

# DETECTOR-CONTADOR CINTILADOR COM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS.

Fábio Eduardo da Costa & Margarida Mizue Hamada  
[fecosta@baitaca.ipen.br](mailto:fecosta@baitaca.ipen.br)    [mmhamada@net.ipen.br](mailto:mmhamada@net.ipen.br)

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Travessa "R", nº 400, Cidade Universitária  
05508-900, São Paulo, Brasil

## RESUMO

Detectores utilizando fotodiodos de silício associados a cristais de CsI(Tl) são uma opção tecnicamente viável para sistemas portáteis de detecção de radiação ionizante. Os fotodiodos têm a vantagem de não serem susceptíveis a campos magnéticos, podem ser operados com baixas tensões de polarização e têm um espectro sensível que permite um bom acoplamento a cristais cintiladores de CsI(Tl). Com esta tecnologia foi desenvolvido um sistema detector de dois canais integralmente portátil que associado a computadores do tipo "Lap Top ou Note Book" constituem uma unidade autônoma para contagens de eventos radioativos em tempo real em dois pontos que podem estar distanciados na ordem de 60 metros um do outro.

## 1. INTRODUÇÃO

Métodos de monitoração e controle baseados no efeito e características de materiais radioativos são amplamente utilizados na avaliação de processos industriais. A instrumentação nuclear oferece basicamente a vantagem de que as investigações podem ser feitas sem contato físico e sem movimento mecânico de algumas partes. Estas condições permitem que as medidas sejam feitas através de paredes de tubulações, mesmo que estas sejam espessas. Paralelamente, como característica fundamental, a radiação emitida por um radioisótopo não muda de comportamento por temperatura, pressão, viscosidade ou qualquer outro agente que possa afetar o elemento ao qual o radioisótopo foi adicionado <sup>[1]</sup>. Assim, desde que as condições de mistura e homogeneização sejam satisfeitas <sup>[2]</sup>, acompanhar o comportamento deste traçador é o equivalente a acompanhar o elemento em estudo.

Uma aplicação desta técnica é a medida de vazão de líquidos ou gases em plantas de processos industriais, onde deve ser utilizada uma metodologia que possibilite a avaliação destes valores sem interferência no sistema, não necessitando interromper a produção ou introduzir derivações nos sistemas hidráulicos.

Um método muito utilizado para realização de medidas de vazão com traçadores radioativos consiste em instalar dois detectores, separados de uma distância adequada, externamente à tubulação que transporta o fluido, cuja vazão se quer determinar <sup>[3, 4]</sup>, e injeta-se um

traçador no fluxo, na forma de um pulso curto ou ainda de forma pontual como é chamada. O primeiro detector deve estar localizado a uma distância do ponto de injeção do traçador que assegure que o radioisótopo ao chegar a este primeiro detector esteja perfeitamente homogeneizado no meio. Nestas condições, com o traçador bem misturado ao fluido que percorre toda a seção da tubulação investigada, estará assegurando ao radioisótopo que sua velocidade será a mesma que a velocidade média do fluido em que foi adicionado <sup>[2]</sup>.

Seguindo o processo, o primeiro detector registrará a passagem do radioisótopo em um primeiro ponto da tubulação onde a homogeneização obtida já satisfaz as condições exigidas pela técnica utilizada e transcorrido o tempo de trânsito deste fluido na tubulação, o segundo detector registrará a passagem deste radioisótopo em um segundo ponto. Conhecendo-se o intervalo de tempo da passagem do traçador entre o primeiro e o segundo detector e as características da tubulação obtêm-se a vazão. Esta técnica é esquematizada na Figura 1.1.

As principais vantagens do método de medição de tempo de trânsito com traçadores radioativos são <sup>[5]</sup>:

a) sistema de injeção relativamente simples, onde não é necessário conhecer com precisão a atividade injetada; b) resultado imediato; c) não requer manipulação do traçador depois da injeção; d) os ensaios podem ser repetitivos, dando origem a uma boa estatística de medição; e) é necessário somente um ponto de acesso ao sistema; f) pode-se utilizar traçadores de vida curta; g) não é necessário manipular líquidos tóxicos ou perigosos.

