

## IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DA QUALIDADE NO LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DO IPEN/SP

*Maria P. A. Potiens, Vitor Vivolo, Laura N. Rodrigues, Linda V. E. Caldas*

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Comissão Nacional de Energia Nuclear  
São Paulo, Brasil

**Resumo:** O Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN, LCI, iniciou suas atividades em 1980, calibrando instrumentos medidores de radiação tanto de Radioproteção como de Radioterapia pertencentes a hospitais, indústrias, clínicas e outros usuários localizados em São Paulo e no sul do Brasil. Atualmente, o LCI integra a Divisão de Calibração e Dosimetria do Centro de Metrologia das Radiações e atua nas áreas de Radioproteção, Radioterapia e Radiodiagnóstico, utilizando arranjos especiais compostos por fontes do tipo padrão de radiação gama e beta, fontes planas de área extensa de radiação alfa e beta, e radiação X de energias baixas e intermediárias. O objetivo deste trabalho é demonstrar o processo de implantação do sistema da qualidade do LCI seguindo as diretrizes básicas da norma NBR IEC/ISO 17025, descrevendo algumas das ferramentas utilizadas nos procedimentos de calibração.

O LCI já sofreu duas auditorias internas, sendo uma de adequação, e uma auditoria externa do Comitê de Avaliação de Laboratórios de Calibração para Radiações Ionizantes (CALCRI), que faz parte do Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, LNMRI, que desde 1999 integra o Acordo de Reconhecimento Mútuo (MRA) firmado entre os Institutos de Metrologia Nacional de 38 países membros da Convenção do Metro.

**Palavras chave:** calibração, sistema da qualidade, medidores de radiação.

### 1. INTRODUÇÃO

O Laboratório de Calibração de Instrumentos, LCI, do IPEN iniciou formalmente suas atividades em 1980, calibrando instrumentos medidores de radiação tanto de Radioproteção como de Radioterapia pertencentes a hospitais, indústrias, clínicas e outros usuários localizados em São Paulo e no sul do Brasil. O Laboratório integra a Divisão de Calibração e Dosimetria do Centro de Metrologia das Radiações.

O aumento do número de instrumentos testados anualmente (de 170 em 1980 a 1800 em 2002) tornou necessário o desenvolvimento e a implementação dos métodos já existentes, assim como o estabelecimento de novas técnicas e a ampliação dos serviços de calibração prestados.

Atualmente, o LCI atua nas áreas de Radioproteção, Radioterapia e Radiodiagnóstico, utilizando arranjos especiais compostos por fontes do tipo padrão de radiação gama e beta, fontes planas de área extensa de radiação alfa e beta, e radiação X de energias baixas e intermediárias.

Em um laboratório destinado à calibrações de instrumentos utilizados muitas vezes em atividades envolvendo a saúde dos indivíduos, a implantação de um sistema da qualidade é de grande importância. Além disso, nos dias de hoje, as exigências dos clientes atingiram um estágio no qual a instalação de um sistema de gerenciamento da qualidade é item fundamental para a sobrevivência e aperfeiçoamento de qualquer instituição, seja ela pública ou privada.

A implantação deste sistema facilitará o gerenciamento dos procedimentos internos já existentes além do seu aperfeiçoamento. Os critérios básicos que devem ser preenchidos consistem da descrição técnica das instalações, procedimentos técnicos de medida, análise das incertezas nos resultados, procedimentos para controle estatístico dos processos de medida, descrição da competência do grupo de trabalho, procedimentos para gerenciamento de não conformidades e por fim o gerenciamento do sistema da qualidade como um todo e um programa de auditorias internas.

### 2. SISTEMA DA GARANTIA DA QUALIDADE

A percepção de qualidade está cada vez mais transparente nas áreas de pesquisa e desenvolvimento. Assim, a gestão da Qualidade em Laboratórios de Calibração é de suma importância para garantir a confiabilidade dos resultados.

Um sistema de gerenciamento da qualidade bem estruturado deve ter a capacidade de demonstrar que os processos desenvolvidos são realmente executados como os procedimentos existentes que os descrevem.

A ISO (International Organization for Standardization) realizou a revisão do ISO Guia 25, substituindo-o pela norma ISO 17025[1]. Esta norma foi publicada em Janeiro de 2001 pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, como NBR ISO/IEC 17025, “Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração”. O INMETRO, que é a autoridade oficial do país responsável pelo credenciamento de laboratórios para realização de

serviços de calibração e ensaios, recomenda esta norma em conjunto com as normas NIG-DINQP-020[2], NIG-DINQP-021[3], DOQ-DQUAL-001[4] e documentos complementares, para fins de credenciamento.

