



Sustentabilidade na Gestão Ambiental

Inovação e desafios para os Países de Língua Oficial Portuguesa
Conferência Internacional

4 e 5 JUN | Centro de Congressos
Técnico / DECivil
Lisboa, Portugal

SGA'19 - Sustentabilidade na Gestão Ambiental. Inovação e Desafios para os Países de Língua Oficial Portuguesa. Atas da Conferência Internacional Realizada nos Dias 4 e 5 de Junho de 2019, Centro de Congressos do Técnico, Fundec / IST, Lisboa, Portugal.

Manuel Duarte Pinheiro (Editor).

ISBN 978-989-20-9623-0

A paginação e organização das atas da conferência é da responsabilidade da organização.

Agradece a Arqt.^a Cátia Miguel a execução da paginação, desenho gráfico e apoio na realização das Atas.



Sustentabilidade na Gestão Ambiental

Inovação e desafios para os Países de Língua Oficial Portuguesa
Conferência Internacional

4 e 5 JUN | Centro de Congressos
Técnico / DECivil
Lisboa, Portugal

COMISSÃO CIENTÍFICA

Prof. Manuel Duarte Pinheiro – Coordenador (Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal)

Prof^a. Alice Ceita e Almeida

(Universidade Agostinho Neto, Angola)

Prof.^a Ana Margarida Ferreira

(Universidade Europeia/IADE, Portugal)

Prof. António José Barreto Tadeu

(Universidade de Coimbra, Portugal)

Prof. Carlos Borrego

(Universidade de Aveiro, Portugal)

Prof.^a Carolina Afonso

(Konica Minolta; ISEG, Universidade de Lisboa, Portugal)

Prof. Denilson Teixeira

(Universidade Federal de Goiás, Brasil)

Prof.^a Elisa Silva

(Universidade do Algarve, Portugal)

Prof. Emiliano Lobo de Godoi

(Universidade Federal de Goiás, Brasil)

Prof.^a Fátima Farinha

(Universidade do Algarve, Portugal)

Prof. Fernando Branco

(Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal)

Prof. Francisco Nunes Correia

(Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal)

Prof. Frederico Yuri Hanai

(Universidade Federal de São Carlos, Brasil)

Prof. Hans Michael van Bellen

(Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil)

Dr.^a Helena Telino Neves

(CIDP; Faculdade de Direito, Universidade de Lisboa, Portugal)

Prof. João Carvalho das Neves

(ISEG, Universidade de Lisboa, Portugal)

Prof. João Gomes Ferreira

(Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal)

Prof. João Joanaz de Melo

(FCT, Universidade Nova de Lisboa, Portugal)

Prof. João Pedro Ramôa Ribeiro Correia

(Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal)

Prof. Jorge de Brito

(Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal)

Prof. José Alberto Martins

(Universidade Metodista de Angola, Angola)

Prof. José Diniz Silvestre

(Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal)

Dr. Luís Veiga Martins

(SBE, Universidade Nova de Lisboa, Portugal)

Dr. Luís Morbey

(APA - Agência Portuguesa do Ambiente, Portugal)

Prof. Manuel Correia Guedes

(Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal)

Prof.^a Maria Antonieta Cunha e Sá

(SBE, Universidade Nova de Lisboa, Portugal)

Prof.^a Maria Manuela Pires Rosa

(Universidade do Algarve, Portugal)

Prof. Miguel Amado

(Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal)

Prof. Miguel Oliveira

(Universidade do Algarve, Portugal)

Prof.^a Myriam Nunes Lopes

(Universidade de Aveiro, Portugal)

Prof.^a Paula Antunes

(FCT, Universidade Nova de Lisboa, Portugal)

Prof. Paulo Henriques

(ISEG, Universidade de Lisboa, Portugal)

Prof. Reais Pinto

(Universidade Lusíada, Portugal)

Prof. Rui Lança

(Universidade do Algarve, Portugal)

Prof.^a Susana Lucas

(Instituto Politécnico de Setúbal, Escola Superior de
Tecnologia do Barreiro)

Prof. Tomás Ramos

(FCT, Universidade Nova de Lisboa, Portugal)

Prof. Vítor da Conceição Gonçalves

(ISEG, Universidade de Lisboa, Portugal)

Prof. Victor Ferreira

(Universidade de Aveiro, Portugal)