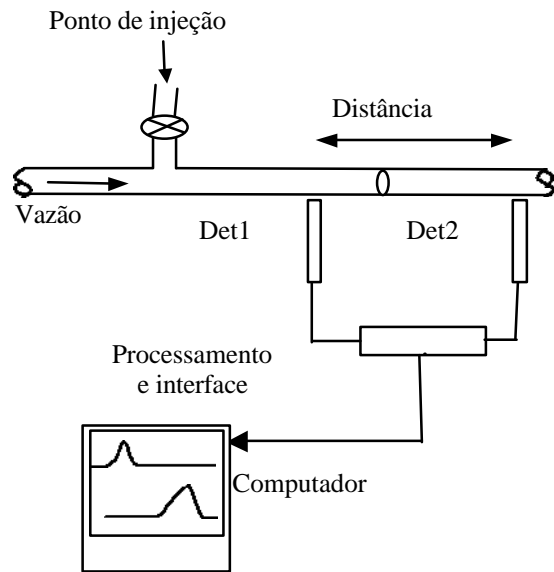


Figura 1.1 – Modelo esquemático da técnica de medida de vazão por tempo de trânsito com traçadores radioativos.

Neste trabalho foi desenvolvido um contador com sistema de aquisição de dados, para medidas de vazão em plantas industriais, constituído de: a) dois detectores de estado sólido compostos de cristais de CsI(Tl) associados a fotodiodos de silício tipo PIN; b) unidades de amplificação; c) interface análogo-digital que processa e amostra em tempo real as contagens dos detectores separadamente, mas em um mesmo eixo temporal por meio da tela do computador e d) cabo coaxial de 30 metros para transmissão de sinais de cada detector à unidade de processamento. Os dados são salvos em arquivos tipo “.dat”, podendo ser melhor interpretados com softwares tipo Excel ou Origin.

## 2. METODOLOGIA

O contador foi construído conforme esquema mostrado na figura 2.1.

Os detectores utilizados neste trabalho foram construídos com a tecnologia da combinação do cristal de CsI(Tl) acoplado ao fotodiodo tipo PIN. Os cristais de CsI(Tl) foram produzidos no IPEN/CNEN-SP<sup>[7]</sup> e o fotodiodo tipo PIN adquirido da Hamamatsu modelo S3590. Obteve-se como vantagens um sistema extremamente compacto, robusto, operado a baixas tensões de polarização reversa, praticamente insensível a campos magnéticos e de baixo custo.

Nas unidades de pré-amplificação, o objetivo foi utilizar fotodiodos de baixa capacidade residual. Foram observadas discrepâncias nestes valores dentro de um mesmo lote. Para controlar essa não homogeneidade nas características dos fotodiodos comerciais foram utilizadas

duas versões de pré-amplificadores. Os valores efetivos das capacidades foram medidos de forma indireta, com auxílio de um circuito oscilador em 3.5MHz, frequencímetro, e polarização reversa ajustável sobre os fotodiodos simulando as mesmas condições utilizadas com o pré-amplificador. Basicamente os valores de capacidade encontrados dividiram os fotodiodos em dois grupos, figura 2.2.

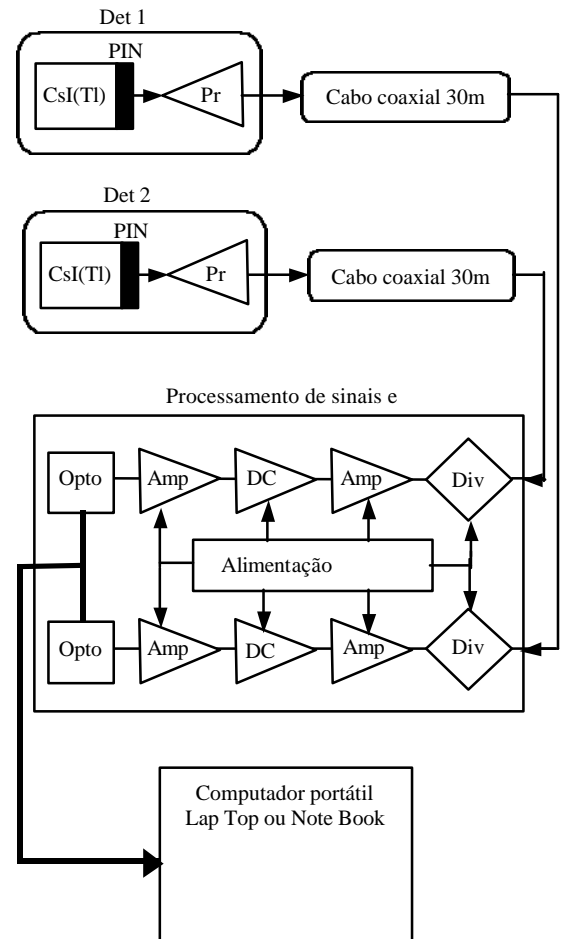


Figura 2.1 – Diagrama de blocos do detector de vazão.

