

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Paulo Henrique Incerpi

**INCERTEZA DE MEDIÇÃO – MÉTODO
PROPOSTO PARA A ANÁLISE DA
CONFORMIDADE DO PRODUTO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título de *Mestre em Engenharia de Produção*

Orientador: Prof. José Leonardo Noronha, Dr.

Co-orientador: Prof. Luiz Fernando Barca, MSc.

Itajubá

Abril de 2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Paulo Henrique Incerpi

**INCERTEZA DE MEDIÇÃO – MÉTODO
PRPOSTO PARA A ANÁLISE DA
CONFORMIDADE DO PRODUTO**

Dissertação aprovada por banca examinadora em Abril de 2008, conferindo ao autor o
título de *Mestre em Engenharia de Produção*

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Leonardo Noronha (Orientador)

Prof. Dr. Ricardo Sutério

Prof. Dr. João Batista Turrioni

Prof. Luiz Fernando Barca (Co-orientador)

Itajubá

Abril de 2008

Dedicatória

À minha esposa, Mariangela Carvalho Nogueira Incerpi, que surgiu em minha vida e em todos os momentos está contribuindo para que eu seja uma pessoa melhor.

Aos meus filhos Pedro e Beatriz que são os melhores presentes que Deus me deu.

Agradecimentos

À minha esposa que com sua força, inteligência e sabedoria soube conduzir e manter com extrema competência toda a rotina profissional, a rotina de mãe e a rotina de pai durante a minha ausência quando da minha fase de dedicação exclusiva a este trabalho.

Em especial aos meus sogros, Ronaldo e Alba, que me receberam em seu lar e, como sempre, trataram-me como filho durante todo o período de obtenção dos créditos necessários para este título.

Aos meus pais sem os quais eu não estaria aqui e que sempre me incentivaram a terminar este trabalho.

Ao meu orientador, José Leonardo Noronha, que sempre foi paciente entendendo minhas restrições, apoiando-me quando necessário e incentivando-me com palavras sábias nas muitas vezes em que tive dificuldades.

Resumo

Durante a avaliação da conformidade do produto, o cálculo da incerteza de medição é um importante parâmetro para a definição do nível de qualidade das medições. Este trabalho propõe o uso de um método simplificado que pode ser utilizado na verificação desta conformidade, no chão de fábrica.

Para isso foram identificados os métodos disponíveis na literatura e os procedimentos praticados nas indústrias. Foi verificado que o cálculo da incerteza de medição na indústria é utilizado, principalmente, para auxiliar a seleção do instrumento de medição compatível com o nível de qualidade adequado para seus processos de fabricação e que a relação entre a incerteza de medição e a tolerância de fabricação é o parâmetro mais utilizado para selecionar o processo de medição adequado ao controle geométrico de um processo de fabricação.

Os procedimentos de cálculo de incerteza destes métodos foram analisados, resultando na indicação de um método considerado adequado para execução do cálculo e avaliação da incerteza dos processos de medição de grandezas geométricas no nível operacional. O método foi recomendado com base na sua facilidade de execução e na adequação aos diversos níveis de incerteza exigidos para diferentes processos metrológicos no nível operacional.

Com a definição do método a ser usado, foram realizados ensaios no laboratório de metrologia da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, para que fosse verificada a variação das componentes das incertezas. Essa verificação forneceu dados para a elaboração das equações que foram usadas na simulação e confirmação ao método proposto.

A simulação permitiu estabelecer o coeficiente que estabelece a razão entre o valor da incerteza do Guia para Expressão da Incerteza de Medição (ISO GUM) e o valor da incerteza do método proposto.

Abstract

During the product conformity assessment, the uncertainty of measurement is an important parameter for defining the measurements quality level. This paper proposes the use of a simplified method that can be used in the verification of compliance at the operational level.

For that were identified in the literature available methods and procedures applied in industries. It was found that the calculation of measurement uncertainty in the industry is used mainly to help the selection of the measuring instrument compatible with the quality level suitable for their manufacturing processes and that the relationship between the measurement uncertainty and manufacturing tolerance is the parameter most used to select the appropriate procedure for measuring the geometric control of a process of manufacture.

This procedures has been tested and with this was possible indicated a simplified method for implementation of uncertainty calculation of measurement geometric at the operational level. The method was recommended based on its ease of implementation and suitability for different levels of uncertainty required for different processes at the operational level metrological.

With the definition of the method being used, were tested in the metrology laboratory of the Federal University of Itajubá - UNIFEI, for be checked the uncertainty components. That review provided data for drawing up the equations that were used in simulation and verification to the method proposed.

The simulation allowed establishing the relationship coefficient between the uncertainty value of the ISO GUM and the uncertainty value of the proposed method.

SUMÁRIO

| | |
|---|------------|
| DEDICATÓRIA..... | III |
| AGRADECIMENTOS..... | IV |
| RESUMO..... | V |
| ABSTRACT..... | VI |
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 10 |
| 1.2 OBJETIVO DO TRABALHO | 11 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA..... | 12 |
| 1.4 LIMITAÇÕES | 13 |
| 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 13 |
| 2. 2 DETERMINAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO..... | 14 |
| 2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 14 |
| 2.2 MENSURANDO..... | 14 |
| 2.3 RESULTADO DE UMA MEDIÇÃO (RM)..... | 14 |
| 2.4 MODELO MATEMÁTICO | 15 |
| 2.5 INCERTEZA DE MEDIÇÃO | 16 |
| 2.6 INCERTEZA TIPO “A” (U_A)..... | 17 |
| 2.7 INCERTEZA TIPO “B” (U_B)..... | 18 |
| 2.7.1 <i>Incerteza declarada com fator de abrangência k (Nível de Confiança) informado.....</i> | <i>18</i> |
| 2.7.2 <i>Incerteza declarada com nível de confiança (p) informado.....</i> | <i>19</i> |
| 2.7.3 <i>Limites de erro especificados pelo fabricante.....</i> | <i>19</i> |
| 2.7.4 <i>Incerteza gerada por efeitos sistemáticos não compensados.....</i> | <i>19</i> |
| 2.7.5 <i>Incerteza devido à resolução de um instrumento analógico.....</i> | <i>20</i> |
| 2.7.6 <i>Incerteza devido à resolução de um instrumento digital.....</i> | <i>21</i> |
| 2.7.7 <i>Incerteza devido à influência da temperatura.....</i> | <i>21</i> |
| 2.7.8 <i>Deformação devido à força de medição</i> | <i>21</i> |
| 2.8 GRAU DE LIBERDADE (ν_p) | 22 |
| 2.9 GRAU DE LIBERDADE EFETIVO (ν_{EFF}) | 22 |
| 2.10 MENSURANDO VARIÁVEL..... | 22 |
| 2.11 MENSURANDO INVARIÁVEL | 23 |
| 2.12 INCERTEZA COMBINADA (U_C)..... | 23 |
| 2.13 INCERTEZA EXPANDIDA (U)..... | 23 |
| 2.14 PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES NA AVALIAÇÃO DA IM EM MEDIÇÃO DIRETA | 24 |
| 2.15 MÉTODO PADRONIZADO PELO ISO GUM..... | 24 |
| 2.16 MÉTODOS APLICADOS..... | 26 |
| 2.16.1 <i>Método usado na indústria metal mecânica.....</i> | <i>26</i> |
| 2.16.2 <i>Metodologia dependente do mensurando, do conhecimento sobre o sistema de medição e da quantidade de medições realizadas.</i> | <i>26</i> |
| 2.16.3 <i>Metodologia baseada na distribuição de erros.....</i> | <i>30</i> |
| 2.17 CUSTOS DA QUALIDADE | 30 |
| 2.17.1 <i>Conformidade com a especificação.....</i> | <i>32</i> |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 2.18 | RELAÇÃO ENTRE OS CUSTOS DA QUALIDADE E A INCERTEZA DE MEDIÇÃO..... | 32 |
| 2.19 | MÉTODO PROPOSTO PARA ESTE TRABALHO | 34 |
| 3. | EXPERIMENTO..... | 36 |
| 3.1 | CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 36 |
| 3.2 | INCERTEZAS CONSIDERADAS..... | 37 |
| 3.2.1 | <i>Incertezas consideradas no método do ISO GUM.....</i> | <i>37</i> |
| 3.2.2 | <i>Incertezas consideradas no método proposto</i> | <i>37</i> |
| 3.2.3 | <i>Medições e ensaios realizados com o paquímetro.....</i> | <i>38</i> |
| 3.2.4 | <i>Medições e ensaios realizados com o micrômetro</i> | <i>41</i> |
| 3.3 | COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS | 45 |
| 3.3.1 | <i>Ensaio realizado com o paquímetro</i> | <i>45</i> |
| 3.3.2 | <i>Ensaio realizado com o micrômetro</i> | <i>51</i> |
| 3.3.3 | <i>Coefficiente de relação médio</i> | <i>56</i> |
| 3.4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 58 |
| 4. | SIMULAÇÃO..... | 59 |
| 4.1 | CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 59 |
| 4.2 | DISTRIBUIÇÕES DAS PARCELAS DE INCERTEZA | 60 |
| 4.3 | SIMULAÇÃO DO PAQUÍMETRO COM 10 MEDIÇÕES..... | 60 |
| 4.3.1 | <i>Método do ISO GUM.....</i> | <i>60</i> |
| 4.3.2 | <i>Método Proposto.....</i> | <i>64</i> |
| 4.4 | COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS | 67 |
| 4.5 | COEFICIENTES DE RELAÇÃO | 68 |
| 5. | CONCLUSÕES | 70 |
| 5.1 | CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 70 |
| 5.2 | CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO..... | 70 |
| 5.3 | RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES | 71 |
| 6. | APÊNDICE 1 – ENSAIOS REALIZADOS..... | 72 |
| 6.1 | ENSAIOS REALIZADOS COM O PAQUÍMETRO | 72 |
| 6.1.1 | <i>Ensaio com 3 medições.....</i> | <i>73</i> |
| 6.1.2 | <i>Ensaio com 5 medições.....</i> | <i>79</i> |
| 6.1.3 | <i>Ensaio com 10 medições.....</i> | <i>85</i> |
| 6.1.4 | <i>Ensaio com 20 medições.....</i> | <i>90</i> |
| 6.1.5 | <i>Ensaio com 50 medições.....</i> | <i>95</i> |
| 6.2 | ENSAIOS REALIZADOS COM O MICRÔMETRO..... | 100 |
| 6.2.1 | <i>Ensaio com 3 medições.....</i> | <i>100</i> |
| 6.2.2 | <i>Ensaio com 5 medições.....</i> | <i>106</i> |
| 6.2.3 | <i>Ensaio com 10 medições.....</i> | <i>111</i> |
| 6.2.4 | <i>Ensaio com 20 medições.....</i> | <i>116</i> |
| 6.2.5 | <i>Ensaio com 50 medições.....</i> | <i>121</i> |
| 6.3 | DESVIOS PADRÃO ENCONTRADOS NOS ENSAIOS | 126 |
| 6.3.1 | <i>Resultados encontrados para o paquímetro.....</i> | <i>126</i> |
| 6.3.2 | <i>Resultados encontrados para o micrômetro.....</i> | <i>126</i> |
| 7. | APÊNDICE 2 – PLANILHAS USADAS NA SIMULAÇÃO..... | 127 |
| 7.1 | PLANILHAS UTILIZADAS DO MÉTODO DO ISO GUM..... | 127 |
| 7.1.1 | <i>Planilhas utilizadas para a simulação do paquímetro</i> | <i>127</i> |
| 7.1.2 | <i>Planilhas utilizadas para a simulação do micrômetro</i> | <i>129</i> |

| | | |
|-------|---|------------|
| 7.2 | PLANILHAS UTILIZADAS NO MÉTODO PROPOSTO..... | 131 |
| 7.2.1 | <i>Planilhas utilizadas para paquímetro.....</i> | <i>131</i> |
| 7.2.2 | <i>Planilhas utilizadas para a simulação do micrômetro.....</i> | <i>132</i> |
| 7.3 | ESTATÍSTICAS ENCONTRADAS NA SIMULAÇÃO | 134 |
| | ANEXO A – T DE STUDENT | 136 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 137 |

1. Introdução

1.1 Considerações Iniciais

Nas últimas décadas, a crescente concorrência industrial tem direcionado novos desafios em todos os ramos da engenharia. As indústrias do setor de manufatura buscam cada vez mais exercer esforços para garantir a sua competitividade e, conseqüentemente, alcançar sua sobrevivência. Essa competitividade pode ser expressa como função da maior qualidade aliada a custos reduzidos, permitindo um ganho efetivo e a manutenção do mercado consumidor.

Considerando o custo do controle, segundo a classificação de custos de qualidade apresentada por Feigenbaun (1991), um dos trabalhos desenvolvidos pelas empresas para alcançar esse objetivo é a correta determinação e avaliação da incerteza da medição quando da avaliação da conformidade do produto com as especificações.

Segundo Liska (1999), a indústria de fabricação mecânica, de um modo geral, utiliza a relação existente entre a incerteza do equipamento de medição e o intervalo de tolerância de fabricação para decidir se este equipamento está apto ou não para avaliar a conformidade de determinada característica geométrica do produto.

Visando contribuir nesse sentido, este trabalho tem como objetivo demonstrar o método estabelecido no Guia para Expressão da Incerteza de Medição na Calibração (ISO GUM) e mostrar um método proposto (simplificado) para avaliação da incerteza de medição em medições diretas, que possa ser usado pela indústria mecânica na avaliação da conformidade de determinada característica geométrica do seu produto, atendendo a recomendação da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2004, no que diz respeito à documentação e aceitação de um outro método não previsto no ISO GUM.

Neste trabalho são apresentados os principais conceitos usados na determinação e avaliação da incerteza de medição, visando uniformizá-los para um melhor entendimento do processo de cálculo sugerido. Na seqüência são mostrados os métodos encontrados na literatura, a abordagem do método proposto no ISO GUM e a do método proposto.

Em seguida são apresentados os resultados da avaliação da incerteza de medição ao serem usados os dois métodos de cálculo. Para isso será mostrado como foi realizado o experimento, que constou de ensaios em laboratório metrológico para que fosse verificada a

variação das componentes das incertezas. Essa verificação foi feita para que pudessem ser elaboradas as equações que foram usadas na simulação com o *software Crystal Ball 2000*.

A simulação foi realizada para que fosse possível determinar o coeficiente que estabelece a razão entre o valor da incerteza do ISO GUM e o valor da incerteza do método proposto.

A hipótese que será estudada é a que a aplicação do método proposto não resulta em valores que possam ser relacionados com os do método do ISO GUM, em decorrência da sua inconsistência ou variabilidade.

Nesta pesquisa são consideradas variáveis independentes o Mensurando, a metodologia de cálculo, as grandezas de entrada direta, a avaliação do Tipo A e a avaliação do Tipo B da Incerteza de Medição.

1.2 Objetivo do Trabalho

O tema deste trabalho é elaboração e apresentação de uma metodologia para a avaliação e determinação da Incerteza de Medição.

Como objetivo principal, este trabalho verifica a existência de um método confiável e simples que propicia uma avaliação adequada da incerteza de medição na verificação da conformidade de características geométricas em medições diretas.

O resultado verificado com este método é comparado com o resultado obtido ao ser usado o método padronizado pelo ISO GUM a fim de se verificar a possibilidade do uso de um fator de correção que assegure a confiabilidade do método proposto.

Para atingir o objetivo deste trabalho, o pesquisador:

- Identificou na literatura outros métodos para a avaliação e expressão da Incerteza de Medição - IM;
- Avaliou a formulação descrita no Guia para Expressão da Incerteza de Medição (ISO GUM);
- Definiu o método proposto adequado ao controle da produção, de acordo com as limitações;
- Determinou o valor da IM do ensaio proposto, utilizando esses métodos propostos;
- Estabeleceu a relação entre o método do ISO GUM e o método proposto.

O problema a ser eliminado com este trabalho é a dificuldade de se calcular a incerteza de medição no chão de fábrica, minimizando o erro que ocorre durante a avaliação da

Incerteza de Medição e que causa erro na consideração sobre a conformidade do produto fazendo aumentar os custos da qualidade.

Avaliando o objetivo deste trabalho, tem-se que considerar que para esta pesquisa a única variável dependente é o valor da Incerteza de Medição.

1.3 Justificativa

A justificativa desta busca está baseada na redução do tempo para o levantamento da incerteza de medição sem que isso acarrete significativa redução da confiabilidade ou diminuição da credibilidade dos resultados.

A aprovação ou reprovação do produto avaliado depende do resultado da medição e da qualidade deste resultado e, segundo o VIM, o resultado só estará completo se tiver a indicação da incerteza de medição associada a este resultado.

Como consequência desta redução de tempo e manutenção da confiabilidade no resultado espera-se a uma redução dos Custos da Qualidade.

Para uma correta decisão sobre a conformidade com a especificação, o valor da incerteza deve considerar o efeito de todas as fontes aleatórias e sistemáticas não factíveis de correção.

O ISO GUM salienta que não é necessária qualquer distinção entre as contribuições de incerteza provenientes de efeitos sistemáticos ou aleatórios. Entretanto, segundo Donatelli et al (1998), a influência dos erros sistemáticos sobre a distribuição dos resultados de medição é diferente daquela dos erros aleatórios. Ainda segundo o autor, um erro sistemático que se mantém constante produz somente um deslocamento na média da distribuição dos valores medidos e um erro que é variável na faixa de medição afeta a forma da distribuição. Assim, a variância pode aumentar ou diminuir dependendo da inclinação da curva de erro sistemático.

Assim, a justificativa desta pesquisa está na identificação da necessidade de se estabelecer uma metodologia simples e confiável e que forneça uma adequada análise da incerteza na verificação da conformidade do produto, baseada nos seguintes princípios:

- A aprovação depende do resultado da medição e da qualidade deste; e
- O resultado só está completo se tiver a indicação da incerteza, de acordo com o VIM.

1.4 Limitações

Como em qualquer outro trabalho de pesquisa, neste também serão estabelecidas algumas limitações. Esse método proposto será usado na avaliação da conformidade de grandezas geométricas realizadas através de medições diretas no controle do processo durante a produção na indústria metal-mecânica

1.5 Estrutura do Trabalho

O trabalho contém uma revisão bibliográfica relativa aos métodos para o cálculo e avaliação da incerteza de medição, uma aplicação prática destes métodos com o detalhamento do procedimento de cada uma, a apresentação da forma de coleta de dados, a avaliação dos resultados encontrados, as considerações relevantes, as conclusões, a verificação da hipótese do fator de correção, as recomendações para trabalhos futuros e a lista de referências utilizadas no seu desenvolvimento.

