

## METROLOGIA PARA ENGENHARIAS: CONSTRUÇÃO DE UM PROJETO METROLÓGICO PARA APLICAÇÃO DE CONCEITOS

Lisiane Trevisan – [lisiane.trevisan@farroupilha.ifrs.edu.br](mailto:lisiane.trevisan@farroupilha.ifrs.edu.br)\*

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – IFRS – Campus Farroupilha\*

Av. São Vicente, 785 – Bairro Cinquentenário\*

95180-000 – Farroupilha – Rio Grande do Sul\*

Daniel Antonio Kapper Fabricio – [daniel.fabricio@ifsc.edu.br](mailto:daniel.fabricio@ifsc.edu.br)\*

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – IFSC – Campus Chapecó\*

Av. Nereu Ramos, 3450 D - Seminário\*

89813-000 – Chapecó – Santa Catarina\*

**Resumo:** A limitação de recursos para a construção de bancada didáticas no ensino superior gera a necessidade da criação de novas metodologias para disciplinas até então teóricas. Nesta ótica, este trabalho tem como objetivo a criação de uma metodologia de ensino para a disciplina de metrologia para o curso superior em engenharia mecânica. Para isso, este trabalho pretende mostrar uma prática aplicada dentro da disciplina de Metrologia, cujo nome é Projeto Metrológico. Este projeto proporciona a aplicação dos conceitos com base em medições realizadas pelos próprios alunos. As medições foram realizadas com base na escolha de um componente metálico que já tenha sido submetido a esforços mecânicos (rolamentos automotivos). As medições devem ser realizadas com a variação de diferentes parâmetros: instrumento de medição, técnicos e amostras. Com base nos resultados, os discentes foram orientados a determinar os erros de medição e o valor da incerteza de medição. Suas conclusões devem estar voltadas a comparação dos valores de incerteza de medição e os valores verdadeiros convencionais e tolerância determinados inicialmente. Observou-se que melhorias devam ser realizadas para a aplicação desta metodologia nos próximos semestres, como o reforço na demonstração dos cálculos de incerteza de medição.

**Palavras-chave:** Metrologia. Educação para engenharia. Engenharia mecânica.

### 1 INTRODUÇÃO

Metrologia é a ciência que trata das medições como um todo, abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições (INMETRO, 2012). A metrologia está presente em diferentes áreas da ciência, desde a medição de massa quando compramos maçãs na feira, quando abastecemos carro com combustível até grandes valores como a construção de um mapa geológico (FARUOLO, 2005).

A educação é uma ciência em constante transformação, e na contemporaneidade ela passa por novos desafios. Em 2003, Libâneo já sugeria algumas atitudes docentes necessárias diante da realidade do mundo contemporâneo, entre as quais pode-se mencionar a aprendizagem ativa e ensino como mediação e saber utilizar as novas tecnologias (LIBÂNEO, 2003).

Segundo Moran (2015), as escolas estão mudando para modelos mais centrados em aprender ativamente com problemas reais, desafios relevantes, jogos, atividades e leituras, valores fundamentais, combinando tempos individuais e tempos coletivos; projetos pessoais de

vida e de aprendizagem e projetos em grupo. A tendência é priorizar o envolvimento maior do aluno, com metodologias ativas como o ensino por projetos de forma mais interdisciplinar, o ensino híbrido e a sala de aula invertida.

Atualmente, na educação, a tendência é priorizar o envolvimento maior do aluno, com metodologias ativas de aprendizagem e o ensino híbrido, contemplando os avanços tecnológicos recentes, de forma especial as tecnologias de informação e comunicação (LEITE, 2014).

Um dos desafios da atualidade é ensinar conceitos teóricos de uma forma diferente da metodologia tradicional de ensino, ou seja, ensinar através do uso de conceitos dentro de aplicações práticas. Mas, como criar uma metodologia de forma eficiente?

Podem ser utilizadas plataformas digitais para isso, mas esse trabalho busca um objetivo maior: fixação e aplicação dos conceitos de metrologia dentro das áreas de qualidade e controle de qualidade, aliada à melhoria de resultados com o uso de conceitos da estatística dentro de projetos práticos de aplicação industrial.