Os fotodiodos que submetidos à polarização reversa disponível no circuito baixaram suas capacidades a valores aceitáveis foram acoplados capacitivamente ao pré-amplificador. Por sua vez, os fotodiodos que mesmo polarizados reversamente, não atingiram baixos valores de capacidade foram acoplados diretamente ao pré-amplificador, sem polarização reversa. Esta situação propiciou uma redução do ruído gerado pela não existência dos componentes de acoplamento e polarização fazendo com que o ruído total, mesmo com a capacidade elevada do fotodiodo, ficasse em níveis razoáveis. O quadro comparativo, a nível de ruído, dos detectores associados aos pré-amplificadores é apresentado na tabela 1.

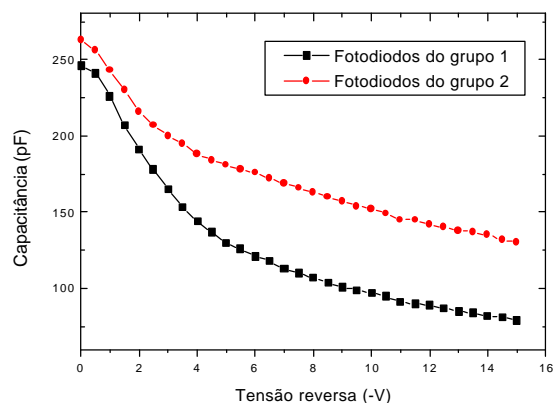


Figura 2.2 – Comportamento capacitivo dos fotodiodos encontrados em um mesmo lote em função da tensão reversa.

A necessidade de levar polarização ao pré-amplificador e trazer o sinal detectado de forma conveniente por grandes distâncias do cabo, implicou em utilizar cabos coaxiais convencionais para reduzir custo e elaborar uma eletrônica de separação de sinal e alimentação no mesmo cabo. Apesar de um aumento no nível de ruído, degradando a resolução, o comprometimento foi absolutamente tolerável para a aplicação. O conjunto eletrônico devido as características de baixa impedância de acoplamento permite cabos coaxiais da ordem de 30 metros em cada detector, obtendo-se desta forma grandes distâncias entre detectores o que melhora a capacidade de discriminação de fluxos com reduzidos tempos de trânsito. A tabela 2 mostra os resultados comparativos da resolução obtida em cada situação de cabeamento.

Apesar da resolução não ser um objetivo direto deste trabalho, a melhora no seu valor, permite discriminar melhor o sinal detectado, e como consequência necessita injetar menores atividades de radiotraçadores. Como é de interesse obter a contagem total das interações, pode-se deslocar os ajustes de limiar, existente para os dois canais, para valores de menor energia dos pulsos detectados, permitindo maior eficiência de contagem, devido a contagem de pulsos oriundos da interação por efeito Compton e menor contagem dos pulsos provenientes do ruído.

Na unidade de interfaceamento, os sinais são amplificados, passam por um controle de limiar de altura, amplificados novamente e transformados em pulsos digitais opticamente acoplados ao computador. O acoplamento óptico é conveniente a fim de assegurar a integridade do computador em função de possíveis diferenças de potencial que possam aparecer nos detectores ao serem fixados em uma instalação industrial.

Como pode ser observado na figura 2.1, não existe necessariamente uma unidade de contagem. Esta foi simplificada utilizando os recursos do computador associado. Desta maneira, a contagem dos pulsos é feita por software e como interface com o computador utilizou-

se a porta de comunicação de dados com a impressora. As vantagens de se utilizar esta configuração foram: a) não existem componentes de conversão de sinal de paralelo para serial; b) não é necessário uma placa de interface interna ao computador, condição primordial para utilizar um computador portátil; c) na condição de operação em campo normalmente não se usa impressora, portanto o uso desta porta de comunicação não compromete o sistema; d) como a amostragem é paralela os pulsos são contados simultaneamente; e) software simples e de configuração aberta (qualquer linguagem Basic, Pascal, etc).

