



AMBIENTE E DIREITOS HUMANOS

Universidade de Aveiro · Portugal

8 > 10 MAIO'18



Conferência Internacional  
de Ambiente em Língua Portuguesa

XX Encontro REALP

XI CNA

Volume III

# **Ambiente e Direitos Humanos**

**Volume III**

## **Editores**

Ana Isabel Miranda, Myriam Lopes, Luís Tarelho, Filomena Martins, Peter Roebeling,  
Margarida Coelho, João Labrincha

Universidade de Aveiro

8 a 10 de maio de 2018

## **Ficha Técnica**

Conferência Internacional de Ambiente em Língua Portuguesa,  
XX Encontro da Rede de Estudos Ambientais de Países de Língua Portuguesa  
XI Conferência Nacional do Ambiente

ISBN: 978-972-789-540-3

### **Nota explicativa**

Esta publicação contém as comunicações apresentadas na Conferência Internacional de Ambiente em Língua Portuguesa, XX Encontro da Rede de Estudos Ambientais de Países de Língua Portuguesa e XI Conferência Nacional do Ambiente, que decorreu na Universidade de Aveiro, de 8 a 10 de maio de 2018.

### **Editores**

Ana Isabel Miranda, Myriam Lopes, Luís Tarelho, Filomena Martins, Peter Roebeling,  
Margarida Coelho, João Labrincha

### **Desenho da capa**

Joana Ivónia

### **Edição**

Departamento de Ambiente e Ordenamento  
Universidade de Aveiro

# APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM SENSOR DE BAIXO CUSTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE PERDAS DE METANO EM REDES URBANAS DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

Leonardo C. FURST<sup>1</sup>, Manuel Feliciano<sup>2</sup>, Laercio M. Frare<sup>3</sup>, Getúlio Igrejas<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Escola Superior de Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

<sup>2</sup> Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

<sup>3</sup> Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Brasil

<sup>4</sup> Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

leonardofurst@gmail.com, msabenca@ipb.pt, laercio@utfpr.edu.br, igrejas@ipb.pt

## Resumo

*Ao longo da cadeia de distribuição de gás natural podem ocorrer vazamentos de metano, que além de constituírem perdas económicas e fatores de risco de explosão e de incêndio, contribuem para o aquecimento global e formação de ozono troposférico. Neste estudo, procurou-se avaliar a aplicação do sensor Figaro TGS2600 montado sobre a plataforma Arduino para a monitorização de metano em locais próximos da rede de distribuição de gás natural no distrito de Bragança. O sistema desenvolvido mostrou ser uma solução promissora, facilmente implantável e de baixo custo para detectar metano em baixas concentrações.*

## Introdução

O gás natural consiste numa mistura natural de hidrocarbonetos e substâncias inorgânicas.<sup>1</sup> Na sua composição encontra-se maioritariamente o metano, em percentagens superiores a 85%, apresentando ainda outros hidrocarbonetos como o etano, propano, butano e pentano em percentagens inferiores a 10%, além de gases inorgânicos como o dióxido de carbono, sulfureto de hidrogénio, azoto e também traços de argón, hélio e hidrogénio.<sup>2-3</sup>

No seu Quinto Relatório de Avaliação<sup>4</sup>, o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) referiu que o metano possui um tempo de vida na atmosfera de aproximadamente 12 anos, com potencial de aquecimento global de 86 vezes superior ao do dióxido de carbono para um horizonte temporal de 20 anos e de 34 vezes superior para um horizonte temporal de 100 anos. O potencial de aquecimento global tem por definição o potencial que uma substância específica possui de

acrécimo ao aquecimento global em comparação com o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), baseando-se na capacidade que a substância tem em absorver radiação infravermelha e o seu tempo de vida na atmosfera.<sup>5</sup> Adicionalmente o CH<sub>4</sub> é um dos precursores da formação de ozono troposférico ou superficial, que atua como um forte oxidante prejudicando a saúde humana e o ambiente.<sup>6-7</sup> Deste modo, ferramentas para a monitorização de metano são essenciais no controlo e avaliação das emissões.

