

1.05.99 - Física.

## DESENHO E CONSTRUÇÃO DE CIRCUITOS ELETRÔNICOS PARA OPERAÇÃO DE DETECTORES DO TIPO MICROPATTERN GASEOUS DETECTORS

Chiara M. Le Roux<sup>1\*</sup>, Pedro Hugo Ferreira Natal da Luz<sup>2</sup>

1. Estudante de IC do Instituto de Física da USP

2. Pesquisador do Instituto de Física da USP

### Resumo:

Micropattern Gaseous Detectors (MPGD) são detectores de radiação a gás. Como eles normalmente funcionam em fluxo aberto de gás, fatores como a pressão e a temperatura influenciam o seu desempenho. Para medir esses parâmetros construiu-se uma mini estação meteorológica capaz de emitir por bluetooth os dados de temperatura, pressão e umidade do laboratório.

Outra parte importante do trabalho com detectores do tipo MPGD é o monitoramento das correntes, da ordem dos picoamperes, nos eletrodos. Isso é feito com um femtoamperímetro desenvolvido no CERN. O femtoamperímetro tem uma saída que fornece uma tensão entre 0 e 500 mV, que é função da corrente na sua entrada. Assim, foi também construído um voltímetro digital para ler a saída do femtoamperímetro. Como os eletrodos que serão lidos encontram-se a tensões da ordem de 3000 V, é necessário alimentá-lo através de uma bateria de modo a funcionar com um terra virtual neste mesmo nível de tensão, emitindo os dados via bluetooth.

**Palavras-chave:** Instrumentação; MPGD; Eletrônica.

**Apoio financeiro:** FAPESP.

**Trabalho selecionado para a JNIC pela instituição:** USP.

### Introdução:

Os *Micropattern Gaseous Detectors* (MPGD) são um tipo de detector de radiação a gás. Estes caracterizam-se pelo uso de um gás (ou uma mistura de gases) como meio absorvente da radiação, no qual a energia depositada cria elétrons livres a partir da ionização das espécies gasosas presentes. Os elétrons são, então, multiplicados e encaminhados por campos elétricos ao anodo do detector onde geram um sinal.

Os campos elétricos aplicados entre os vários eletrodos definem o regime de operação do detector. Com tensões dentro do regime proporcional, os elétrons criados na ionização do gás devido à radiação incidente são multiplicados por um fator que é constante para uma dada tensão antes de serem coletados no anodo. Desta maneira, a amplitude do sinal obtido é proporcional à energia depositada pela radiação no detector.<sup>[1]</sup>

As misturas gasosas mais utilizadas consistem em um gás nobre, a que se acrescenta um gás molecular que tem o efeito de aumentar o número de elétrons produzidos nas avalanches e diminuir a probabilidade de descargas elétricas. Como o funcionamento destes detectores depende da interação da radiação incidente e dos elétrons criados por ela com as moléculas e átomos do gás, o comportamento do detector está intimamente ligado às condições do gás e, no caso de um detector utilizando a mistura gasosa em fluxo contínuo para a atmosfera, este comportamento estará, portanto, relacionado às condições meteorológicas locais.

Outro fator que caracteriza o comportamento do detector é o chamado *Ion Backflow* (IBF, refluxo de íons), que se caracteriza pela corrente de íons positivos, que também são criados durante ionização do gás, e que seguem o campo elétrico no sentido oposto dos elétrons, ou seja, rumo ao cátodo, podendo, assim, causar distorções nas linhas de campo elétrico.

Os trabalhos aqui descritos consistiram na construção de dois dispositivos baseados em microcontroladores operando na plataforma Arduino: um para a medida das condições atmosféricas no laboratório, e o outro para auxiliar a medida do IBF em detectores do tipo MPGD.

### Metodologia:

Neste trabalho, foi feito uso extensivo da plataforma de prototipagem eletrônica Arduino, constituída de uma placa que possui um microcontrolador ATmega328, pinos de entrada e saída, um conversor analógico digital (ADC), entre outros recursos.<sup>[2]</sup>

Iniciou-se o trabalho pela montagem do protótipo da estação meteorológica. Para isso, foi utilizado um Arduino Uno, ao qual foram acoplados um módulo sensor de temperatura e umidade (DHT 22) e um módulo sensor de pressão (BMP 085). Para o envio dos dados a um computador, foram testados, inicialmente, um módulo para cartão de memória e um módulo wifi mas, por fim, decidiu-se utilizar um módulo bluetooth (HC-05), que permite a leitura direta pela porta serial de um computador. Também foi necessário acoplar um módulo relógio (RTC 1307) para que se pudesse registrar a data e o horário de cada medida tomada. Junto com um display LCD (Nokia 5110) para leitura local, em tempo real, foi feita a montagem do protótipo.