2 Determinação da Incerteza de Medição

2.1 Considerações Iniciais

Para cumprir com o objetivo deste trabalho, foi realizada a pesquisa para o levantamento de métodos existentes na literatura, bem como o levantamento daqueles procedimentos praticados nas indústrias.

Seguindo esta orientação, foi possível identificar quatro métodos e um procedimento que podem ser utilizados para a determinação da incerteza de medição. Estes métodos e procedimento serão apresentados no decorrer deste trabalho.

Antes que sejam apresentados os métodos e procedimentos identificados durante o processo de revisão bibliográfica, serão apresentados os conceitos necessários para a contextualização daquilo que é chamado de incerteza de medição. A grande maioria das definições mostradas será extraída do VIM.

Para este trabalho, será usado o termo “incerteza” no lugar de “incerteza de medição” sempre que isso não causar dúvida para o entendimento do texto, pois a palavra incerteza refere-se tanto ao conceito geral de incerteza como também a qualquer uma ou todas as medidas quantitativas associadas a este conceito.

Como dito anteriormente, a declaração do resultado de uma medição somente é completa se ela contiver tanto o valor atribuído ao mensurando quanto a incerteza associada a este valor. Neste documento todas as grandezas que não são conhecidas exatamente são tratadas como variáveis aleatórias, incluindo as grandezas de influência que podem afetar o valor medido.

2.2 Mensurando

De acordo com o VIM, mensurando é a grandeza específica submetida à medição. Dentro do escopo deste trabalho, pode-se definir o mensurando como sendo o objeto que deverá ser medido a fim de se verificar a sua conformidade com as especificações de projeto ou de qualidade.

2.3 Resultado de uma Medição (RM)

Segundo o VIM, o RM é o valor atribuído ao objeto que está sendo medido obtido por medição. Em geral, o RM é somente uma aproximação ou estimativa do valor de uma

quantidade específica que pode ser medida. Segundo Inmetro 2003, este resultado somente estará completo quando ele contiver tanto o valor atribuído ao mensurando quanto a incerteza de medição associada a este valor. Neste documento todas as grandezas que não são conhecidas exatamente são tratadas como variáveis aleatórias incluindo as grandezas de influência que podem afetar o valor medido.

2.4 Modelo Matemático

Na avaliação da conformidade de um produto, quando se avalia diretamente uma grandeza geométrica, usualmente se lida com somente um mensurando ou grandeza de saída Y que depende de uma série de grandezas de entrada X_i de acordo com a relação funcional mostrada na equação 4.

A função modelo f descreve como os valores da grandeza de saída Y são obtidos a partir dos valores das grandezas de entrada X_i . Na maioria dos casos será uma expressão analítica, mas também pode haver casos em que será descrita por um grupo de expressões que incluem correções e fatores de correção para efeitos sistemáticos, levando assim a uma equação mais complexa que não pode ser representada por uma função analítica explícita.

Além disso, f pode ser determinada experimentalmente, ou existir somente como um algoritmo de computação que deve ser avaliado numericamente, ou ainda, pode ser uma combinação dos casos descritos acima.

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (1)$$

- 1) O conjunto de grandezas de entrada X_i pode ser agrupado em duas categorias de acordo com a maneira pela qual o valor da grandeza e sua incerteza associada tenham sido determinados:
 - a) Quando ambas são diretamente determinadas na medição, os seus valores podem ser obtidos, por exemplo, de uma única observação, de observações repetidas, ou através de julgamento baseado na experiência. Eles podem envolver a avaliação de correções para as indicações dos instrumentos bem como correções para grandezas de influência, tais como temperatura ambiente, pressão barométrica ou umidade;
 - b) Quando ambas são incorporadas à medição a partir de fontes externas.
- 2) Uma estimativa do mensurando **estimativa de saída** designada por y é obtida pela equação 5 usando as **estimativas de entrada** x_i para os valores das grandezas de entrada X_i .

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (2)$$

Entende-se que os valores de entrada são as melhores estimativas que foram corrigidas para todos os efeitos significativos para o modelo. Se não o foram, as correções necessárias devem ser introduzidas como grandezas de entrada separadas.

- 3) Para uma variável aleatória a **variância** de sua distribuição ou a raiz quadrada positiva da variância, chamada de **desvio padrão** utilizada como uma medida da dispersão de valores. A **incerteza padrão de medição** associada à estimativa de saída ou resultado de medição y , designado por $u(y)$ é o desvio padrão do mensurando Y . Ela deve ser determinada a partir das estimativas x_i das grandezas de entrada X_i ; e suas incertezas padrão associadas $u(x_i)$. A incerteza padrão associada a uma estimativa, tem a mesma dimensão da estimativa. Em alguns casos, pode ser apropriado utilizar a **incerteza padrão relativa de medição**, que é a incerteza padrão de medição associada a uma estimativa dividida pelo módulo desta estimativa e que é, portanto, adimensional. Este conceito não pode ser utilizado se a estimativa for igual a zero.

2.5 Incerteza de Medição

A palavra “incerteza”, dentro do contexto metrológico, significa “dúvida”. Assim, de forma ampla “incerteza da medição” significa “dúvida sobre o resultado de uma medição”.

Segundo o VIM, incerteza (de medição) é o parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão de valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando. Em outras palavras, incerteza de medição é o resultado quantitativo que permite avaliar a confiabilidade do resultado de uma medição.

A incerteza, portanto, está associada ao resultado da medição. Não corresponde ao erro aleatório do sistema de medição. Ela reflete a falta de conhecimento sobre o valor do mensurando. O resultado de uma medição, após correção dos efeitos sistemáticos reconhecidos, é ainda, tão somente uma estimativa do valor do mensurando por causa da incerteza proveniente dos efeitos aleatórios e da correção imperfeita do resultado para efeitos sistemáticos.

Desta forma, pode-se dizer que não há uma relação matemática explícita entre a incerteza de um processo de medição e a repetitividade de um sistema de medição.

É preciso ter o cuidado para não confundir a incerteza do resultado de uma medição com o erro, pois não representam o mesmo conceito e possuem princípios diferentes. As principais diferenças estão indicadas no quadro 2.1.

Cabe ressaltar que a comparação, da forma como está apresentada, só é válida quando mais de uma medição é feita para estimar o valor do mensurando.

| Erro | Incerteza |
|---|---|
| Resultado de uma medição menos o valor verdadeiro do mensurando | Indicada quantitativamente em função da dispersão de valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando |
| Correção pode ser feita | Correção não pode ser feita |
| Estimado de um valor médio das medições | A sua estimativa não depende do valor médio das medições e sim do desvio padrão das medições |

Quadro 2.1: Principais diferenças entre erro e incerteza, adaptado de Kornblit 1997

2.6 Incerteza Tipo “A” (u_A)

A incerteza do tipo “A” é a incerteza calculada com base numa distribuição de probabilidade.

Por adotar fatores estatísticos, para a determinação deste tipo de incerteza deve-se executar uma série de repetições em iguais condições. Segundo Liska (1997), para bons resultados, o número de repetições deve ser no mínimo 10, e ainda contar com um mensurando de boa qualidade. Caso essa incerteza seja calculada em condições de calibração, devem ser utilizados padrões de ótima qualidade.

O procedimento a ser adotado é mostrado a seguir:

- 1) Executar um número "n" de medições;
- 2) Calcular o desvio padrão das medições através da Equação 01:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (X_k - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3)$$

Onde:

s = desvio padrão

X_k = resultado da medição atual

\bar{X} = média dos resultados

n = número de medições

k = índice da medição atual

3) Calcular a incerteza (conforme utilização):

Adotando-se valores individuais (situação mais crítica):

$$u = s \quad (4)$$

Adotando-se médias dos valores (quando consideramos a média como o resultado das medições):

$$u = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

2.7 Incerteza Tipo “B” (u_B)

A incerteza do tipo "B" é o método de avaliação da incerteza realizado por outros meios que não a análise estatística de uma série de observações. Segue abaixo alguns exemplos de incertezas do tipo “B”.

- Dados de medições anteriores;
- Especificações de fabricantes;
- Experiência na utilização e verificação do comportamento do instrumento com o tempo;
- Dados fornecidos em certificados de calibração.

Dentre os muitos casos possíveis podemos citar:

2.7.1 Incerteza declarada com fator de abrangência k (Nível de Confiança) informado

Alguns fabricantes fornecem, através dos manuais ou certificados de calibração, um valor de fator de abrangência, que é baseado no nível de confiança dos resultados fornecidos pelo instrumento, onde para:

$k = 2$: a incerteza declarada foi estimada para um nível de confiança de 95%;

$k = 3$: a incerteza declarada foi estimada para um nível de confiança de 99,73%.

Tanto a incerteza expandida quanto o fator de abrangência são obtidos dos certificados de calibração e a partir destes dois valores pode-se determinar o valor da incerteza padrão (incerteza do tipo "B"), pois basta dividir o resultado da incerteza expandida pelo fator de abrangência.

2.7.2 Incerteza declarada com nível de confiança (p) informado

Conhecendo-se o nível de confiança, pode-se calcular a incerteza do tipo B dividindo o valor encontrado pelo t de *Student* correspondente. Existe um valor de t de *Student* para cada nível de confiança e número de amostras desejado, uma vez que a distribuição de *Student* considera o número de amostras e se equivale a uma distribuição Normal, que considera o comportamento da população. A tabela completa encontra-se no anexo A. Mostram-se aqui os valores usuais para um número infinito de medições, sendo o de nível de confiança de 95%, o mais empregado:

| Nível de confiança (p) | t de <i>Student</i> |
|------------------------|-----------------------|
| 90% | 1,64 |
| 95% | 1,96 |
| 99% | 2,58 |

Tabela 2.1: t de *Student* para infinitas medições e nível de confiança indicado

2.7.3 Limites de erro especificados pelo fabricante

Em alguns casos o fabricante nos fornece apenas os limites de erro do equipamento de medição. Então adota-se o seguinte procedimento:

- Calcular "a", que é a média dos limites inferior e superior.
- Calcular a incerteza do tipo "B" pela expressão:

$$u = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

Esses limites são facilmente encontrados em catálogos de fabricantes de instrumentos de medição universais. Por exemplo, se um fabricante de instrumentos especifica no seu catálogo que um dado paquímetro tem $\pm 0,02$ mm de exatidão (incerteza de medição), "a" vai ser $0,04 / 2 = 0,02$ mm.

2.7.4 Incerteza gerada por efeitos sistemáticos não compensados

Em algumas situações práticas os erros sistemáticos não são compensados e a distribuição desses erros não é simétrica em relação a um ponto de referência. Com isso, o cálculo da incerteza fica mais difícil.

Assim, para simplificar os cálculos no chão de fábrica, contrariando o rigor matemático, a incerteza de medição pode ser determinada através de uma distribuição

retangular, em que é usada a diferença entre o maior e o menor valor encontrado nas medições como numerador. Desta forma, temos a incerteza de medição determinada como indicada abaixo:

$$u = \frac{M_i - M_j}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

Onde:

M_i é o maior valor encontrado e

M_j é o menor valor encontrado.

2.7.5 Incerteza devido à resolução de um instrumento analógico

De acordo com Albertazzi G. Jr. (2002), nos sistemas com mostradores analógicos, a resolução teórica é zero. Entretanto, em função das limitações do operador, da qualidade do dispositivo indicador e da própria necessidade de se realizar leituras mais ou menos criteriosas, a resolução adotada (RA) pode ser:

- RA = Valor da divisão (VD), quando o mensurando apresenta flutuações superiores ao próprio VD, ou no caso de tratar-se de uma escala grosseira ou de má qualidade;
- RA = VD/2, quando se tratar de SM de qualidade regular ou inferior e/ou o mensurando apresentar flutuações significativas e/ou quando o erro de indicação direta não for crítico;
- RA = VD/5, quando se tratar de SM de boa qualidade (traços e ponteiros finos, etc.) e a medição em questão tiver de ser feita criteriosamente;
- RA = VD/10, quando o SM for de qualidade, o mensurando estável a medição for altamente crítica quanto a erros de indicação direta e a incerteza do SM for inferior ao VD.

Considerando o que foi dito no parágrafo anterior, pode-se dizer que ao se utilizar um instrumento de medição analógico, o operador está sujeito ao erro de arredondamento devido à resolução adotada para o sistema de medição. Em função disto, durante o processo de medição é introduzida uma componente adicional de incerteza. Seu efeito é de natureza aleatória e pode ser quantificado através dos limites máximos possíveis, segundo uma

distribuição retangular. Assim, o máximo erro de arredondamento decorre da resolução adotada (RA) e a incerteza de um instrumento analógico será dada por:

$$u = \frac{RA}{\sqrt{3}} \quad (8)$$

2.7.6 Incerteza devido à resolução de um instrumento digital

Em alguns casos, utilizar o valor da resolução do instrumento (R) e calcular a incerteza pela expressão:

$$u = \frac{R}{2\sqrt{3}} \quad (9)$$

Isto é aplicável, por exemplo, quando o instrumento tiver seu mostrador digital onde o valor mostrado pode variar devido ao truncamento numérico.

2.7.7 Incerteza devido à influência da temperatura

Considerando que existem variações de temperatura mesmo num ambiente controlado, faz-se necessário considerar a parcela de incerteza de medição decorrente. Para este tipo de incerteza, assume-se uma distribuição triangular. Deve-se considerar a máxima variação de temperatura dentro dos limites de especificação, ou a máxima variação de temperatura possível entre a peça e o sistema de medição, caso não seja feita a correção. Esta parcela de incerteza é determinada por uma distribuição triangular, calculada conforme a equação abaixo:

$$u = \frac{\Delta L}{\sqrt{6}} = \frac{L\alpha\Delta T}{\sqrt{6}} \quad (10)$$

Onde:

ΔL = variação no comprimento

L = comprimento nominal ou média das medições

α = coeficiente de dilatação térmica do material (aço: $\alpha = 11,8 \mu\text{m}/^\circ\text{C}$)

ΔT = variação da temperatura (variação expressa em $^\circ\text{C}$ no cálculo)

2.7.8 Deformação devido à força de medição

Mais uma consideração importante para instrumentos dimensionais. A deformação devido à força de medição é dada por:

$$u = \frac{\Delta L}{\sqrt{6}} = \frac{\Delta FL}{\sqrt{6}} \quad (11)$$

Onde:

ΔL = variação no comprimento

ΔF = variação máxima na força de medição

L = comprimento medido

A = área da secção transversal

E = módulo de elasticidade do material

Demonstra-se aqui algumas das incertezas de medição tipo “B”. É evidente que existem outras fontes de incerteza que podem ser enumeradas.

As incertezas demonstradas aqui nem sempre são válidas para todos os casos.

2.8 Grau de Liberdade (ν_p)

Grau de liberdade corresponde ao número n de observações independentes de uma determinada variável. Entretanto, um grau de liberdade será perdido para cada restrição que existir sobre as n observações.

Em geral temos que o grau de liberdade é dado pela expressão:

$$\nu_p = n - 1 \quad (12)$$

2.9 Grau de Liberdade Efetivo (ν_{eff})

Grau de liberdade efetivo é o valor que estima a combinação dos graus de liberdade (ν_i) associados a cada uma das incertezas padrão, com uma ponderação pelas respectivas incertezas padrão (VIM).

Seu cálculo é feito usando-se a fórmula de Welch-Satterwaite, descrita na equação 13.

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u_1^4}{\nu_1} + \frac{u_2^4}{\nu_2} + \frac{u_3^4}{\nu_3} + \dots + \frac{u_i^4}{\nu_i}} \quad (13)$$

2.10 Mensurando Variável

O mensurando será considerado variável se o seu valor não permanecer constante durante todo o período de estudo ou de interesse no seu valor ou ainda quando as variações puderem ser percebidas pelo sistema de medição.

2.11 Mensurando Invariável

O mensurando será considerado invariável se o seu valor permanecer constante durante todo o período em que houver interesse no seu valor ou quando as variações não puderem ser percebidas pelo SM. Pode-se dizer também que o mensurando é invariável quando suas variações inferiores à resolução do SM ou quando não há variações.

2.12 Incerteza Combinada (u_c)

A incerteza combinada consiste na soma quadrática das diversas incertezas de medição apresentadas por um instrumento qualquer, ou seja:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_i^2} \quad (14)$$

Esse valor não é adotado como real, pois representa uma probabilidade estatística de aproximadamente 68% de se encontrar o erro de medição, e assim não constitui de uma boa aproximação. Para se determinar a incerteza com nível de confiança maior, deve-se calcular a incerteza expandida, cujo valor estará dentro de uma confiança de 95%.

O valor da incerteza combinada contempla também as incertezas herdadas dos padrões corrigidas se necessário (conforme as diretrizes dos certificados de calibração correspondentes).

2.13 Incerteza Expandida (U)

Incerteza Expandida (U), que é definida como sendo a grandeza que define um intervalo em torno do resultado de uma medição que pode ser esperado englobar uma grande fração da distribuição de valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando (VIM). Esta fração pode ser vista como a probabilidade de abrangência ou nível de confiança do intervalo.

Para associar um nível de confiança específico ao intervalo definido pela incerteza expandida, são necessárias suposições explícitas ou implícitas com respeito à distribuição de probabilidade caracterizada pelo resultado da medição e sua incerteza combinada. O nível de confiança que pode ser atribuído a este intervalo só pode ser conhecido na medida em que tais suposições possam ser justificadas. A incerteza expandida é dada pela Equação 15.

$$U = k u_c \quad (15)$$

Onde k é o fator de abrangência para o nível de confiança desejado.

É muito comum a incerteza expandida ser representada pelo símbolo U e o fator de abrangência pelo símbolo k e, em geral, o nível de confiança ser 95%. O fator de abrangência $k_{95\%}$ equivale ao coeficiente de *Student* para dois desvios padrão.

2.14 Principais considerações na avaliação da IM em medição direta

Na metrologia dimensional, quando se realizam medições diretas, as principais fontes de incerteza que podem estar presentes durante o processo de medição são:

- A incerteza da calibração do sistema de medição (IC), que é a incerteza herdada;
- O arredondamento devido à resolução do sistema de medição (IR);
- A influência da diferença de temperatura entre a peça e a escala do sistema de medição (IT);
- A incerteza do Tipo A (u_A);
- A tendência dos sistemas de medição, que é a influência sistemática;
- A influência da força de medição; e
- Diferença entre o material da peça e o do SM.

