

SISTEMA DE MEDIDAS E CONTROLE USANDO RADIAÇÃO NUCLEAR

José Altino Tupinambá Melo^a, Tufic Madi Filho^{ab}

^aInstituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - SP - Brasil

^bUniversidade Cruzeiro do Sul - UNICSUL
Av. Dr. Ussiel Cirilo, 225 - São Paulo - SP - Brasil
altino@estadao.com.br^a, tmfilho@ipen.br^b

RESUMO

Os Ensaios Não Destrutivos (END) são aplicados em testes de qualidade de componentes e de máquinas. Estes elementos não teriam um bom desempenho se fossem concebidos alheios à qualidade do projeto, aos materiais envolvidos, aos processos de fabricação e à metodologia de inspeção e manutenção. Um alto nível de tecnologia é aplicado com um objetivo específico, ou seja, à garantia da qualidade dos componentes e do bom funcionamento dessas máquinas, sejam elas nas indústrias, geração e conversão de energia, inclusive nuclear. A globalização nos diversos ramos da indústria leva a um aumento na quantidade de projetos e produtos contextualmente multinacionais. Surgem, as seguintes questões: como assegurar que os componentes e os processos utilizados disponham de alto índice de qualidade? Como otimizar os métodos e os processos de teste de materiais para assegurar a isenção de defeitos que possam afetar o desempenho dos componentes? As respostas para as questões se encontram notadamente na aplicação dos END. A análise de materiais complexos (não homogêneos) por meio de END requer um estudo detalhado dos sinais de resposta dos sensores. Um sistema de medidas e controle de processos não destrutivos usando radiação gama ou beta, em função do material a ser analisado foi desenvolvido. Esse sistema envolve: (a) Interface de entrada/saída (Hardware) e (b) Interface gráfica (Software). Na análise não destrutiva faz-se a comparação do sinal proveniente do sensor com um sinal preestabelecido (Set Point) ou sinal de referência, o qual é ajustado na Interface de entrada/saída. Após o processamento geral, o sistema tomará a decisão de rejeitar ou não o material analisado.

A Interface de entrada/saída é implementada por um equipamento eletrônico constituído pelo MCS51. A finalidade desta interface é a de fornecer um meio físico para troca de informações, via comunicação serial RS232, entre o sensor, o microcomputador. A Interface gráfica (programa computacional) foi escrita em linguagem C++ visual. **Palavras chaves:** Ensaios Não Destrutivos, radiação gama, Interface de entrada/saída (I/O), Linguagem C++.

ABSTRACT

Non-destructive Assay (NDA) is applied to machines and components quality tests. These elements would not have a good performance if they were conceived without concern about the mechanical project quality, used materials, manufacture processes and inspection and maintenance methodology. In this work, a measure and control system of non destructive processes was developed, using a radioactive source with a defined energy in function of the material to be analyzed. This system involves: (a) Interface of input/output (I/O) (the Hardware) and (b) graphical Interface (Software). In the non destructive analysis, it is made the comparison of the signal proceeding from the sensor with a signal preset (Set Point) or analogical signal of reference (Base Line), which is adjusted in the I/O Interface. Analyzed the signal, the system will make the decision: (a) to reject or (b) to accept the analyzed material.

The I/O Interface is implemented by electronic equipment with a MCS51. The purpose of this interface is to supply conditions to exchange information, using serial RS232, between the sensor and the microcomputer. The graphical Interface (software) is written in visual C++ language.

Key words: Non-destructive Assay, C++

INTRODUÇÃO

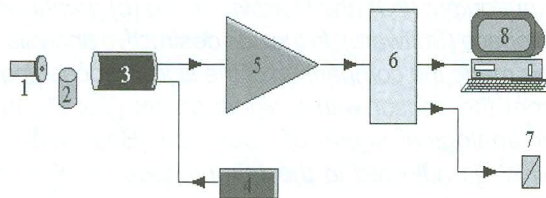
O trabalho dedicado a área de Ensaio Não Destrutivos (END) é de grande relevância. O END investiga a integridade dos elementos sem destruírem ou alterarem as suas características físicas e químicas. Muitas indústrias em diversas áreas e com base em diversas tecnologias [1, 2] aplicam END usando radiação nuclear na inspeção de qualidade de máquinas, de componentes e materiais diversos. O END é aplicado em indústrias petroquímicas na verificação de obstrução em tubulações, indústrias de papel na inspeção de espessura, indústrias siderúrgicas na verificação da composição de ligas metálicas [3] e em armazenamento de líquidos e sólidos fragmentados na medida de volume ou nível.