A estação meteorológica foi separada em dois módulos conectados por um cabo ethernet: um com os sensores e outro com os outros componentes para o processamento e envio de dados. Com o software Fritzing, projetou-se as placas de circuito impresso (PCBs), sendo uma para cada módulo.

Para a confecção das placas de circuito impresso, o primeiro passo foi desenhar o projeto do PCB sobre a placa recoberta de cobre utilizando-se caneta de retroprojeto. Então realizou-se a corrosão do cobre utilizando-se uma solução de percloro de ferro. Por fim, obteve-se uma placa com as trilhas desejadas uma vez que o cobre fosse corroído nas regiões onde não havia tinta.

Quanto ao voltímetro proposto, este faz uso de um conversor analógico digital (ADC) para medir os valores de tensão fornecidos pelo femtoamperímetro, aparelho utilizado para medir a corrente nos eletrodos do detector e que fornece uma tensão proporcional a ela como resposta.

Foram realizados testes para verificar se seria possível diminuir a tensão de referência do ADC para algo próximo de 500 mV, que é o valor máximo de tensão fornecida pelo femtoamperímetro, sem comprometer a resposta do ADC do Arduino. Esse ADC tem 10 bits, fornecendo valores entre 0 e 1023. O Arduino Uno foi alimentado através de uma bateria e acoplado com um módulo bluetooth para envio dos dados. Uma fonte de tensão externa foi utilizada para se fornecer a nova tensão de referência para o ADC e, com outra fonte de tensão, algumas frações conhecidas da nova tensão de referência foram aplicadas, separadamente, a um pino analógico do Arduino. Para cada uma, foi feita a coleta e envio por bluetooth de  $50 \times 10^3$  valores obtidos com o ADC. O procedimento foi repetido para diferentes tensões de referência.

## Resultados e Discussão:

A estação meteorológica foi montada e colocada no laboratório nas proximidades do detector onde, atualmente, se encontra em funcionamento fazendo a leitura dos dados de temperatura, pressão e umidade a cada dois segundos e enviando-os por bluetooth.

Realizou-se um teste com a estação, registrando-se os dados obtidos por ela ao longo de uma tarde. Os gráficos da Figura 1 mostram estes dados comparados com os dados públicos emitidos pelas estações meteorológicas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (IAG) e do Centro de Gerenciamento de Emergências da prefeitura de São Paulo (CGE) no mesmo período.

As incertezas dos dados obtidos pela estação meteorológica que foi construída neste trabalho foram fornecidas pelos fabricantes dos respectivos sensores. Como os fatores meteorológicos são muito dependentes da localização, era de se esperar que os dados de cada estação apresentassem discrepâncias como as mostradas nos gráficos, já que elas ficam em locais diferentes. Mesmo assim, nota-se que os valores seguiram as mesmas tendências ao longo da tarde, o que indica que a estação meteorológica está fornecendo dados confiáveis.



Figura 1: Pressão (esquerda), umidade (centro) e temperatura (direita) registradas a cada horário pelas estações meteorológicas do IAG [3], do CGE [4] e pela estação meteorológica construída.

Os testes com o ADC do Arduino para construção do voltímetro foram realizados para seis tensões de referência diferentes. A resposta do ADC para várias leituras resulta numa distribuição gaussiana em torno de um valor médio, como pode ser visto pelos histogramas da Figura 2 à esquerda. A largura dessa gaussiana está relacionada com a resolução do sistema de medida junto com o ADC. Foi possível construir gráficos, mostrados na Figura 2 à direita, da resposta média do Arduino em função da tensão lida para as diferentes tensões de referência.

A Figura 2 à direita mostra as retas obtidas para cada tensão de referência plotando-se a média de cada histograma em função da tensão lida. As tensões foram normalizadas pela referência. A figura deixa claro que, para tensões de referência abaixo de 500 mV, as retas deixam de cruzar a origem. A Figura 3 à esquerda mostra o gráfico dos coeficientes lineares das retas obtidas para cada tensão de referência, confirmando a tendência do aumento deste parâmetro quando a tensão de referência é menor que os 500 mV.

A Figura 3 à direita mostra o parâmetro  $\sigma$  das gaussianas obtidas com as  $50 \times 10^3$  medidas de cada valor de tensão (este parâmetro da gaussiana relaciona-se a sua largura). Novamente, observa-se a tendência discutida acima: tensões de referência abaixo de 500 mV geram histogramas de resposta do ADC mais largos, indicando uma menor precisão na medida, o que mostra que é necessário um compromisso entre baixar a

tensão de referência e manter uma boa precisão nas medidas. Para 500 mV, o  $\sigma$  é de 2 canais. Estes dois canais correspondem a uma tensão de 0.976 mV (cerca de 0.2% da gama total do ADC).