As fugas de metano podem ocorrer em todos os estágios da cadeia de produção e distribuição de gás natural e estão divididas em intencionais e não intencionais. As emissões intencionais ou ventiladas resultam da libertação de gases durante o processamento do gás natural, resultantes de tarefas de manutenção ou da queima incompleta, enquanto as emissões não intencionais ou fugitivas ocorrem em consequência de vazamentos, rompimentos e fissuras.<sup>8-9</sup> Na cadeia de produção de gás natural, há uma preocupação corrente para analisar o risco de acidentes que envolvem principalmente a rede urbana de distribuição de gás natural, posto que o rompimento ou vazamento dessas condutas podem gerar fatalidades, lesões a moradores e diversos danos e perdas de bens e, em alguns casos, de vidas humanas.<sup>10</sup>

No presente trabalho, estudou-se o desenvolvimento e aplicação de um equipamento portátil e de baixo custo para a monitoração do gás metano, baseado num sensor semicondutor de óxido metálico montado sobre a plataforma livre Arduino Mega.

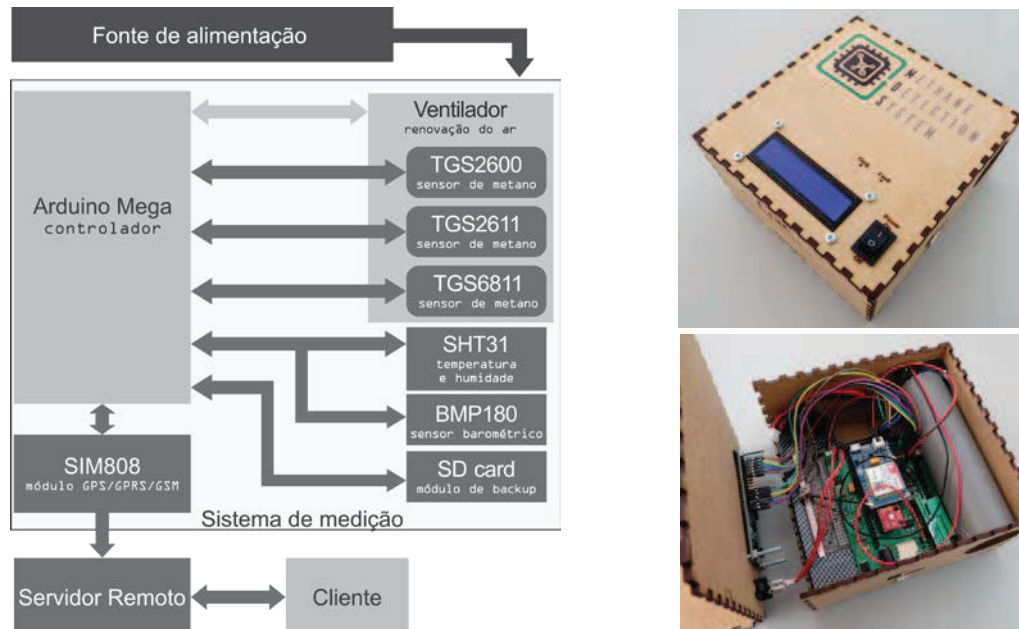
## **Metodologia**

### **Sistema de medição**

A aplicação desenvolvida baseia-se na utilização da plataforma Arduino Mega que, com a integração de diversos sensores e módulos de comunicação e geolocalização, permitiu medir, georreferenciar e enviar os dados para um servidor remoto. O Arduino Mega trata-se de uma plataforma de baixo custo e de código aberto, que permite o acesso a um elevado número de bibliotecas, disponíveis virtualmente, facilitando e acelerando o desenvolvimento do projeto. Dentre as plataformas de prototipagem rápida do mesmo fabricante, o Arduino Mega é a que possui o maior número de portas de entrada/saída - 54 entradas digitais, 16 analógicas - permitindo a conexão e comunicação com um maior número de periféricos.<sup>11</sup>

A seleção do sensor de metano baseou-se em estudos realizados em ambiente urbano<sup>12-13</sup>, os quais apontaram para concentrações de metano abaixo dos 100 ppm. Neste contexto, optou-se pela utilização do sensor TGS2600, o qual, segundo as suas

especificações técnicas<sup>14</sup>, é capaz de responder a concentrações reduzidas de metano. O TGS2600, é um sensor semicondutor de óxido metálico, com capacidade de detecção dos gases metano, monóxido de carbono, isobutano, etanol e hidrogénio. Na Figura 1 é possível observar à esquerda a arquitectura do sistema de medição e à direita o sistema de medição de gás metano.



