologia, Núcleo de Pesquisas em Ciências Biológicas — NUPEB  
Universidade Federal de Ouro Preto — UFOP  
Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil*

E-mails: danilodlisboa@gmail.com, tatialcantara1206@gmail.com,  
gradimilocandido@gmail.com, alankardek@ufop.edu.br, carneirocm@gmail.com

**Abstract**— Unlike other workplaces, where the concern about environmental conditions are focused only on professionals involved, in the animal facility this care extends to animal welfare and to the quality assurance of procedures to be performed. The system developed in this work performs the monitoring of some important parameters for animal facilities: luminosity, ammonia, temperature, relative humidity, and noise. Arduino platform was used to process measurements from sensors and send them via radio frequency to a computer. Visualization and storage of measurements are carried out through supervisory software, developed in C# programming language. This system allows the user to observe characteristics of the environment in real time, as well as verify the environment history through a database, with measures recorded every 20 seconds. This information may allow, above all, the environment monitoring, in order to carry out necessary interventions.

**Keywords**— Embedded system, Arduino, Animal facility, Instrumentation, Monitoring

**Resumo**— Diferente de outros locais de trabalho, onde a preocupação sobre as condições ambientais estão voltadas apenas aos profissionais envolvidos, nos biotérios esse cuidado se estende ao bem estar animal e à garantia da qualidade dos procedimentos a serem realizados. O sistema desenvolvido neste trabalho realiza o monitoramento de parâmetros importantes para os biotérios: luminosidade, teor de amônia, temperatura, umidade relativa do ar e ruído. A plataforma Arduino foi utilizada para processar as medições dos sensores e enviá-las, via rádio frequência, para um computador. A visualização e o armazenamento das medições são realizadas por meio de um software supervisor, desenvolvido em linguagem de programação C#. Esse sistema permite ao usuário observar as características do ambiente em tempo real, bem como verificar o histórico do ambiente por meio de um banco de dados, com registros gravados a cada 20 segundos. Essas informações podem permitir, sobretudo, o monitoramento do ambiente visando a realização das intervenções necessárias.

**Palavras-chave**— Sistema embutido, Arduino, Biotério, Instrumentação, Monitoramento

## 1 Introdução

Biotérios são definidos por Cardoso (2001) como áreas destinadas à criação e à manutenção de animais de laboratório em condições sanitárias de padrões rigorosamente estabelecidos, respeitando as normas éticas e as leis de manipulação e vivissecção. Como toda pesquisa, em especial nas áreas das ciências biológicas e da saúde, deve obedecer essas normas e padrões a fim de garantir a saúde dos humanos e animais envolvidos e tornar um estudo válido, ao ter base e valores de referências durante os procedimentos.

Pensando nisso, o projeto de um sistema de monitoramento de biotérios foi criado a partir de uma iniciativa de alunos e professores da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). O biotério onde foram realizados os estudos e desenvolvimento do projeto, foi o de ratos e camundongos do Centro de Ciência Animal (CCA) da Universidade, que apoiou a validação e o financiamento

do sistema.

O trabalho foi elaborado com o objetivo de criar uma plataforma de baixo custo que atenda aos requisitos de monitoramento de um biotério, abrangendo os principais parâmetros ambientais. A partir de pesquisas na literatura e acervos bibliográficos, em especial Politi et al. (2008), foram escolhidas as variáveis temperatura, umidade relativa do ar, luminosidade, ruído e teor de amônia no ar. Vale ressaltar que as medições de cada variável devem ser comparadas com a faixa de valores indicada na literatura que garante o bem estar animal. Além do baixo custo agregado aos componentes selecionados, o sistema utiliza a placa Arduino, que possui software e hardware livres, tornando-o simples de ser reproduzido e adaptado.

A possibilidade de monitorar muitas variáveis ambientes faz com que a excelência nas pesquisas do laboratório possa aumentar. Atualmente, as medições são limitadas a equipamentos específicos de um mensurando e à necessidade da presença de

um técnico para efetuar as leituras no local. O desenvolvimento de um sistema de monitoramento multivariável garante o uso de um equipamento unificado de mensuração, além da possibilidade de gerar um banco de dados com maior número de medições em intervalos de tempo menores. Por meio desse banco de dados, as pesquisas laboratoriais podem reduzir o número de experiências descartadas por interferência externa, o que implicaria na perda de tempo e de prazos de pesquisa, bem como a redução de gastos desnecessários.

O sistema embarcado desenvolvido neste trabalho utiliza plataforma Arduino, que realiza a aquisição de dados e os transmite a uma central via módulo de radiofrequência. Um banco de dados armazena todas as informações no servidor local, garantindo uma consulta eficaz dos parâmetros monitorados, por meio de gráficos e tabelas de uma interface criada no Microsoft Visual Studio Community 2017.

## 2 Fundamentação teórica

### 2.1 Biotérios

Estudos realizados por Majerowicz (2005) demonstram a importância do controle dos principais parâmetros ambientais de um biotério e a interferência que eles podem causar na saúde e bem estar dos animais. Pesquisas de patologias ou de fármacos em desenvolvimento realizados em animais em más condições ambientais, podem levar a resultados inexatos. Por exemplo, quando o animal é submetido a uma temperatura insalubre, o pesquisador pode chegar a um falso efeito colateral do fármaco em fase de teste, podendo até invalidá-lo erroneamente.