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar uma prática didática criada para a aplicação dos conceitos teóricos de metrologia (tais como sistema de medição, calibração, determinação de erros e calibração) dentro de um exercício prático nas aulas de metrologia do curso de engenharia mecânica do campus Farroupilha do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS).

## 2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho foram determinadas algumas regras iniciais para que o processo de medição fosse transcorrido de uma forma uniforme, assim todos os alunos possuíam as mesmas ferramentas para o desenvolvimento do trabalho.

Inicialmente, na primeira aula do semestre, ocorre a escolha do componente que será usado para a prática educacional. Várias turmas escolheram diferentes materiais, desde estudo metrológico de lápis de cor, pistão automotivo e dobradiça de porta. A escolha está focada na disponibilidade destes componentes para que o grupo possa adquirir/buscar estes componentes a baixo custo.

Para o desenvolvimento do projeto, foi determinado inicialmente que os grupos deveriam ser formados com 2 alunos e 3 peças com mesmas características mecânicas. Grupos com grande número de alunos prejudica a distribuição de tarefas, sendo apenas um aluno sobrecarregado (em grande maioria dos casos) e um grande número de peças também onera um tempo muito grande para a realização das medidas que precisam serem feitas.

A escolha de três peças de um mesmo tipo justifica-se para possibilitar a comparação entre os indivíduos e os instrumentos, além da comparação entre as medidas obtidas pelas diferentes

amostras entre si. Esta comparação é fundamental para a aplicação de conceitos como erros de medição e a estimativa da incerteza de medição.

Então, a sequência da metodologia aplicada a este projeto está resumida nas seguintes etapas:

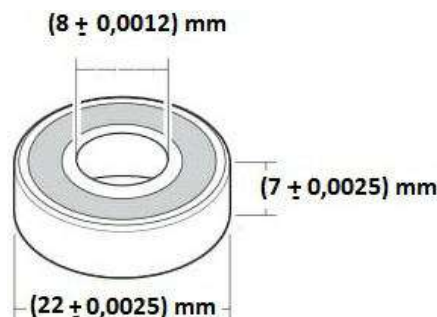
- Apresentação dos conceitos teóricos em conjunto com o andamento do projeto metrológico;
- Definição dos parâmetros do projeto metrológico – com escolha do componente que será usado no projeto;
- Escolha do instrumento de medição mais adequado – escolha realizada pelo grupo de alunos;
- Calibração dos instrumentos de medição que serão usados no projeto metrológico;
- Realização das medidas dos componentes metálicos escolhidos;
- Cálculo estatístico: média, desvio-padrão e construção de histograma dos valores medidos;
- Estimativa de fontes de erro e cálculo da incerteza de medição conforme orientações do professor;
- Elaboração do relatório final – ao longo do semestre e entrega do relatório final;
- Apresentação oral do projeto final para a turma;

O projeto foi avaliado com base em duas avaliações: relatório escrito e apresentação oral pelo grupo de alunos para a turma do semestre. O relatório escrito foi construído com o auxílio do docente ao longo das aulas do semestre e assim, o desenvolvimento do trabalho foi realizado acompanhando ao longo das etapas. A apresentação oral auxilia no desenvolvimento da capacidade de síntese de um projeto, assim os alunos precisam treinar a síntese de um projeto desenvolvido ao longo de meses a ser realizado no tempo estipulado de 15 minutos.

### 3 RESULTADOS

O componente escolhido para a apresentação dos resultados está focado no estudo dimensional de um componente automotivo (rolamento), conforme descrito na Figura 1.

Figura 1 - Demonstração do rolamento automotivo escolhido pelos grupos da turma 2019 – primeiro semestre. Desenho inclui cotas e tolerâncias. Medidas em milímetros.



Conforme demonstrado na Figura 1, o componente metálico escolhido possui um número grande de características de qualidade as quais precisam ser monitoradas dentro do processo produtivo para que o mesmo obtenha garantia deste produto.