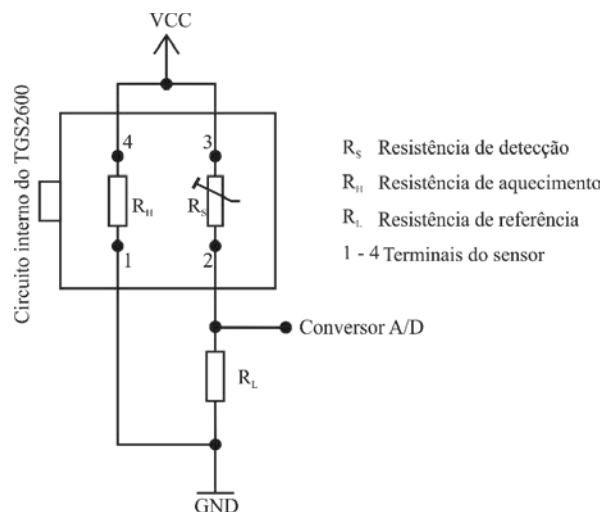
**Figura 1:** Arquitectura do sistema (esquerda), sistema de medição encapsulado em invólucro de madeira (direita).

A configuração do sensor TGS2600 utilizada durante o projeto foi baseada no trabalho de Eugster e Kling<sup>15</sup>, os quais utilizaram dois sensores TGS2600 em paralelo para medição de metano sobre a superfície do lago Toolik - Alasca. Os autores obtiveram resultados promissores, detectando concentrações inferiores a 2 ppm. O circuito básico aplicado ao sensor pode ser visualizado na Figura 2.

Os terminais 1 e 4 do sensor são responsáveis pela alimentação do sistema de aquecimento, referenciado como uma resistência de aquecimento ( $R_H$ ), encarregada pelo aquecimento do sensor até à temperatura de operação do dispositivo. A parte de detecção do sensor é alimentada através dos terminais 2 e 3 e opera de modo semelhante a uma resistência ajustável ( $R_S$ ), uma vez que o seu valor varia de acordo com a concentração do gás alvo. A resistência de carga ( $R_L$ ) é uma referência utilizada para calcular a queda de tensão do sistema.

Considerando a resposta do sensor de metano em função da temperatura e humidade relativa do ar, fez-se uso do sensor SHT31-D, capaz de realizar medições de temperatura na gama de  $-40^\circ$  a  $125^\circ\text{C}$  com uma resolução de  $0,015^\circ\text{C}$ ,

repetibilidade média de 0,12°C e um tempo de resposta mínimo de 2s. Em relação à humidade relativa, a gama de medição encontra-se entre 0 e 100% com resolução de 0,01%, repetibilidade média de 0,15% e tempo de resposta de 8s<sup>16</sup>.



**Figura 2:** Circuito utilizado no estudo. Utilizou-se uma resistência de precisão de 5kΩ como referência.

Adicionalmente, foi combinado ao sistema um sensor barométrico BMP180; um módulo SIM808 GPS/GPRS/GSM para aquisição da posição geográfica e comunicação entre o sistema e um servidor remoto utilizando a rede de telefonia móvel; um módulo microSD como sistema de *backup* dos dados reunidos pelos sensores; e um ventilador operando como sistema ativo de circulação do ar sobre os sensores.

### Calibração do sensor

A calibração do sistema foi realizada por meio da utilização de um padrão de metano de 744 ppm e ar de diluição composto por 21% de oxigénio e 79% de azoto. Para a diluição do padrão de metano fez-se uso do sistema MCZ-MK5, através do qual foi possível produzir diferentes concentrações conhecidas de metano e proceder à medição das mesmas com o sensor. Deste modo, foi possível encontrar a relação entre a resistência do sensor e as diferentes concentrações de metano e consequentemente a construção da curva de calibração (Equação 1).

$$\frac{R_s}{R_0} = 1,62189 - 0,13935 \times \log[\text{CH}_4] \quad (1)$$

$$R^2 = 0,99015$$

Para concentrações inferiores a 200 ppm, a curva de calibração possui maior coeficiente angular, assim, menores variações na concentração de metano acarretam maiores variações na resistência do sensor, logo o sensor possui maior resolução

para esta gama de amostragem. Para essa gama a resolução média do sensor é de 3,69 ppm. Na gama entre os 200 e 744 ppm, a curva de calibração exibe uma certa tendência linear, possuindo menor coeficiente angular, resultando na queda da resolução do sensor para uma resolução média de 10,92 ppm.