O Sistema da Qualidade do LCI está em consonância, também, com as diretrizes definidas no Manual da Gestão Integrada do IPEN (MGI-IPN).

### 2.1 Organização e Gerenciamento

A estrutura organizacional do LCI é mostrada no organograma definido na figura 1 a seguir:

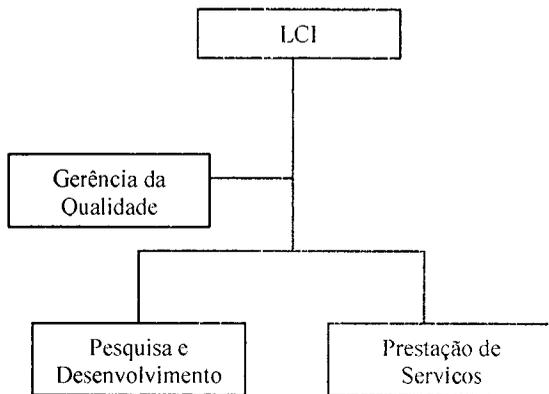


Fig. 1. Estrutura organizacional do LCI

O LCI possui autonomia gerencial. Esta liberdade de conduta, entretanto, não é irrestrita. É limitada, por um lado, pelas diretrizes corporativas e diretrizes legais e, por outro, pela necessidade de atuação harmônica como membro de uma corporação, que é o IPEN.

A Direção Geral do IPEN é constituída pela Superintendência, Diretorias e Centros. O LCI responde à Direção Geral do IPEN, como um Laboratório sob coordenação da Divisão de Calibração e Dosimetria, CMRD, do Centro de Metrologia das Radiações, CMR.

O LCI é atendido, na parte administrativa, por uma estrutura de apoio geral para o IPEN como um todo. A base da organização funcional do LCI é constituída por um Grupo de Trabalho. Este Grupo de Trabalho é formado por profissionais que se alternam em diferentes processos, sem níveis hierárquicos, para alcançar uma meta pré-estabelecida.

A estrutura organizacional fornece apoio a este Grupo de Trabalho que está sob a responsabilidade de uma pessoa designada para este fim, denominada "Responsável pelo Laboratório de Calibração de Instrumentos (LCI) ou Gerente Técnico do LCI e que também foi designada pela Chefia como Gerente da Qualidade do LCI".

A gestão da qualidade do LCI é realizada pelo Comitê da Qualidade do IPEN, Gerência do CMR, Chefia do CMRD e pelo Gerente da Qualidade do LCI.

### 2.2. Missão do Laboratório de Calibração de Instrumentos

A missão do LCI é descrita a seguir:

*Calibrar instrumentos de detecção de radiação para garantir medidas mais exatas e precisas na utilização da radiação.*

### 2.3. Política da Qualidade

O LCI, em consonância com as estratégias do IPEN, está comprometido com a identificação das necessidades dos seus clientes. A fim de satisfazer estas necessidades, implantou e opera um Sistema da Qualidade, o qual é orientado pela Política da Qualidade, expressa a seguir :

*Realizar todos os ensaios e ou medidas em conformidade com as normas nacionais e internacionais, garantindo sua qualidade e buscando continuamente o estado da arte.*

### 2.4. Sistema da Documentação

Para fornecer aos clientes internos e externos os serviços correspondentes às suas necessidades e garantir a conformidade deles, o LCI mantém um Sistema da Qualidade documentado e implementado.

O Sistema da Qualidade do LCI é documentado utilizando a hierarquia de documentação descrita na Tabela 1:

Tabela 1. Hierarquia de documentação do Sistema da Qualidade do LCI.