Neste projeto metrológico, o docente permite que cada grupo determine, conforme sua experiência e vivência industrial, que sejam estabelecidas as variáveis (características da qualidade) as quais o grupo considere como importante. Os valores de referência (valor verdadeiro convencional) e sua tolerância também serão descritos pelos alunos.

Para o projeto metrológico do primeiro semestre de 2019, os parâmetros e seus valores estão descritos na Tabela 1 conforme a descrição individual de cada grupo.

Tabela 1 - Parâmetros escolhidos pelos alunos para o desenvolvimento do projeto metrológico.

Grupo	Parâmetro 1	Parâmetro 2	Parâmetro 3
A	Espessura $7,000 \pm 0,0025$ mm	Diâmetro Interno $8 \pm 0,0012$ mm	Diâmetro Externo $22 \pm 0,0025$ mm
B	Altura $16$ mm $\pm 15$ $\mu$ m	Diâmetro Interno $30$ mm $-13$ $\mu$ m	Diâmetro Externo $62$ mm $+13$ $\mu$ m
C	Altura $23,40$ mm	Diâmetro Interno $40$ mm	Diâmetro Externo $90,8$ mm
D	Altura $23,80 \pm 0,05$ mm	Diâmetro Interno $30,00 \pm 0,05$ mm	Diâmetro Externo $62,00 \pm 0,05$ mm

Conforme mostrado na Tabela 1, os rolamentos usados por cada grupo foram diferentes entre si, ou seja, rolamento com diferentes usos. A única exigência é que os componentes que o grupo irá trabalhar devam ter mesmas especificações, além disso, os mesmos deveriam ser usados ou terem sido submetidos a esforços mecânicos.

A Tabela 1 mostra que as cotas escolhidas para a realização do estudo metrológico foram praticamente as mesmas, espessura/altura, diâmetro interno e diâmetro externo.

Observa-se que o grupo C não estipulou qualquer tolerância do produto pronto, o que é um problema e o mesmo foi verificado apenas na entrega dos relatórios escritos, devido ao atraso das atividades. Nota-se também que não há uma uniformidade do número de casas decimais, com exceção do grupo D, sendo que algumas nem apareceram no valor nominal caso B e C, o que mostra o desconhecimento do conhecimento relacionado a algarismos significativos, conteúdo abordado no início do curso de graduação, mas há dificuldades na aplicação dos conceitos. Além disso, o grupo B misturou medidas em milímetros e micrômetros, o que também é um erro do ponto de vista da Metrologia.

A partir das cotas declaradas com suas respectivas tolerâncias, os grupos iniciaram a realização das medidas. Como o objetivo desta disciplina é a interpretação das medidas e o que fazer com as mesmas, lidar com esse desafio faz parte das atividades de um engenheiro mecânico. Fica bem claro deste o início da disciplina que poucos engenheiros têm pela frente o desafio de realizar medidas ao longo de sua jornada profissional, grande maioria trabalha com valores medidos por outros técnicos ou departamentos dentro da empresa e, a partir dos valores medidos, precisam tomar medidas com esses valores.

A segunda etapa do projeto foi a escolha do instrumento de medição mais adequado, escolhido pelo grupo. Nesta etapa, a resolução do equipamento e suas características devem ser avaliadas pelo grupo e o docente permite que cada grupo realize a sua escolha e justifique sua escolha no relatório escrito. Ressalta-se que mesmo que os conceitos teóricos tenham sido



previamente apresentados, os grupos em grande parte acabam realizando uma escolha que não abrange as tolerâncias apresentadas inicialmente.

### 3.1 Calibração

De acordo com o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), calibração pode ser definida como:

“Operação que estabelece, sob condições especificadas, numa primeira etapa, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; numa segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção dum resultado de medição a partir duma indicação” (INMETRO, 2012, p. 27).

Dentro do procedimento de calibração são tratados outros conceitos como rastreabilidade e sistema de medição. Estes conceitos muitas vezes não são compreendidos em sua integralidade.

Como os instrumentos de medição existentes no campus Farroupilha do Instituto Federal do Rio Grande do Sul não estão calibrados, e além disso, mostra-se a necessidade da realização da calibração dentro do projeto metrológico.