OBJETIVO

O objetivo específico deste trabalho foi desenvolver um sistema de medidas e controle de processos não destrutivos usando radiação nuclear que recebe a denominação de sistema ENDRAD, Ensaio Não Destrutivo usando Radiação.

O trabalho é composto por: (6) Módulo Eletrônico ENDRAD ou Interface Física (Hardware) e (8) Programa Computacional ENDRAD ou Interface Gráfica (Software), Figura 1.

Figura 1. Diagrama de blocos do equipamento.



(1) Fonte radioativa ^{241}Am , (2) Recipiente metálico contendo água, (3) Detector Cristal Cintilador NaI(Tl) e Fotomultiplicadora, (4) Fonte de Alta tensão, (5) Eletrônica associada ao detector, (6) Módulo Eletrônico ENDRAD, (7) Válvula Solenóide. Termo genérico referente a uma saída atuante em um sistema eletromecânico ou eletropneumático para seleção de recipientes; (8) Microcomputador e Programa Computacional ENDRAD.

MÉTODO

As fontes radioativas emitem radiação por meio de desintegrações nucleares. A radiação é emitida em 4π , e por meio de um colimador obtém-se um feixe estreito e bem dirigido na direção do detector.

A intensidade (I) da radiação incidente no detector é inversamente proporcional à densidade e à espessura do material colocado entre a fonte radioativa e o detector [4, 5], e, portanto, pode variar em função do valor da altura do nível do material contido em um recipiente. A radiação incidente no detector é convertida em um sinal elétrico [4] e este último é então convertido em taxa de contagem.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

onde:

μ = coeficiente de absorção ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) e

x = espessura (cm)

Na saída do sistema de medição, as taxas de contagem oscilam de um valor mínimo a um valor máximo em função a quantidade de radiação incidente no detector.

Se a altura do nível encontra-se em um valor adequado, ou seja, se está acima do valor mínimo, tem-se a máxima redução na intensidade da radiação e consequentemente obtém-se taxas de contagem reduzidas (Valor mínimo).

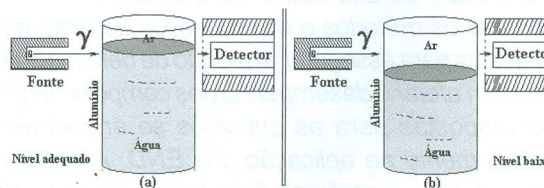


Figura 2. Esboço para o processo de medida de nível.

Mas, se a altura do nível encontra-se em um valor inadequado, ou seja, está abaixo do valor mínimo, tem-se pouca redução na intensidade da radiação e, portanto são obtidas elevadas taxas de contagem (Valor de rejeição).

Os valores mínimos de contagem são obtidos quando o recipiente cilíndrico, em movimento, alcança o centro da posição de medição, pois nesta posição ocorre a máxima atenuação na intensidade do feixe.

Na Figura 3, a posição X_0 é onde tem-se a máxima espessura de material e cujo valor equivale ao diâmetro D do recipiente.

De X_{-1} até X_0 corresponde à entrada do recipiente na posição de medição.

De X_0 até X_1 corresponde à saída do recipiente da posição de medição.

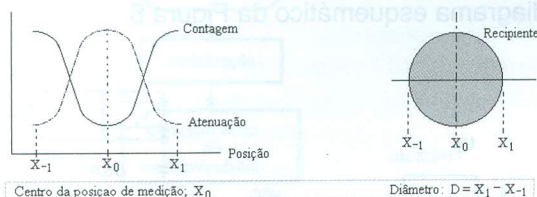


Figura 3. Atenuação, contagem e posição do recipiente sob ensaio.

A Figura 3 mostra o comportamento inverso da contagem em relação à atenuação durante o deslocamento do recipiente sobre a posição de medição foi observado.