Em biotérios, é mais comum estudos com os ratos e camundongos. O motivo pelo qual esses roedores são populares no campo de pesquisa, é o fato deles serem mamíferos, assim como nós, além de serem pequenos e de fácil procriação. Além disso, a sequência de genoma de ratos e camundongos são bem determinadas (Majerowicz, 2005).

### 2.2 Parâmetros ambientais

Nesta seção, é apresentado a influência que as variáveis ambientais estudadas podem causar ao organismo dos animais em estudo e aos pesquisadores quando expostos a condições inapropriadas.

Para evitar situações de estresse ou desconforto térmico, que levariam à invalidação do experimento científico com animais, a temperatura para camundongos e ratos deve ser de 19 a 23 °C. Essa faixa de temperatura também é ideal para os profissionais que trabalham nos biotérios, que devem sempre estar munidos de equipamentos de proteção individual (Majerowicz, 2005).

A taquipneia (aceleração do ritmo respiratório) é um mecanismo empregado pela maioria dos

animais de laboratório para compensar a falta ou baixa sudoração. Porém, o processo de taquipneia com a umidade relativa inadequada interfere na troca de calor e água com o ambiente. Recomenda-se, então, uma faixa de umidade relativa do ar de  $(55 \pm 15)\%$ , especialmente nos casos dos ratos e camundongos, sendo que a umidade nas salas é mantida por meio de aparelhos de ar condicionado. Variações e extremos na umidade relativa do ar podem favorecer o aparecimento de doenças e alterar o consumo de ração e água (Politi et al., 2008).

O ambiente deve ser bem ventilado e higienizado, caso contrário, produtos metabólicos começam a se acumular nas gaiolas e no ar, prejudicando a saúde dos animais e pessoas envolvidas. O acúmulo de amônia, produto nitrogenado oriundo da ação de bactérias urease positivas sobre as excretas dos ratos, pode afetar o sistema respiratório dos animais (Majerowicz, 2005). Para o controle do teor de amônia no ambiente, se faz necessário a higienização regular do ambiente e gaiolas. O valor máximo permitido para que as funções dos roedores não seja prejudicada é de 20 a 25 ppm (Gamble and Clough, 1976).

Os roedores em geral possuem hábitos noturnos e são bem sensíveis a altas intensidades luminosas. Segundo Majerowicz (2005), uma iluminação que propicie boa visibilidade, seja uniforme e o mais próxima possível da luz natural, é adequada à reprodução e assegura um comportamento normal para a maioria dos roedores. A iluminação dos biotérios deve ser realizada por meio de lâmpadas fluorescentes com temperatura de cor que representa a luz solar.

Lux é a unidade de intensidade de iluminação ou iluminância, que corresponde à incidência perpendicular de um lúmen por metro quadrado. O fluxo luminoso é compreendido como a radiação emitida por uma fonte de luz visível, ou seja, em comprimentos de onda entre 380 a 780 nm (Luz, 2010).

A intensidade de iluminação recomendada em biotérios é de 250 lux a um metro do piso, com um período de 12 horas/dia. Nas outras 12 horas do dia é recomendado a ausência de luz (Majerowicz, 2005).

O ruído proveniente do ambiente afeta os animais. Assim, a exposição a sons acima de 85 dB pode causar efeitos auditivos e sistêmicos, como: eosinopenia, aumento de peso das supra-renais e fertilidade reduzida em roedores (Clough, 1982).

Ratos submetidos a ruídos entre 55 e 95 dB, apresentam alteração do comportamento alimentar, devido ao aumento da sinalização de alerta. “Eles poderão apresentar desde fome exagerada, até mesmo perda de apetite. Supõe-se que a perda de apetite esteja relacionada ao sistema de alerta simpato-adrenal adaptando o animal para o perigo” (Cruz et al., 2010). Assim, o excesso de

rúidos relacionadas às atividades humanas e de máquinas nos biotérios impedem a normalidade fisiológica e comportamental dos animais.

### 3 Materiais e Métodos

#### 3.1 Apresentação do sistema

O sistema desenvolvido neste trabalho é formado por cinco módulos transmissores e um receptor. Os transmissores fazem as leituras dos parâmetros ambientais em salas distintas do biotério. O módulo receptor está conectado ao computador localizado no escritório do biotério via porta USB. O receptor capta as informações dos módulos transmissores por meio do módulo de radio-frequência NRF24L01, e repassa os dados ao programa supervisorio instalado no computador. O sistema é representado em forma de diagrama na Figura 1.