A etapa subsequente à escolha do instrumento é a realização da calibração do mesmo com o sistema metrológico e recursos internos ao sistema. O processo de calibração deverá ser feito com a comparação dos valores medidos no instrumento de medição com os valores indicados por um conjunto de blocos-padrão. Os valores de erro de medição calculados para os instrumentos de medição usados por cada grupo estão especificados pela Tabela 2.

Tabela 2 – Calibração para cada um dos dois instrumentos usados.

Grupo	Calibração – Instrumento de Medição 1	Calibração – Instrumento de Medição 2
A	A calibração foi realizada para apenas um bloco-padrão. Erro de +0,015 mm Erro zero = zero	A calibração foi realizada para apenas um bloco-padrão. Erro de +0,015 mm Erro zero = zero
B	A etapa de calibração foi realizada, porém o valor do erro foi determinado como zero.	A etapa de calibração foi realizada, porém o valor do erro foi determinado como zero.
C	Não realizou a etapa de Calibração dos instrumentos de medição.	Não realizou a etapa de Calibração dos instrumentos de medição.
D	Realizou a calibração do instrumento para 3 blocos-padrão com os valores de erro: 20 mm = 0,00 mm 30 mm = 0,00 mm 60 mm = -0,05 mm	Realizou a calibração do instrumento para 3 blocos-padrão com os valores de erro: 20 mm = +0,05 mm 30 mm = 0,00 mm 60 mm = +0,05 mm

Na Tabela 2, o erro do instrumento indica a diferença entre o valor medido e o valor de referência do bloco padrão. É possível observar que mesmo que a aula teórica tenha sido a mesma para a turma de alunos, cada grupo procedeu da forma que achou mais adequado. Se for comparado entre os 4 grupos, cada um deles procedeu de forma independente e diferente entre si.

Ainda assim, para compor o erro relacionado à calibração do instrumento, fonte de incerteza para o cálculo do valor da incerteza de medição, esta fonte de incerteza foi considerada como sendo o erro relacionada à calibração mais o erro do zero (valor marcado quando o

instrumento é posicionado no valor zero, início da escala). O que foi executado apenas pelo grupo A.

### 3.2 Realização das medições

Após a realização da calibração dos instrumentos de medição, os rolamentos passaram por limpeza. Depois de limpos, foram realizadas as medidas das características da qualidade conforme descrito na Tabela 1.

A orientação inicial era que para cada característica da qualidade escolhida, o grupo deveria realizar as medidas para cada um dos alunos e para cada um dos dois instrumentos de medição, repetindo as medidas de cada condição 5 vezes. Assim, os grupos deveriam realizar as medidas da seguinte forma:

- Aluno 1 – instrumento de medição 1 – controle de qualidade 1;
- Aluno 1 – instrumento de medição 1 – controle de qualidade 2;
- Aluno 1 – instrumento de medição 1 – controle de qualidade 3;
- Aluno 1 – instrumento de medição 2 – controle de qualidade 1;
- Aluno 1 – instrumento de medição 2 – controle de qualidade 2;
- Aluno 1 – instrumento de medição 2 – controle de qualidade 3;
- Aluno 2 – instrumento de medição 1 – controle de qualidade 1;
- Aluno 2 – instrumento de medição 1 – controle de qualidade 2;
- Aluno 2 – instrumento de medição 1 – controle de qualidade 3;
- Aluno 2 – instrumento de medição 2 – controle de qualidade 1;
- Aluno 2 – instrumento de medição 2 – controle de qualidade 2;
- Aluno 2 – instrumento de medição 2 – controle de qualidade 3;

Devido à extensão de dados gerados com esta combinação de parâmetros, os valores não serão apresentados neste trabalho. Mas ressalta-se que o objetivo principal na geração destes dados foi a comparação entre os valores medidos para diferentes alunos, instrumentos de medição e controle de qualidade. Nem todos os grupos mostraram interesse na realização de todas as combinações, tampouco na interpretação dos dados gerados nestas medições.

### 3.3 Incerteza de Medição

O processo de calibração realizado nos instrumentos de medição garante os valores de incerteza de medição calculados para as medidas realizadas nos componentes. Assim a calibração com rastreabilidade indicada reduz os erros e aumenta a confiabilidade dos valores medidos (FERNANDEZ, 2009).