PROGRAMA | 5 JUN

- 09:00** ● **Sessão Plenária – Governança nos Recursos Hídricos**
» Prof. Francisco Nunes Correia | Princípios para uma boa governança de recursos hídricos
- 10:00** ● **Gestão dos riscos ambientais, adaptação e mitigação das alterações climáticas, serviços dos ecossistemas e capital natural**
» Construção de um sistema de baixo custo para a medição de gases e partículas no interior de instalações suínícolas e avícolas | Delgado, Leonardo Almeida; Feliciano, Manuel Joaquim Sabença; Frare, Laercio Mantovani; Igrejas, Getúlio Paulo Peixoto
» Vermifiltração como meio de depuração de águas residuais de explorações suínícolas | Pereira, Lídia M. G.; Vieira, Judite S.; Aires, Luis M. I.
» Incentivos para a promoção da eficiência energética na indústria | Serra, Ana; Melo; João Joanaz de; Grilo João
» Avaliação de água de reuso para utilização em melhoria de eficiência energética em painéis fotovoltaicos | Vaz, Aline Cristina Milhomem; Alves, Aylton José; Oliveira, Sérgio Botelho de; Pitaluga, Douglas Pereira da Silva; Santos, Marianne Stella Corrêa dos; Guimarães, Rodrigo Nunes
» Análise do uso e cobertura do solo na gestão de recursos hídricos subterrâneos em bacia hidrográfica do município de São Carlos - SP, Brasil | Arruda, Natalia Souza; Menezes, Denise Balestrero (online)
- 11:00** ● **Pausa para café**
- 11:20** ● **Gestão da sustentabilidade nos ambientes construídos e campus sustentáveis**
» Dr. Gilberto Jordan | Lisbon Green Valley, Gestão da Sustentabilidade nos ambientes Construídos
» Construção com base em terra: contributo para a eficiência na construção | Gomes, Maria Idália; Santos, Tânia; Pereira, Cristiana; Faria, Paulina
» Indicadores de sustentabilidade aplicados em bairros da cidade de Bragança – Portugal | Silva, Diego Paulino da; Pereira, Simone Lima; Royer, Ana Caroline; Santos, Edmar dos; Ianela, Milena Clarindo
» Integração do Sistema de Gestão Ambiental no SIGQ-IUL | Farelo, Carla; Matias, Carla; Palma, Catarina Roseta; Costa, Jorge, Velada, Raquel
» Sustentabilidade na gestão ambiental das obras de ampliação do novo terminal de passageiros - Aeroporto Internacional de Florianópolis/SC, Brasil | Monteiro, Patrícia Cardoso; Emerim, Emerilson Gil; Maymone, Priscilla Matos – POSTER
» LiderA - Sustentabilidade para os ambientes construídos | Pinheiro, Manuel; Miguel, Cátia - POSTER
- 13:00** ● **Almoço**
- 14:15** ● **Gestão da sustentabilidade nas comunidades e mobilidade sustentável**
» Prof. Miguel Amado | Planear o território para assegurar a gestão sustentável. Bons exemplos em Países de Língua Oficial Portuguesa: Angola, Cabo Verde, Moçambique, Guiné-Bissau, São Tomé e Príncipe, Timor-Leste
» Recomendações internacionais de acessibilidade universal em passagens de nível | Rosa, Manuela Pires; Mello, Germana Santiago
» Modos diretos e indiretos de contribuição empresarial para uma Agenda 21 Local | Resende, Giovanna Collyer; Sousa, Isabel Cristina Nunes de; Oliveira, Celso Maranhão
» POSITIVECYCLE – a ACV na certificação ambiental e na avaliação da sustentabilidade de materiais e soluções construtivas | Silvestre J. D., de Brito J., Pinheiro M. D., Durão V. - POSTER
» Mobilidade urbana sustentável: implantação do BRT no corredor Amoreiras no município de Campinas - SP (Brasil) | Pereira, Renata; Branchi, Bruna A.; Ferreira, Denise H. L.; Souza, Tadeu C. G (online)
» A questão ambiental na educação básica brasileira: uma reflexão sobre a educação para a sustentabilidade a partir dos parâmetros curriculares nacionais | Nascimento, Georgia Maria Puluceno do - POSTER (online)
» LiderA para Países em Vias de Desenvolvimento, ou Análise da Sustentabilidade na Habitação a Custos Controlados | Martins, J. Alberto (online)
- 16:00** ● **Pausa para café**
- 16:20** ● **Gestão da sustentabilidade no turismo e serviços**
» Município de Torres Vedras e sustentabilidade no Turismo segundo a ISO 13009:2015 | Rodrigues, Marta; Rodrigues, Joana
» OBSERVE – instrumento de monitorização da sustentabilidade do turismo no Algarve | Silva, Elisa M. J.; Farinha, Fátima, Oliveira, Miguel José; Lança, Rui; Pinheiro, Manuel; Miguel, Cátia - POSTER
» Projeto SPOOLS: avanços na sustentabilidade das piscinas | Oliveira, Miguel José; Braga, Alfredo; Inverno, Armando ; Silva, Elisa M. J.; Silva, Manuela Moreira da; Lança, Rui; Silva, Luís; Sequeira, Pedro; Carmo, Francisco do; Cabral, Paulo
» Setúbal, Ecoparque e Destino Turístico Sustentável | Miguel, Cátia; Pinheiro, Manuel; Gonçalves, José Fernando - POSTER
- 17:30** ● **Encerramento da Conferência**



CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA A MEDIÇÃO DE GASES E PARTÍCULAS NO INTERIOR DE INSTALAÇÕES SUINÍCOLAS E AVÍCOLAS

Leonardo Almeida Delgado¹, Manuel Joaquim Sabença Feliciano², Laercio Mantovani Frare³,
Getúlio Paulo Peixoto Igrejas⁴