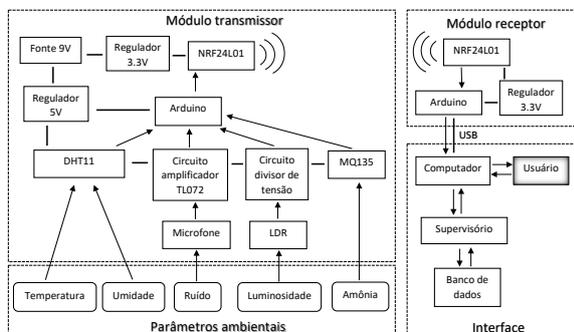


Figura 1: Diagrama do projeto

#### 3.2 Calibração e aplicação dos sensores

Nesta seção são apresentadas as propriedades, calibração e aplicação de cada sensor empregado no projeto.

##### 3.2.1 Ruído — Microfone de eletreto

Para mensurar a intensidade de ruído no biotério, foi desenvolvido um circuito específico com o microfone de eletreto CZN-15E. O microfone capta as vibrações sonoras do ambiente e as convertem em uma tensão alternada com frequência equivalente e amplitudes baixas, de no máximo 10 mV. Para realizar o condicionamento do sinal, e torna-lo adequado para o Arduino, foi utilizado o amplificador operacional TL072. O circuito elaborado pode ser observado na Figura 2.

O circuito é alimentado com 5 V, provenientes do regulador de tensão LM7805. O sinal de saída do microfone é amplificado em aproximadamente 237 vezes e o “zero” é reposicionado para um valor resultante do divisor de tensão formado por R5 e R6, que se aproxima de 1,69 V. Na Figura 3, está representado o sinal resultante de um ruído

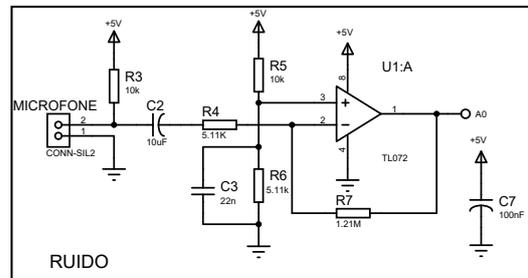


Figura 2: Esquema eletrônico do sensor de ruído

branco com intensidade máxima sensível ao sensor e com frequência de 1 kHz.

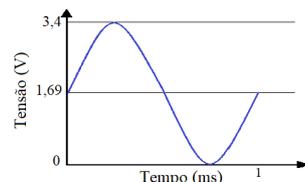


Figura 3: Representação do sinal de ruído

Esta metodologia foi necessária devido ao conversor analógico/digital do Arduino não realizar leituras de tensões negativas e possuir, por padrão, referência de 5 V. Além disso, o TL072 começa a saturar em 3,4 V e não captar as oscilações. Dessa forma, o sinal resultante do ruído pode variar de 0 a 3,4 V. A tensão momentânea resultante  $V_r$  pode ser obtida por

$$V_r = \frac{R6}{R5 + R6} V_{cc} - \frac{R7}{R4} V_s, \quad (1)$$

em que:  $V_{cc}$  é a tensão de alimentação (5 V),  $V_s$  a amplitude gerada pelo microfone em volts e R4, R5, R6, R7 são as resistências do circuito desenvolvido.

Considerando o ganho igual a 237 e substituindo os valores na Equação 1, obtém-se

$$V_r = 1,69 - 237V_s. \quad (2)$$

Com o sinal tratado, sabe-se que o valor de pico a pico ( $V_{pp}$ ) pode variar entre 0 e 3,4 V. Nesse sentido, foi implementada uma função na IDE do Arduino para calcular a média dos valores de  $V_{pp}$ , obtida a partir das leituras em uma frequência de amostragem de 5 kHz por um período de 700 ms. Cada valor de  $V_{pp}$  é considerado na função como a diferença entre a tensão máxima e mínima registrada num intervalo de 20 leituras, ou seja, num período de 4 ms. Assim, são totalizados 175 valores de  $V_{pp}$  calculados em 700 ms.

Para a conversão de tensão obtida em pressão sonora (dB), a calibração do sensor foi feita tomando-se como referência um decibelímetro Instrutherm DEC-460, e utilizando a ferramenta linha de tendência logarítmica do software Microsoft Excel. O sensor foi posicionado ao lado do

decibelímetro e ambos orientados para uma fonte de ruído branco de 1 kHz. Foram obtidas amostras com diferentes intensidades sonoras. O resultado da calibração pode ser observado por meio da Figura 4.

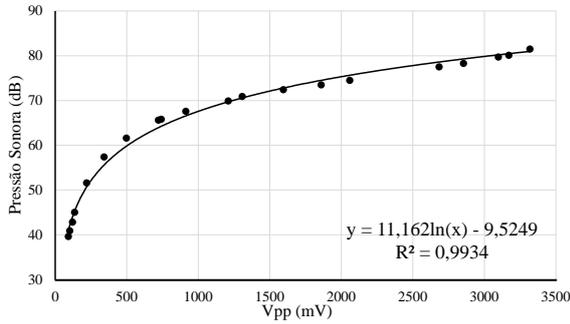


Figura 4: Curva de calibração do sensor de intensidade sonora.