Outras fontes de incerteza podem estar presentes, mas neste trabalho será considerado que o sistema de medição está adequado ao uso, que o operador está capacitado para realizar a medição corretamente e que o mensurando não sofre modificação indevida pelo sistema de medição. Assim, as fontes de incerteza podem ser identificadas e avaliadas de forma consistente e segura.

2.15 Método padronizado pelo ISO GUM

Este método teve como origem a necessidade de se criar um procedimento que fosse internacionalmente aceito para expressar a incerteza de medição. Para isso, o *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) convocou um grupo de trabalho que desenvolveu a Recomendação INC-1 (1980), Expressão de Incertezas Experimentais (BIPM, 1993).

A tarefa de desenvolver um *Guia* detalhado foi transferida para a Organização Internacional de Normalização (ISO). A ISO confiou a responsabilidade ao *ISO Technical Advisory Group on Metrology* (TAG 4), que por sua vez estabeleceu o Grupo de Trabalho 3 (ISO/TAG 4/WG3) para executar esta tarefa. Esse Grupo de Trabalho estabeleceu o seguinte termo de referência:

Desenvolver um documento-Guia baseado na recomendação do Grupo de Trabalho do BIPM sobre a Declaração de Incertezas que forneça regras sobre a expressão da incerteza de medição para a utilização em normalização, calibração, acreditação (credenciamento) de laboratórios e serviços de metrologia.

O ISO GUM estabelece regras para que as medições e especificações metrológicas realizadas em diversas partes do mundo possam ser facilmente comparadas. Para isso, o ISO GUM faz com que a incerteza de medição seja calculada e expressa de uma maneira padronizada, para que a interpretação da mesma também possa ser padronizada (MATHIESEN, 1997).

O método ideal para expressar a incerteza de medição deve ser aplicável a todas as espécies de medições em todos os níveis de exatidão (BIPM, 1993).

Para usar o método padronizado pelo ISO GUM, é preciso conhecer todos os conceitos definidos nos itens anteriores deste capítulo, uma vez que este método está baseado na determinação da incerteza expandida (U).

A incerteza expandida deve ser calculada com, no mínimo, um nível da confiança de 95%, o valor do mensurando e a incerteza expandida, devem ser escritos da seguinte forma:

$$y \pm U$$

e acompanhados da seguinte declaração de confiança do tipo:

O valor da incerteza está baseado na incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência $k = 2$, resultando um nível da confiança de aproximadamente 95%. (BIPM, 1993)

Incetezas são geralmente expressas em intervalos bilaterais (\pm) com unidades do mensurando ou, em casos especiais, com valores relativos, por exemplo: porcentagem (%).

De forma geral, o método proposto pelo ISO GUM pode ser resumido no procedimento mostrado abaixo:

- 1) Expressar a função matemática das grandezas de entrada:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$$

- 2) Determinar o valor de cada uma das grandezas de entrada (X_N);
- 3) Avaliar a incerteza padrão(u) de cada estimativa de entrada;
- 4) Avaliar as covariâncias associadas com quaisquer estimativas de entrada que sejam correlacionadas;

- 5) Calcular o resultado da medição a partir da expressão do item 1 usando as estimativas obtidas no item 2 $\rightarrow y$;
- 6) Determinar a incerteza combinada (u_c) do resultado da medição a partir das u e das covariâncias com as estimativas de entrada;
- 7) Determinar a incerteza expandida $\rightarrow U$;
- 8) Relatar o resultado da medição juntamente com a u_c ou U :

$$RM = y \pm U$$

2.16 Métodos aplicados

2.16.1 Método usado na indústria metal mecânica

Segundo Liska (1999), nas indústrias de fabricação mecânica, inclusive nas certificadas pela ISO 9001, o cálculo de incerteza de medição, quando executado, ocorre na calibração do instrumento de medição.

A metodologia mais usada é dada pela equação 15

$$IM = \pm (|ES|_{\text{máx}} + DSM) \quad (16)$$

onde :

- ES = Erro Sistemático = $VVC - \bar{X}$
- VVC = Valor Verdadeiro Convencional
- DSM = desvio do sistema de medição = $t.s$
 - o t = fator de Student
 - o s = desvio padrão

2.16.2 Metodologia dependente do mensurando, do conhecimento sobre o sistema de medição e da quantidade de medições realizadas.

Segundo Albertazzi G. Jr. (2002), a metodologia usada para determinar o resultado da medição para os casos onde várias fontes de incertezas relevantes estão envolvidas, o ponto de partida é a determinação do balanço de incertezas do processo de medição. Caso medições indiretas estejam presentes, as incertezas envolvidas devem ser corretamente combinadas.

Com estas informações, o procedimento para a determinação do resultado da medição pode ser aplicado. Entretanto, é fundamental que quem efetua a medição esteja apto a fazê-la para que seja garantido o tripé formado por: conhecimento técnico, honestidade e bom senso (ALBERTAZZI G. Jr, 2002).

Para expressar o RM é necessário verificar em qual situação está inserida a medição que está sendo realizada. Os diversos tipos de situação estão resumidos a seguir.

a) Avaliação do resultado da medição de um mensurando invariável

Do ponto de vista metrológico é sempre interessante compensar os efeitos sistemáticos. Sempre haverá um ganho que resultará na redução da incerteza de medição. Porém, por questões operacionais, seja para simplificar, seja para acelerar o processo de medição, há casos em que os erros sistemáticos não são compensados. Isto é uma prática correta, mas com isto aumenta-se a incerteza da medição.

A seguir serão mostradas duas situações distintas para a determinação do RM: com a compensação ou sem a compensação dos efeitos sistemáticos:

a.1) Compensando efeitos sistemáticos

Neste caso, tanto o valor da correção (C) quanto o valor da repetitividade (Re) são conhecidos, podendo-se então compensá-los. Assim, considerando todas as condições reais do processo de medição, incluindo o número de medições efetuadas e os limites de variação das grandezas de influência, tem-se:

- Para o caso em que apenas uma medição é efetuada, estima-se o resultado da medição por:

$$RM = I + C \pm R_e \quad (17)$$

onde:

- I: indicação obtida;
- C: correção do sistema;
- R_e : Repetitividade do SM.

- Para o caso em que são realizadas “n” medições, estima-se o resultado da medição por:

$$RM = MI + C \pm \frac{R_e}{\sqrt{n}} \quad (18)$$

onde:

- MI: média das indicações;
- C: correção do sistema;
- R_e : Repetitividade do SM;
- n : número de medições.

a.2) Não compensando efeitos sistemáticos

Neste caso não foram compensados os efeitos sistemáticos. Seja de forma deliberada ou por desconhecimento deste valor. O balanço de incertezas fornece a estimativa da incerteza expandida (U_1^*), considerando que nenhum dos efeitos sistemáticos foi compensado, as condições reais do processo de medição, incluindo o número de medições efetuadas e os limites de variação das grandezas de influência.

Desta forma, o resultado esperado será a própria indicação, ou a média das indicações, e a incerteza de medição do resultado será a própria incerteza expandida do processo de medição.

No caso em que apenas uma medição é efetuada, o resultado da medição é dado por:

$$RM = I \pm E_{\max} \quad (19)$$

onde:

- I: indicação obtida
- E_{\max} : erro máximo do SM nas condições em que a medição foi efetuada

No caso em que “n” diferentes medições forem efetuadas, o resultado da medição pode ser avaliado a partir da média das “n” indicações disponíveis por:

$$RM = MI \pm E_{\max} \quad (20)$$

onde:

- MI: média das “n” indicações disponíveis;
- E_{\max} : erro máximo do SM nas condições em que a medição foi efetuada.

b) Avaliação do resultado da medição de um mensurando variável

Nesta situação, o valor do mensurando não é único e pode apresentar variações com o tempo, com o espaço ou de amostra para amostra. Assim, o RM deve exprimir uma faixa que inclua todos os valores possíveis de serem assumidos pelo mensurando nas condições em que este é observado. As incertezas do processo de medição também são consideradas e isso amplia a faixa ideal.

Para este caso, o resultado da medição só será obtido se obedecer as seguintes restrições: que a incerteza expandida tenha sido estimada a partir de um conjunto suficientemente grande e representativo das variações do mensurando e que a componente de incerteza padrão relativa à repetitividade tenha sido considerada para uma medição e não para a média de "n" medições.

Também aqui são estudadas duas situações distintas para a determinação do RM, classificados em função da compensação ou não dos efeitos sistemáticos:

b.1) Compensando efeitos sistemáticos

Neste caso, o resultado da medição não depende do número de medições e é obtido da soma da média das indicações com a correção, e a incerteza da medição é formada pelo módulo da máxima variação e pela repetitividade do SM em relação a média das indicações

$$RM = MI + C \pm (R_e + \Delta I_{\max}) \quad (21)$$

onde:

- MI: média das “n” indicações disponíveis;
- C: correção do SM;
- R_e : repetitividade do SM
- ΔI_{\max} : valor absoluto da máxima diferença entre as indicações e seu valor médio.

b.2) Não compensando efeitos sistemáticos

Neste caso, seja por simplicidade ou por desconhecimento, o valor da correção não está sendo utilizado para compensar os efeitos sistemáticos. Assim, deve-se usar o erro máximo para estimar o resultado da medição.

O resultado base é calculado a partir da média das indicações (ou da indicação, se for feita somente uma medição) e a incerteza da medição é estimada pela soma do erro máximo do sistema de medição com a variação máxima das indicações em relação ao seu valor médio:

$$RM = MI + (E_{\max} + \Delta I_{\max}) \quad (22)$$

onde:

- MI: média das “n” indicações disponíveis
- ΔI_{\max} : valor absoluto da máxima diferença entre as indicações e seu valor médio;
- E_{\max} : erro máximo do SM nas condições em que as medições são efetuadas.

Todos os casos mostrados neste item estão resumidos no quadro 2.2

| Tipo de Mensurando | Dados conhecidos do SM | Número de medições efetuadas | |
|--------------------|------------------------|------------------------------|---|
| | | n = 1 | n > 1 |
| Invariável | E_{\max} | $RM = I \pm E_{\max}$ | $RM = MI \pm E_{\max}$ |
| | C e R_e | $RM = I + C \pm R_e$ | $RM = MI + C \pm R_e/\sqrt{n}$ |
| Variável | E_{\max} | Não se aplica | $RM = MI + (E_{\max} + \Delta I_{\max})$ |
| | C e R_e | Não se aplica | $RM = MI + C \pm (R_e + \Delta I_{\max})$ |

Quadro 2.2 – Resultado da Medição – RM, retirado de Albertazzi G. Jr (2002)

2.16.3 Metodologia baseada na distribuição de erros

Nesta metodologia, segundo Vuolo (1996), a incerteza padrão é função do *limite de erro* (L). O limite de erro L é o máximo valor que pode ter o erro η .

Assim, para uma confiança P = 100%, temos que

$$-L < \eta < +L \quad (23)$$

Um problema que aparece com muita frequência em medições é a determinação da relação existente entre o *limite de erro* (L) e a incerteza padrão. A partir da determinação desta relação pode-se evidenciar o valor da incerteza padrão.

Não cabe neste trabalho demonstrar em detalhes esta questão da determinação da relação. Desta forma, para o atender o objetivo deste trabalho, serão apresentadas de forma direta a relação para as principais distribuições de erros a qual está associada à amostra que está sendo estudada ou verificada.

a) Distribuição Gaussiana para P= 99%:

$$u = L/3 \quad (24)$$

b) Distribuição Gaussiana para P= 95%:

$$u = L/2 \quad (25)$$

c) Distribuição Uniforme:

$$u = L/\sqrt{3} \quad (26)$$

d) Distribuição Triangular:

$$u = L/\sqrt{6} \quad (27)$$

2.17 Custos da qualidade

Há diversas abordagens para entender e determinar os custos da qualidade. Mostram-se aqui algumas dessas abordagens com a intenção de propiciar o seu entendimento e conciliá-las de maneira que se possa conduzir este trabalho com a base necessária para estabelecer a relação de dependência daqueles com a correta avaliação da incerteza de medição.

Campanella (1999) define custos da qualidade como sendo aqueles que representam a diferença entre o custo atual de um produto ou serviço e o custo ideal, se não houvesse o

serviço fora do padrão, falha de produtos, ou defeitos na manufatura. Nesta definição, os custos da qualidade são uma medida dos custos associados com o atendimento das especificações (requisitos) do produto. Estes incluem as especificações de mercado, especificações de produto e processo, pedidos de engenharia, desenhos e procedimentos operacionais e administrativos, regulamentos governamentais e qualquer outro documento ou necessidade do consumidor que possa afetar a definição do produto ou serviço.

Juran e Gryna (1988), afirmam que o termo custos da qualidade tem diferentes significados para diferentes pessoas. Enquanto alguns associam os custos da qualidade com os custos da obtenção da qualidade, outros associam o termo aos gastos do Departamento da Qualidade. Para esses, o termo custos da qualidade significa "Custos da má qualidade" - aqueles custos que desapareceriam, se os produtos e processos da empresa fossem perfeitos.

Feigenbaum (1991), define os custos da qualidade como sendo os custos associados à definição, criação e controle da qualidade, os associados à avaliação e realimentação de conformidade com exigências de qualidade, de confiabilidade e de segurança, bem como àqueles associados às conseqüências provenientes das falhas em atendimento a estas exigências, tanto no interior da fábrica como nas mãos dos clientes.

Harrington (1993) prefere adotar o termo *Poor-Quality Cost*, definindo-o como sendo o custo por ausência de qualidade e afirma que é mais barato fornecer um produto ou serviço de alta qualidade, do que um de má qualidade.

Assim, para os propósitos desse trabalho, os custos da qualidade podem ser sintetizados como sendo os gastos incorridos para assegurar e garantir a qualidade, bem como as perdas incorridas quando a qualidade satisfatória não é obtida. Pode-se ainda classificar os custos da qualidade em quatro categorias: prevenção, avaliação, falhas internas e falhas externas.

Os custos de prevenção estão ligados com a prevenção de problemas, com as falhas e erros, e estes não são escopo deste trabalho. Os custos de avaliação são aqueles ligados ao controle da qualidade estabelecidos para verificar a ocorrência de problemas ou erros durante ou após a elaboração do produto com relação à conformidade com a especificação. Os custos das falhas internas são os que se referem às ações decorrentes da detecção de erros durante a operação interna, resultado da etapa de avaliação. Os custos das falhas externas são os que referem-se à não detecção de erros ou falhas dentro da operação, sendo então percebidos pelo consumidor. Problemas, falhas ou erros são os responsáveis pelo não atendimento da especificação, ou seja, a não conformidade com a especificação.

2.17.1 Conformidade com a especificação

Segundo Van der Veen (2003), a conformidade com a especificação significa produzir de acordo com as especificações estabelecidas em projeto. Para garantir a conformidade do produto são necessárias as seguintes etapas:

- Definir as características de qualidade do produto;
- Definir como medir cada uma das características de qualidade;
- Definir padrões de qualidade para cada uma das características de qualidade;
- Controlar a qualidade com relação a esses padrões;
- Encontrar e corrigir causas de má qualidade, caso elas venham a ocorrer; e
- Propor melhorias.

Segundo Silva e Donatelli (2003), o ideal da qualidade classe mundial só é alcançado com processos de produção que operam no valor nominal e com variância mínima. Ainda segundo o autor, para que um processo opere nessa condição, é necessário:

- Eliminar os modos de operação inconsistente;
- Identificar e eliminar as causas especiais de variação;
- Reduzir as variações por causas estruturais e comuns.

2.18 Relação entre os custos da qualidade e a incerteza de medição

Para mostrar a relação entre os custos da qualidade e a incerteza de medição será mostrado a seguir o resultado de uma medição realizada para verificar a conformidade de uma determinada característica geométrica com a indicação da sua respectiva incerteza de medição.

Considere um eixo de aço cuja especificação de projeto é dada pelo valor nominal de 22,00 mm com tolerância de $\pm 0,02$ mm. O exemplo trata de avaliar se esse eixo foi produzido em conformidade com a especificação de projeto.

Para que fossem indicados o resultado da medição e a sua respectiva incerteza, foi usado um micrômetro milesimal e foram consideradas as seguintes fontes de incerteza:

- Incerteza da calibração do sistema de medição (I_C);
- Arredondamento devido à resolução do sistema de medição (I_R);

- Influência da diferença de temperatura entre a peça e a escala do micrômetro (I_T);
- Incerteza tipo A (I_L).

O resultado da medição, após serem consideradas todas as fontes de incerteza e a metodologia de cálculo usada, está indicado a seguir.

$$RM = (22,0004 \pm 0,0028) \text{ mm.}$$

Como pode ser verificado, a julgar pela média o eixo avaliado está aprovado pois está dentro da tolerância de projeto. Entretanto, ao se considerar a incerteza de medição o eixo deve ser reprovado, pois existe a probabilidade de que a medida seja maior que 22,02 mm. O valor máximo possível para esse exemplo é de 22,0032 mm o que representa uma probabilidade de 1,13% de ocorrência de não conformidade.

Pode-se verificar, através do exemplo, que existe oportunidades em que o operador decide-se pela conformidade quando esta não é verdadeira. Neste caso os custos da qualidade enquadram-se com os de falhas externas. Como exemplo de conseqüências desta incorreta classificação de conformidade pode-se citar:

- Perda da confiança por parte do consumidor, afetando negócios futuros;
- Aborrecimento dos consumidores por eventuais perdas de tempo;
- Litígio ou indenizações para evitá-los; e
- Custos de garantia.