1. Instituto Politécnico de Bragança, Campus Santa Apolónia, Portugal, leonardo12delgado@gmail.com
2. Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Câmpus de Santa Apolónia, 5300-253, Portugal, msabenca@ipb.pt
3. Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira, Brasil, laercio@utfpr.edu.br
4. Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics (CeDRI), Instituto Politécnico de Bragança, Câmpus de Santa Apolónia, Portugal, igrejas@ipb.pt

RESUMO

Com o crescimento populacional e a progressiva procura por produtos alimentares de origem animal, os setores da pecuária como a suinicultura e a avicultura, têm contribuído cada vez mais para a emissão de poluentes atmosféricos que resultam em grandes prejuízos para a saúde humana e o ambiente. Os gases mais frequentes no interior de instalações dedicadas à produção de suínos e aves de capoeira para corte são a amónia, o ácido sulfídrico e o dióxido de carbono. Além destes gases também podem ser encontradas elevadas concentrações de material particulado. A medição deste tipo de gases e partículas envolve equipamentos que possuem custos elevados que limitam a monitorização contínua destas instalações. Como consequência, não existem estudos detalhados sobre a avaliação da qualidade do ar nestes locais, utilizando equipamentos de baixo custo, nem sobre a sua implicação para a saúde dos trabalhadores e animais. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é a construção e validação de um sistema de baixo custo que seja capaz de medir a qualidade do ar interior de instalações agropecuárias. Foram utilizados sensores semicondutores, eletroquímicos e ópticos, para a deteção dos gases de interesse, do material particulado, da temperatura e humidade relativa e usada uma plataforma de prototipagem rápida, Arduino, para o processamento dos dados. O dispositivo construído inclui ainda módulos de armazenamento, visualização dos dados obtidos e de comunicação que permitem o envio dos dados para um servidor remoto. O software foi desenvolvido com recurso à plataforma Arduino IDE. O dispositivo obtido apresenta gamas de medição adequadas aos locais a que se destina, bem como resolução e precisão que permitem a sua utilização neste âmbito. Além disso, o custo final do sistema é inferior a outros equipamentos de medição presentes no mercado. O presente sistema visa oferecer aos produtores suinícolas e avícolas uma plataforma de baixo custo, que seja capaz de medir as emissões produzidas no interior das suas instalações e conhecer as concentrações dos poluentes gerados nessas atividades agropecuárias.

Palavras-Chave: Sistema de medição; sensores; arduino; emissões atmosféricas; agropecuária.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a produção alimentar é vista como um dos principais propulsores para a perda de biodiversidade terrestre, degradação dos solos, eutrofização dos cursos hídricos e emissão de gases efeito de estufa (GEE's) (Westhoek *et al.*, 2016). Segundo Davis *et al.* (2015), Arrieta & González (2019) o setor pecuário, especialmente de espécies monogástricas em sistemas de produção



intensivo em confinamento como suínos e aves de capoeira, é um dos maiores contribuintes para esses impactos ambientais e esgotamento de recursos.

Além dos problemas ambientais referidos, a degradação da qualidade do ar interior (QAI) nesses ambientes confinados, devido à presença de material particulado e substâncias gasosas tóxicas, pode trazer sérios riscos à saúde dos animais e dos próprios trabalhadores (Shen *et al.*, 2019). Estudos como o de Cambra-López *et al.* (2015), Winkel *et al.* (2016) são orientados para avaliação da QAI dentro de instalações pecuárias, como suiniculturas e aviculturas, nos quais os poluentes são caracterizados através de métodos de monitorização. De acordo com a *World Health Organization* (2006) e Burroughs & Hansen (2011), a qualidade do ar interior pode ser caracterizada por parâmetros químicos (gases e partículas), físicos (fluxo de ventilação do edifício, humidade relativa, temperatura, etc) e biológicos (fungos, esporos, bactérias, vírus, etc).

Poluentes atmosféricos como o sulfureto de hidrogénio (H_2S) (Zheng, *et al.*, 2019), a amónia (NH_3) (Leip *et al.*, 2015), material particulado com diâmetro aerodinâmico menor que $10 \mu m$ (Cambra-López, *et al.* 2010), dióxido de carbono (CO_2) (Ecim-Djuric & Topisirovic, 2010) e os compostos orgânicos voláteis totais (COVT's) (Liang & Liao, 2004) são comumente encontrados dentro de instalações suinícolas e avícolas (Heyden *et al.*, 2015).

A temperatura e humidade relativa são parâmetros de conforto térmico muito importantes que precisam ser controlados para não trazer desconforto dentro do ambiente interior (APA, 2009), pois a acumulação de humidade e calor dentro desses ambientes confinados, podem trazer sérios riscos aos animais que ali se encontram e comprometer as suas etapas de crescimento (Jones *et al.*, 2015).

A utilização de sistemas de ventilação é uma ótima técnica utilizada para a gestão da qualidade do ar interior em instalações pecuárias (Ecim-Djuric & Topisirovic, 2010).