### 3.2.2 Iluminância — LDR

O LDR (*Light Dependent Resistor*) é um componente que apresenta resistência variável de acordo com a intensidade de luz incidida sobre ele. Os fótons da luz que incidem sobre o semicondutor liberam elétrons para a banda condutora que aumentam a sua condutividade, diminuindo a resistência.

A utilização do LDR como sensor de iluminância é feita por meio da medida de sua resistência, pois ela é única para cada valor de iluminância recebida em uma determinada faixa de comprimentos de onda (Technologies, 2008). Como não é possível medir a resistência diretamente pelas portas I/O (entrada e saída) do Arduino, o LDR é utilizado como uma das resistências de um divisor de tensão. O circuito é ilustrado na Figura 5, em que o valor da resistência do LDR ( $R_{LDR}$ ), em ohms, pode ser obtido como

$$R_{LDR} = R1 \frac{V_a}{V_{cc} - V_a}, \quad (3)$$

em que: R1 é a resistência fixa de 10 k $\Omega$ ; e  $V_a$  é a tensão de saída do circuito, em volts.

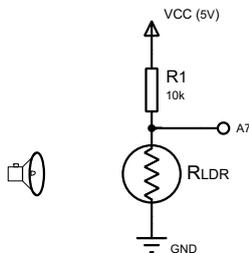


Figura 5: Circuito do LDR

O Arduino, então, faz a leitura de  $V_a$  pela porta analógica A7 e calcula a resistência do LDR.

Com base no valor de  $R_{LDR}$ , é possível determinar a iluminância por meio da equação de calibração, que deve ter comportamento exponencial segundo a folha de dados do sensor.

A calibração foi realizada em laboratório, com uma luz de temperatura semelhante à luz do biotério. Um luxímetro foi posto ao lado do LDR com o mesmo ângulo sobre a fonte de luz. Então, foram comparados os valores obtidos em lux pelo luxímetro com a resistência do LDR calculada pelo Arduino. Na Figura 6, observa-se a curva de calibração gerada pela regressão exponencial realizada no software Microsoft Excel.

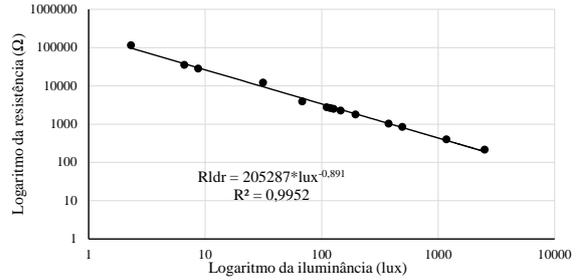


Figura 6: Curva de calibração do LDR

De acordo com a Figura 6, obtém-se a relação

$$R_{LDR} = 205287 l^{-0,891}, \quad (4)$$

em que:  $l$  é a iluminância, em lux.

Manipulando a Equação 4, obtém-se

$$l = \left( \frac{R_{LDR}}{205287} \right)^{-1,122}. \quad (5)$$

Portanto, por meio da Equação 5, inserida no programa do Arduino, torna-se possível determinar a iluminância do biotério, em lux, a partir da resistência do LDR ( $R_{LDR}$ ).

### 3.2.3 Temperatura e umidade — DHT11

O DHT11 (*Digital Humidity and Temperature Sensor*) é um sensor digital de temperatura e umidade relativa do ar. Sua faixa de medição abrange 0 a 50 °C para a temperatura, e 20% a 90% para a umidade relativa do ar (UR%), com precisão de  $\pm 2,0$  °C e  $\pm 5,0\%$ , respectivamente. Quando o sensor recebe um sinal de requisição do microcontrolador, ele transmite de volta seus dados de leitura em forma de pulsos. Esse procedimento pode levar até 270 ms e, ainda, o sensor necessita de um intervalo mínimo de 2 s para aferir uma nova leitura (Technologies, 2012).

Não foi necessário efetuar a calibração do sensor, pois o mesmo já é calibrado pelo fabricante, que garante seu funcionamento e precisão em sua folha de dados. Para realizar as medições, foi utilizado a biblioteca “DHT.h”, que está disponível no gerenciador de bibliotecas da IDE do Arduino.

### 3.2.4 Teor de amônia — MQ135

O sensor MQ135 apresenta resistência interna variável de acordo com a concentração de amônia no ar e de outros gases. Além da amônia, o MQ135 também detecta gases que fazem parte de reações, catalisadores ou produtos finais como o CO, CO<sub>2</sub>, álcool e fumaça. Algoritmos podem ser usados para otimizar a sensibilidade do sensor à concentração desses gases no ambiente (Ghosh et al., 2012).

A calibração do sensor de amônia foi feita no exaustor de um laboratório químico da UFOP. Três emissores foram dispostos dentro de um aquário vedado na mesma altura que um sensor detector digital de amônia, modelo DG-200, utilizado como referência, cuja precisão é de 5% e o tempo de resposta é menor que 30 s (Figura 7). Com o auxílio de uma seringa, foi inserido gradualmente gás NH<sub>3</sub> no aquário.