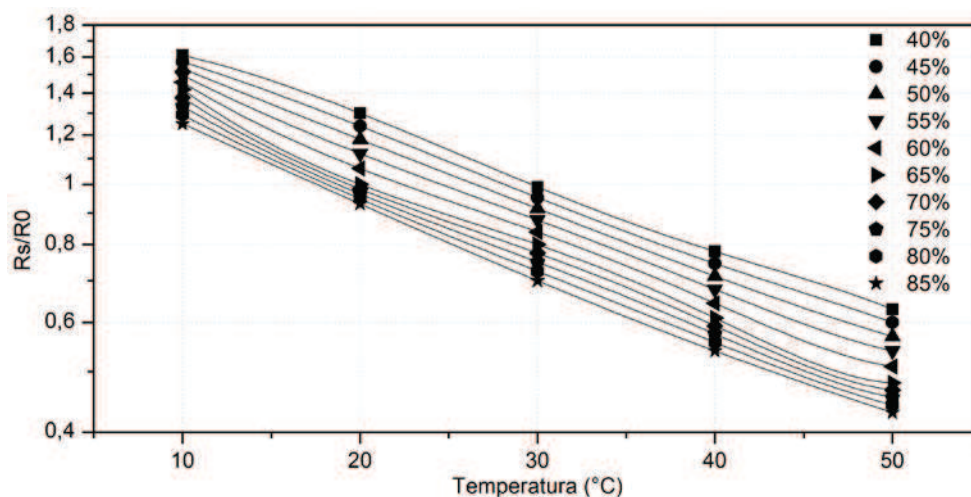
### Processamento de sinal

Os dados dos sensores de metano foram recolhidos em formato decimal através do conversor A/D integrado na plataforma Arduino Mega e convertidos em valores de tensão utilizando a tensão de referência de 5V e a resolução de 10 bits das portas analógicas da plataforma. Determinada a tensão de saída do sensor, aplicou-se a Equação 2, disponibilizada no documento técnico do sensor TGS2600<sup>14</sup>, a qual estabelece uma relação entre a tensão de alimentação ( $V_C$ ), a tensão de saída ( $V_{out}$ ) e a resistência de carga ( $R_L$ ) para cálculo do valor resistivo do sensor ( $R_s$ ), determinando-se deste modo a resistência do sensor.

$$R_s = \frac{V_C - V_{OUT}}{V_{OUT}} R_L \quad (2)$$

Conhecendo o valor de  $R_s$ , determinou-se o valor da resistência em ar livre ( $R_0$ ), uma vez que a concentração de metano foi calculada através de uma relação de  $R_s/R_0$ . O fabricante especifica uma relação máxima de  $R_s/R_0=1$ , em que  $R_0$  representa a resistência medida ao ar puro em condições controladas de temperatura e humidade relativa do ar a 20°C e 65%, respectivamente. No entanto, na impossibilidade de controlo destas variáveis, adotou-se como  $R_0$ , a resistência observada ao ar livre para um cenário próximo das condições indicadas. Desta forma, obteve-se uma relação  $R_s/R_0$  maior que 1, indicando somente o deslocamento da linha de resposta do sensor, uma vez que todos os resultados estão em relação a  $R_0$ . Este procedimento e o seu efeito na relação  $R_s/R_0$  foram semelhantes aos relatados por Eugster e Kling<sup>15</sup>.