Portanto, em conjunto com os sistemas de ventilação, a utilização de sistemas de medição e controlo da QAI, com o objetivo de determinar os tipos de substâncias e contaminantes e respectivas concentrações, são cada vez mais utilizados (Ni *et al.*, 2009). Consequentemente, técnicas mitigadoras são sugeridas e/ou desenvolvidas, como a utilização de lavadores de ar, biofiltros (Heyden *et al.*, 2015), sistemas de ionização de ar (Winkel *et al.*, 2016), entre outros.

No entanto, a instalação de redes de monitorização destes poluentes exige gastos elevados, com equipamentos individuais que podem ultrapassar as dezenas de milhares de euros, além dos recursos adicionais para calibração e manutenção rotineira desses dispositivos (Ropkins & Colville, 2000). Nos últimos anos, com os avanços tecnológicos e a miniaturização, muitos tipos de sensores de baixo custo surgiram no mercado, com preços que variam de 10 € até 2.000 €, arquitetados para a deteção de poluentes atmosféricos, como gases e partículas (Clements *et al.*, 2017; European Commission, 2017).

Estes pequenos dispositivos acabam por ser muito atrativos por oferecerem uma monitorização contínua, com a possibilidade de integrarem múltiplos sensores de baixo custo (Chong & Kumar, 2003; European Commission, 2017) integrados em plataformas de desenvolvimento, também elas de baixo custo (e.g. Arduino) que possibilitam o desenvolvimento de estratégias inteligentes distribuídas (Cavaliere, 2018). Estes dispositivos combinados com câmaras, microfones, armazenamento em nuvem, algoritmos, comunicações wireless e com a internet, possibilitam ao produtor uma resposta imediata quando são detetados problemas, além de melhorar a saúde e bem-estar dos animais (Berckmans, 2014).

Esta combinação proporciona uma ferramenta denominada de PLF (*Precision Livestock Farming*), cujo princípio consiste aplicação de técnicas de engenharia que podem monitorar, controlar e gerir os processos de criação de animais em confinamento e os riscos oferecidos na qualidade do ar interior de instalações pecuárias (Tullo *et al.*, 2019).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é a construção de um sistema de baixo custo, composto por uma rede de sensores capaz de detetar os principais poluentes do ar interior de instalações suinícolas e avícolas, com capacidade de registo, armazenamento e envio de dados, através da rede móvel para um servidor, das concentrações encontradas das substâncias ao longo do tempo.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUÍDO

Para o desenvolvimento do sistema de monitorização de poluentes do ar interior de instalações suínícolas e avícolas, foram utilizados um conjunto de sensores semicondutores, eletroquímicos e ópticos capazes de detetar gases e partículas gerados pelos animais. Os sensores são de baixo custo e alta resolução, e foram selecionados para medir a concentração do sulfureto de hidrogénio (H₂S), amónia (NH₃), dióxido de carbono (CO₂), compostos orgânicos voláteis totais (COVT's) e material particulado (PM_{2,5} e PM₁₀), além de parâmetros ambientais como a temperatura (T) e humidade relativa (HR).

Os sensores estão conectados a uma placa Arduino Mega 2560, na qual é possível realizar o processamento dos valores obtidos e convertê-los em dados perceptíveis para os utilizadores. Em conjunto, também foi utilizado um *display* de cristal líquido, capaz de exibir os valores das concentrações detetadas em tempo real no próprio dispositivo. Foram ainda incorporados no dispositivo um módulo de armazenamento local, cartão micro SD, e um módulo GPRS/GSM Quad-band, que tem a capacidade de enviar os dados através de uma rede móvel, utilizando um cartão SIM, para um servidor remoto (foi usada a plataforma ThingSpeak) onde os dados são armazenados e tratados. A plataforma ThingSpeak permite o acesso aos dados através de um qualquer terminal com acesso à internet.

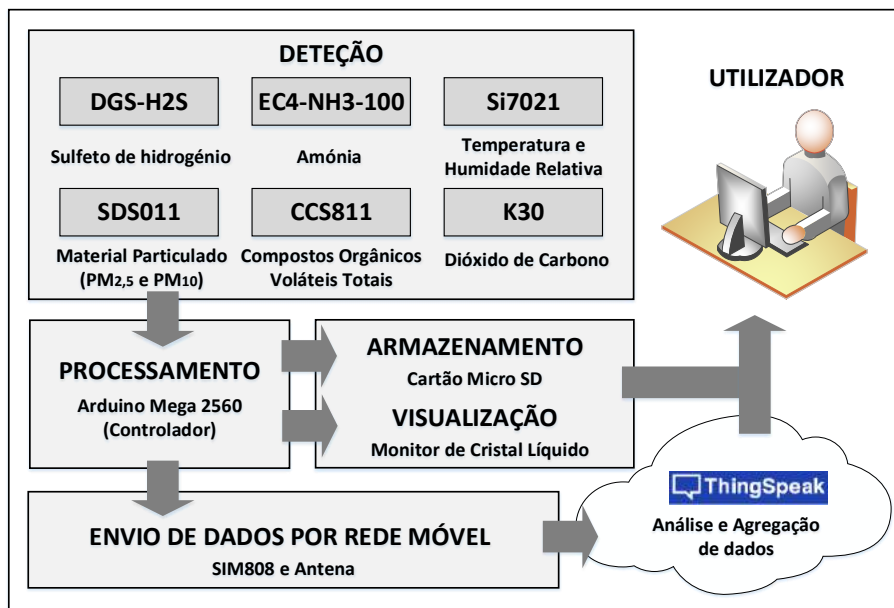


Fig. 1. Visão geral da estrutura do sistema de medição.