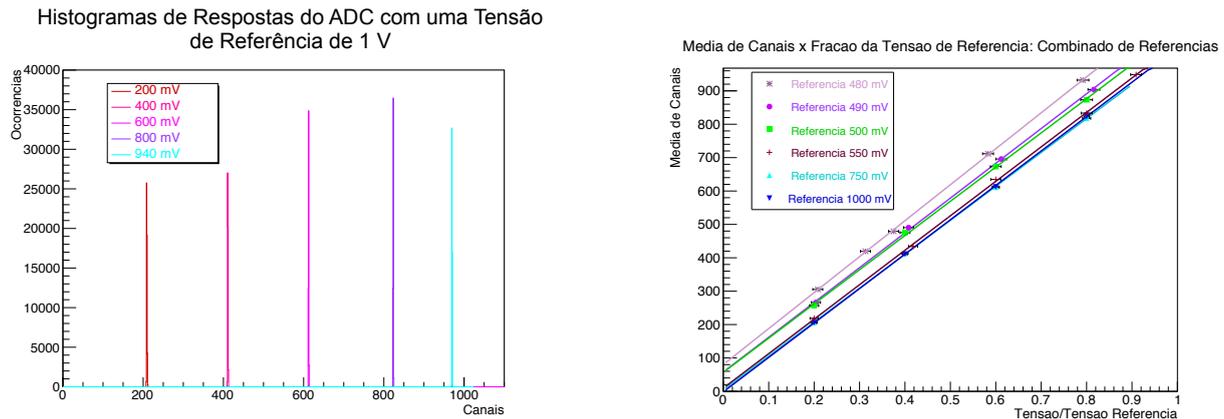


Figura 2: Esquerda: Respostas do ADC para diferentes tensões aplicadas utilizando-se um tensão de referência de 1V. Direita: Retas obtidas pela resposta do ADC em função da tensão lida normalizada pela tensão de referência.

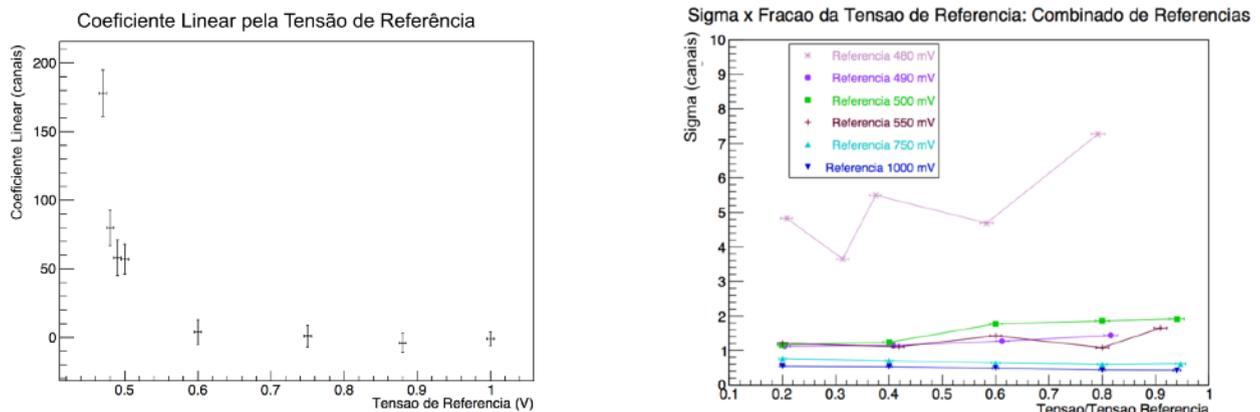


Figura 3: Esquerda: Coeficiente linear das retas da resposta do ADC em função da tensão de referência. Direita: Largura (sigma) dos histogramas de respostas do Arduino para diferentes tensões de referência.

Mesmo que os testes realizados tenham deixado claro que não é possível baixar a tensão de referência ilimitadamente para se obter resoluções cada vez melhores nas medidas, fica explícito que é possível abaixar a tensão de referência além do limite sugerido pelo fabricante (1.1 V) até uma tensão de 500 mV, que exigiria uma correção para o coeficiente linear mas ainda apresentaria boas resoluções.

Com o intuito de simplificar as medidas e melhorar ainda mais a resolução, foram repetidos os testes, desta vez utilizando-se um ADC externo de 16 bits. Este ADC faz uso de um Programmable Gain Amplifier (PGA) ajustável, que define também a tensão de referência. Utilizou-se um valor de 512 mV.

O gráfico da resposta média do ADC em função da tensão lida normalizada pelo PGA pode ser visto na Figura 4 à esquerda enquanto, à direita, estão mostradas os  $\sigma$  dos histogramas para cada medida de tensão novamente normalizada.