Considerando a elevada dependência do sensor em relação à temperatura e humidade relativa do ar, procedeu-se a um modelo de correção do sinal com base nas características de dependência do sensor apresentadas pelo fabricante no seu documento de referência<sup>14</sup>. Aplicou-se uma interpolação de quarto grau para cada conjunto de dados, resultando em três polinómios conhecidos, representando as curvas de humidade relativa do ar de 40, 65 e 85%. Posteriormente, fez-se uso da interpolação linear entre os polinómios, permitindo a correção para múltiplos valores de humidade relativa do ar. Na Figura 3 são apresentadas algumas das curvas construídas através do ajuste realizado.



**Figura 3:** Múltiplas curvas de dependência de  $R_s/R_0$  em relação à temperatura e humidade relativa do ar.

### Ensaio preliminares

O trabalho foi desenvolvido no município de Bragança, localizado nas coordenadas geográficas 41° 48' 20" N e 6° 45' 25" W. Bragança é a capital do distrito de Bragança, localizada na região nordeste de Portugal continental, na região conhecida como Trás-os-Montes.

Testes na presença de fontes de metano foram conduzidos no estábulo de pequenos ruminantes (ovinos e caprinos) da Escola Superior de Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, para analisar a resposta do sensor à presença do gás. O local foi definido em virtude da extensa literatura publicada, que comprova as emissões originadas dos dejetos ovinos e do processo digestivo de animais ruminantes.

Vários ensaios de amostragem foram realizados no estábulo; o primeiro no dia 20 de abril de 2017, sem animais confinados, com duração de 35 minutos e taxa de amostragem de 2 segundos utilizando somente o sensor TGS2600. O segundo, foi realizado no dia 21 de abril de 2017, com a presença dos animais, 60 minutos de duração e taxa de amostragem de 2 segundos, mas com a utilização dos três sensores de metano disponíveis. Os ensaios foram dirigidos em ciclos de exposição ao ar livre e exposição ao metano, a fim de observar a variação do sinal do sensor para as diferentes atmosferas.

### Ensaio em ambiente urbano

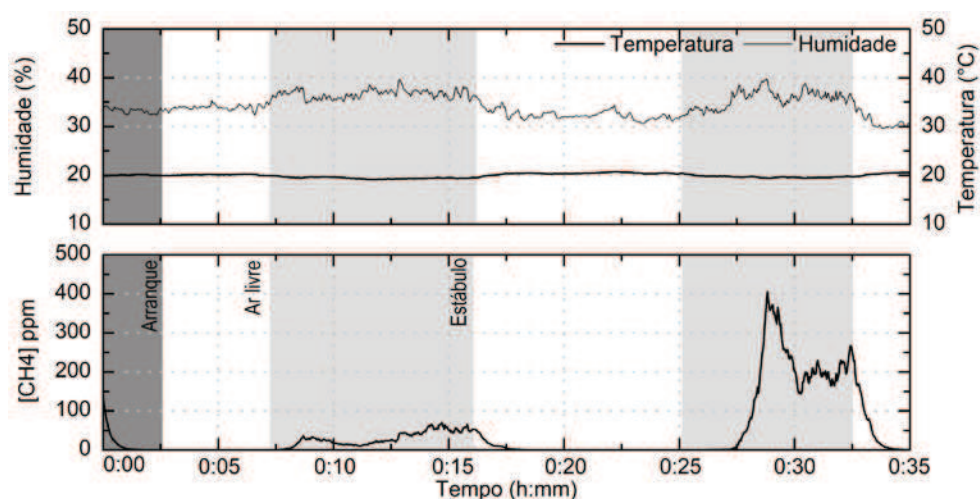
Os pontos de amostragem foram identificados visualmente em diversas vias da cidade de Bragança, através da localização das caixas de manobras de gás natural. Após identificados os pontos de amostragem, foram realizadas medições junto às tampas, a fim de aumentar a probabilidade de identificação do gás metano, caso

houvesse vazamentos. As medições foram realizadas no horário compreendido entre as 4:00 e 8:00 h, por ser previsível uma maior estabilidade da atmosfera durante esse período matinal e por ser expectável um menor fluxo de automóveis, de modo a minimizar a interferência de outros gases na resposta do sensor. Os ensaios no perímetro urbano foram realizados na Zona Histórica de Bragança durante os dias 05, 06 e 07 de outubro de 2017.