Nível Hierárquico	Documento
Estratégico	Manual da Gestão Integrada do IPEN, MGI-IPN
	Manual da Qualidade, MQ-LCI
	Plano de Negócio do LCI- NM
Tático	Plano de Ação do LCI- NM
	Procedimentos Gerenciais do IPEN, PG-IPN
	Procedimentos Gerenciais do LCI, PG-LCI
Operacional	Procedimentos Operacionais, PO-LCI
	Instruções de Trabalho, IT-LCI
Documentos Externos	
Dados	
Registros da Qualidade	
Registros Técnicos	

Nestes documentos estão a política da qualidade, objetivos e compromissos assumidos pela administração, descrição de cargos do pessoal responsável, signatários, comprovantes do rastreamento das medidas e procedimentos que garantem a análise crítica dos ensaios e ou medidas. Estes documentos são definidos a seguir :

### **Manual da Qualidade, MQ-LCI (Documento Estratégico)**

Apresenta a **Política da Qualidade** e descreve o Sistema da Qualidade do Laboratório que orienta a prestação de seus serviços.

### **Plano de Negócio (Documento Estratégico)**

Define os objetivos, as metas globais e da qualidade e os passos necessários para atingi-los.

### **Plano de Ação (Documento Tático)**

Consiste num documento onde são detalhados anualmente: os objetivos; as metas; as estratégias de atuação; os programas de ação e os meios a serem utilizados.

### **Procedimento Gerencial, PG-IPN/PG-LCI (Documentos Táticos)**

Define o que deve ser executado para o atendimento às diretrizes estabelecidas no MQ e no Plano de Negócio.

### **Procedimento Operacional, PO-LCI (Documento Operacional)**

Documento que estabelece as práticas, os recursos e a seqüência de atividades relativas à qualidade de um determinado serviço ou contrato.

Define os processos operacionais. Contemplam todos os requisitos das normas.

### **Instrução de Trabalho – IT-LCI (Documento Operacional)**

Descreve atividades específicas em detalhes quanto ao modo e à seqüência de execução.

São geradas para qualquer atividade onde a ausência desse detalhamento possa afetar a qualidade do serviço fornecido.

A IT complementa o estabelecido no PG e/ou PO, não podendo ignorá-los ou contradizê-los.

### **Documentos Externos – DE**

Documentos de entidades externas ao LCI que afetam diretamente o Sistema da Qualidade do LCI.

São considerados documentos externos quaisquer documentos cujos conteúdos não tenham sido originados sob a responsabilidade do LCI, a saber: Manual da Qualidade do IPEN, Resoluções de Diretoria, Diretrizes Corporativas, documentação gerada pelo cliente; leis, códigos e normas técnicas; informações legais, acordos internacionais e outros.

### **Dados**

Documentos que representam conceitos ou instruções de forma apropriada, por vezes simbólica, para comunicação e processamento.

### **Registros da Qualidade e Registros Técnicos (Registros)**

Documentam e fornecem evidência objetiva das atividades realizadas ou resultados obtidos, podendo estar sob a forma de cópia em papel, arquivo eletrônico e outros.

Os registros são mantidos por tempo necessário para o suporte do Sistema, estabelecido em procedimentos específicos.

### **2.5. Controle da Documentação**

Os registros diversos gerados pelo Sistema da Qualidade do LCI podem estar na forma eletrônica ou em papel e é composto de:

- "Layout" das instalações e equipamentos;
- Todos os documentos iniciais que geraram o serviço;
- Conjunto de registros e formulário que foram gerados durante o serviço, incluindo o Certificado de Calibração;
- Conjunto da documentação da qualidade.

O armazenamento é feito de modo a minimizar danos, perdas ou deterioração, e de forma que os registros sejam acessíveis a todas as pessoas autorizadas que deles necessitem.

Os registros são mantidos de forma a facilitar a identificação de qualquer fonte de erro e quando necessário, permitir a repetição do serviço nas mesmas condições, inclusive identificando o pessoal técnico envolvido na calibração.

O LCI mantém todos os registros para cada calibração realizada, incluindo as medidas de referência utilizadas nos testes, demonstrando a rastreabilidade da calibração.

## **3. REQUISITOS TÉCNICOS**

### **3.1. Pessoal**

O Grupo de Trabalho do LCI é composto por 10 pessoas, sendo 5 técnicos (4 com especialização em radioproteção e um com especialização em eletrônica) e 5 pesquisadores (2 com mestrado e 3 com doutorado).

A gerência técnica do LCI é quem autoriza pessoas específicas para realizar tipos particulares de calibração para emitir relatórios e certificados de calibração, para emitir opiniões e interpretações e para operar tipos particulares de equipamentos. O LCI mantém registros das autorizações, competência, qualificações profissional e educacional, treinamento, habilidades e experiência relevantes, de todo pessoal técnico.