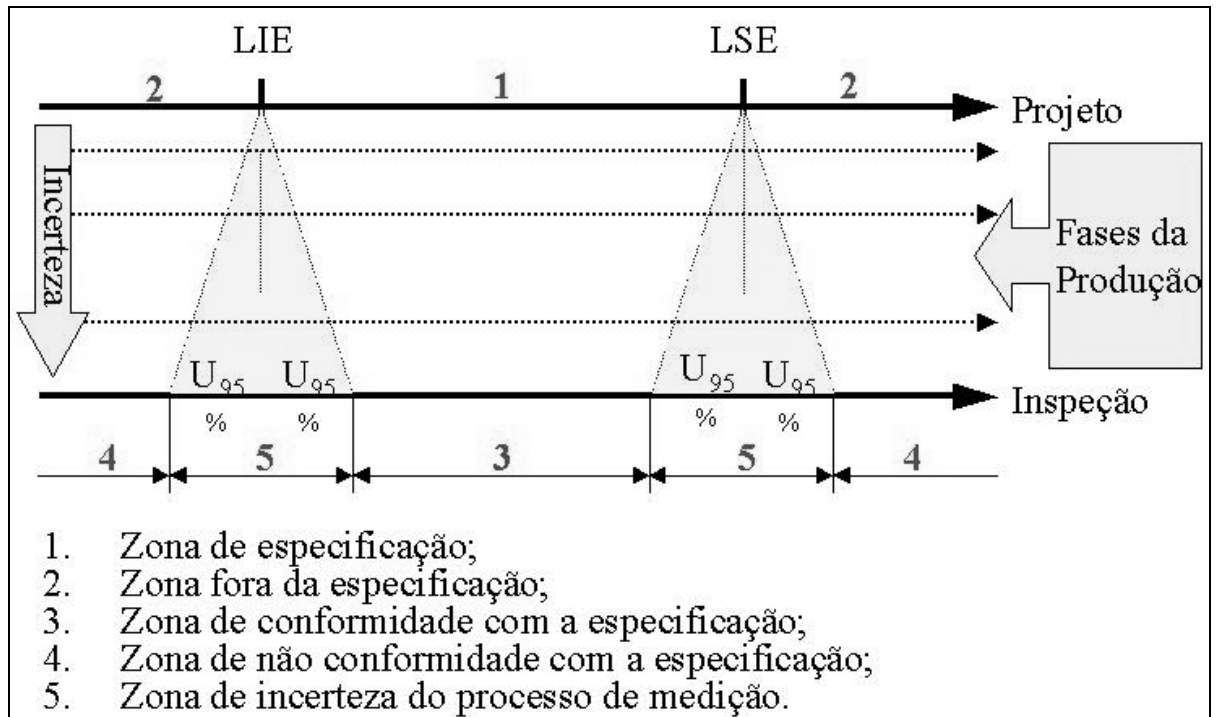
Por outro lado, se o operador classifica-se como não-conforme uma peça conforme, os custos da qualidade seriam enquadrados nos de falhas internas e dentre conseqüências desta incorreta classificação de conformidade pode-se citar:

- Custos de peças e materiais refugados;
- Custos de peças e materiais retrabalhados;
- Tempo de produção perdido na produção da peça não-conforme; e
- Tempo de produção gasto na produção para tornar a peça conforme, quando possível.

Assim, verifica-se a relação direta entre a incerteza de medição e os custos da qualidade.

Segundo a ISO14253-1 (1998), há regiões de dúvida em virtude da incerteza associada ao processo de medição, reduzindo teoricamente os limites de especificação do produto.

Processos com elevada capacidade requerem medições menos rigorosas (baixa probabilidade de produzir unidades próximas aos limites de especificação), enquanto que processos com baixa capacidade exigem medições com menor incerteza, para diminuir o risco de errar na avaliação da conformidade. Isto pode ser visto na figura 2.3.



Fonte: (Adaptado de ISO 14253-1 1998)

Figura 2.3– O efeito da incerteza de medição na avaliação da conformidade

2.19 Método proposto para este trabalho

Neste item é apresentado o método que foi definido como sendo o proposto para execução deste trabalho e que será usado em substituição ao método padronizado pelo ISO GUM. O método proposto está baseado no método usado na indústria, citado em 2.15.1.

Este método está sendo proposto para facilitar os trabalhos de determinação da incerteza da medição no chão de fábrica e, para que esta facilitação fosse possível, foram feitas as seguintes simplificações:

- Desconsiderado o valor do erro sistemático do sistema de medição, baseado na premissa de que as tendências foram eliminadas na calibração;
- Usada a soma linear das parcelas de incerteza, indicando uma falsa linearidade das parcelas de incerteza.

Em outras palavras, o rigor matemático foi substituído por uma expressão simplificada para facilitar os trabalhos no chão de fábrica, como proposta de se obter um valor aproximado da incerteza de medição.

No método proposto, considera-se a incerteza do sistemas de medição, verificada na calibração deste, bem como a influência do número de medições realizadas para avaliar a conformidade do produto.

Estas considerações são importantes uma vez que durante a avaliação da conformidade do produto, realizada no nível operacional, as fontes de incerteza não estão sob controle e estas contribuem para a dúvida sobre o resultado de medição.

Esta proposta de método visa viabilizar a determinação da influência da quantidade de medições realizadas, no resultado final da incerteza de medição.

O método proposto está representada pela equação 28.

$$IM = \left(I_c + \frac{ts}{\sqrt{n}} \right) \quad (28)$$

Assim, o resultado da medição será representado como:

$$RM = \bar{M} \pm \left(I_c + \frac{ts}{\sqrt{n}} \right) \quad (29)$$

Onde:

- RM = Resultado da medição;
- \bar{M} = média das medições realizadas;
- I_c = Incerteza da calibração do instrumento no ponto referente à média das medidas;
- t = fator de Student (Anexo A), para “n-1” leituras realizadas e para o nível de confiança desejado;
- s = desvio padrão das medições realizadas.

3. EXPERIMENTO

3.1 Considerações Iniciais

O experimento foi dividido em duas etapas bem distintas: ensaio em laboratório e simulação. O ensaio no laboratório foi realizado para que fosse possível estabelecer a amplitude das variações das componentes que integram a incerteza expandida em cada um dos métodos estudados: ISO GUM e proposto.

Para a elaboração deste trabalho foram utilizados dois sistemas de medição diferentes realizando medições em bloco padrão. Cada um dos sistemas de medição trabalhou com um bloco padrão diferente e aqui este bloco padrão foi chamado de *peça*.

Chama-se de *Ensaio*, o conjunto composto por *Sistema de Medição-Peça-Medições*. Para cada um dos ensaios foram feitas dez repetições. Assim tem-se um total de 100 ensaios diferentes.

O número de medições utilizado nos ensaios foi definido com base nas práticas industriais e na necessidade de determinação da influência do número de medições.

Para o primeiro caso, segundo Liska (1999), aquele praticado nas indústrias, o número de medições é 3 e para o segundo, os números são 5, 10, 20 e 50.

A coleta de dados foi realizada no Laboratório de Metrologia da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI. A coleta foi realizada uma única vez e serviu para a avaliação e expressão da incerteza de medição ao serem usados os dois métodos apresentados neste trabalho. O laboratório foi escolhido por apresentar as condições necessárias para a realização dos ensaios: sistemas de medição e controle do ambiente.

As medições realizadas foram registradas numa planilha para que fossem compiladas automaticamente para as duas metodologias utilizadas: a do ISO GUM e a Alternativa.

A tabela 3.1 apresenta as características dos sistemas de medição, onde o valor de I_c 95% é a incerteza de calibração do sistema de medição com nível de confiança de 95% e k é o fator de abrangência.

| Sistema de medição | Resolução | I_c 95% | K | Temperatura °C |
|--|-----------|-----------|-----|----------------|
| Paquímetro quadrimensural digital | 0,01 mm | 0,02 mm | 2,3 | (20 ± 3) |
| Micrômetro externo milesimal (analógico) | 0,001 mm | 0,0025 mm | 2,1 | (20 ± 3) |

Tabela 3.1. Características dos sistemas de medição ensaiados e da condição ambiental do ensaio.

Os resultados encontrados com os dois métodos tem basicamente a mesma forma de apresentação: “ $RM = \bar{M} \pm IM$ ”, sendo que para o método do *ISO GUM* o valor de *IM* corresponde à incerteza expandida (*U*) e para o método simplificado corresponde a “ $I_c + t.s$ ”.

Foram usados os mesmos conjuntos de medições como base para os dois métodos para eliminar a diferença da incerteza *Tipo A* que é uma das parcelas que compõe a incerteza de medição.

A seguir serão apresentadas as medições encontradas durante a primeira repetição de do ensaio realizado com 10 medições. Os demais ensaios realizados estão no Apêndice A.

3.2 Incertezas consideradas

3.2.1 Incertezas consideradas no método do ISO GUM

Conforme dito anteriormente, será considerado que o sistema de medição está adequado ao uso, que o operador está capacitado para realizar a medição corretamente e que o mensurando não sofre modificação indevida pelo sistema de medição. Assim, as fontes de incerteza podem ser identificadas e avaliadas de forma consistente e segura. São elas:

- Incerteza tipo A - I_A
- Incerteza devido à variação da temperatura - I_T

$$I_T = \Delta T \left(\frac{\alpha \bar{M}}{\sqrt{6}} \right)$$

Onde:

- ΔT = Variação da temperatura;
- α = Coeficiente de dilatação térmica;
- \bar{M} = Média das medições.
- Incerteza da Calibração - I_C
- Incerteza da Resolução - I_R

3.2.2 Incertezas consideradas no método proposto

O método proposto pressupõe a ausência de outras fontes de incerteza na medição que não aquela devido à calibração e aquela devido ao desvio padrão das medições. Com estas considerações tem-se que as seguintes parcelas de incerteza:

- Desvio padrão das medições - s
- Incerteza da Calibração - I_C

3.2.3 Medições e ensaios realizados com o paquímetro

Assim como nos demais ensaios que serão mostrados, foram realizadas as medições de acordo com as características indicadas na Tabela 3.1, com os procedimentos de cada um dos métodos, com as incertezas indicadas nos itens 3.2.1 e 3.2.2 e também com o número de medições do ensaio.

3.2.3.1 Resultados obtidos com o método do ISO GUM

Como foi visto no item 3.2.1, as incertezas padrão que serão avaliadas neste ensaio serão incerteza tipo A das medições (I_A) a incerteza devido à variação da Temperatura (I_T), a Incerteza da Calibração (I_C) e a Incerteza da Resolução (I_R).

Neste item será mostrado, a título de ilustração, o procedimento de cálculo do ensaio realizado com o paquímetro realizando 10 medições.

Assim, considerando o procedimento de cálculo do método do ISO GUM, as informações da Tabela 3.1 e as medições realizadas neste ensaio, tem-se:

- a) Dimensão do bloco padrão: 20,000 mm;
- b) Sistema de Medição utilizado: Paquímetro centesimal digital;
- c) Estimativa dos efeitos sistemáticos das fontes de erro:

Considerando-se que a tendência do equipamento de medição é zero, que a influência da força de medição não é significativa e que o equipamento de medição e a peça são do mesmo material, não existem efeitos sistemáticos para serem corrigidos.

- d) Incerteza da calibração do sistema de medição (I_C) - Avaliação tipo B;

Do certificado de calibração do paquímetro tem-se $U_{95\%} = 0,02$ mm, para um fator de abrangência $k = 2,3$ (nível de confiança de 95% e graus de liberdade estimado vef). A incerteza de calibração é dada pela equação abaixo.

$$I_C = U_{95\%} / k = I_C = 0,02 / 2,3 = 0,0087 \text{ mm}$$

- e) Arredondamento devido à resolução do SM (I_R) - Avaliação tipo B.

A resolução do paquímetro introduz uma componente adicional de erro devido ao truncamento numérico. Seu efeito é aleatório e pode ser quantificado através dos limites máximos possíveis. O máximo erro de arredondamento corresponde a um terço do valor da resolução e segue uma distribuição retangular. O seu valor é calculado pela equação abaixo.

$$I_R = res / (\sqrt{12}) = 0,01 / \sqrt{12} = 0,0029 \text{ mm}$$

- f) Incerteza devido à variação da temperatura (I_T) - Avaliação tipo B

A variação de comprimento da peça é estimada com base em uma distribuição

triangular. A máxima variação da temperatura foi estimada em 3 °C e o coeficiente de dilatação térmica do aço é de 0,0000118mm/°C. O seu valor desta parcela de incerteza é calculado pela equação:

$$I_T = \Delta L = L \cdot a \cdot \Delta T / \sqrt{6} = 19,997.11,8 / 1000.3 / \sqrt{6} = 0,00029$$

g) Dispersão das medições - Avaliação tipo A (I_L)

A incerteza padrão do tipo A corresponde ao desvio padrão da média das medições. No ensaio que está sendo mostrado neste item, foram realizadas 10 medições: 19,99; 19,99; 19,99; 20,01; 20,01; 20,01; 19,99; 20,00; 20,00 e 20,01 mm.

Para estas medições temos a média de 20,000 mm e o desvio padrão de 0,0094 mm. O valor de I_L é dado pela equação:

$$I_L = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,0094}{\sqrt{10}} = 0,0030$$

h) Incerteza Combinada (u_c)

É a incerteza padrão de um resultado de medição quando este resultado é obtido por meio dos valores de várias outras grandezas, sendo igual à raiz quadrada positiva de uma soma de termos, sendo estes as variâncias ou covariâncias destas outras grandezas, ponderadas de acordo com quanto o resultado da medição varia com mudanças nestas grandezas (*ISO GUM*). Assim, a incerteza combinada é obtida com aplicação da equação:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_p^2} = \sqrt{I_L^2 + I_C^2 + I_R^2 + I_T^2} = \\ \sqrt{0,0030^2 + 0,0087^2 + 0,0029^2 + 0,00029^2} = 0,0096 \text{ mm}$$

i) Incerteza Expandida (U)

Para que se possa estimar o valor da incerteza expandida é necessário determinar o número de número de graus de liberdade efetivo (v_{eff}). O v_{eff} é o obtido a partir da equação 6 dada pela fórmula de Welch-Satterthwaite, particularizada para o exemplo, onde v_i é o grau de liberdade de cada uma das fontes de incerteza e I_i é a incerteza de cada uma das fontes consideradas:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\frac{I_L^4}{v_L} + \frac{I_C^4}{v_C} + \frac{I_R^4}{v_R} + \frac{I_T^4}{v_T}} =$$

$$\text{No exemplo tem-se: } v_{\text{eff}} = \frac{0,0096^4}{\frac{0,0030^4}{4} + \frac{0,0087^4}{20} + \frac{0,0029^4}{\infty} + \frac{0,00029^4}{\infty}} = 13,4058$$

Com a determinação de v_{eff} e com a definição do nível de confiança desejado é possível determinar o valor de k . No exemplo temos $v_{\text{eff}} = 13.4058$ e deseja-se 95% de confiança. Isso nos leva ao valor de $k = 2,1604$ (distribuição- t). A valor de U é dado pela equação:.

$$U = k \cdot u_c$$

$$\text{No exemplo tem-se: } U_{95\%} = k_{95\%} \cdot u_c = 2,1604 \cdot 0,0096 = 0,021\text{mm}$$

Após as considerações necessárias, pode-se apresentar o resultado da medição:

$$\text{RM} = (20,000 \pm 0,021) \text{ mm.}$$

3.2.3.2 Resumo dos dados e cálculos para o método do ISO GUM

| Medições realizadas (mm) | | | | |
|---|--------------|-------|------------|--------------|
| 19,99 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | 20,01 |
| 20,01 | 19,99 | 20,00 | 20,00 | 20,01 |
| Média das medições (mm) | | | | 20,000 |
| Variação da temperatura (°C) | | | | 3 |
| Coeficiente de dilatação do aço (mm/°C) | | | | 0,0000118 |
| Incerteza de Calibração, com 95% (mm) | | | | 0,02 |
| Fator de abrangência – k | | | | 2,3 |
| Resolução do sistema de medição (mm) | | | | 0,01 |
| Número de medições | | | | 10 |
| Parcelas da Incerteza | Distribuição | | Valor (mm) | |
| Incerteza Tipo A | Normal | | 0,0030 | |
| Influência da Temperatura | Triangular | | 0,00029 | |
| Calibração do SM | Student | | 0,0087 | |
| Resolução do SM | Uniforme | | 0,0029 | |
| Incerteza Padrão Combinada | | | | 0,0096 |
| Graus de Liberdade | | | | 13,4058 |
| Fator de Abrangência – k | | | | 2,1604 |
| Incerteza Expandida | | | | 0,021 |

3.2.3.3 Resultados obtidos com o método proposto

Como foi visto no item 3.2.2, as incertezas padrão que serão avaliadas neste ensaio são: incerteza das medições (I_M) e a Incerteza da Calibração (I_C).

Neste item também será mostrado o procedimento de cálculo do ensaio realizado com o paquímetro com as mesmas 10 medições usadas no método do ISO GUM. Assim, considerando o procedimento de cálculo do método proposto, as informações da Tabela 3.1 e as medições realizadas neste ensaio, tem-se:

- Dimensão do bloco padrão: 20,000 mm;
- Sistema de Medição utilizado: Paquímetro centesimal digital;

- c) Incerteza da calibração do sistema de medição (I_C) - Avaliação tipo B;

Do certificado de calibração do paquímetro tem-se $U_{95\%} = 0,02$ mm, para um fator de abrangência $k = 2,3$ (nível de confiança de 95%). A incerteza de calibração é dada por: $I_C = U_{95\%} / k = I_C = 0,02 / 2,3 = 0,0087$ mm

- d) Desvio padrão das medições (s) Avaliação tipo A;

A incerteza padrão devido às variações das medições é dada pelo desvio padrão destas. No ensaio que está sendo mostrado neste item, as 10 medições foram: 19,99; 19,99; 19,99; 20,01; 20,01; 20,01; 19,99; 20,00; 20,00 e 20,01 mm.

Para estas medições tem-se:

- média: de 20,000 mm e

- desvio padrão (s), calculado pela equação 1: 0,0094 mm

- e) A incerteza de medição, dada pela equação 28, para o exemplo que está sendo

mostrado neste item é: $I_M = I_C + \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}} = 0,0087 + 2,2622 \cdot 0,0094 / \sqrt{10} = 0,015$

3.2.3.4 Resumo dos dados e cálculos para o método proposto

| Medições realizadas (mm) | | | | |
|---------------------------------------|--------------|-------|-------|--------------|
| 19,99 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | 20,01 |
| 20,01 | 19,99 | 20,00 | 20,00 | 20,01 |
| Média das medições (mm) | | | | 20,000 |
| Incerteza de Calibração, com 95% (mm) | | | | 0,02 |
| Fator de abrangência – k | | | | 2,3 |
| Número de medições | | | | 10 |
| Fator de Student | | | | 2,2622 |
| Parcelas da Incerteza | Distribuição | | | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | Normal | | | 0,0094 |
| Calibração do SM | Student | | | 0,0087 |
| Incerteza da medição | | | | 0,015 |

3.2.4 Medições e ensaios realizados com o micrômetro

Assim como nos demais ensaios que serão mostrados, foram realizadas as medições de acordo com as características indicadas na Tabela 3.1, com os procedimentos de cada um dos métodos, com as incertezas indicadas nos itens 3.2.1 e 3.2.2 e também com o número de medições do ensaio.