## Resultados e discussão

### Ensaio preliminares

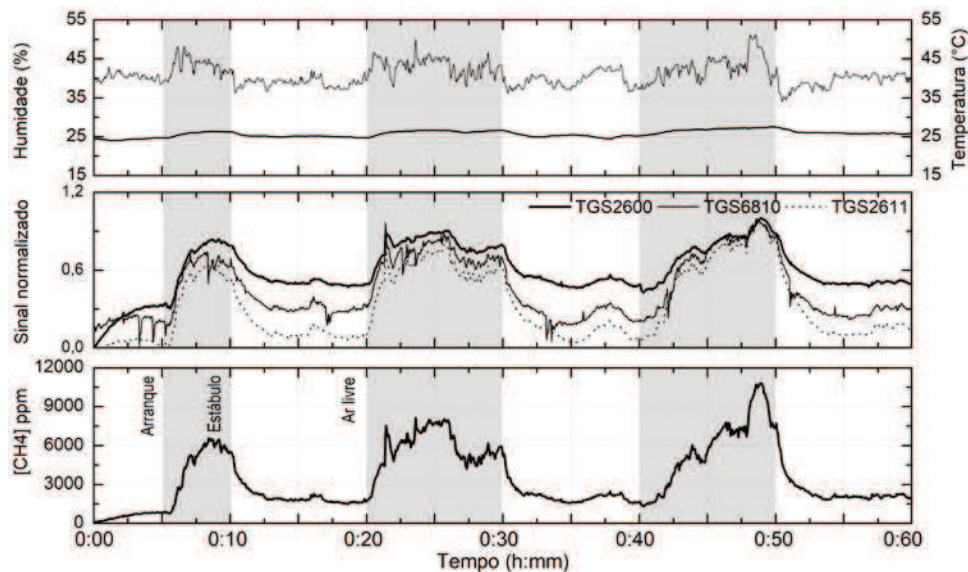
Na Figura 4 encontram-se organizados os valores obtidos com o ensaio realizado no dia 20 de abril. O primeiro patamar observado nos gráficos corresponde ao arranque do sistema, período necessário para promover o aquecimento do sensor e, por conseguinte, a estabilização do sinal. Observa-se na figura que o sinal do sensor aumentou significativamente quando mantido no interior do estábulo, tendo sofrido uma descida, após a exposição do sensor ao ar ambiente. Essa tendência corresponde ao tempo de regeneração do sensor após exposição aos gases alvo, que durante a fase de teste variou entre 3 e 8 minutos. No primeiro ciclo de amostragem, a concentração média de metano medida no estábulo foi de 33,7 ppm e durante o segundo ciclo observou-se uma concentração média de 234,3 ppm. Também se visualiza uma diferença nos valores entre a primeira e a segunda exposição. Acredita-se que essa variação esteja relacionada com a instabilidade da atmosfera no interior do estábulo, uma vez que a produção de metano não é uniforme sobre a superfície e as instalações possuem aberturas que promovem a ventilação do recinto de maneira não homogénea.



**Figura 4:** Ensaio TGS2600 dia 20 de abril realizado no estábulo de pequenos ruminantes da Escola Superior de Agrária.

Os dados obtidos com o ensaio do dia 21 de abril foram organizados na Figura 4. Inicialmente visualiza-se o período de arranque do sistema realizado ao ar livre,

seguinto-se ciclos de exposição à atmosfera do estábulo e à atmosfera exterior. Neste ensaio, registrou-se maior variabilidade do sinal em comparação com o realizado no dia 20 de abril.