### **3.2. Serviços Oferecidos**

Atualmente o LCI vem oferecendo os seguintes serviços:

Calibração de instrumentos utilizados em medidas de radioproteção: monitores portáteis e de área com radiação gama, beta e X de energias baixas e monitores de contaminação radioativa de superfície com radiação alfa e beta.

Calibração de instrumentos utilizados em medidas de radioterapia: dosímetros clínicos com radiação gama, no ar e na água e câmaras de ionização de placas paralelas com radiação-X de energias baixas.

Calibração de instrumentos utilizados em medidas de radiodiagnóstico: câmaras de ionização com radiação X de energias intermediárias e medidores de tensão não invasivos.

### 3.3. Sistemas Dosimétricos de Referência

O LCI possui diferentes sistemas dosimétricos de referência para os diferentes tipos de aplicação dos equipamentos calibrados no laboratório e estão descritos a seguir com as suas respectivas calibrações:

Radioproteção:

- A. Câmara de ionização esférica com volume de 1000 cm<sup>3</sup>, modelo LS01, marca Physikalisch-Technische Werkstätten, PTW, Alemanha, calibrado periodicamente pelo Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes, LNMRI.
- B. Câmara de ionização cilíndrica com volume de 600 cm<sup>3</sup>, modelo 2511/3, marca Nuclear Enterprises Ltd., NE, Inglaterra, calibrado periodicamente pelo LNMRI.
- C. Câmara de ionização cilíndrica com volume de 30 cm<sup>3</sup>, modelo M23361, da PTW, rastreada ao Physikalisch-Technische Bundesanstalt, PTB, Alemanha.

Radioterapia:

- D. Câmara de ionização cilíndrica, com volume de 0,3 cm<sup>3</sup>, modelo 2561, marca NE, calibrada para as grandezas kerma no ar e dose absorvida na água no LNMRI.
- E. Câmara de ionização cilíndrica, com volume de 0,6 cm<sup>3</sup>, modelo 2505/3, marca NE, calibrada para as grandezas kerma no ar e dose absorvida na água no LNMRI.
- F. Câmara de ionização de placas paralelas, com volume de 0,03 cm<sup>3</sup>, modelo 2536/3, marca NE, calibrada no National Physical Laboratory, NPL, Inglaterra.

Radiodiagnóstico:

- G. Câmara de ionização de placas paralelas, com volume de 1 cm<sup>3</sup>, modelo 77334, marca PTW, Alemanha, com fatores de calibração rastreados ao Laboratório PTB, Alemanha.
- H. Câmara de ionização de placas paralelas, com volume de 6 cm<sup>3</sup>, modelo 20X5-6M, marca Radcal, EUA, calibrada no Food and Drug Administration, FDA, EUA, para medidas em feixes de mamografia.

### 3.3. Sistemas de Irradiação

Os sistemas de radiação utilizados nos vários procedimentos de calibração no LCI estão relacionados a seguir:

Sistema de radiação X de energias baixas, marca Rigaku Denki (60 kV);

Sistema de radiodiagnóstico com energias intermediárias, marca Mövek Roentgenyara (125 kV);

Sistema de radioterapia com fonte de <sup>60</sup>Co;

Irradiador com fontes gama de <sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs, <sup>241</sup>Am e <sup>226</sup>Ra, marca Buchler;

Sistema padrão secundário com fontes beta de <sup>90</sup>Sr+<sup>90</sup>Y, <sup>204</sup>Tl e <sup>147</sup>Pm;

Conjunto de fontes extensas de radiação alfa de <sup>241</sup>Am e beta de <sup>14</sup>C, <sup>99</sup>Tc, <sup>36</sup>Cl, <sup>137</sup>Cs e <sup>90</sup>Sr + <sup>90</sup>Y.

### 3.4. Condições Ambientais

O LCI monitora, controla e registra as condições ambientais para cada calibração realizada conforme requerido pelos procedimentos pertinentes, ou quando elas influenciam a qualidade dos resultados, utilizando-se termômetros, barômetros e higrômetros calibrados em laboratórios que fazem parte da Rede Brasileira de Calibração, RBC. As calibrações são interrompidas quando as condições ambientais comprometem os resultados.