2.1. Sensores Utilizados

De entre os trabalhos desenvolvidos por outros autores foram determinadas as gamas de deteção dos poluentes dentro de suiniculturas e aviculturas, e a partir dessa pesquisa, foram selecionados sensores que apresentavam uma faixa de operação dentro dos limites observados.

Utilizaram-se dois sensores semicondutores, um na deteção de parâmetros ambientais no interior das instalações, temperatura e humidade relativa, e outro para detetar os compostos orgânicos voláteis totais. O sensor Si7021-A20 é capaz de operar numa faixa de 0 a 100% de HR, com resolução de 3% e uma faixa de temperatura de -40 a 125°C com resolução de 0,4°C. O sensor de COVT's é o CCS811 com capacidade de medição de 0 a 1187 ppb.

O sensor eletroquímico de H₂S, opera numa gama de medição de 0 a 10 ppm e tem uma resolução de 10 ppb. Dependendo das condições de uso, o sensor pode durar entre 5 e 10 anos. Também foi



usado um sensor eletroquímico para a medição de NH₃. Este, apresenta uma faixa de medição de 0 até 100 ppm e uma resolução de 0,01 ppm. A expectativa de vida deste sensor é de até 2 anos.

Por último, para a medição da concentração de dióxido de carbono e do material particulado foram usados, respectivamente, o sensor K30 e o SDS011. O primeiro apresenta excelentes gamas de medição que variam de 0 a 10.000 ppm, com uma resolução de 30 ppm. Já o segundo é capaz de medir tanto partículas com o diâmetro aerodinâmico de 2,5, quanto de 10 µm, com faixas de medição de 0 a 1000 µg.m⁻³ e resolução de 0,3 µg.m⁻³. É possível observar na Tabela 1 os limites encontrados no ar interior dessas instalações e o limite de operação dos sensores escolhidos.

Tabela 1. Faixas das concentrações dos poluentes do ar interior e parâmetros ambientais de suiniculturas e aviculturas encontradas na literatura.

Poluentes e Parâmetros Ambientais	Faixa de Operação dos sensores	Faixa encontrada em suiniculturas	Faixa encontrada em aviculturas	Unidade
H ₂ S	DGS-H ₂ S (0 – 10000)	15 – 6180 ^[1]	30 – 2240 ^[1]	ppb
NH ₃	EC4-NH ₃ -100 (0 – 100)	2 – 87 ^[1, 2]	1 – 50 ^[1, 3]	ppm
CO ₂	K30 (0 – 10000)	1000 – 5000 ^[1]	500 – 3000 ^[1, 3]	ppm
COVT's ^[a]	CCS811 (0 – 1887)	0,1 – 718 ^[4, 5]	219,4 - 1912,1 ^{[6][b]}	ppb
PM _{2.5} PM ₁₀	SDS011 (0 – 1000)	15,2 – 415 ^[2, 7] 116 – 1746 ^[2, 7]	81 – 380 ^[3] 135 – 5003 ^[3, 8]	µg.m ⁻³
T	Si7021-A20 (-40 – 125)	18,1 – 29,4 ^[9, 10]	16,2 – 29,1 ^[10]	°C
HR	Si7021-A20 (0 – 100)	41,0 – 84,0 ^[9, 10]	41,2 – 92,9 ^[10]	%

^a COVT's = Álcoois, cetonas, ésteres, ácidos carboxílicos, fenóis e outros.

^b Conversão de unidades de µg.m⁻³ para ppb (T=298K e P=101325Pa e R=8,314462 m³.Pa.K⁻¹.mol⁻¹).

Fonte: [1] Heyden *et al.* (2015); [2] Shen *et al.* (2019); [3] Winkel *et al.* (2016); [4] Feilberg *et al.* (2010); [5] Heber *et al.* (2004); [6] Trabue *et al.* (2010); [7] Ransbeeck *et al.* (2013); [8] Melse & Hol (2012); [9] Chmielowiec-Korzeniowska (2009); [10] Cambra-López *et al.* (2015).

2.2. Sensibilidade Cruzada

A sensibilidade cruzada foi outro parâmetro utilizado para a seleção dos sensores de NH₃ e H₂S. A sensibilidade cruzada refere-se a gases interferentes que fazem com que o eletrodo dentro do sensor reaja a outras substâncias que não sejam o gás alvo.

De acordo com o fabricante, Pewatron (2016), foram aplicadas concentrações de algumas substâncias no sensor EC4-NH₃-100, com o intuito de verificar a leitura para cada substância gasosa, que possa interferir na detecção da amônia.

De acordo com a Spec Sensors (2017), para verificar a resposta do sensor DGS-H₂S, foram aplicadas concentrações de alguns poluentes. As substâncias utilizadas, suas respectivas concentrações e a leitura observada, para os sensores de NH₃ e H₂S podem ser verificadas na Tabela 2.