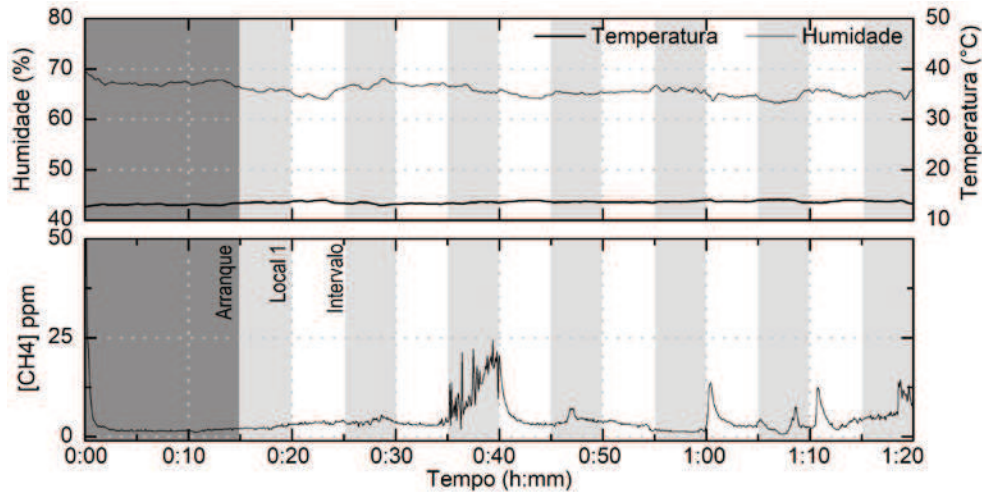


**Figura 5:** Ensaio do dia 21 de abril realizado no estábulo de pequenos ruminantes da Escola Superior de Agrária

Atribui-se a elevada diferença de concentração entre os dois ensaios à presença dos ovinos e caprinos durante o segundo ensaio, que ao se movimentarem favorecem a libertação do gás metano da cobertura do solo, além de libertarem metano durante o processo de digestão. Outro fenómeno observado no segundo ensaio foi o facto de que mesmo ao ar livre foram detectadas elevadas concentrações de metano, provavelmente em virtude da baixa ocorrência de rajadas de vento no dia da medição, favorecendo a permanência do gás nas imediações. Do primeiro ao terceiro ciclo de exposição do sensor ao gás metano, o sensor identificou as concentrações médias de 5769,9 ppm, 6149,9 ppm e 7124,4 ppm respectivamente, enquanto a concentração de metano ao ar livre observada após cada exposição foi de 1805,0 ppm, 1938,8 ppm e 2047,8 ppm.

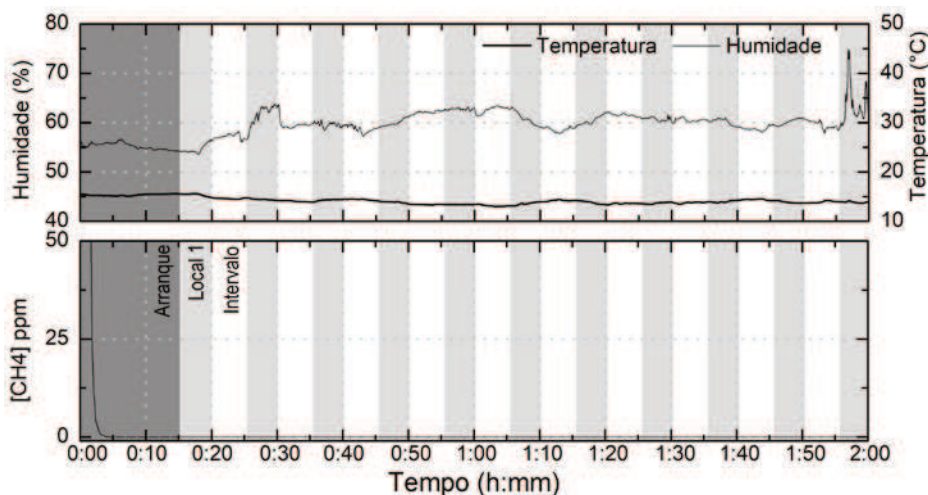
### Ensaio em ambiente urbano

No ensaio realizado no dia 06 de outubro de 2017 (Figura 6), foram cobertos sete pontos de amostragem, sendo que alguns deles, em decorrência das vias estreitas, encontravam-se próximos a vias rodoviárias, pelo que a passagem de automóveis influenciou as medições realizadas. Afastado dos pontos de medição, foi observada uma concentração média próxima dos 10 ppm de metano. No entanto, com a passagem de alguns automóveis, houve a elevação do sinal em vários ciclos de amostragem, gerando uma interferência observada entre os 35 e 40 minutos de amostragem e aos 70 e 80 minutos.



**Figura 6:** Variação das concentrações de metano, temperatura e umidade relativa do ar registradas na zona histórica de Bragança no dia 06/10/2017.