### 3.5. Rastreabilidade das Medidas

No LCI, o programa de calibração dos equipamentos é projetado e operado de forma que assegure que as calibrações e medições feitas pelo laboratório sejam rastreáveis ao Sistema Internacional de Unidades (SI) (Système international d'unités). Por isso mantém os seus sistemas de referência calibrados e/ou intercomparados periodicamente pelo LNMRI, que desde 1999 integra o Acordo de Reconhecimento Mútuo (MRA) firmado entre os Institutos de Metrologia Nacional de 38 países membros da Convenção do Metro. Nas energias em que não é possível realizar a calibração no LNMRI, o serviço é então realizado por um laboratório de padronização secundária ou primária no exterior. Nas intercomparações organizadas anualmente pelo LNMRI participam todos os Laboratórios Regionais de Calibração de Instrumentos autorizados pelo Comitê de Avaliação de Laboratórios de Calibração para Radiações Ionizantes (CALCRI). Na tabela 2 verifica-se a incerteza associada aos fatores de calibração das câmaras de ionização de referência.

Tabela 2. Incerteza associada aos fatores de calibração das câmaras de ionização de referência do LCI.

Câmara de Ionização	Rastreabilidade	Incerteza (%)
A	LNMRI	+/- 3
B	LNMRI	+/- 3
C	PTB	+/- 3
D	LNMRI	+/- 0,7
E	LNMRI	+/- 0,7
F	NPL	+/- 1,5
G	PTB	+/- 5
H	FDA	+/- 2

### 3.6 Procedimentos de Calibração e Melhor Capacidade de Medida

O LCI utiliza métodos e procedimentos apropriados para todos os ensaios e/ou calibrações dentro de seu escopo. Estes incluem, manuseio, transporte, armazenamento, e preparação dos itens a serem calibrados, onde apropriado, o cálculo da incerteza da medição, bem como as técnicas estatísticas para análise dos dados de calibração. O LCI utiliza métodos de calibração que atendem as necessidades do cliente sendo ainda apropriados para as calibrações que

realiza. O método de calibração depende do tipo de equipamento a ser calibrado, sua utilização e as informações do fabricante. São utilizados métodos publicados em normas internacionais e recomendados pelo Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes[5-8]. O LCI utiliza a última edição válida das normas empregadas nos ensaios e/ou calibrações. A tabela 3 mostra a melhor capacidade de medição para as calibrações realizadas no LCI.

Tabela 3. Métodos de Calibração e Melhor Capacidade de Medida dos serviços realizados no LCI.

u.e. : unidade de escala do instrumento em calibração

Grandeza	Calibração		Alcance da Medida			Incerteza Expandida		
	Instrumento	Método de calibração	Valor mínimo	Valor Máximo	Unidade	Valor	Unidade	Nível de confiança
Kerma no ar, radiação X e radiação gama de $^{60}\text{Co}$	Dosímetro	Substituição	14 keV	1250 keV	mGy/u.e.	1,0	Relativa	95%
	Clínico							
Dose absorvida na água, radiação gama de $^{60}\text{Co}$	Dosímetro Clínico	Substituição	1250 keV	1250 keV	mGy/u.e	1,0	Relativa	95%
Kerma no ar, radiação X	Câmaras de ionização utilizadas em radiodiagnóstico	Substituição	32 keV	63 keV	mGy/u.e	5,5	Relativa	95%
Kerma no ar, radiação gama de $^{60}\text{Co}$ e $^{137}\text{Cs}$ e radiação X	Monitores portáteis de radiação	Campos de radiação com propriedades conhecidas	33 keV	1250 keV	mGy/h	7,0- 20	Relativa	95%
Dose absorvida no ar, radiação beta de $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ , $^{204}\text{Tl}$ e $^{147}\text{Pm}$	Monitores portáteis de radiação	Fontes calibradas	74 MBq	1,85 GBq	mGy/h	20	Relativa	95%
Atividade por unidade de área, radiação alfa e beta	Monitores de contaminação de superfície	Fontes calibradas	340 Bq	3,5 GBq	$\text{s}^{-1}$	20	Relativa	95%

### 3.7. Certificados de Calibração

Para cada serviço de calibração executado é emitido um Certificado de Calibração que inclui todas as informações necessárias para a interpretação dos resultados, incluindo a

rastreadabilidade da medida. As informações contidas no certificado incluem:

Número do certificado.

Data da calibração.

Proprietário: Nome e endereço.

Instrumento: Tipo, marca, modelo e série.

Fontes utilizadas: Fonte, geometria do feixe, atividade, data de referência e incerteza no cálculo da atividade.