3.2.4.1 Resultados obtidos com o método do ISO GUM

Como foi visto no item 3.2.1, as incertezas padrão que serão avaliadas neste ensaio serão: incerteza tipo A das medições (I_A) a incerteza devido à variação da Temperatura (I_T), a Incerteza da Calibração (I_C) e a Incerteza da Resolução (I_R).

Neste item será mostrado, a título de ilustração, o procedimento de cálculo do ensaio realizado com o micrômetro realizando 10 medições.

Assim, considerando o procedimento de cálculo do método do ISO GUM, as informações da Tabela 3.1 e as medições realizadas neste ensaio, tem-se:

- a) Dimensão do bloco padrão: 22,000 mm;
- b) Sistema de Medição utilizado: Micrômetro externo milesimal;
- c) Estimativa dos efeitos sistemáticos das fontes de erro:

Considerando-se que a tendência do equipamento de medição é zero, que a influência da força de medição não é significativa e que o equipamento de medição e a peça são do mesmo material. Com isso não existem efeitos sistemáticos para serem corrigidos.

- d) Incerteza da calibração do sistema de medição (I_C)- Avaliação tipo B;

Do certificado de calibração do micrômetro tem-se $U_{95\%} = 0,0025$ mm, para um fator de abrangência $k = 2,1$ (nível de confiança de 95% e graus de liberdade estimado ν_{ef}). A incerteza de calibração é dada por pela equação abaixo.

$$I_C = U_{95\%} / k. = I_C = 0,0025 / 2,1 = 0,0012 \text{ mm}$$

- e) Arredondamento devido à resolução do sistema de medição (I_R) -Avaliação tipo B;

A resolução do micrômetro introduz uma componente adicional de erro devido ao truncamento numérico. Seu efeito é aleatório e pode ser quantificado através dos limites máximos possíveis. O máximo erro de arredondamento corresponde a um terço do valor da resolução e segue uma distribuição retangular. O seu valor é calculado pela equação abaixo.

$$I_R = res / (\sqrt{12}) = 0,001 / \sqrt{12} = 0,00029 \text{ mm}$$

- f) Dispersão das leituras - Avaliação tipo A (I_L)

A incerteza padrão do tipo A corresponde ao desvio padrão da média das medições. No ensaio que está sendo mostrado neste item, foram realizadas 10 medições em mm:

21,999, 21,999, 22,001, 22,000, 22,000, 22,000, 21,998, 22,000, 21,999 e 21,999.

Para estas medições temos a média de 22,0000 mm e o desvio padrão (s) de 0,00085 mm. O valor de I_L é dado pela equação:

$$I_A = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,00085}{\sqrt{10}} = 0,00027$$

g) Incerteza devido à variação da temperatura (I_T) - Avaliação tipo B

A variação de comprimento da peça é estimada com base em uma distribuição triangular. A máxima variação da temperatura foi estimada em 3 °C e o coeficiente de dilatação térmica do aço é de 0,0000118mm/°C. O seu valor desta parcela de incerteza é calculado pela equação:

$$I_T = \Delta L = L \cdot a \cdot \Delta T / \sqrt{6} = 22,000 \cdot 11,8 / 1000 \cdot 3 / \sqrt{6} = 0,00032$$

h) Incerteza Combinada (u_c)

incerteza combinada é obtida com aplicação da equação:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_p^2} = \sqrt{I_L^2 + I_C^2 + I_R^2 + I_T^2} =$$

$$\sqrt{0,00027^2 + 0,0012^2 + 0,00029^2 + 0,00032^2} = 0,0013\text{mm}$$

i) Incerteza Expandida (U)

I_i é a incerteza de cada uma das fontes consideradas:

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{I_L^4}{v_L} + \frac{I_C^4}{v_C} + \frac{I_R^4}{v_R} + \frac{I_T^4}{v_T}} =$$

$$\text{No exemplo temos: } v_{eff} = \frac{0,0013^4}{\frac{0,00027^4}{4} + \frac{0,0012^4}{20} + \frac{0,00029^4}{\infty} + \frac{0,00032^4}{\infty}} = 12,5221$$

Com a determinação de v_{eff} e com a definição do nível de confiança desejado é possível determinar o valor de k. No exemplo temos $v_{eff} = 12,5221$ e desejamos 95% de confiança. Isso nos leva ao valor de k = 2,1788 (distribuição-t). A valor de U é dado pela equação: $U = k \cdot u_c$

$$\text{No exemplo tem-se: } U_{95\%} = k_{95\%} \cdot u_c = 2,1788 \cdot 0,0013 = 0,0028\text{mm}$$

Após as considerações necessárias, pode-se apresentar o resultado da medição:

$$\text{RM} = (21,9995 \pm 0,0028) \text{ mm.}$$

3.2.4.2 Resumo dos dados e cálculos para o método do ISO GUM

Medições realizadas em mm:

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 21,998 | 22,000 | 21,999 | 21,999 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|

| | | |
|--|---------------------|-------------------|
| Média das medições (mm) | | 22,0000 |
| Variação da temperatura (°C) | | 3 |
| Coefficiente de dilatação do aço (mm/°C) | | 0,0000118 |
| Incerteza de Calibração, com 95% (mm) | | 0,0025 |
| Fator de abrangência – k | | 2,1 |
| Resolução do sistema de medição (mm) | | 0,001 |
| Número de medições | | 10 |
| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | Normal | 0,00027 |
| Influência da Temperatura | Triangular | 0,00032 |
| Calibração do SM | Student | 0,0012 |
| Resolução do SM | Uniforme | 0,00029 |
| Incerteza Padrão Combinada | | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | | 12,5221 |
| Fator de Abrangência – k | | 2,1788 |
| Incerteza Expandida | | 0,0028 |

3.2.4.3 Resultados obtidos com o método proposto

Como foi visto no item 3.2.2, as incertezas padrão que serão avaliadas neste ensaio são: incerteza das medições (I_M) e a Incerteza da Calibração (I_C).

Neste item também será mostrado, a título de ilustração, o procedimento de cálculo do ensaio realizado com o micrômetro com as mesmas 10 medições usadas no método do ISO GUM.

Assim, considerando o procedimento de cálculo do método Proposto, as informações da Tabela 3.1 e as medições realizadas neste ensaio, tem-se:

- f) Dimensão do bloco padrão: 22,000 mm;
- g) Sistema de Medição utilizado: Micrômetro centesimal digital;
- h) Incerteza da calibração do sistema de medição (I_C)- Avaliação tipo B;

Do certificado de calibração do micrômetro tem-se $U_{95\%} = 0,0025\text{mm}$, para um fator de abrangência $k = 2,1$ (nível de confiança de 95% e graus de liberdade estimado vef). A incerteza de calibração é dada por pela equação:

$$I_C = U_{95\%} / k. = I_C = 0,0025 / 2,1 = 0,0012 \text{ mm}$$

- i) Desvio padrão das medições (σ) Avaliação tipo A;

A incerteza padrão devido às variações das medições é dada pelo desvio padrão destas. No ensaio que está sendo mostrado neste item, as 10 medições foram medições em mm:

21,999, 21,999, 22,001, 22,000, 22,000, 22,000, 21,998, 22,000, 21,999 e 21,999.

Para estas medições tem-se:

- média: de 22,0000 mm e
 - desvio padrão (s), calculado pela equação 1: 0,00085 mm
- j) A incerteza de medição, dada pela equação 28, para o exemplo que está sendo mostrado neste item é:

$$IM = \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}} = 2,2622 * 0,00085 / \sqrt{10} = 0,0018$$

3.2.4.4 Resumo dos dados e cálculos para o método proposto

Medições realizadas em mm:

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------|--------|---------------------|--------|--------|-------------------|--------|--------|---------------|
| 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 21,998 | 22,000 | 21,999 | 21,999 |
| Média das medições (mm) | | | | | | | | | 22,0000 |
| Incerteza de Calibração, com 95% (mm) | | | | | | | | | 0,0025 |
| Fator de abrangência – k | | | | | | | | | 2,1 |
| Resolução do sistema de medição (mm) | | | | | | | | | 0,001 |
| Número de medições | | | | | | | | | 10 |
| Parcelas da Incerteza | | | Distribuição | | | Valor (mm) | | | |
| Desvio padrão das medições | | | Normal | | | 0,00085 | | | |
| Fator de Student | | | Student | | | 2,2622 | | | |
| Calibração do SM | | | Student | | | 0,0012 | | | |
| Incerteza da medição | | | | | | | | | 0,0018 |

3.3 Comparação dos Resultados

Neste item serão apresentados de forma resumida os resultados encontrados nos ensaios. Mostrar-se-ão apenas os resultados da incerteza de medição em cada um dos ensaios realizados para que se possa verificar a existência de uma relação consistente entre os dois métodos. Os resultados completos, como dito anteriormente, estão apresentados no Apêndice A.

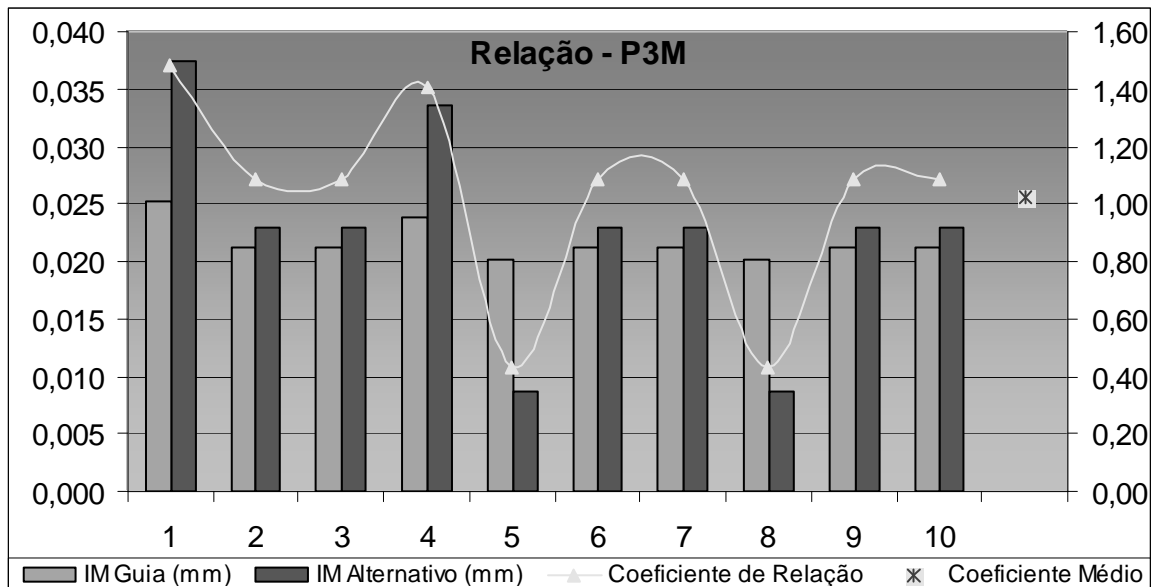
3.3.1 Ensaios realizados com o paquímetro

Neste item, serão mostrados os resultados das incertezas de medição encontrados para cada um dos ensaios realizados com o paquímetro, visando demonstrar a existência de um coeficiente de relação entre os dois métodos. Em cada uma das tabelas e gráficos está indicado este coeficiente.

3.3.1.1 Paquímetro realizando 3 medições

| Ensaio | ISO GUM | Proposto | Coefficiente de relação | Coefficiente Médio |
|--------|---------|----------|-------------------------|--------------------|
| 1 | 0,025 | 0,037 | 1,5 | 1,0 |
| 2 | 0,021 | 0,023 | 1,1 | |
| 3 | 0,021 | 0,023 | 1,1 | |
| 4 | 0,024 | 0,034 | 1,4 | |
| 5 | 0,020 | 0,009 | 0,4 | |
| 6 | 0,021 | 0,023 | 1,1 | |
| 7 | 0,021 | 0,023 | 1,1 | |
| 8 | 0,020 | 0,009 | 0,4 | |
| 9 | 0,021 | 0,023 | 1,1 | |
| 10 | 0,021 | 0,023 | 1,1 | |

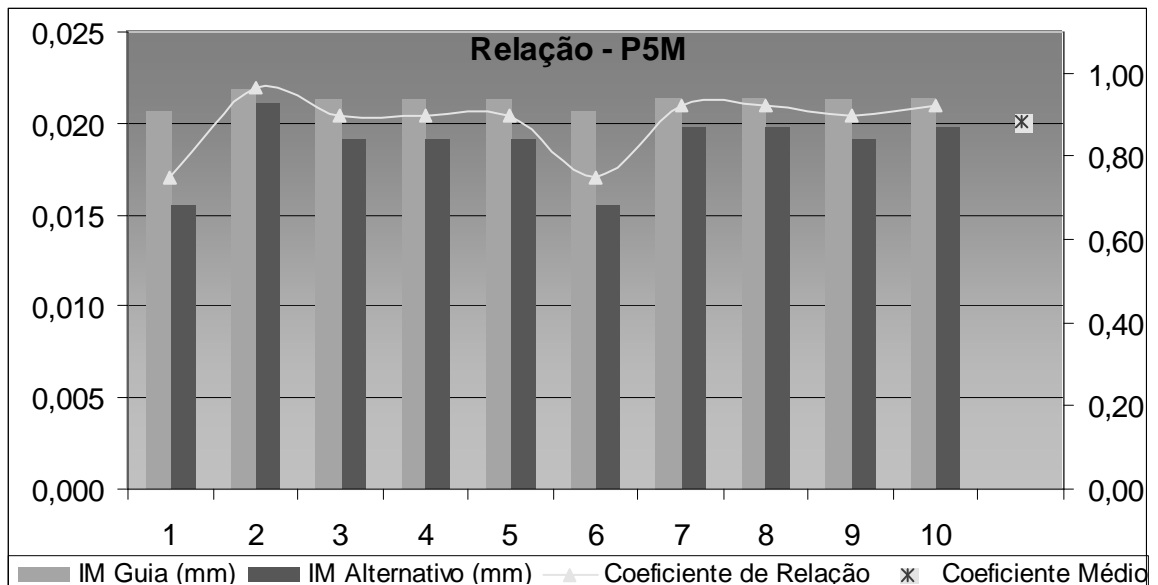
Tabela 3.2 – Coeficientes de relação para 3 medições – Paquímetro



3.3.1.2 Paquímetro realizando 5 medições

| Ensaio | ISO GUM | Proposto | Coefficiente de relação | Coefficiente Médio |
|--------|---------|----------|-------------------------|--------------------|
| 1 | 0,021 | 0,015 | 0,7 | 0,9 |
| 2 | 0,022 | 0,021 | 1,0 | |
| 3 | 0,021 | 0,019 | 0,9 | |
| 4 | 0,021 | 0,019 | 0,9 | |
| 5 | 0,021 | 0,019 | 0,9 | |
| 6 | 0,021 | 0,015 | 0,7 | |
| 7 | 0,021 | 0,020 | 0,9 | |
| 8 | 0,021 | 0,020 | 0,9 | |
| 9 | 0,021 | 0,019 | 0,9 | |
| 10 | 0,021 | 0,020 | 0,9 | |

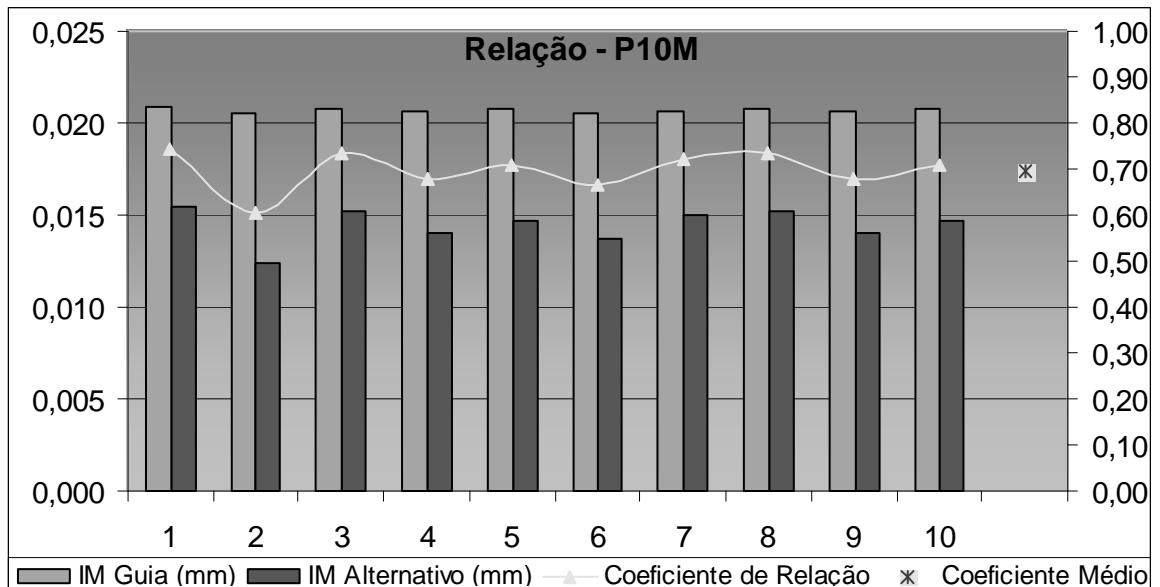
Tabela 3.3 – Coeficientes de relação para 5 medições – Paquímetro



3.3.1.3 Paquímetro realizando 10 medições

| Ensaio | ISO GUM | Proposto | Coefficiente de relação | Coefficiente Médio |
|--------|---------|----------|-------------------------|--------------------|
| 1 | 0,021 | 0,015 | 0,7 | 0,7 |
| 2 | 0,020 | 0,012 | 0,6 | |
| 3 | 0,021 | 0,015 | 0,7 | |
| 4 | 0,021 | 0,014 | 0,7 | |
| 5 | 0,021 | 0,015 | 0,7 | |
| 6 | 0,021 | 0,014 | 0,7 | |
| 7 | 0,021 | 0,015 | 0,7 | |
| 8 | 0,021 | 0,015 | 0,7 | |
| 9 | 0,021 | 0,014 | 0,7 | |
| 10 | 0,021 | 0,015 | 0,7 | |