Após realizar as medidas, os grupos foram orientados a estimar a incerteza de medição, que pode ser definida como um “parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas” (INMETRO, 2012, p. 24).

O método de cálculo apresentado aos alunos deveria considerar apenas duas fontes de incerteza de medição: fonte relacionada a calibração dos instrumentos usados e a fonte relacionada ao desvio padrão das medições realizadas. Limitar o número de fontes de incerteza

tem o objetivo de simplificar a realização dos cálculos. A Tabela 3 apresenta os valores de incerteza de medição.

Tabela 3 – Valores de incerteza de medição calculados para cada grupo.

Grupo Parâmetro	A	B	C	D
Espessura/ Altura	$7,02 \pm 0,056$ mm	$16,02 \pm 0,07$ mm	Não foi determinado	$23,78 \pm 0,09$ mm
Diâmetro Interno	$8,00 \pm 0,056$ mm	$29,98 \pm 0,07$ mm	Não foi determinado	$30,00 \pm 0,09$ mm
Diâmetro Externo	$22,01 \pm 0,056$ mm	$62,04 \pm 0,07$ mm	$90,75 \pm 0,0108$ mm	$62,00 \pm 0,09$ mm

Ressalta-se que mesmo demonstrando o método de cálculo para o valor de incerteza de medição, os valores são significativamente diferentes entre si, quando observado a ordem de grandeza. Todos os grupos analisados utilizaram mesmo tipo de instrumento de medição e com mesma resolução, o que demonstra mais uma vez falta de conhecimento para Algarismos Significativos. Por exemplo, um instrumento de medição com resolução para dois algarismos significativos não pode fornecer incerteza de medição para quatro algarismos significativos.

O grupo C não realizou o estudo metrológico para as cotas espessura/altura e diâmetro interno alegando falta de tempo para o desenvolvimento do projeto, o que não ocorreu com os demais grupos (A, B e D). Isso leva a crer que o grupo não soube distribuir as atividades ao longo do semestre letivo.

Observa-se, na Tabela 3, que alguns dos valores médios foram expressos como inteiros, o que indica que os alunos podem ter (erroneamente) arredondado alguns dos valores médios. Foi ressaltado que o importante não apresentar os valores medidos que sejam exatos aos valores teóricos (VVC).

Durante a apresentação final do projeto metrológico, foram argumentadas as diferenças e semelhanças entre os valores teóricos e os valores obtidos nas médias dos valores medidos. Muitos grupos não souberam explicar as diferenças, e os argumentos para explicação foram vários como: “a diferença deve estar focada no instrumento de medição que é diferente ao instrumento de medição que o fabricante de rolamentos usa”, outro grupo comentou que “não sabíamos usar o instrumento de medição e isso pode ter causado erros de medida”, e até outros comentários mais coerentes com a realidade “por se tratar de um rolamento usado, por isso encontramos incerteza de medição tão baixa”.

Comparando os valores de incerteza de medição com os valores descritos inicialmente como VVC (Valor Verdadeiro Convencional) e sua tolerância, a finalização do projeto metrológico precisa responder ao seguinte questionamento: os valores estabelecidos inicialmente para cada cota foram determinados na prática?

Assim, os valores determinados na Tabela 1 e a Tabela 3 foram então apresentados pelos alunos e assim eles deveriam classificar entre “APROVADO”, onde os valores experimentais encontram-se dentro do intervalo teórico; e “NÃO APROVADO”, para quando não abrangem os critérios “APROVADO”.

Para todos os critérios de controle de qualidade para todos os grupos, os valores obtidos experimentalmente não foram aprovados. Todos os grupos usaram do mesmo argumento para justificar a não aprovação: o valor da incerteza de medição é maior que o valor da tolerância estipulada anteriormente, o que é um equívoco. Também argumentaram que posteriormente a todas as medidas realizada, foi possível observar que a o instrumento de medição escolhido não

possuía a resolução exigida para a obtenção da tolerância, o que também mostra desconhecimento dos alunos.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia apresentada por este trabalho mostrou-se importante quando focado no desenvolvimento do aluno, os alunos mostraram mais interessados pelo assunto, devido à aplicação dos conceitos teóricos apresentados na etapa teórica da disciplina.