Neste caso, o ADC aceita valores positivos e negativos de tensão, utilizando 15 bits para o valor e 1 bit para o sinal. Sendo assim, o valor esperado para o coeficiente angular da reta da resposta do ADC em função da tensão lida seria de 32768 canais. Assim, como mostra a Figura 4 à esquerda, o valor obtido de  $(32.5 \pm 0.6) \times 10^3$  canais está muito próximo do esperado. Além disso, o coeficiente linear obtido foi de  $(1 \pm 4) \times 10^2$ , sendo muito baixo, como esperado para este parâmetro.

Do gráfico à direita na Figura 4, observa-se que o parâmetro  $\sigma$  de cada histograma ficou em torno de 8 canais. Como foi utilizada uma PGA de 512 mV, cada canal deste ADC representa uma faixa de tensão de 0.0156 mV, então, estes 8 canais correspondem a 0.125 mV (0.02% da gama do ADC). Este valor representa uma melhoria de cerca de uma ordem de grandeza na resolução em relação ao ADC interno do Arduino, mesmo não considerando-se que este ainda exigiria que fosse levada em conta uma correção para o coeficiente linear.

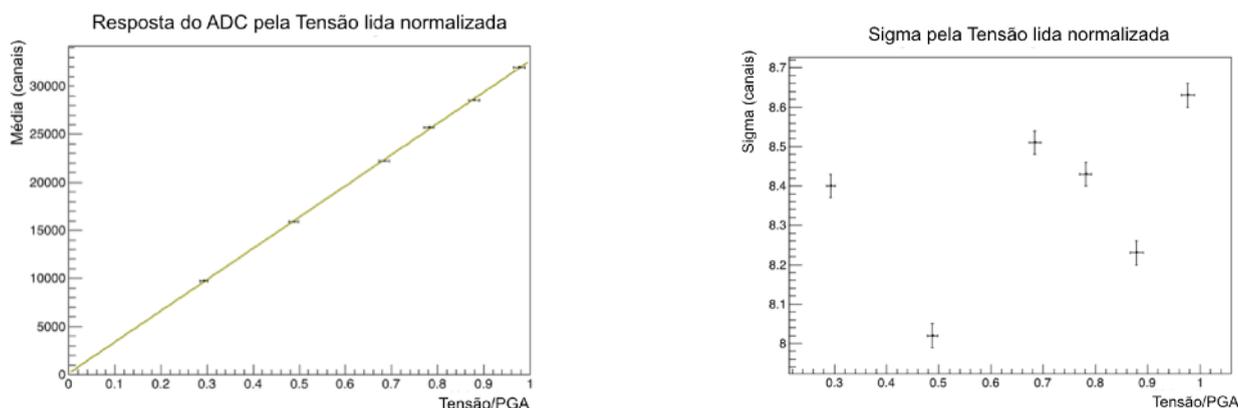


Figura 4: Esquerda: Resposta do ADC em função da tensão lida normalizada pela PGA. Direita: Largura (sigma) dos histogramas de respostas do ADC para cada tensão aplicada normalizada pela PGA.

### Conclusões:

Construiu-se uma estação meteorológica capaz de obter dados de temperatura, pressão e umidade do laboratório a cada dois segundos e de enviá-los a um computador via bluetooth para monitorar-se os efeitos dos fatores meteorológicos no comportamento dos detectores de radiação baseados nas estruturas do tipo GEM. A estação está em funcionamento, instalada junto com os vários protótipos de detectores montados no laboratório.

Os testes com o ADC do Arduino Uno mostraram que é possível melhorar a resolução das medidas do aparelho utilizando-se tensões de referência menores até do que o limite sugerido pelo fabricante, indicando, portanto, que é possível utilizar o aparelho como um voltímetro confiável. Este voltímetro é capaz de funcionar a um terra virtual da ordem de 3000 V e enviar via bluetooth os dados de tensão fornecidos pelo femtoamperímetro que mede as correntes nos eletrodos dos detectores. Um dispositivo assim é de grande utilidade para medir vários parâmetros físicos dos detectores MPGDs como, por exemplo, o *Ion Backflow*.

Testes posteriores com um ADC externo de 16 bits permitiram melhorar a resolução aproximadamente uma ordem de grandeza permitindo fazer medidas de alta precisão.

### Referências bibliográficas

- [1] OKUNO, E. Física das Radiações. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- [2] <https://www.arduino.cc> (09/11/2017)
- [3] <http://www.estacao.iag.usp.br/index.php> (30/08/2017)
- [4] <https://www.cgesp.org/v3/estacoes-meteorologicas.jsp> (30/08/2017)