Figura 7: Ambiente de calibração do MQ-135

Nesse sentido, foi possível comparar os valores em partes por milhão (ppm) de NH<sub>3</sub> com os valores obtidos de tensão de saída lida pela porta analógica do Arduino. Assim como no método de calibração do LDR, os cálculos são realizados pelo Arduino. Na Figura 8, observa-se a curva de calibração de um dos sensores, gerada por meio de regressão exponencial.

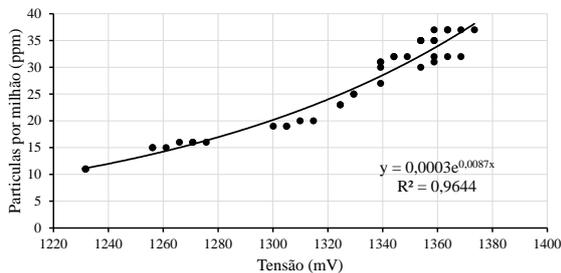


Figura 8: Curva de calibração do MQ-135

A partir da curva de calibração, é possível, portanto, determinar

$$ppm_{NH_3} = 0,0003 e^{0,0087V_g} \quad (6)$$

em que:  $ppm_{NH_3}$  é a concentração de amônia no ar, em partículas por milhão; e  $V_g$  é a tensão de saída do sensor.

### 3.3 Módulo rádio — NRF24L01

O NRF24L01 da Nordic Semiconductor é o chip principal do módulo de comunicação sem fio, que utiliza frequências de 2,4 GHz e opera a 3,3 V nominais. Ele utiliza protocolo de comunicação SPI com qualquer placa microcontrolada. Um único módulo pode ser programado para transmitir ou receber dados de um segundo módulo. No código do microcontrolador, é possível atribuir ao NRF24L01 a função de escrita ou leitura de dados a qualquer momento. o modelo empregado foi o NRF24L01+, com amplificador e antena externa.

### 3.4 Montagem

O projeto dos circuitos e dos layouts das placas de circuito impresso foram elaborados no software Proteus. Na Figura 9, pode-se observar o esquemático da versão final do módulo transmissor. O esquemático do módulo receptor etá representado na Figura 10.

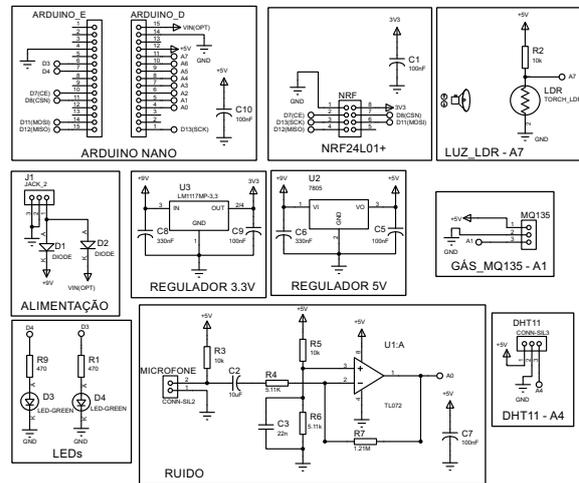


Figura 9: Esquema eletrônico do módulo emissor

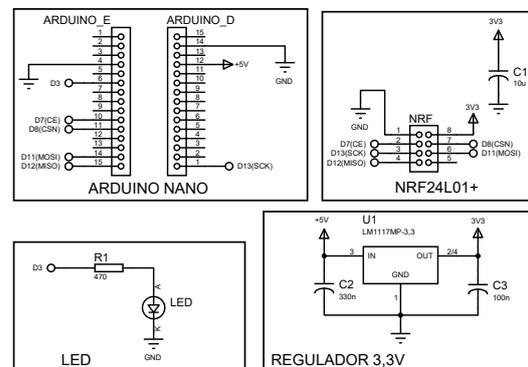


Figura 10: Esquema eletrônico do módulo receptor

Na Figura 11a, encontra-se o módulo emissor finalizado. Os sensores de amônia, ruído, temperatura e umidade relativa do ar ficam à frente do

módulo; já o LDR, capta a iluminância na parte superior. Na parte de cima também se encontra o conector da antena do NRF24L01+ e alguns furos para dissipação de calor. Na parte lateral está localizado o conector para a fonte de alimentação.

Para o módulo receptor, foi preciso fazer fresas na caixa para a porta USB, saída da antena do NRF24L01+ e um pequeno orifício para o LED externo, de acordo com a Figura 11b.

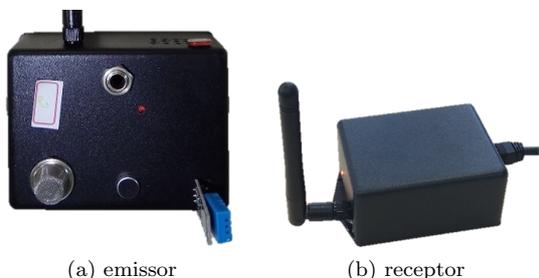


Figura 11: Módulos emissor e receptor

### 3.5 Softwares desenvolvidos

O software do presente projeto é composto pelas programações realizadas na IDE Arduino para os módulos emissores e receptor, bem como da programação do sistema supervisório desenvolvido no Visual Studio Community 2017 em linguagem C#, para Windows 7 ou superior.