Tabela 1 – Quadro comparativo do ruído associado aos circuitos utilizados.

Elemento já inserido no circuito	Ruído (keV)
Pré-amplificador	30
Pré-amplificador, circuito de polarização reversa e capacitor de acoplamento	60
Pré-amplificador, circuito de polarização reversa, capacitor de acoplamento e fotodiodo do grupo 1	110
Pré-amplificador, circuito de polarização reversa, capacitor de acoplamento e fotodiodo do grupo 2	200
Pré-amplificador e fotodiodo do grupo 2 com acoplamento direto sem polarização	150

A amostragem temporal pode ser escolhida de intervalos de 0.15s até qualquer valor desejado, objetivando a detecção de eventos rápidos ou eventos de longa duração onde a dispersão do radioisótopo é grande e contagens sobre longos períodos de tempo são necessárias para uma boa conformação da curva.

Para utilizar esta configuração de contador foi necessário escolher a melhor largura de pulso de forma a obter boa estabilidade de contagem. A conformação dos pulsos por meio de integração e diferenciação foram produzidas no primeiro estágio de amplificação de cada canal e os resultados desta variação temporal são observados na figura 2.3.

Como pode ser observado nesta figura, existe um patamar a partir de 15 $\mu$ s, onde a contagem é praticamente estável a possíveis diferenças temporais dos pulsos nesta região; com este resultado, otimizou-se as características temporais dos pulsos em 20 $\mu$ s. Na mesma figura é observado que o sistema de contagens para 2kHz de taxa de repetição real atinge apenas algo em torno de 350 a 400Hz. Esta situação não constituiu um problema, à medida em que a redução no número de contagens recai apenas em uma eficiência menor.

Tabela 2 – Quadro comparativo da configuração de cabeamento utilizada entre detectores e unidade de interfaceamento e resoluções obtidas.

Fotodiodo	Resolução em 661keV	Resolução em 835keV
Grupo 1, alimentação isolada do sinal	13,5%	12%
Grupo 2, alimentação isolada do sinal	24%	20%
Grupo 1, alimentação junto com o sinal	25%	18%
Grupo 2, alimentação junto com o sinal	27%	21%

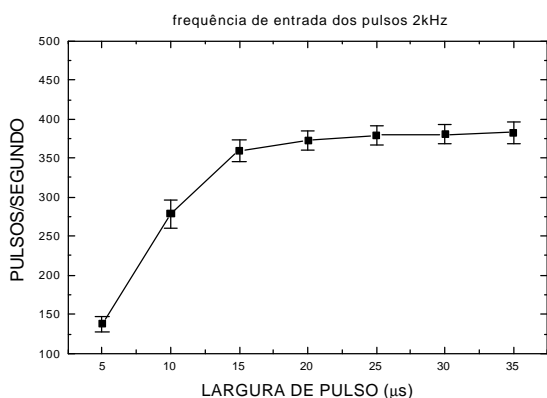


Figura 2.3 – Dependência do número de contagens em função da largura do pulso.

A figura 2.4 mostra a linearidade de contagem em razão da taxa de pulsos detectados para a condição de largura de pulso otimizada. Como pode ser observado nesta figura, a linearidade do sistema é admissível, diante da simplicidade do sistema eletrônico e de software não implicando em necessidade de correções pelo software.

O equipamento foi testado em uma situação real, em uma planta industrial. A figura 2.5 mostra os espectros obtidos das medidas de tempo de trânsito de um rejeito químico. Os ensaios foram feitos em uma tubulação com 30cm de diâmetro e os detectores distânciados em 25 metros. Como pode ser observado na figura 2.5 os picos que representam os centróides temporais do tempo de trânsito foram perfeitamente identificados. O número de eventos registrados foi inclusive suficiente para registrar o efeito de dispersão do radioisótopo no fluido como pode ser visto na forma temporal do detector 2 em relação ao detector 1.