Tabela 2. Sensibilidade cruzada dos sensores DGS-H₂S e EC4-NH₃-100 a outros gases.

Compostos	Fórmula molecular	Concentração aplicada no sensor de H ₂ S (ppm)	Leitura do sensor de H ₂ S (ppm)	Concentração aplicada no sensor de NH ₃ (ppm)	Leitura do sensor de NH ₃ (ppm)
Sulfureto de hidrogénio	H ₂ S	10	10	50	0
Cloro	Cl ₂	10	-2,2	1	0
Dióxido de azoto	NO ₂	10	-2	0	0
Dióxido de enxofre	SO ₂	20	1,7	0	0
Dióxido de carbono	CO ₂	0	0	5000	0
Óxido nítrico	NO	50	1,2	0	0
Monóxido de carbono	CO	400	1,1	100	0
Ozono	O ₃	5	-0,9	0	0
Metano	CH ₄	500	0,1	0	0
Amónia	NH ₃	100	0,1	100	100
Hidrogénio	H ₂	0	0	100	0
Isopropanol	C ₃ H ₅ OH	0	0	1000	0
N-heptano	C ₇ H ₁₆	500	<0,5	0	0

Fonte: Adaptado de Spec Sensors (2017) e Pawatron (2016).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de monitorização da qualidade do ar interior de suiniculturas e aviculturas foi construído procurando atender duas necessidades: sensores e módulos de baixo custo e o mínimo de interferência com gases reativos que possam ser encontrados nessas instalações. É possível verificar na Figura 2 o protótipo construído.

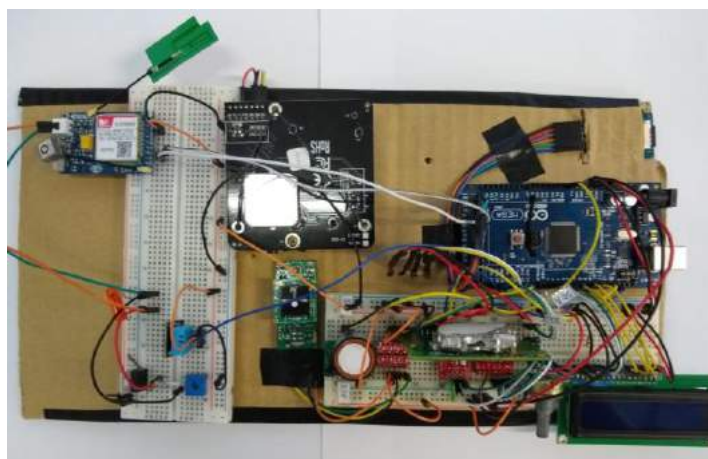


Fig. 2. Sistema de QAI construído para instalações suinícolas e avícolas.

Os valores detetados pelos sensores são processados pela placa Arduino e são armazenados no cartão micro SD de 4 Gb, num período de 15 em 15 segundos, no formato csv, para facilitar a edição dos dados em folhas de cálculo. As concentrações obtidas também são visualizadas no *display* local em tempo real e também são enviadas através de uma rede de dados móvel, utilizando a tecnologia GPRS (*General Packet Radio Service*), para a nuvem. Esses valores são enviados para a plataforma IoT (*Internet of Things*), denominada ThingSpeak, onde os valores podem ser agregados, visualizados e analisados.



O sistema é alimentado por uma fonte de alimentação AC/DC, com uma entrada de 100 a 240 V e AC50/60Hz e uma saída que é 9V-2A. A energia média típica consumida pela placa, com todos os sensores e módulos é de 710 mA, com picos de consumo de 2,25 A. Os picos estão associados ao arranque do módulo SIM808.

As condições de operação do protótipo são baseadas nas condições em que os sensores e módulos instalados podem funcionar. Portanto, o sistema opera bem entre temperaturas de 0 a 40°C, humidade relativa de 15 a 90% e pressão atmosférica entre 86 e 110 kPa.

O custo para a aquisição dos componentes e produção do protótipo foi de 505,09 €, apesar de considerar o menor valor encontrado para cada componente o custo pode ser de 377,87 €. A manutenção do sistema é feita baseando-se no tempo de vida dos sensores e o tempo gasto na construção do sistema e código foi de 72,5 horas, Tabela 3. Os sensores escolhidos cumprem com a Diretiva 2015/863/UE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, também conhecida como RoHS 3, no qual trata da restrição do uso de determinadas substâncias perigosas, como chumbo, mercúrio, cádmio, etc., para a fabricação de componentes elétricos e eletrónicos.

Tabela 3. Custo dos sensores e componentes e tempo gasto na instalação e construção do código.

Sensores e Componentes	Preço adquirido (€)	Menor preço disponível (€)	Tempo gasto (horas)
CCS811	37,29	6,49	6
DGS-H2S	63,55	63,55	7
K30	74,70	74,70	4,5
EC4-NH3-100	90,00	90,00	13
SDS011	43,20	13,89	5,5
Si7021	9,95	1,22	1,5
Arduino Mega 2560 + módulos LCD, micro SD e SIM808	85,87	30,52	30
Outros Componentes*	100,53	97,50	5
Total	505,09	377,87	72,5

* Cabos jumper, resistores, capacitor, BOB-12009 e Adaptador *Easyboard*.