De um modo geral, a metodologia aplicada à turma de metrologia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha apresentou-se satisfatória, dentro do planejado.

Ressalta-se que melhorias na metodologia mostrada precisam ser realizadas, quando focamos no desenvolvimento do projeto ao longo do semestre, mesmo com o acompanhamento do docente, em muitas vezes, os discentes não entregam as atividades parciais alegando grande número de desculpas e assim, acarretando no atraso de etapas e na não conclusão de algumas tarefas, como a etapa de calibração.

Outra importante melhoria que deverá ser realizada nos próximos semestres está focada na apresentação dos exemplos práticos e variados da aplicação da incerteza de medição. Os grupos não conseguiram realizar essa etapa de modo satisfatório. Na apresentação de dois grupos, os valores apresentados no projeto estavam idênticos a exemplos aplicados em sala de aula, valores que não se aproximaram aos valores medidos.

Outro fator a ser destacado é a comparação entre os valores de incerteza de medição e os valores de tolerância, a comparação entre os valores, a qual foi realizada de modo insatisfatório. Todos os 4 grupos alegaram que se os valores de incerteza de medição e os de tolerância determinados inicialmente fossem distintos, o processo de medição usado e os componentes mecânicos não seriam aprovados dentro de um processo produtivo, o que é um equívoco.

Busca-se nos próximos trabalhos novas formas de aplicação de conceitos aplicados a metrologia, em que hajam interdisciplinaridade com outras disciplinas do curso de engenharia mecânica, assim podendo mostrar a aplicação de conceitos não só dentro da própria disciplina, mas em outras áreas de abrangência do curso.

#### REFERÊNCIAS

FARUOLO, L. B.; FERNANDEZ, J. L. A importância do ensino de metrologia, com foco na incerteza de medição, na formação de engenheiros. **XXXIII Congresso Brasileiro do Ensino de Engenharia** – COBENGE. Paraíba. 2005.

FERNANDEZ, Wilson D. *et al.* Metrologia e qualidade – sua importância como fatores de competitividade nos processos produtivos. **XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão. Salvador, BA, Brasil, 2009.

INMETRO. **Portaria n.º 232, de 08 de maio de 2012**: Vocabulário Internacional de Metrologia – Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012). Disponível em: <>. Acesso em 06 abr. 2020.



LEITE, W. S. S. Sociedade moderna e tecnologias na educação: Reflexões e perspectivas sobre a realidade no Brasil. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 15, n. 24, p. 105-212, jul./dez. 2014.

LIBÂNEO, J. C. **Adeus professor, adeus professora?**: Novas exigências educacionais e profissão docente. 7. ed. São Paulo: Cortez, 2003.

MORAN, J. Mudando a educação com metodologias ativas. **Coleção Mídias Contemporâneas**, v. II, 2015.

## METROLOGY FOR ENGINEERING: THEORETICAL CONCEPTS AND INDUSTRIAL PRACTICE

**Abstract:** *The limitation of resources for the construction of didactic benches in higher education generates the need to create new methodologies for previously theoretical disciplines. In this light, this work aims to create a teaching methodology for the discipline of Metrology in a higher course of mechanical engineering. For this, this work intends to show an applied practice, named Metrological Project, within the discipline of Metrology. This project provides the application of concepts based on measurements made by the students themselves. The measurements were made based on the choice of a metallic component that had already been subjected to mechanical stresses (automotive bearings). Measurements were performed by varying different parameters: measuring instrument, technicians and samples. Based on the results, students were oriented to perform the determination of measurement errors and measurement uncertainty. Their conclusions aimed at the comparison of the measurement uncertainty values and the conventional true values and tolerance initially determined. It was observed that improvements should be made for the application of this methodology in the next semesters, such as the reinforcement in the demonstration of the measurement uncertainty calculations.*

**Keywords:** *Measurement. Education in engineering. Mechanical engineering.*