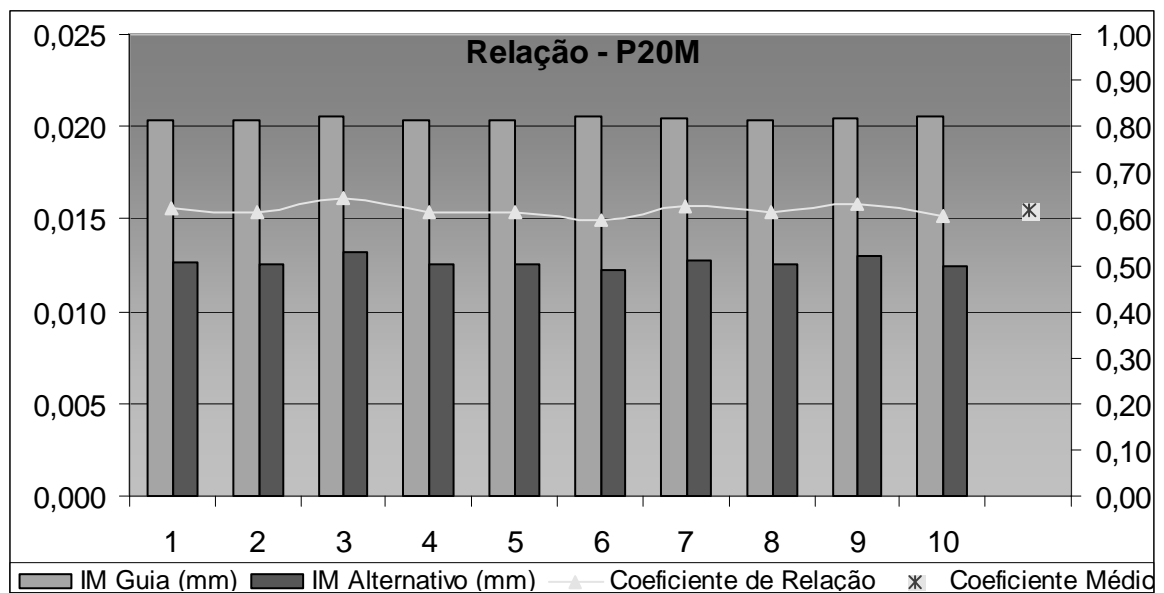
Tabela 3.4 – Coeficientes de relação para 10 medições – Paquímetro



3.3.1.4 Paquímetro realizando 20 medições

| Ensaio | ISO GUM | Proposto | Coefficiente de relação | Coefficiente Médio |
|--------|---------|----------|-------------------------|--------------------|
| 1 | 0,020 | 0,013 | 0,6 | 0,6 |
| 2 | 0,020 | 0,013 | 0,6 | |
| 3 | 0,021 | 0,013 | 0,6 | |
| 4 | 0,020 | 0,013 | 0,6 | |
| 5 | 0,020 | 0,013 | 0,6 | |
| 6 | 0,021 | 0,012 | 0,6 | |
| 7 | 0,020 | 0,013 | 0,6 | |
| 8 | 0,020 | 0,013 | 0,6 | |
| 9 | 0,020 | 0,013 | 0,6 | |
| 10 | 0,021 | 0,012 | 0,6 | |

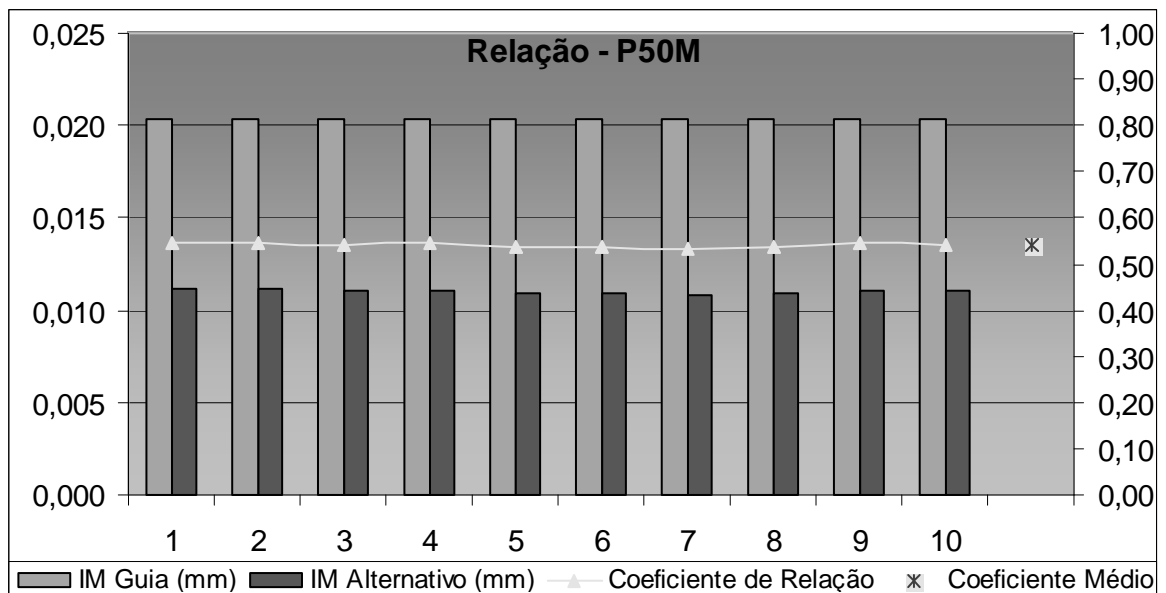
Tabela 3.5 – Coeficientes de relação para 20 medições – Paquímetro



3.3.1.5 Paquímetro realizando 50 medições

| Ensaio | ISO GUM | Proposto | Coefficiente de relação | Coefficiente Médio |
|--------|---------|----------|-------------------------|--------------------|
| 1 | 0,020 | 0,011 | 0,5 | 0,5 |
| 2 | 0,020 | 0,011 | 0,5 | |
| 3 | 0,020 | 0,011 | 0,5 | |
| 4 | 0,020 | 0,011 | 0,5 | |
| 5 | 0,020 | 0,011 | 0,5 | |
| 6 | 0,020 | 0,011 | 0,5 | |
| 7 | 0,020 | 0,011 | 0,5 | |
| 8 | 0,020 | 0,011 | 0,5 | |
| 9 | 0,020 | 0,011 | 0,5 | |
| 10 | 0,020 | 0,011 | 0,5 | |

Tabela 3.6 – Coeficientes de relação para 50 medições – Paquímetro



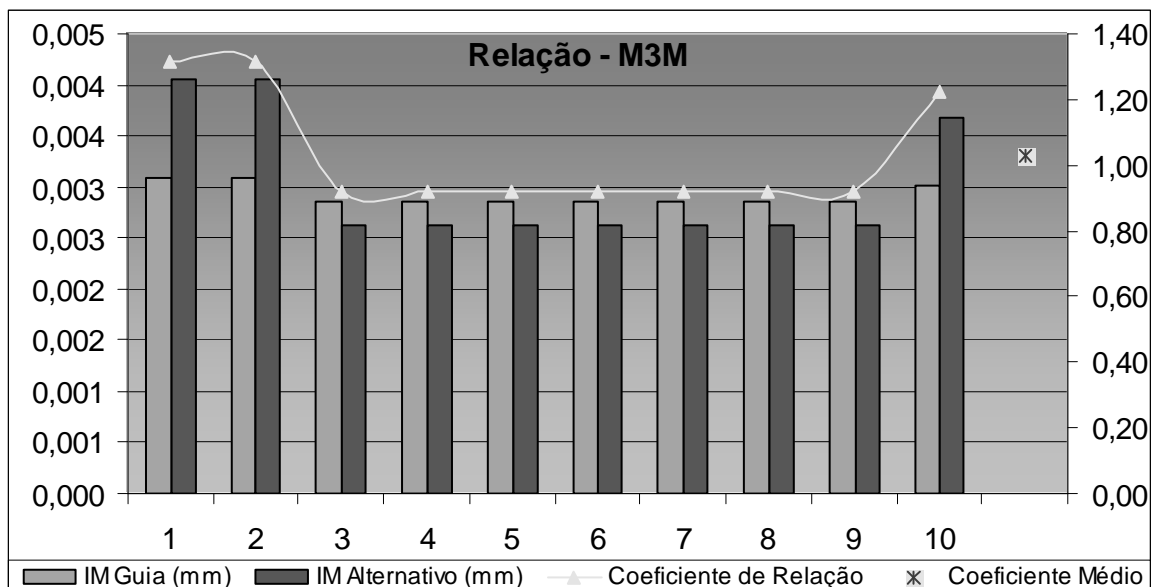
3.3.2 Ensaios realizados com o micrômetro

Neste item, serão mostrados os resultados das incertezas de medição encontrados para cada um dos ensaios **realizados** com o micrômetro, visando demonstrar a existência de um coeficiente de relação entre os dois métodos. Em cada uma das tabelas e gráficos está indicado este coeficiente.

3.3.2.1 Micrômetro realizando 3 medições

| Ensaio | ISO GUM | Proposto | Coeficiente de relação | Coeficiente Médio |
|--------|---------|----------|------------------------|-------------------|
| 1 | 0,0031 | 0,0041 | 1,3 | 1,0 |
| 2 | 0,0031 | 0,0041 | 1,3 | |
| 3 | 0,0029 | 0,0026 | 0,9 | |
| 4 | 0,0029 | 0,0026 | 0,9 | |
| 5 | 0,0029 | 0,0026 | 0,9 | |
| 6 | 0,0029 | 0,0026 | 0,9 | |
| 7 | 0,0029 | 0,0026 | 0,9 | |
| 8 | 0,0029 | 0,0026 | 0,9 | |
| 9 | 0,0029 | 0,0026 | 0,9 | |
| 10 | 0,0030 | 0,0037 | 1,2 | |

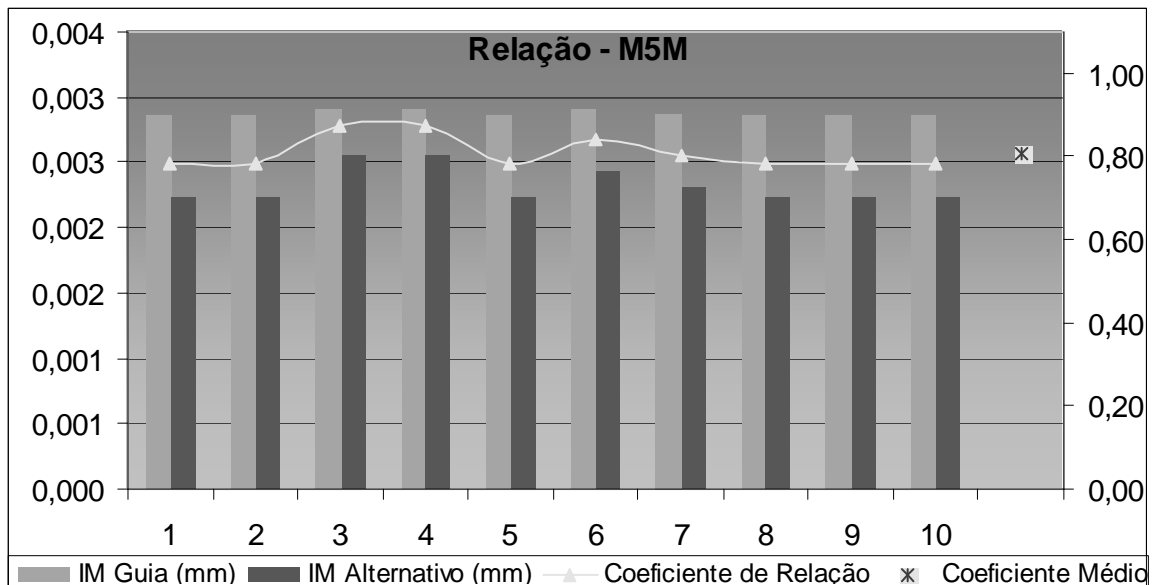
Tabela 3.2 – Coeficientes de relação para 3 medições – Micrômetro



3.3.2.2 Micrômetro realizando 5 medições

| Ensaio | ISO GUM | Proposto | Coefficiente de relação | Coefficiente Médio |
|--------|---------|----------|-------------------------|--------------------|
| 1 | 0,0029 | 0,0022 | 0,8 | 0,8 |
| 2 | 0,0029 | 0,0022 | 0,8 | |
| 3 | 0,0029 | 0,0026 | 0,9 | |
| 4 | 0,0029 | 0,0026 | 0,9 | |
| 5 | 0,0029 | 0,0022 | 0,8 | |
| 6 | 0,0029 | 0,0024 | 0,8 | |
| 7 | 0,0029 | 0,0023 | 0,8 | |
| 8 | 0,0029 | 0,0022 | 0,8 | |
| 9 | 0,0029 | 0,0022 | 0,8 | |
| 10 | 0,0029 | 0,0022 | 0,8 | |

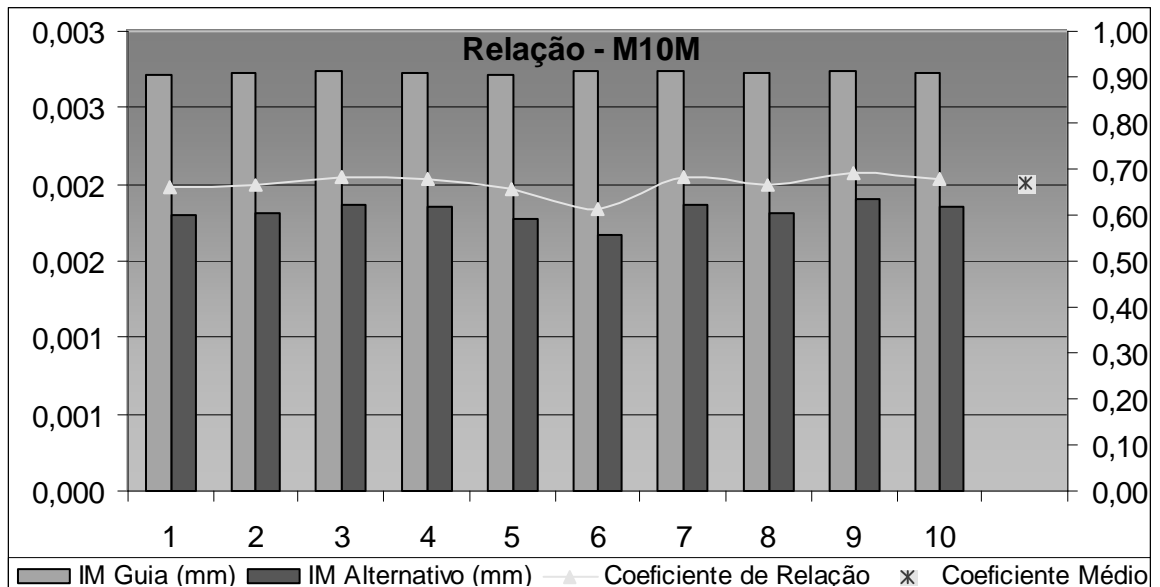
Tabela 3.3 – Coeficientes de relação para 5 medições – Micrômetro



3.3.2.3 Micrômetro realizando 10 medições

| Ensaio | ISO GUM | Proposto | Coefficiente de relação | Coefficiente Médio |
|--------|---------|----------|-------------------------|--------------------|
| 1 | 0,0027 | 0,0018 | 0,7 | 0,7 |
| 2 | 0,0027 | 0,0018 | 0,7 | |
| 3 | 0,0027 | 0,0019 | 0,7 | |
| 4 | 0,0027 | 0,0018 | 0,7 | |
| 5 | 0,0027 | 0,0018 | 0,7 | |
| 6 | 0,0027 | 0,0017 | 0,6 | |
| 7 | 0,0027 | 0,0019 | 0,7 | |
| 8 | 0,0027 | 0,0018 | 0,7 | |
| 9 | 0,0027 | 0,0019 | 0,7 | |
| 10 | 0,0027 | 0,0018 | 0,7 | |

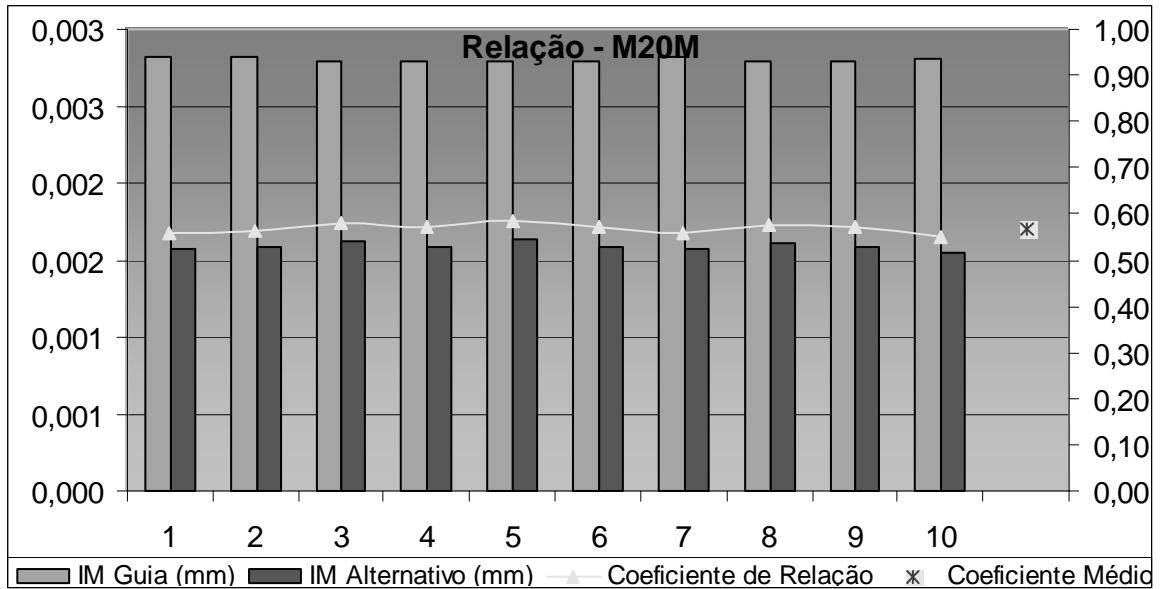
Tabela 3.4 – Coeficientes de relação para 10 medições – Micrômetro



3.3.2.4 Micrômetro realizando 20 medições

| Ensaio | ISO GUM | Proposto | Coefficiente de relação | Coefficiente Médio |
|--------|---------|----------|-------------------------|--------------------|
| 1 | 0,0028 | 0,0016 | 0,6 | 0,6 |
| 2 | 0,0028 | 0,0016 | 0,6 | |
| 3 | 0,0028 | 0,0016 | 0,6 | |
| 4 | 0,0028 | 0,0016 | 0,6 | |
| 5 | 0,0028 | 0,0016 | 0,6 | |
| 6 | 0,0028 | 0,0016 | 0,6 | |
| 7 | 0,0028 | 0,0016 | 0,6 | |
| 8 | 0,0028 | 0,0016 | 0,6 | |
| 9 | 0,0028 | 0,0016 | 0,6 | |
| 10 | 0,0028 | 0,0015 | 0,6 | |