4. CONCLUSÕES

Conforme o avanço tecnológico e a necessidade do controlo de poluentes do ar interior de instalações pecuárias, a utilização de sensores de baixo custo surge como uma excelente ferramenta, devido ao pequeno custo de investimento e manutenção que é oferecido, dando ao produtor uma opção mais económica para a monitorização contínua dos gases presentes em instalações de produção intensiva em confinamento de aves de capoeira e suínos.

O sistema de monitorização é capaz de detetar ácido sulfídrico, amónia, dióxido de carbono compostos orgânicos voláteis totais, material particulado PM_{2,5} e PM₁₀, além de parâmetros ambientais como a temperatura e humidade relativa de suiniculturas e aviculturas, apresentando grande potencial para analisar a qualidade do ar interior de outras instalações de criação de animais.

Os trabalhos futuros serão focados na validação dos sensores utilizando equipamentos de referência, para garantir que os dados sejam confiáveis. Também será feito o encapsulamento do protótipo, garantindo um sistema mais compacto e com uma proteção mais adequada aos componentes elétricos e sensores. E por fim, será realizado um estudo de caso, no qual serão feitas monitorizações da qualidade do ar interior em instalações suinícolas e avícolas em Portugal e no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi apoiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT, Portugal) e FEDER ao abrigo do Programa PT2020 através do apoio financeiro ao CIMO (UID / AGR / 00690/2013) e pelo projeto bilateral estabelecido entre o Instituto Politécnico de Bragança (Portugal) e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Brasil).



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Portuguesa do Ambiente. (2009). Qualidade do ar em espaços interiores (pp. 1-56). Amadora, Lisbon: APA.
- Arrieta, E. M., & González, A. D. (2019). Energy and carbon footprints of chicken and pork from intensive production systems in Argentina. *Science of The Total Environment*, 673, 20-28. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.002
- Berckmans, D. (2014). Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Revue Scientifique Et Technique De LOIE*, 33(1), 189-196. doi:10.20506/rst.33.1.2273
- Burroughs, H. E., & Hansen, S. J. (2011). *Managing indoor air quality* (5th ed.). Boca Raton, FL: The Fairmont Press/Taylor & Francis.
- Cambra-López, M., Winkel, A., Mosquera, J., Ogink, N. W., & Aarnink, A. J. (2015). Comparison between light scattering and gravimetric samplers for PM10 mass concentration in poultry and pig houses. *Atmospheric Environment*, 111, 20-27. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.03.051
- Cavaliere, A., Carotenuto, F., Gennaro, F. D., Gioli, B., Gualtieri, G., Martelli, F., Matese, A., Toscano, P., Vagnoli, C., Zaldei, A. (2018). Development of Low-Cost Air Quality Stations for Next Generation Monitoring Networks: Calibration and Validation of PM2.5 and PM10 Sensors. *Sensors*, 18(9), 2843. doi:10.3390/s18092843
- Chmielowiec-Korzeniowska, A. (2009). The concentration of volatile organic compound (VOCs) in pig farm air. *Ann Agric Environ Med*, 16, 249-256. Retrieved April 28, 2019, from https://www.researchgate.net/publication/40846266_The_concentration_of_volatile_organic_compounds_VOCS_in_pig_farm_air
- Chong, C., & Kumar, S. (2003). Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges. *Proceedings of the IEEE*, 91(8), 1247-1256. doi:10.1109/jproc.2003.814918
- Clements, A. L., Griswold, W. G., Rs, A., Johnston, J. E., Herting, M. M., Thorson, J., Collier-Oxandale, A., Hannigan, M. (2017). Low-Cost Air Quality Monitoring Tools: From Research to Practice (A Workshop Summary). *Sensors*, 17(11), 2478. doi:10.3390/s17112478
- Davis, K. F., Yu, K., Herrero, M., Havlik, P., Carr, J. A., & D'Odorico, P. (2015). Historical trade-offs of livestock's environmental impacts. *Environmental Research Letters*, 10(12), 125013. doi:10.1088/1748-9326/10/12/125013
- Ecim-Djuric, O., & Topisirovic, G. (2010). Energy efficiency optimization of combined ventilation systems in livestock buildings. *Energy and Buildings*, 42(8), 1165-1171. doi:10.1016/j.enbuild.2009.10.035
- European Commission. (2017). *Measuring Air Pollution with Low-Cost Sensors* [Brochure]. European Union, EU: Gerboles, M., Spinelle, L., Borowiak, A. Retrieved May 10, 2019, from <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/brochures-leaflets/measuring-air-pollution-low-cost-sensors>
- Feilberg, A., Liu, D., Adamsen, A. P., Hansen, M. J., & Jonassen, K. E. (2010). Odorant Emissions from Intensive Pig Production Measured by Online Proton-Transfer-Reaction Mass Spectrometry. *Environmental Science & Technology*, 44(15), 5894-5900. doi:10.1021/es100483s
- Heber, A., Lim, T., Tao, P., & Ni, A. J. (2004). Control Of Air Emissions From Swine Finishing Buildings Flushed With Recycled Lagoon Effluent. *The Society for Engineering in Agriculture, Food and Biological Systems*, 1-12. doi:10.13031/2013.17692
- Heyden, C. V., Demeyer, P., & Volcke, E. I. (2015). Mitigating emissions from pig and poultry housing facilities through air scrubbers and biofilters: State-of-the-art and perspectives. *Biosystems Engineering*, 134, 74-93. doi:10.1016/j.biosystemseng.2015.04.002
- Jones, D. D., Friday, W. H., and DeForest, S. S. Environmental Control for Confinement Livestock Housing. (2015). Historical Documents of the Purdue Cooperative Extension Service. Paper 1083. <http://docs.lib.purdue.edu/agext/1083>.
- Leip, A., Billen, G., Garnier, J., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Reis, S., ... Westhoek, H. (2015). Impacts of European livestock production: Nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions,