O algoritmo [6] para o sistema de medida discrimina os valores alto e baixo relativos às medidas do nível e, vazio relativo à posição de medição vazia, efetuando continuamente medições e comparando entre si os dois últimos valores recentemente obtidos C_n e C_{n-1} respectivamente: contagem atual e contagem anterior. O algoritmo detecta valores de taxas de contagens mínimos e máximos por meio das transições ilustradas nos gráficos presentes nas Figura 4 e 5.

A detecção do valor mínimo ocorre quando C_n torna-se maior que C_{n-1} . Matematicamente, a detecção do valor mínimo corresponde à vizinhança superior ao mínimo da função $c = f(t)$, ou seja, o ponto na função onde a sua derivada torna-se positiva [7, 8].

$$\text{Isto é, } f(t_{n-1} + \Delta t) > f(t_{n-1}),$$

$$\text{onde } \Delta t = t_n - t_{n-1} \text{ e } \Delta t \rightarrow 0$$

Mecanicamente, o valor mínimo ocorre quando o recipiente ocupa o centro da posição de medida, em que a espessura é máxima e corresponde ao valor do diâmetro do recipiente. Este valor é comparado com o valor de referência indicado no botão *Val_Ref* da janela do programa ENDRAD, Figura 9.

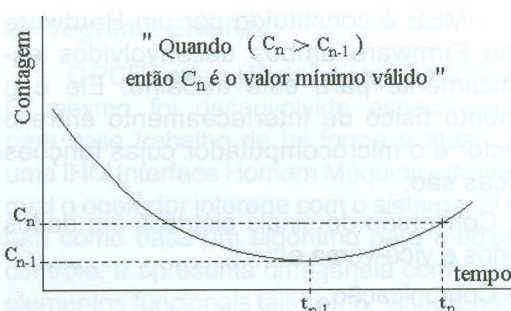


Figura 4. Mínimo da função

A detecção do valor máximo ocorre quando C_n torna-se menor ou igual à C_{n-1} . Matematicamente, a detecção do valor máximo corresponde à vizinhança superior ao máximo da função $c = f(t)$, ou seja, o ponto na função em que a sua derivada torna-se negativa.

$$\text{Isto é, } f(t_{n-1} + \Delta t) < f(t_{n-1}),$$

$$\text{onde } \Delta t = t_n - t_{n-1} \text{ e } \Delta t \rightarrow 0$$

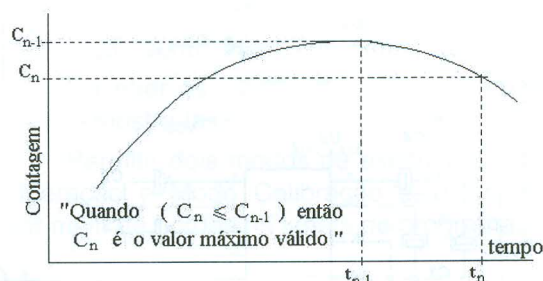


Figura 5. Máximo da função

Mecanicamente, o valor máximo ocorre quando o recipiente abandona completamente a posição de medida, dando lugar ao espaço vazio compreendido entre dois recipientes. Este valor máximo é comparado com o valor de referência indicado numericamente pelo botão *Val_Vazio* da janela do ENDRAD.

A mínima atividade detectável (*mad*) para o sistema de medição utilizado foi obtida usando a relação [9, 10]:

$$mad = \text{ruído de fundo} + 3 \times \sqrt{\text{ruído de fundo}} \quad (2)$$

RESULTADOS

Os elementos que foram desenvolvidos para o trabalho são o Módulo Eletrônico ENDRAD (MEE) e o Programa Computacional ENDRAD (PCE).

O MEE é constituído por um Hardware e seu Firmware ambos desenvolvidos especificamente para este trabalho. Ele é o elemento físico de interfaceamento entre o detector e o microcomputador cujas funções básicas são:

Conversão de sinais elétricos em dados binários e vice-versa e

Comunicação.

Trata-se de um circuito eletrônico que contém: Contador binário, Portas lógicas, Microcontrolador MCS51 e Comunicador serial padrão RS232. Na memória Flash do microcontrolador está gravado seu respectivo Firmware o qual teve seu código fonte escrito em linguagem Assembler MCS51.