Deste modo, prosseguiu-se para a medição realizada no dia 07 de outubro, em pontos com menor circulação de veículos ou afastados das vias. Neste ensaio (Figura 7), foram amostrados 11 pontos, totalizando duas horas de medições, sem a interferência de automóveis. Em todos os pontos a concentração observada aproximou-se muito de zero, indicando a ausência de fontes de metano no perímetro.



**Figura 7:** Variação das concentrações de metano, temperatura e umidade relativa do ar registradas na zona histórica de Bragança no dia 07/10/2017.

## Conclusão

Neste trabalho estudou-se a possibilidade de utilização de um sistema de baixo custo para a medição de metano em áreas urbanas. O sistema apresentou um grande potencial de aplicação para identificação de fugas de metano, mostrando-se capaz de

identificar baixas concentrações. A sua aplicação no perímetro urbano também ocorreu como o expectável, sendo visualizada a interferência cruzada causada pelo monóxido de carbono. Apesar dos resultados observados, a utilização do sensor requer alguns cuidados. É essencial a correção do sinal em função da temperatura e humidade relativa do ar e a aplicação de uma tensão estável o mais próximo de 5V a fim de evitar variações na alimentação e, conseqüentemente, alterações na resposta do dispositivo e ainda, deve-se evitar a aplicação do sensor próximo a fontes de emissão de monóxido de carbono.

## Referências

- 1 J. E. Gallagher, *Natural gas measurement handbook*. Gulf Pub, 2006.
- 2 S. Mokhatab, W. A. Poe, and J. G. Speight, *Handbook of natural gas transmission and processing*. Gulf Professional Pub, 2006.
- 3 X. Wang and M. Economides, *Advanced Natural Gas Engineering*. Gulf Pub. Co, 2009.
- 4 IPCC, *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- 5 D. Reay, P. Smith, and A. van. Amstel, *Methane and climate change*. Earthscan, 2010.
- 6 EMEP, “Transboundary acidification, eutrophication and ground level ozone in Europe in 2003,” Norway, 2005.
- 7 J. J. West, A. M. Fiore, L. W. Horowitz, and D. L. Mauzerall, “Global health benefits of mitigating ozone pollution with methane emission controls,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 103, no. 11, pp. 3988–93, Mar. 2006.
- 8 G. Heath, E. Warner, D. Steinberg, and A. Brandt, “Estimating U.S. Methane Emissions from the Natural Gas Supply Chain: Approaches, Uncertainties, Current Estimates, and Future Studies,” 2015.
- 9 S. Stokes, M. La, and M. Lowe, “The Emerging U.S. Methane Mitigation Industry,” 2014.
- 10 Z. Y. Han and W. G. Weng, “Comparison study on qualitative and quantitative risk assessment methods for urban natural gas pipeline network,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 189, no. 1, pp. 509–518, 2011.
- 11 Arduino, “What is Arduino?,” 2017. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>. [Accessed: 25-Mar-2017].
- 12 N. G. Phillips *et al.*, “Mapping urban pipeline leaks: Methane leaks across Boston,” 2013.
- 13 R. B. Jackson *et al.*, “Natural Gas Pipeline Leaks Across Washington, DC,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 48, no. 3, pp. 2051–2058, Feb. 2014.
- 14 Figaro, “Technical information for TGS2600,” 2012. [Online]. Available: <http://www.figarosensor.com/products/2600Dtl.pdf>. [Accessed: 25-May-2017].
- 15 W. Eugster and G. W. Kling, “Performance of a low-cost methane sensor for ambient concentration measurements in preliminary studies,” *Atmos. Meas. Tech.*, vol. 5, no. 8, pp. 1925–1934, Aug. 2012.
- 16 Sensirion, “Datasheet SHT3x-DIS,” 2017. [Online]. Available: [https://www.sensirion.com/fileadmin/user\\_upload/customers/sensirion/Dokumente/2\\_Humidity\\_Sensors/Sensirion\\_Humidity\\_Sensors\\_SHT3x\\_Datasheet\\_digital.pdf](https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/2_Humidity_Sensors/Sensirion_Humidity_Sensors_SHT3x_Datasheet_digital.pdf). [Accessed: 26-Apr-2017].