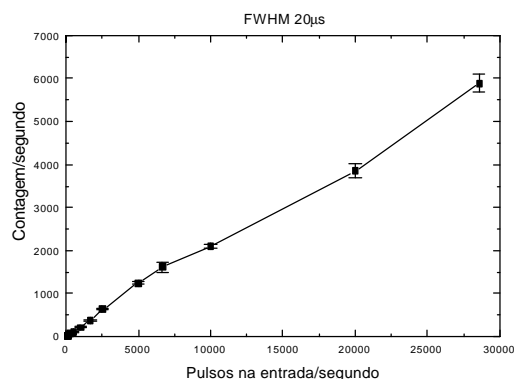


Figura 2.4 – Resposta do sistema de contagem em função da taxa de pulsos na entrada.

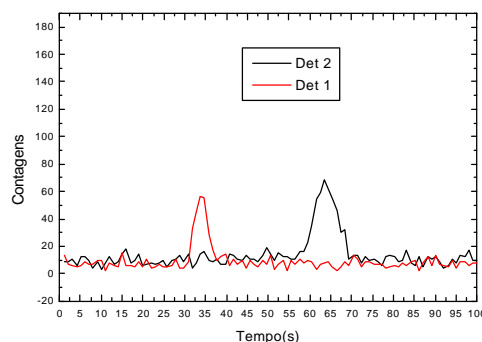


Figura 2.5 – Taxas de contagem adquiridas em tempo real processadas no software Origin.

### 3. CONCLUSÕES

O equipamento desenvolvido mostrou ser versátil para o uso, tanto no laboratório quanto em campo, por ser compacto, robusto e de fácil operação. Preencheu a limitação existente, principalmente em eventos de curta duração em processos de alta velocidade de fluxo. Os comprimentos dos cabos da ordem de 30 metros cada apresentam duas vantagens: a) permitem que os detectores possam estar afastados entre si em até 60 metros, assegurando a não sobreposição de pulsos em eventos com tempos de trânsito muito curtos b) possibilitam contornar problemas de disposição física da tubulação, que pode estar entre salas ou pisos diferentes, onde os detectores devem ser posicionados.

A taxa máxima de contagem é limitada pela largura temporal dos pulsos, mas em situações reais de campo, esta taxa é mais que suficiente devido à necessidade de se utilizar a mínima atividade possível, portanto baixo número de contagens. Como os dados das contagens são simultaneamente gravados no computador, imediatamente após as medições, os resultados das diferenças temporais dadas pelos picos das formas de contagens observadas, obtidas por softwares convencionais,

permitem que alterações no processo sejam imediatamente feitas.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

- [1] PETEU, G.; IVAN, C. LI. NUCLEAR TECHNIQUES IN THE ROMANIAN INDUSTRY. *National Physics Conference*. BAIÁ MARE (ROMANIA). 30 NOV - 2 DEC 1995. P. 52. 1995. 151 P
- [2] EVANS, G.V.; SPACKMAN, R.; ASTON, M.A.J.; CLAYTON, C.G. Measurement of gas flow by radiotracer methods. In: PETER PEREGRINUS: *Modern Developments in Flow Measurement: Proceedings of a international conference on... held in Harwell*, 1972. London, 1972, p. 242
- [3] TAYLOR, G. I. *Proc.Roy.Soc.London, Ser. A*, 223: 446, 1954 apud GARDNER, R.P. & ELY, R. L. *Radioisotope measurement applications in engineering*. New York, N.Y., Reinhold, 1967.
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Guidebook on Radioisotope Tracers in Industry. Vienna 1990. In: Technical Reports Series No. 316
- [5] ROCCA, H.C.C. *Determinação de vazamentos em placas de refrigeração de altos fornos*. São Paulo, 1994. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.
- [6] Silicon Photodiodes and Charge Sensitive Amplifiers for Scintillation Counting and High Energy Physics, *Hamamatsu Manual*, 1993.
- [7] PEREIRA, M. da C. C. *Desenvolvimento e Caracterização do Cristal Cintilador de CsI(Tl) Utilizado como Detector de Radiação*. São Paulo: 1997. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.

#### ABSTRACT

Detectors using silicon photodiodes coupled to CsI(Tl) crystals are a technically feasible option for portable detection systems for ionizing radiation. The photodiodes are advantageous because they are not sensitive to magnetic fields, may be operated by low bias and their efficiency spectrum has a good match with the CsI(Tl) crystals spectrum. With this technology, a two-channel detection system was developed, associated to a "Lap Top or Note Book" computer. This system constitutes an autonomous unit to count radioactive, in real time, at two sites, which may be up to 60 meters far from each other.