Especificações do posicionamento do detector durante a calibração, assim como do ponto de referência na sonda.

Especificações de como foi realizado o ajuste do potenciômetro de calibração do aparelho quando houver esta possibilidade.

Intervalo de verificação da linearidade.

Condições ambientais durante as medidas.

Resultados encontrados: Tabelas, gráficos ou parâmetros das curvas ajustadas.

#### 4. AUDITORIAS

O LCI já sofreu duas auditorias internas, sendo uma de adequação, realizadas pela Coordenação de Qualidade, Ambiente e Segurança do IPEN, CQAS que possui auditores treinados na ISO 17025 e na ISO 9000-2000. Após a auditoria de 2003 que será realizada em outubro, será preparada a documentação para o encaminhamento ao INMETRO da solicitação de credenciamento na RBC. O LCI também já passou por uma auditoria externa do Comitê de Avaliação de Laboratórios de Calibração para Radiações Ionizantes (CALCRI), que faz parte LNMRI, que também está implantando o seu sistema da qualidade [9] e que junto com os laboratórios do INMETRO e o Observatório Nacional integra o Laboratório Nacional de Metrologia (LNM) do Brasil, definido na resolução 03/89 do Conselho Nacional de Metrologia (CONMETRO).

#### 5. CONCLUSÃO

O LCI vem se preparando desde 2000 para o seu credenciamento na RBC. Todos os seus documentos e procedimentos têm passado por revisões e adaptações para que este objetivo seja alcançado. Espera-se ainda em 2003 iniciar este processo junto ao INMETRO.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração de todo o Grupo de Trabalho do LCI que se mobilizou para a adequação das suas instalações e documentos visando a complementação do Sistema da Qualidade.

#### REFERÊNCIAS

- [1] ABNT NBR ISO/IEC 17025, "Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de Calibração e de Ensaios", 2001.
- [2] INMETRO, "Critérios para o Credenciamento de Laboratórios de Calibração e de Ensaios", NIG - DINQP - 020, 1999.

- [3] INMETRO. "Regulamento do Credenciamento de Laboratórios de Calibração e de Ensaios", NIG - DINQP - 021, 1999.
- [4] INMETRO, "Orientações para o Credenciamento de Laboratórios de Calibração". DOQ-DQUAL-001, 2001.
- [5] International Atomic Energy Agency. "Calibration of radiation protection monitoring instruments", Safety Reports series no. 16, IAEA. 2000.
- [6] National Council of Radiation Protection, "Calibration of survey instruments used in radiation protection for the assessment of ionizing radiation fields and radioactive surface contamination", NCRP 112, 1991.
- [7] International Atomic Energy Agency, "Calibration of dosimeters used in radiotherapy", Technical reports series no. 374, IAEA, 1994.
- [8] International Atomic Energy Agency. "Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy. An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water", Technical reports series no. 398, IAEA. 2000.
- [9] M.M. de Araújo, L.N.Rodrigues, "Implementation of the quality system at the LNMRI/IRD", In : International Congress, Industrial Business Forum and Measurement Instruments Exhibition in Advanced Metrology, Metrologia2000. São Paulo, Brasil, 2000.

---

#### Autores:

1. Dra. Maria da Penha Albuquerque Potiens, Laboratório de Calibração de Instrumentos; IPEN-CNEN/SP, Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, CEP 05508-000, São Paulo, Brasil, tel. 55-11-38169216, fax 55-11-38169209, [mppalbu@ipen.br](mailto:mppalbu@ipen.br).
2. M. Sc. Eng. Vitor Vivolo, Laboratório de Calibração de Instrumentos; IPEN-CNEN/SP, Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, CEP 05508-000, São Paulo, Brasil, tel. 55-11-38169216, fax 55-11-38169209, [vivolo@ipen.br](mailto:vivolo@ipen.br).
3. Dra. Laura Natal Rodrigues, Laboratório de Calibração de Instrumentos; IPEN-CNEN/SP, Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, CEP 05508-000, São Paulo, Brasil, tel. 55-11-38169216, fax 55-11-38169209, [lnatal@ipen.br](mailto:lnatal@ipen.br).
4. Dra. Linda V. E. Caldas, Centro de Metrologia das Radiações; IPEN-CNEN/SP, Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, CEP 05508-000, São Paulo, Brasil, tel. 55-11-38169216, fax 55-11-38169209, [lcaldas@ipen.br](mailto:lcaldas@ipen.br).