#### 3.5.1 Programação do Arduino

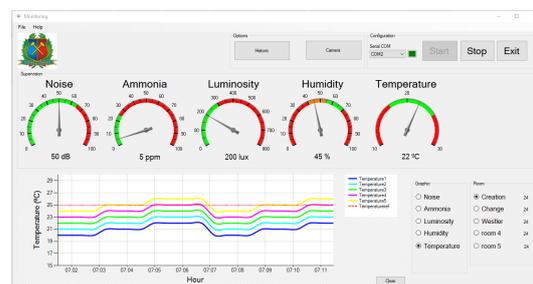
As equações obtidas a partir das calibrações dos sensores foram implementadas nos módulos emissores. Cada módulo emissor faz a leitura desses sensores em aproximadamente 2 s e, após a conversão dos dados, entra em estado de envio. O pacote de dados a ser enviado é uma estrutura de 10 variáveis do tipo inteiras de 16 bits. Quando o pacote de dados é enviado com sucesso, o LED indicador executa um sinal longo. Caso não consiga enviar o pacote, o LED indica com três sinais curtos e o Arduino aguarda 200 ms para tentar novamente. Caso isso se repita até um intervalo máximo de aproximadamente 15 s, o Arduino aguarda mais 5 s e entra em um novo ciclo. Por meio da programação, é garantido que cada ciclo de leitura de dados, transmissão e espera dure 20 s.

O módulo receptor fica conectado ao computador em que está instalado o sistema supervisório desenvolvido. Ele está apto a receber os dados dos módulos transmissores a todo momento. Quando um pacote de dados é recebido, ele é tratado em uma *string* de transmissão para o supervisório. A conexão Arduino-computador é realizada por meio do chip FTDI embarcado no Arduino.

#### 3.5.2 Supervisório

O sistema supervisório desenvolvido foi testado e modificado diversas vezes, a fim de otimizar as suas funções e atender às necessidade do usuário. O programa foi estruturado em camadas de projetos e implementado o banco de dados local SQL Server. Foi adicionado também a geração de tabelas e gráficos com filtros pré-selecionados.

Na janela principal do programa desenvolvido (Figura 12a) é feito o monitoramento em tempo real dos parâmetros. No seu canto superior direito, encontra-se a caixa de configuração, onde é feita a conexão serial/USB com o Arduino receptor. À mediada que o supervisório recebe os dados, o gráfico e os indicadores analógicos são atualizados.



(a) janela principal

ID	Room	Date	Time	Lux	Temperature1	Humidity	Noise	Ammonia	Temperature2	Humidity	Error
1740	1	26/01/2017	06:53:05	4	17	63	64	4	18,1	67	0
1741	1	26/01/2017	06:53:06	4	17	63	64	4	18,1	67	0
1742	1	26/01/2017	06:53:08	3	17	63	64	4	18,1	67	0
1743	1	26/01/2017	06:53:09	3	17	63	64	4	18,1	67	0
1744	1	26/01/2017	06:53:09	31	17	63	63	4	18,1	67	0
1745	1	26/01/2017	06:53:09	36	17	63	64	4	18,1	67	0
1746	1	26/01/2017	06:53:09	79	17	63	63	4	18,1	67	0
1747	1	26/01/2017	06:53:10	78	17	62	64	4	18,1	67	0
1748	1	26/01/2017	06:53:11	82	17	63	63	4	18,1	67	0
1749	1	26/01/2017	06:53:11	87	17	62	64	4	18,1	67	0
1750	1	26/01/2017	06:53:12	88	17	64	64	4	18,1	67	0
1751	1	26/01/2017	06:53:12	88	17	64	64	4	18,1	67	0
1752	1	26/01/2017	06:53:13	86	17	64	64	4	18,1	67	0
1753	1	26/01/2017	06:53:13	87	17	63	63	4	18,1	67	0
1754	1	26/01/2017	06:53:13	86	17	64	63	4	18,1	67	0
1755	1	26/01/2017	06:53:14	89	17	64	63	4	18,1	67	0
1756	1	26/01/2017	06:53:14	89	17	64	63	4	18,1	67	0
1757	1	26/01/2017	06:53:15	103	17	64	63	4	18,1	67	0
1758	1	26/01/2017	06:53:15	103	17	64	63	4	18,1	67	0
1759	1	26/01/2017	07:00:07	103	18	64	64	4	18,1	67	0
1760	1	26/01/2017	07:00:07	103	17	64	63	4	18,1	67	0

(b) janela de consulta

Figura 12: Janelas do sistema supervisório

Os indicadores analógicos monitoram todos os parâmetros de uma sala por vez. No filtro “Room”, é selecionado a sala em que os indicadores tomarão como referência. Já o gráfico, mostra os valores mais recentes de um único parâmetro em todas as salas ao mesmo tempo. No filtro “Graphic”, é possível alterar o parâmetro a ser monitorado no gráfico.