- land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environmental Research Letters*, 10(11), 115004th ser., 1-13. doi:10.1088/1748-9326/10/11/115004
- Liang, H., & Liao, C. (2004). Dynamic transport of livestock generated VOC-odor in a ventilated airspace with mixing heterogeneity. *Atmospheric Environment*, 38(3), 345-355. doi:10.1016/j.atmosenv.2003.10.023
- Melse, R. W., & Hol, J. M. (2012). Measures to reduce fine dust emission from poultry houses: Biofiltration of exhaust air of a manure drying system at a barn for laying hens (in Dutch). Report No. 498. Livestock Research, Wageningen University & Research, Netherlands. Retrieved from: <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/211579>
- Ni, J., Heber, A. J., Darr, M. J., Lim, T. T., Diehl, C. A., & Bogan, B. W. (2009). Air Quality Monitoring and On-Site Computer System for Livestock and Poultry Environment Studies. *Transactions of the ASABE*, 52(3), 937-947. doi:10.13031/2013.27391
- Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, Diretiva 2015/863/UE - Lista das substâncias sujeitas a restrição, Jornal Oficial das Comunidades Europeia, Bruxelas, 31 de março de 2015.
- Pewatron. (2016). Electrochemical 3 Electrode Sensor: EC4-NH3-100 Ammonia. Disponível em: <https://www.pewatron.com/fileadmin/products/datasheets/188/EC4-NH3-1_1620-21570-0019-E-0217.pdf>. Acessado em 15 de fevereiro de 2019.
- Ransbeeck, N. V., Langenhove, H. V., & Demeyer, P. (2013). Indoor concentrations and emissions factors of particulate matter, ammonia and greenhouse gases for pig fattening facilities. *Biosystems Engineering*, 116(4), 518-528. doi:10.1016/j.biosystemseng.2013.10.010
- Ropkins, K., Colville, R. N. (2000). *Critical Review of Air Quality Monitoring Technologies for Urban Traffic Management and Control (UTMC) Systems*. Urban Traffic Management & Control (UK).
- Shen, D., Wu, S., Li, Z., Tang, Q., Dai, P., Li, Y., & Li, C. (2019). Distribution and physicochemical properties of particulate matter in swine confinement barns. *Environmental Pollution*, 250, 746-753. doi:10.1016/j.envpol.2019.04.086
- SPEC Sensors. (2017). Digital Gas Sensor – Hydrogen Sulfide. Disponível em: <<https://www.spec-sensors.com/wp-content/uploads/2017/01/DGS-H2S-968-036.pdf>>. Acessado em 15 de fevereiro de 2019.
- Trabue, S., Scoggin, K., Li, H., Burns, R., Xin, H., & Hatfield, J. (2010). Speciation of volatile organic compounds from poultry production. *Atmospheric Environment*, 44(29), 3538-3546. doi:10.1016/j.atmosenv.2010.06.009
- Tullo, E., Finzi, A., & Guarino, M. (2019). Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science of The Total Environment*, 650, 2751-2760. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.10.018
- Westhoek, H., Ingram, J. S., Berkum, S. V., Özay, L., & Hajer, M. A. (2016). Food systems and natural resources. United Nations Environment Programme - UNEP. Disponível em: <http://www.resourcepanel.org/file/133/download?token=6dSyNtuV>. Acessado 01 de maio de 2019.
- Winkel, A., Mosquera, J., Aarnink, A. J., Koerkamp, P. W., & Ogink, N. W. (2016). Evaluation of oil spraying systems and air ionisation systems for abatement of particulate matter emission in commercial poultry houses. *Biosystems Engineering*, 150, 104-122. doi:10.1016/j.biosystemseng.2016.07.014
- World Health Organization (WHO). (2006). *Development of WHO Guidelines for Indoor Air quality* (pp. 1-21). Bonn, Germany.
- Zheng, S., Jin, X., Chen, M., Shi, Q., Zhang, H., & Xu, S. (2019). Hydrogen sulfide exposure induces jejunal injury via CYP450s/ROS pathway in broilers. *Chemosphere*, 214(2019), 25-34. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.09.002