O projeto elétrico do MME resultou no diagrama esquemático da Figura 6.

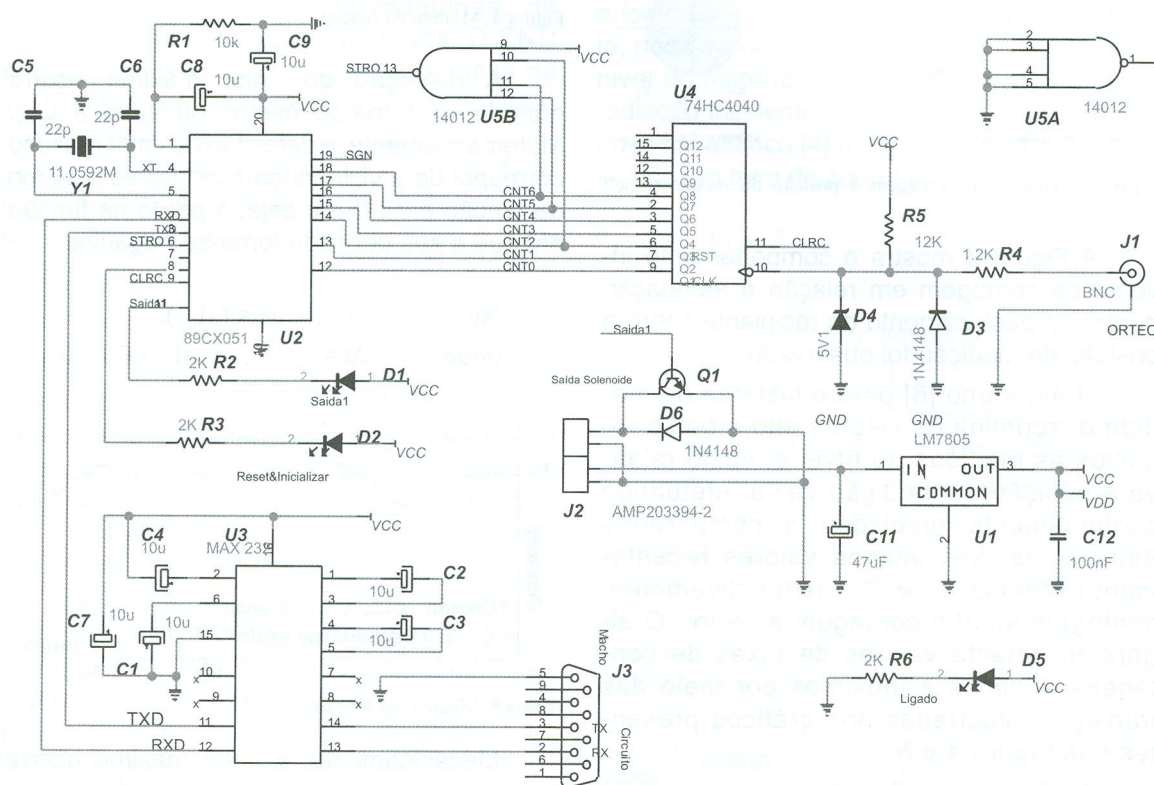


Figura 6. Diagrama esquemático do MEE

O módulo recebe uma tensão de 12V do através do conector J2 Rack-Bin. O circuito integrado U1 fornece a tensão estabilizada VCC ou VDD de valor +5V que alimenta todo o circuito do módulo.

Os pulsos vindos de um Analizador Mono Canal SCA chegam ao conector J1, passam através de um circuito limitador de tensão e chegam ao terminal de entrada Clock do contador de 7 Bits circuito integrado U4, suas saídas chegam ao microcontrolador que as recebe em forma de número binário.

Ao término de cada período da base de tempo o microcontrolador emite um sinal de

Clear ao U4, zerando-o e inicializando-o para uma nova contagem. Se no U4 ocorrer uma sobrecontagem, isto é, uma contagem superior a 99, o circuito integrado detector U5 envia o sinal STRO ao microcontrolador para que este diminua o valor da base de tempo.