Na parte superior da tela principal, encontra-se o botão “Historic”, que abre a janela para consulta ao banco de dados. Para realizar uma consulta, o usuário deve selecionar os filtros de sala, período e o intervalo de visualização. O filtro por valores é opcional. São gerados tabelas e gráficos que podem ser visualizados alternando entre as abas “Table” e “Graphic” (Figura 12b).

O período “Detail”, ou detalhado, mostra todos os dados obtidos. A Figura 12b ilustra esse tipo de busca, que é útil para encontrar dados in-

corretos. O período “Hour”, ou por hora, calcula a média horária dos dados pré-selecionados. A opção de período “Day” tem a mesma lógica da anterior, porém com intervalo de dias.

#### 4 Resultados e Discussão

Com os módulos prototipados em caixas especiais para projetos, foi possível utilizá-los por um grande período de tempo nos biotérios, respeitando as normas de operação. Na Figura 13 estão ilustrados dois módulos transmissores em funcionamento.

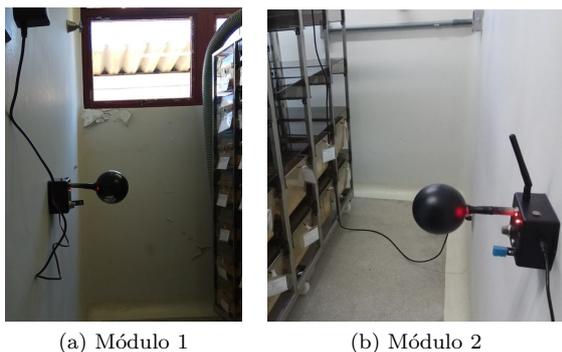


Figura 13: Módulos em funcionamento

O módulo receptor ficou bem compacto e pôde ser facilmente instalado no computador em que foi realizado o monitoramento.

Os resultados obtidos durante os testes realizados entre os dias 24/07/2017 e 07/08/2017 no biotério, definido como sala 1 no supervísório, estão dispostos nas Figuras 14-18. Todos os gráficos foram gerados pelo supervísório, sem a necessidade de um software externo. Foi utilizado a seleção por média horária para os parâmetros, com exceção da pressão sonora.

Os valores se iluminância em lux obtidos foram condizentes com a situação observada no biotério. Entretanto, no gráfico de iluminância (Figura 14), percebem-se picos acima de 250 lux, que correspondem a um período do dia em que ocorre a incidência do sol bem próximo ao sensor. Isso indica que a iluminação do biotério não está adequada, pois nas normas de bioterismo é sugerido uma iluminação artificial e constante de 12 horas por dia. Em trabalhos futuros, pretende-se controlar a iluminação do biotério, que será integralmente feita por lâmpadas e com isolamento da luz solar.

Os níveis de temperatura e umidade não devem variar tanto, pois os biotérios são equipados com ar condicionado. De acordo com a Figura 15, onde está representado o resultado da temperatura, os valores mais altos são atingidos nas horas mais quentes do dia. As medidas são importantes para serem registradas caso o sistema de ventilação falhe, por exemplo. Os dados foram coletados

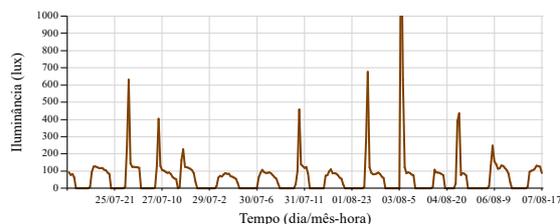


Figura 14: Iluminância em função do tempo

em período de inverno, então, foram registrados temperaturas abaixo da zona de conforto.

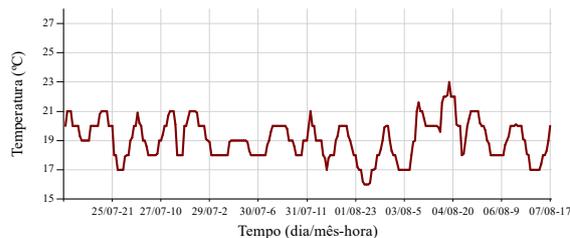


Figura 15: Temperatura em função do tempo

A cidade onde foram realizados os testes, possui clima de montanha, onde há bastante oscilação da umidade e da temperatura. Na Figura 16, estão ilustrados os resultados de umidade relativa do ar, onde pode-se observar essas oscilações.

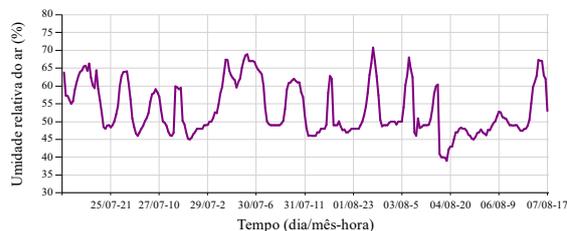


Figura 16: Umidade relativa em função do tempo

A média de ruídos em um período de tempo, em horas, permanece quase constante durante o dia. Por esse motivo, foi empregado a seleção de dados detalhados, e dessa forma, os picos de ruído foram registrados. O que determinou o ruído mínimo foi o sistema de ventilação, que tem intensidade considerada média. Na Figura 17, estão representados os resultados obtidos.