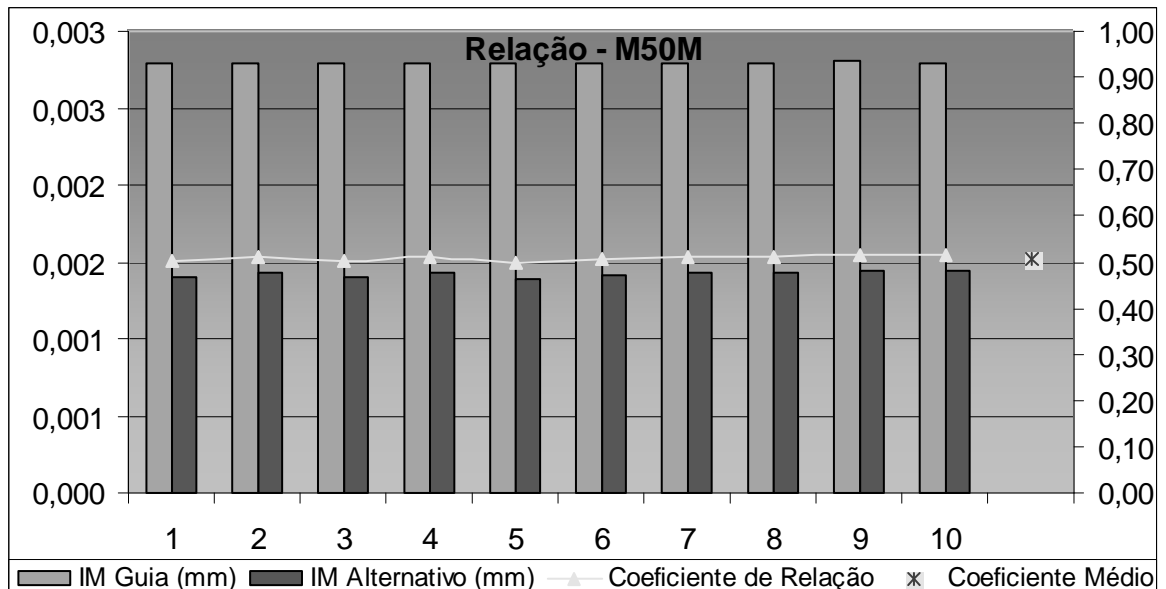
Tabela 3.5 – Coeficientes de relação para 20 medições – Micrômetro



3.3.2.5 Micrômetro realizando 50 medições

| Ensaio | ISO GUM | Proposto | Coefficiente de relação | Coefficiente Médio |
|--------|---------|----------|-------------------------|--------------------|
| 1 | 0,0028 | 0,0014 | 0,5 | 0,5 |
| 2 | 0,0028 | 0,0014 | 0,5 | |
| 3 | 0,0028 | 0,0014 | 0,5 | |
| 4 | 0,0028 | 0,0014 | 0,5 | |
| 5 | 0,0028 | 0,0014 | 0,5 | |
| 6 | 0,0028 | 0,0014 | 0,5 | |
| 7 | 0,0028 | 0,0014 | 0,5 | |
| 8 | 0,0028 | 0,0014 | 0,5 | |
| 9 | 0,0028 | 0,0014 | 0,5 | |
| 10 | 0,0028 | 0,0014 | 0,5 | |

Tabela 3.6 – Coeficientes de relação para 50 medições – Micrômetro



3.3.3 Coeficiente de relação médio

Neste item é mostrado o coeficiente médio de relação entre o método proposto e o método padronizado pelo ISO GUM, considerando-se apenas o número de medições realizadas.

Esta abordagem visa resumir os ensaios realizados para simplificar ainda mais o cálculo no chão de fábrica.

| | Coeficiente para o Paquímetro | Coeficiente para o Micrômetro | Coeficiente médio |
|------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| 3 medições | 1,48 | 1,31 | 1,0 |
| | 1,08 | 1,31 | |
| | 1,08 | 0,92 | |
| | 1,41 | 0,92 | |
| | 0,43 | 0,92 | |
| | 1,08 | 0,92 | |
| | 1,08 | 0,92 | |
| | 0,43 | 0,92 | |
| | 1,08 | 0,92 | |
| | 1,08 | 1,22 | |

Tabela 3.7 – Coeficiente médio de relação para 3 medições

| | Coeficiente para o Paquímetro | Coeficiente para o Micrômetro | Coeficiente médio |
|------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| 5 medições | 0,75 | 0,78 | 0,9 |
| | 0,97 | 0,78 | |
| | 0,90 | 0,88 | |
| | 0,90 | 0,88 | |
| | 0,90 | 0,78 | |
| | 0,75 | 0,84 | |
| | 0,92 | 0,80 | |
| | 0,92 | 0,78 | |
| | 0,90 | 0,78 | |
| | 0,92 | 0,78 | |

Tabela 3.8 – Coeficiente médio de relação para 5 medições

| | Coeficiente para o Paquímetro | Coeficiente para o Micrômetro | Coeficiente médio |
|----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| 10 medições | 0,74 | 0,66 | 0,7 |
| | 0,60 | 0,67 | |
| | 0,73 | 0,68 | |
| | 0,68 | 0,68 | |
| | 0,71 | 0,66 | |
| | 0,67 | 0,61 | |
| | 0,72 | 0,68 | |
| | 0,73 | 0,67 | |
| | 0,68 | 0,69 | |
| | 0,71 | 0,68 | |

Tabela 3.9 – Coeficiente médio de relação para 10 medições

| | Coeficiente para o Paquímetro | Coeficiente para o Micrômetro | Coeficiente médio |
|----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| 20 medições | 0,62 | 0,56 | 0,6 |
| | 0,62 | 0,56 | |
| | 0,65 | 0,58 | |
| | 0,62 | 0,57 | |
| | 0,62 | 0,59 | |
| | 0,60 | 0,57 | |
| | 0,63 | 0,56 | |
| | 0,62 | 0,58 | |
| | 0,63 | 0,57 | |
| | 0,61 | 0,55 | |

Tabela 3.10 – Coeficiente médio de relação para 20 medições

| | Coeficiente para o Paquímetro | Coeficiente para o Micrômetro | Coeficiente médio |
|----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| 50 medições | 0,55 | 0,50 | 0,5 |
| | 0,55 | 0,51 | |
| | 0,54 | 0,50 | |
| | 0,55 | 0,51 | |
| | 0,54 | 0,50 | |
| | 0,54 | 0,51 | |
| | 0,53 | 0,51 | |
| | 0,54 | 0,51 | |
| | 0,54 | 0,51 | |
| | 0,54 | 0,51 | |

Tabela 3.11 – Coeficiente médio de relação para 50 medições

3.4 Considerações Finais

Conforme dito no início deste capítulo, o experimento foi realizado para que fosse possível conhecer a amplitude das variações das componentes de incerteza, que integram a incerteza expandida de cada um dos métodos estudados neste trabalho. As distribuições associadas a cada uma das parcelas já foi indicada no capítulo anterior.

Também foi possível determinar a relação entre os resultados das incertezas de medição dos dois métodos.

Estas distribuições e as suas variações máximas serão utilizadas na elaboração da simulação, que será apresentada no próximo capítulo. Com a simulação espera-se demonstrar e consolidar o método proposto como um método simples e confiável, ao ser verificada a relação existente entre os dois métodos.

4. SIMULAÇÃO

4.1 Considerações Iniciais

No capítulo anterior foi relatada a realização dos experimentos, onde foram utilizados os dois métodos de cálculo de incerteza de medição: o padronizado pelo ISO GUM e o proposto neste trabalho.

Neste capítulo será realizada a simulação da realização de milhares daqueles ensaios, usando-se o *software* **Crystal Ball 2000**. Ele está disponível para *download* através do *site* <http://www.decisioneering.com/downloadform.html>. O usuário poderá usar o software livremente por um período de até 30 dias. Após este período, caso haja interesse, o usuário deverá registrá-lo e pagar pela licença de uso.

Este software automatiza as mais complexas análises de incerteza usando simulação de Monte Carlo, através da aplicação de uma escala de valores ou de uma distribuição de probabilidades para cada variável incerta.

Para isso, o programa gera valores randômicos dentro de cada limite dos valores da função densidade de probabilidade e recalcula o modelo milhares de vezes, armazenando os resultados de cada cenário de incerteza. Este processo de geração e armazenamento de dados agiliza os processos experimentais, economizando tempo na geração manual dos dados necessários para que sejam testados os diferentes cenários de incerteza.

O *Crystal Ball* calcula automaticamente milhares de casos, mantendo a entrada de dados e os resultados dos cálculos como cenários individuais. A análise destes cenários revela a escala de resultados possíveis, sua probabilidade de ocorrer, qual entrada tem um efeito maior em seu modelo e onde eventualmente deve-se atuar.

Neste trabalho, para a realização da simulação, serão consideradas as distribuições e as máximas variações de cada uma das parcelas de incerteza, determinadas no capítulo anterior.

Para que se possa realizar a simulação utilizada neste capítulo, é necessário que o pesquisador siga os passos a seguir:

- Estabelecer a formulação a ser simulada;
- Especificar as distribuições de cada uma das parcelas envolvidas na formulação;
- Especificar as características de cada uma destas distribuições;
- Determinar a quantidade de simulações a serem realizadas;
- Executar a simulação e avaliar os resultados.

A simulação consiste em fazer variar os valores para cada uma das parcelas de incerteza, segundo a distribuição e as variações estabelecidas.

Neste capítulo serão apresentados os resultados da simulação realizada para o caso do paquímetro realizando 10 medições, com as mesmas condições do ensaio realizado no laboratório. As demais simulações estão reproduzidas no Apêndice B.

4.2 Distribuições das parcelas de incerteza

Na tabela 4.1 estão indicados os tipos de distribuição bem como o valor correspondente a sua incerteza padrão, que foi definida como sendo a máxima variação da parcela de incerteza. Os valores desta tabela correspondem aos resultados para o paquímetro realizando 3 medições.

| Parcelas da Incerteza | Método | Distribuição | Incerteza Padrão (mm) |
|------------------------------|--------------------|---------------------|------------------------------|
| Incerteza Tipo A | ISO GUM | Normal | 0,0062 |
| Influência da Temperatura | ISO GUM | Triangular | 0,00029 |
| Resolução do SM | ISO GUM | Uniforme | 0,0029 |
| Calibração do SM | ISO GUM e Proposto | Student | 0,0087 |
| Desvio Padrão das Medições | Proposto | Normal | 0,0195 |

Tabela 4.1 – Variações Máximas encontradas nos ensaios

Para os ensaios onde o número de medições é diferente de 3, a parcela que sofre alteração é aquela relativa ao desvio padrão das medições. Assim, para os demais casos temos as variações máximas de 0,0110, 0,0105, 0,0103 e 0,0095 mm, respectivamente a 5, 10, 20 e 50 medições.

4.3 Simulação do Paquímetro com 10 medições

4.3.1 Método do ISO GUM

Para a elaboração da simulação foram definidas as distribuições com os seus respectivos valores. A simulação foi feita com 5000 experimentos utilizando a formulação que está indicada no item 3.2.3.1. A planilha elaborada para executar a simulação está reproduzida a seguir (tabela 4.2). As distribuições e os seus respectivos parâmetros estão apresentados na seqüência.

4.3.1.1 Planilha elaborada para executar a simulação

Para a execução da simulação foi elaborada a planilha mostrada na tabela 4.2, onde se têm as variáveis independentes que serão simuladas: as parcelas da incerteza; o número de

medições a ser simulado e as variáveis dependentes resultantes da simulação e do número de medições: incerteza de medição combinada, grau de liberdade, fator de abrangência e principalmente a incerteza expandida.

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|---|--------------|-------------------------|
| Incerteza Tipo A | Normal | 10,7295 |
| Influência da Temperatura | Triangular | 0,2730 |
| Calibração do SM | Student | 8,7000 |
| Resolução do SM | Uniforme | 2,8868 |
| Número de medições | | 3 |
| Incerteza padrão combinada | | 14,1145 |
| Graus de Liberdade | | 5,4644 |
| Fator de Abrangência - k | | 2,5706 |
| Incerteza Expandida (μm) | | 36,2825 |

Tabela 4.2 – Planilha de cálculo usada na simulação para o método do ISO GUM

4.3.1.2 Resultados da Simulação

Como resultados da simulação, o *software Crystal Ball 2000* oferece as seguintes informações:

- a) Distribuição de frequência, mostrada na figura 4.1: onde se verifica a probabilidade e a frequência de cada resultado, os valores máximo e mínimo para a incerteza de acordo com o grau de confiança desejada.

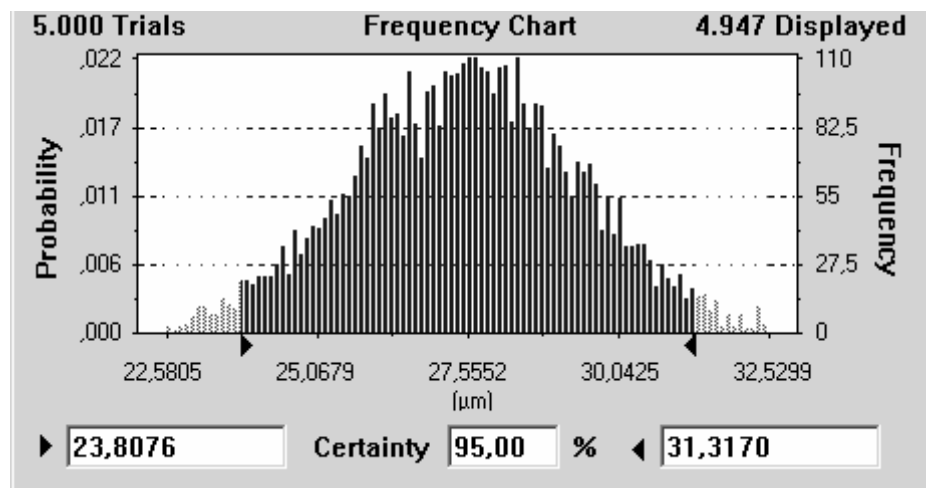


Figura 4.1 – Distribuição de frequência para 10 medições – método do ISO GUM

- b) Estatísticas, mostradas na figura 4.2: onde são verificados os indicadores relevantes ao trabalho (média das incertezas de medição, desvio padrão das incertezas de medição, Mediana, Valor Mínimo, Valor Máximo, Amplitude de Variação e o Erro padrão médio).

| Cell C14 Statistics | |
|-----------------------|---------|
| Statistic | Value |
| Trials | 5,000 |
| Mean | 27,5694 |
| Median | 27,5787 |
| Mode | --- |
| Standard Deviation | 1,9396 |
| Variance | 3,7620 |
| Skewness | 0,06 |
| Kurtosis | 3,12 |
| Coeff. of Variability | 0,07 |
| Range Minimum | 19,7141 |
| Range Maximum | 34,9445 |
| Range Width | 15,2305 |
| Mean Std. Error | 0,0274 |

Figura 4.2- Indicadores estatísticos relevantes ao trabalho – método do ISO GUM

- c) Gráfico da sensibilidade de cada uma das parcelas da incerteza (Fig. 4.3): onde é verificada a contribuição de cada uma das parcelas da incerteza para o resultado da incerteza expandida.

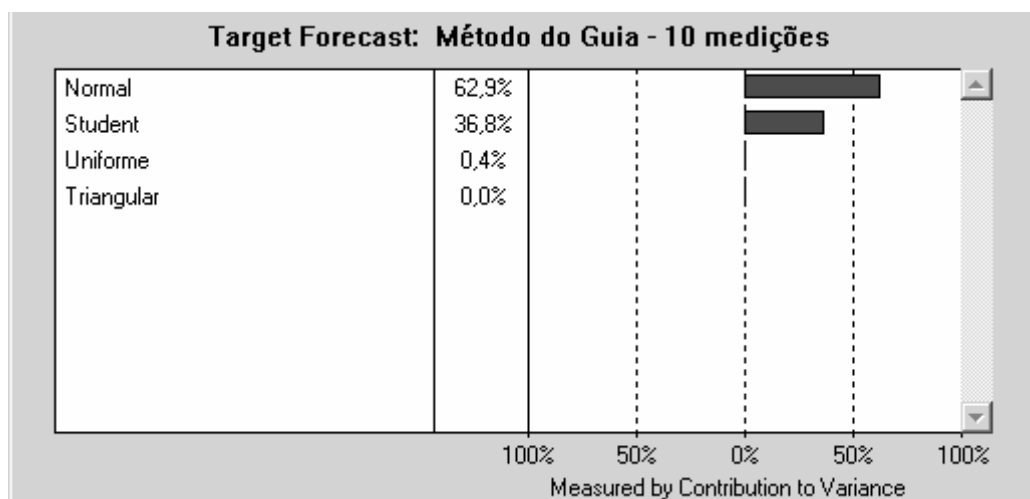


Figura 4.3- Sensibilidade às incertezas – método do ISO GUM

- d) Resultados dos experimentos agrupados por faixa
 No gráfico apresentado na figura 4.1, mostrado no item “a”, os experimentos foram divididos em 100 grupos, conforme pode ser visto na tabela 4.3.
- e) Resultados individuais: o *software* também apresenta a lista que contém os resultados encontrados em cada um dos experimentos. Como esta lista é extensa (5000 experimentos), ela não será apresentada neste capítulo.