O MEE calcula o valor da taxa de contagem baseando-se no número n de pulsos contado por U4 e o no período da base de tempo. Os períodos de tempo são: 1ms, 10ms, 100ms e 1s. Esses períodos são selecionados automaticamente pelo próprio Firmware com base no sinal STRO e o valor n fornecido pelo contador U4.

A comunicação serial se realiza através de duas linhas de sinal por meio do circuito integrado U3.

O Firmware para o MEE foi desenvolvido com base no fluxograma apresentado na Figura 7.

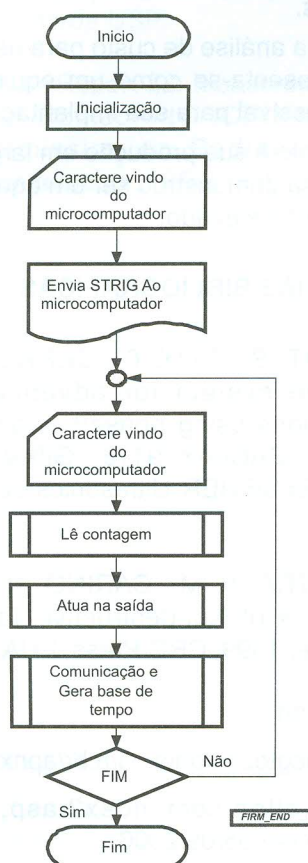


Figura 7. Fluxograma do Firmware

O Firmware fará com que o microcontrolador MCS51 execute e controle as seguintes funções:

Gerar uma base de tempo com seleção automática de faixa;

Calcular a taxa de contagem a partir da quantidade de pulsos contados pelo contador binário sob a base tempo;

Comunicar serialmente com o microcomputador de tal forma a transmitir os valores das taxas de contagens e receber comandos do programa ENDRAD e

Energizar a saída Válvula Solenóide do tipo ON/OFF que acionará o sistema eletromecânico e/ou eletropneumático de seleção.

O Programa ENDRAD

OPCE é executável no sistema Windows®. O mesmo foi desenvolvido especificamente para esse trabalho de tal forma a atuar como uma IHM Interface Homem Máquina, através da qual o operador interage com o sistema. O PCE tem como base um algoritmo para medição e controle, e apresenta uma janela com diversos elementos funcionais tais como: Visualizador da variável sob medida, Mostradores numéricos e Botões de funções mostrados na Figura 9.

Na sua concepção o PCE foi escrito em linguagem C++ devido sua alta eficiência ao aceder o Hardware, isto é, as funções do código fonte para interagir com Hardware são eficientes fazendo com que o código objeto seja de tamanho reduzido. Essa eficiência confere ao programa executável um menor tamanho e maior velocidade de processamento.

O algoritmo geral do PCE que pode ser visto na Figura 8 foi desenvolvido para executar as seguintes tarefas:

Detectar automaticamente a porta de comunicação serial disponível, Com1 ou Com2;

Receber os valores das taxas de contagens e mostra-las.

Permitir dois modos de execução: Modo Operação e Modo Calibração selecionáveis por meio de botões na janela do programa.

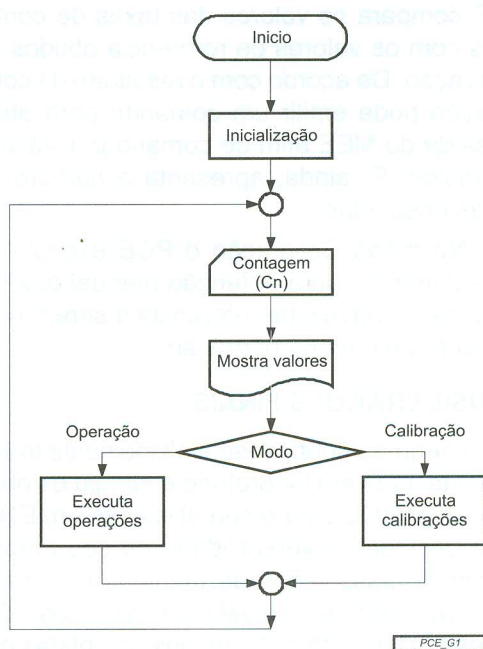


Figura 8. Fluxograma geral do PCE

Os elementos do PCE são:

FORM1, para conter as objetos do programa;

THREAD 1, para a abertura de porta de comunicação e

THREAD 2, para leitura de taxas de contagens.