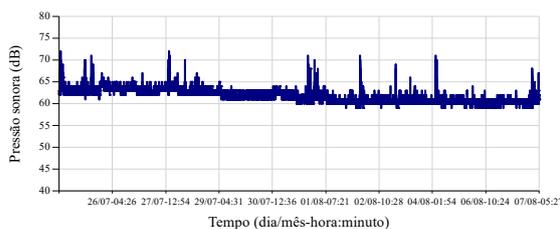


Figura 17: Pressão sonora em função do tempo

Já no gráfico de valores de amônia (Figura 18), foram observados distúrbios em alguns instantes. Alguns picos foram observados quando houve queda de energia. Isso se deve ao fato de o sensor retornar valores exorbitantes quando reiniciado, como previsto em sua folha de dados. O segundo fator responsável pelas instabilidades nas medições foi que, durante o período de leitura, foram utilizados produtos de limpeza sobre o aparelho, caracterizando uma interferência. Mesmo com a média horária das medições, os picos são observados devido à lenta resposta do sensor.

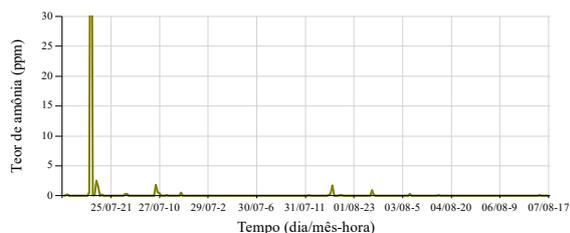


Figura 18: Teor de amônia em função do tempo

Apesar do sensor MQ-135 possuir faixa de medição de 10 a 300 ppm, foi observado a variação de resposta para valores inferiores a 10 ppm. Para os intervalos constantes da Figura 18, os valores permaneceram dentro da faixa esperada, em conformidade com as condições do biotério.

## 5 Considerações Finais

De acordo com os resultados apresentados neste trabalho, pode-se concluir que o objetivo de desenvolver um sistema de monitoramento para biotérios foi alcançado. O hardware encapsulado já pode ser utilizado nos biotérios, sem comprometer as normas de operação. Além disso, os módulos puderam ser instalados facilmente no biotério, sem nenhuma intervenção na sua estrutura.

A implementação do banco de dados com consulta de gráficos e tabelas facilitou muito o acompanhamento e visualização das medições. O gráfico em tempo real de um parâmetro em múltiplas salas auxiliou na comparação de resultados de medição entre elas. Com o aumento de dados coletados durante o dia, os bioteristas acreditam que o sistema pode proporcionar uma melhoria no conforto ambiental do biotério.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a implementação de alarmes para os níveis de parâmetros ambientais medidos e para falhas do sistema. Os alarmes poderiam ser enviados via e-mail para os supervisores do biotério. Recomenda-se também a utilização de baterias de backup, que possam alimentar o sistema durante quedas de energia.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Universidade Federal de Ouro Preto — UFOP, pela utilização dos laboratórios para o desenvolvimento do projeto, em especial ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico — CNPq, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — CAPES, e à Rede Mineira de Bioterismo, pelo apoio financeiro.

## Referências

- Cardoso, T. A. d. O. (2001). Considerações sobre a biossegurança em arquitetura de biotérios, *Boletim Central Panamense Fiebre Aftosa* **64**(67): 3–17.
- Clough, G. (1982). Environmental effects on animals used in biomedical research, *Biological Reviews* **57**(3): 487–523.
- Cruz, I. T. F., de Barcelos, M. L., de Barcelos Filho, P. C. G. and Ogawa, W. N. (2010). Estresse sonoro e suas implicações no eixo hipotálamo-hipófise-adrenal de ratos, *Revista Cereus* **1**(1).
- Gamble, M. and Clough, G. (1976). Ammonia build-up in animal boxes and its effect on rat tracheal epithelium, *Laboratory Animals* **10**(2): 93–104.
- Ghosh, S., Roy, A., Singh, S., Saha, H., Ojha, V. K. and Dutta, P. (2012). Sensor array for manhole gas analysis, *Physics and Technology of Sensors (ISPTS), 2012 1st International Symposium on*, IEEE, pp. 9–12.
- Luz, J. M. (2010). Luminotécnica, Disponível em: <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros>.
- Majerowicz, J. (2005). Procedimentos de biossegurança para as novas instalações do laboratório de experimentação animal (laean) de bio-manguinhos, p. 101.
- Politi, F. A. S., Majerowicz, J., CARDOSO, T. A. D. O., Pietro, R. C. L. R. and Salgado, H. R. N. (2008). Caracterização de biotérios, legislação e padrões de biossegurança, *Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada* **29**(1): 17–28.
- Technologies, S. (2008). Light dependent resistor — ldr, Disponível em: <http://kennarar.vma.is/thor/v2011/vgr402/ldr.pdf>.
- Technologies, S. (2012). Dht11 — humidity and temperature sensor, Disponível em: <http://www.sunrom.com/get/328100>.