O padrão de comunicação utilizado é o Serial RS 232

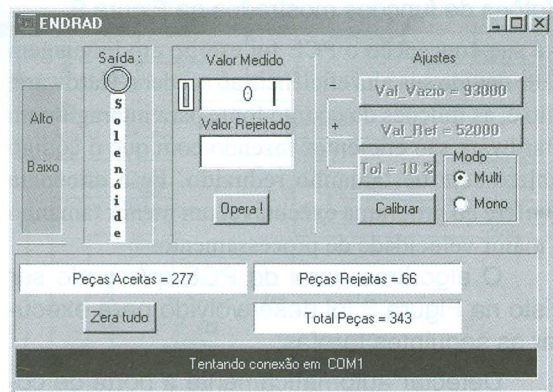


Figura 9. Janela do PCE

No modo Operação o PCE executa os procedimentos aritméticos para os cálculos relativos ao processo de identificação dos valores mínimo e máximo da taxa de contagem e procedimentos lógicos para comparação. O PCE compara os valores das taxas de contagens com os valores de referência obtidos na calibração. De acordo com o resultado da comparação pode emitir um comando para atuar na saída do MEE afim de comandar a Válvula Solenóide. E, ainda, apresenta o número de peças ensaiadas.

No modo Calibração o PCE executa os procedimentos para obtenção manual dos valores das variáveis de referência a serem usados durante o modo operação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O equipamento desenvolvido neste trabalho foi testado em laboratório e atingiu os objetivos propostos para a sua utilização em END. Com destaque a versatilidade de seu emprego em diversas áreas de medidas e controle além de medidas de nível como foi o caso dos testes em laboratório. As respostas obtidas nos testes do equipamento foram satisfatórias, du-

rante todas as etapas dos experimentos, com reservatórios parados e em movimento.

O equipamento pode ser muito bem adaptado às condições de ambientes industriais.

O Software e o Firmware admitem atualizações e sua manutenção não apresenta custos elevados.

Em uma análise de custo para uso industrial ele apresenta-se como um equipamento de valor acessível para sua implantação.

E, quanto à sua produção em larga escala, a pesquisa demonstrou ser um equipamento de custo não elevado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MAHAUT, S.; ROY, O.; SERRE, M. An adaptive system for advanced NDT applications using phased arrays. CEA/CEREM, SACLAY. 91191 Gifkw- Yvette. Fruncc ELSEVIER Ultrasonics 36 (1998) 127-131.
- [2] MALHOTRA, V. M.; CARINO, N. J. CRC. Handbook of Nondestructive Testing of Concrete, 1999, CRC Press, EUA.
- [3] HCG; Niton
<http://www.hcgtecnologia.com.br/apnxf.htm>
<http://www.niton.com/index2.asp>, Última consulta em 05/09/2006.
- [4] KNOLL, G. F. Radiation Detection and Measurement, 2nd Edition, Editora J. Wiley, 1998.
- [5] Kieran P. Maher, DEXA: Radiation Safety, Dept. of Medical Radiations Science, RMIT, PO Box 71, Bundoora 3083, Australia, http://homepage.mac.com/kieranmaher/digrad/DRPapers/DEXA_Attenuation.html#Introduction, Última consulta 10/09/2006.
- [6] PAMBOUKIAN, S. V.; ZAMBONI, L. C.; RAMOS, E. A. R., C++ Builder, Editora Páginas & Letras, 1a Edição, 2002.
- [7] QUINTELA, A.; Matemática, Companhia Editora Nacional, 19a Edição, 1970, p 116.

- [8] PISKUNOV, N. *Differential and Integral Calculus*, Mir Publisher Moscow, 1969.
- [9] KEIFFER, J. *Descrição, características e desempenho de um protótipo contador de corpo inteiro para uso clínico*. São Paulo: 1970. Tese (Doutoramento) – Faculdade de Medicina da USP.
- [10] ICRU - Report 22. *Measurements of Low Level Radioactivity*. ICRU International Commission on Radiation Unit and Measurements, 1972.