| Grupo | Valor Inicial | Valor Final | Frequência | Grupo | Valor Inicial | Valor Final | Frequência |
|-------|---------------|-------------|------------|-------|---------------|-------------|------------|
| | - ∞ | 22,6640 | 35 | 51 | 27,5653 | 27,6633 | 90 |
| 1 | 22,6640 | 22,7620 | 5 | 52 | 27,6633 | 27,7614 | 88 |
| 2 | 22,7620 | 22,8601 | 9 | 53 | 27,7614 | 27,8594 | 101 |
| 3 | 22,8601 | 22,9581 | 5 | 54 | 27,8594 | 27,9574 | 104 |
| 4 | 22,9581 | 23,0561 | 6 | 55 | 27,9574 | 28,0555 | 101 |
| 5 | 23,0561 | 23,1541 | 8 | 56 | 28,0555 | 28,1535 | 109 |
| 6 | 23,1541 | 23,2522 | 10 | 57 | 28,1535 | 28,2515 | 92 |
| 7 | 23,2522 | 23,3502 | 11 | 58 | 28,2515 | 28,3495 | 90 |
| 8 | 23,3502 | 23,4482 | 15 | 59 | 28,3495 | 28,4476 | 101 |
| 9 | 23,4482 | 23,5462 | 6 | 60 | 28,4476 | 28,5456 | 85 |
| 10 | 23,5462 | 23,6443 | 10 | 61 | 28,5456 | 28,6436 | 100 |
| 11 | 23,6443 | 23,7423 | 15 | 62 | 28,6436 | 28,7416 | 97 |
| 12 | 23,7423 | 23,8403 | 14 | 63 | 28,7416 | 28,8397 | 83 |
| 13 | 23,8403 | 23,9383 | 13 | 64 | 28,8397 | 28,9377 | 90 |
| 14 | 23,9383 | 24,0364 | 18 | 65 | 28,9377 | 29,0357 | 92 |
| 15 | 24,0364 | 24,1344 | 19 | 66 | 29,0357 | 29,1337 | 67 |
| 16 | 24,1344 | 24,2324 | 19 | 67 | 29,1337 | 29,2318 | 62 |
| 17 | 24,2324 | 24,3304 | 33 | 68 | 29,2318 | 29,3298 | 73 |
| 18 | 24,3304 | 24,4285 | 26 | 69 | 29,3298 | 29,4278 | 67 |
| 19 | 24,4285 | 24,5265 | 30 | 70 | 29,4278 | 29,5259 | 58 |
| 20 | 24,5265 | 24,6245 | 27 | 71 | 29,5259 | 29,6239 | 59 |
| 21 | 24,6245 | 24,7226 | 32 | 72 | 29,6239 | 29,7219 | 41 |
| 22 | 24,7226 | 24,8206 | 31 | 73 | 29,7219 | 29,8199 | 43 |
| 23 | 24,8206 | 24,9186 | 43 | 74 | 29,8199 | 29,9180 | 62 |
| 24 | 24,9186 | 25,0166 | 43 | 75 | 29,9180 | 30,0160 | 39 |
| 25 | 25,0166 | 25,1147 | 43 | 76 | 30,0160 | 30,1140 | 45 |
| 26 | 25,1147 | 25,2127 | 42 | 77 | 30,1140 | 30,2120 | 33 |
| 27 | 25,2127 | 25,3107 | 47 | 78 | 30,2120 | 30,3101 | 39 |
| 28 | 25,3107 | 25,4087 | 54 | 79 | 30,3101 | 30,4081 | 35 |
| 29 | 25,4087 | 25,5068 | 57 | 80 | 30,4081 | 30,5061 | 34 |
| 30 | 25,5068 | 25,6048 | 50 | 81 | 30,5061 | 30,6041 | 35 |
| 31 | 25,6048 | 25,7028 | 71 | 82 | 30,6041 | 30,7022 | 28 |
| 32 | 25,7028 | 25,8008 | 71 | 83 | 30,7022 | 30,8002 | 26 |
| 33 | 25,8008 | 25,8989 | 69 | 84 | 30,8002 | 30,8982 | 14 |
| 34 | 25,8989 | 25,9969 | 76 | 85 | 30,8982 | 30,9962 | 18 |
| 35 | 25,9969 | 26,0949 | 80 | 86 | 30,9962 | 31,0943 | 26 |
| 36 | 26,0949 | 26,1930 | 57 | 87 | 31,0943 | 31,1923 | 25 |
| 37 | 26,1930 | 26,2910 | 61 | 88 | 31,1923 | 31,2903 | 23 |
| 38 | 26,2910 | 26,3890 | 90 | 89 | 31,2903 | 31,3884 | 14 |
| 39 | 26,3890 | 26,4870 | 110 | 90 | 31,3884 | 31,4864 | 18 |
| 40 | 26,4870 | 26,5851 | 73 | 91 | 31,4864 | 31,5844 | 11 |
| 41 | 26,5851 | 26,6831 | 98 | 92 | 31,5844 | 31,6824 | 9 |
| 42 | 26,6831 | 26,7811 | 110 | 93 | 31,6824 | 31,7805 | 14 |
| 43 | 26,7811 | 26,8791 | 108 | 94 | 31,7805 | 31,8785 | 6 |
| 44 | 26,8791 | 26,9772 | 91 | 95 | 31,8785 | 31,9765 | 4 |
| 45 | 26,9772 | 27,0752 | 92 | 96 | 31,9765 | 32,0745 | 5 |
| 46 | 27,0752 | 27,1732 | 93 | 97 | 32,0745 | 32,1726 | 2 |
| 47 | 27,1732 | 27,2712 | 85 | 98 | 32,1726 | 32,2706 | 7 |
| 48 | 27,2712 | 27,3693 | 96 | 99 | 32,2706 | 32,3686 | 8 |
| 49 | 27,3693 | 27,4673 | 94 | 100 | 32,3686 | 32,4666 | 6 |
| 50 | 27,4673 | 27,5653 | 109 | | 32,4666 | + ∞ | 11 |

Tabela 4.3 – Distribuição de frequência dentro dos grupos estabelecidos – método do ISO GUM

4.3.2 Método Proposto

Para este caso também foram definidas as distribuições e os seus respectivos valores. A simulação também foi realizada com 5000 experimentos, mas desta vez a formulação utilizada é a que está indicada no item 3.2.3.3. A planilha elaborada para executar a simulação está reproduzida na tabela 4.4.

4.3.2.1 Planilha elaborada para executar a simulação

Para a execução da simulação foi elaborada a planilha abaixo onde se têm as variáveis independentes que serão simuladas: as parcelas da incerteza; o número de medições a ser simulado e a variável dependente resultante da simulação e do número de medições: incerteza de medição.

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|--|--------------|-------------------------|
| Desvio Padrão das medições | Normal | 8,0342 |
| Calibração do SM | Student | 8,7000 |
| Número de medições | | 10 |
| t de Student | | 2,2622 |
| Incerteza da Medição (μm) | | 14,4473 |

Tabela 4.4 – Planilha de cálculo usada na simulação para o método proposto

4.3.2.2 Resultados da Simulação

Da mesma forma, como resultados da simulação, o *software Crystal Ball 2000* oferece as seguintes informações:

- a) Distribuição de freqüência, mostrada na figura 4.4.

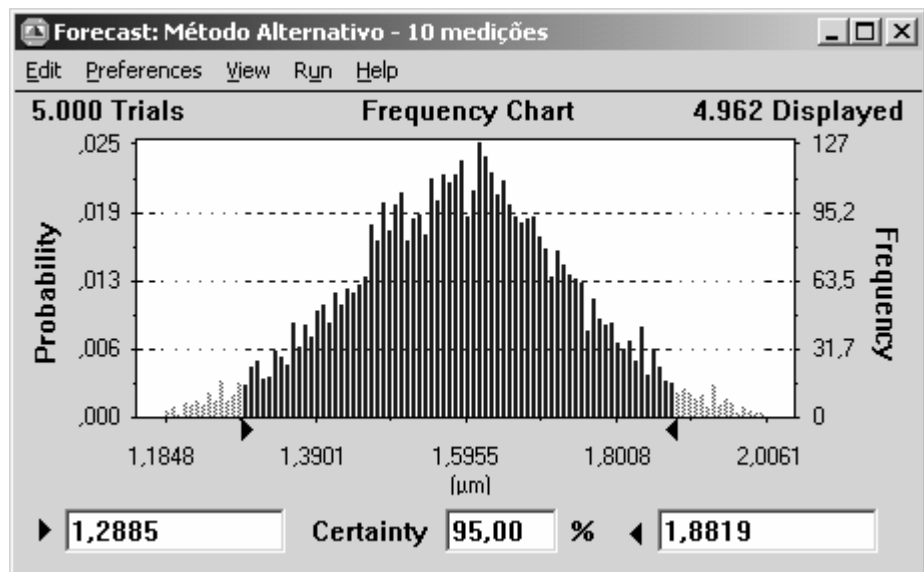


Figura 4.4 – Distribuição de freqüência para 10 medições – método proposto

b) Estatísticas, mostradas na figura 4.5

| Cell C10 | | Statistics | |
|----------|--|-----------------------|--------|
| | | Statistic | Value |
| | | Trials | 5.000 |
| | | Mean | 1,5890 |
| | | Median | 1,5913 |
| | | Mode | --- |
| | | Standard Deviation | 0,1520 |
| | | Variance | 0,0231 |
| | | Skewness | -0,08 |
| | | Kurtosis | 3,13 |
| | | Coeff. of Variability | 0,10 |
| | | Range Minimum | 0,9574 |
| | | Range Maximum | 2,2003 |
| | | Range Width | 1,2429 |
| | | Mean Std. Error | 0,0021 |

Figura 4.5- Indicadores estatísticos relevantes ao trabalho – método proposto

c) Gráfico da sensibilidade de cada uma das parcelas da incerteza, mostrado na Figura 4.6.

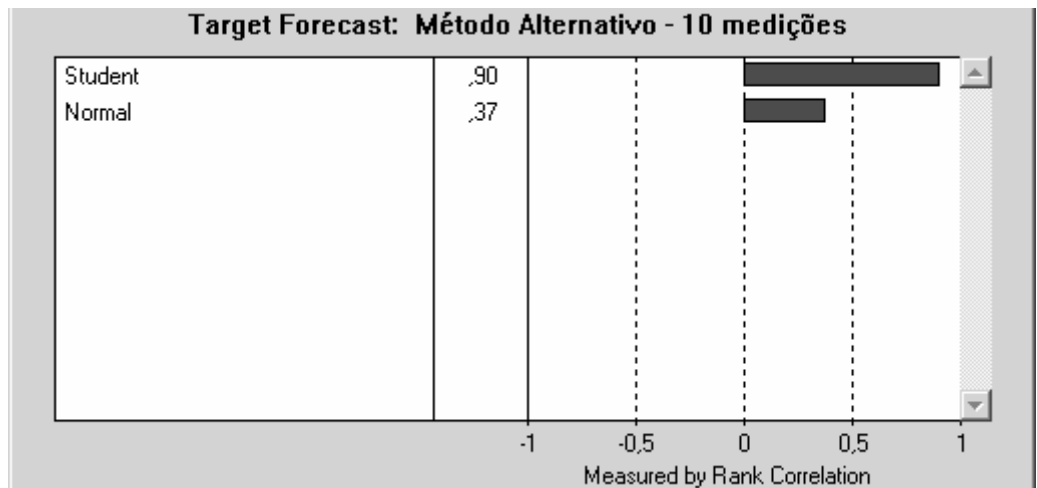


Figura 4.6- Sensibilidade às incertezas – método proposto

- d) Resultados dos experimentos agrupados por faixa. No gráfico mostrado no item “a”, os experimentos foram divididos em 100 grupos.
- e) Resultados individuais: o *software* também apresenta a lista que contém os resultados encontrados em cada um dos experimentos. Como esta lista é extensa (5000 experimentos), ela não será apresentada neste capítulo.

| Grupo | Valor Inicial | Valor Final | Frequência | Grupo | Valor Inicial | Valor Final | Frequência |
|-------|---------------|-------------|------------|-------|---------------|-------------|------------|
| | - ∞ | 11,1809 | 38 | 51 | 14,4708 | 14,5366 | 115 |
| 1 | 11,1809 | 11,2467 | 2 | 52 | 14,5366 | 14,6024 | 85 |
| 2 | 11,2467 | 11,3125 | 2 | 53 | 14,6024 | 14,6682 | 125 |
| 3 | 11,3125 | 11,3783 | 3 | 54 | 14,6682 | 14,7340 | 117 |
| 4 | 11,3783 | 11,4441 | 4 | 55 | 14,7340 | 14,7998 | 82 |
| 5 | 11,4441 | 11,5099 | 7 | 56 | 14,7998 | 14,8656 | 100 |
| 6 | 11,5099 | 11,5757 | 8 | 57 | 14,8656 | 14,9314 | 84 |
| 7 | 11,5757 | 11,6415 | 8 | 58 | 14,9314 | 14,9972 | 108 |
| 8 | 11,6415 | 11,7073 | 13 | 59 | 14,9972 | 15,0630 | 119 |
| 9 | 11,7073 | 11,7731 | 17 | 60 | 15,0630 | 15,1288 | 99 |
| 10 | 11,7731 | 11,8389 | 15 | 61 | 15,1288 | 15,1946 | 81 |
| 11 | 11,8389 | 11,9047 | 16 | 62 | 15,1946 | 15,2604 | 84 |
| 12 | 11,9047 | 11,9705 | 9 | 63 | 15,2604 | 15,3262 | 71 |
| 13 | 11,9705 | 12,0363 | 20 | 64 | 15,3262 | 15,3920 | 62 |
| 14 | 12,0363 | 12,1021 | 15 | 65 | 15,3920 | 15,4578 | 75 |
| 15 | 12,1021 | 12,1679 | 30 | 66 | 15,4578 | 15,5236 | 76 |
| 16 | 12,1679 | 12,2337 | 19 | 67 | 15,5236 | 15,5894 | 77 |
| 17 | 12,2337 | 12,2995 | 23 | 68 | 15,5894 | 15,6552 | 74 |
| 18 | 12,2995 | 12,3653 | 29 | 69 | 15,6552 | 15,7210 | 59 |
| 19 | 12,3653 | 12,4311 | 31 | 70 | 15,7210 | 15,7868 | 56 |
| 20 | 12,4311 | 12,4969 | 29 | 71 | 15,7868 | 15,8526 | 61 |
| 21 | 12,4969 | 12,5627 | 36 | 72 | 15,8526 | 15,9184 | 56 |
| 22 | 12,5627 | 12,6285 | 35 | 73 | 15,9184 | 15,9842 | 51 |
| 23 | 12,6285 | 12,6943 | 41 | 74 | 15,9842 | 16,0500 | 49 |
| 24 | 12,6943 | 12,7601 | 43 | 75 | 16,0500 | 16,1158 | 39 |
| 25 | 12,7601 | 12,8259 | 54 | 76 | 16,1158 | 16,1816 | 35 |
| 26 | 12,8259 | 12,8917 | 46 | 77 | 16,1816 | 16,2474 | 46 |
| 27 | 12,8917 | 12,9575 | 49 | 78 | 16,2474 | 16,3132 | 36 |
| 28 | 12,9575 | 13,0233 | 52 | 79 | 16,3132 | 16,3790 | 24 |
| 29 | 13,0233 | 13,0891 | 58 | 80 | 16,3790 | 16,4448 | 36 |
| 30 | 13,0891 | 13,1549 | 59 | 81 | 16,4448 | 16,5106 | 35 |
| 31 | 13,1549 | 13,2207 | 63 | 82 | 16,5106 | 16,5764 | 20 |
| 32 | 13,2207 | 13,2865 | 61 | 83 | 16,5764 | 16,6422 | 22 |
| 33 | 13,2865 | 13,3522 | 59 | 84 | 16,6422 | 16,7080 | 21 |
| 34 | 13,3522 | 13,4180 | 75 | 85 | 16,7080 | 16,7738 | 12 |
| 35 | 13,4180 | 13,4838 | 67 | 86 | 16,7738 | 16,8396 | 20 |
| 36 | 13,4838 | 13,5496 | 86 | 87 | 16,8396 | 16,9054 | 19 |
| 37 | 13,5496 | 13,6154 | 89 | 88 | 16,9054 | 16,9712 | 12 |
| 38 | 13,6154 | 13,6812 | 98 | 89 | 16,9712 | 17,0370 | 11 |
| 39 | 13,6812 | 13,7470 | 93 | 90 | 17,0370 | 17,1028 | 9 |
| 40 | 13,7470 | 13,8128 | 80 | 91 | 17,1028 | 17,1686 | 11 |
| 41 | 13,8128 | 13,8786 | 79 | 92 | 17,1686 | 17,2344 | 13 |
| 42 | 13,8786 | 13,9444 | 81 | 93 | 17,2344 | 17,3002 | 6 |
| 43 | 13,9444 | 14,0102 | 101 | 94 | 17,3002 | 17,3660 | 9 |
| 44 | 14,0102 | 14,0760 | 114 | 95 | 17,3660 | 17,4318 | 6 |
| 45 | 14,0760 | 14,1418 | 94 | 96 | 17,4318 | 17,4976 | 9 |
| 46 | 14,1418 | 14,2076 | 91 | 97 | 17,4976 | 17,5633 | 5 |
| 47 | 14,2076 | 14,2734 | 104 | 98 | 17,5633 | 17,6291 | 8 |
| 48 | 14,2734 | 14,3392 | 96 | 99 | 17,6291 | 17,6949 | 2 |
| 49 | 14,3392 | 14,4050 | 94 | 100 | 17,6949 | 17,7607 | 4 |
| 50 | 14,4050 | 14,4708 | 102 | | 18,5369 | + ∞ | 16 |

Tabela 4.3 – Distribuição de frequência dentro dos grupos estabelecidos – método proposto

4.4 Comparação dos Resultados

Para que se possam comparar os resultados encontrados com os dois métodos, é preciso analisar as estatísticas de cada um deles. A tabela 4.6 mostra estas estatísticas.

| Estatística | ISO GUM | Proposto |
|------------------------|----------------|-----------------|
| Média | 27,5345 | 14,4243 |
| Mediana | 27,5501 | 14,4470 |
| Desvio Padrão | 1,9220 | 1,2844 |
| Variância | 3,6939 | 1,6497 |
| Assimetria (Skewness) | -0,08 | -0,02 |
| Curtose (Kurtosis) | 2,93 | 3,06 |
| Coef. de Variabilidade | 0,07 | 0,09 |
| Valor Mínimo | 20,7995 | 9,5922 |
| Valor Máximo | 34,0135 | 18,8603 |
| Amplitude | 13,2140 | 9,2681 |
| Erro padrão médio | 0,0272 | 0,0182 |

Tabela 4.6 – Comparativo entre as estatísticas dos dois métodos

O valor da assimetria das duas distribuições – *Skewness* – mostra que elas podem ser consideradas distribuições normais, pois estes valores tendem a zero.

De acordo com o que foi dito no parágrafo anterior e considerando que são usadas as mesmas medições para os dois métodos estudados, é possível admitir que o coeficiente de relação entre as incertezas dos dois métodos pode ser baseado na relação entre as médias destas incertezas. Desta forma e com estas condições simplificadoras, pode-se dizer que o coeficiente de relação do experimento mostrado neste item é igual a 0,52.

Assim, para um mesmo conjunto de medições, obteremos o valor da incerteza de medição calculada pelo método do ISO GUM, dividindo por 0,52 o valor da incerteza de medição calculada pelo método proposto.

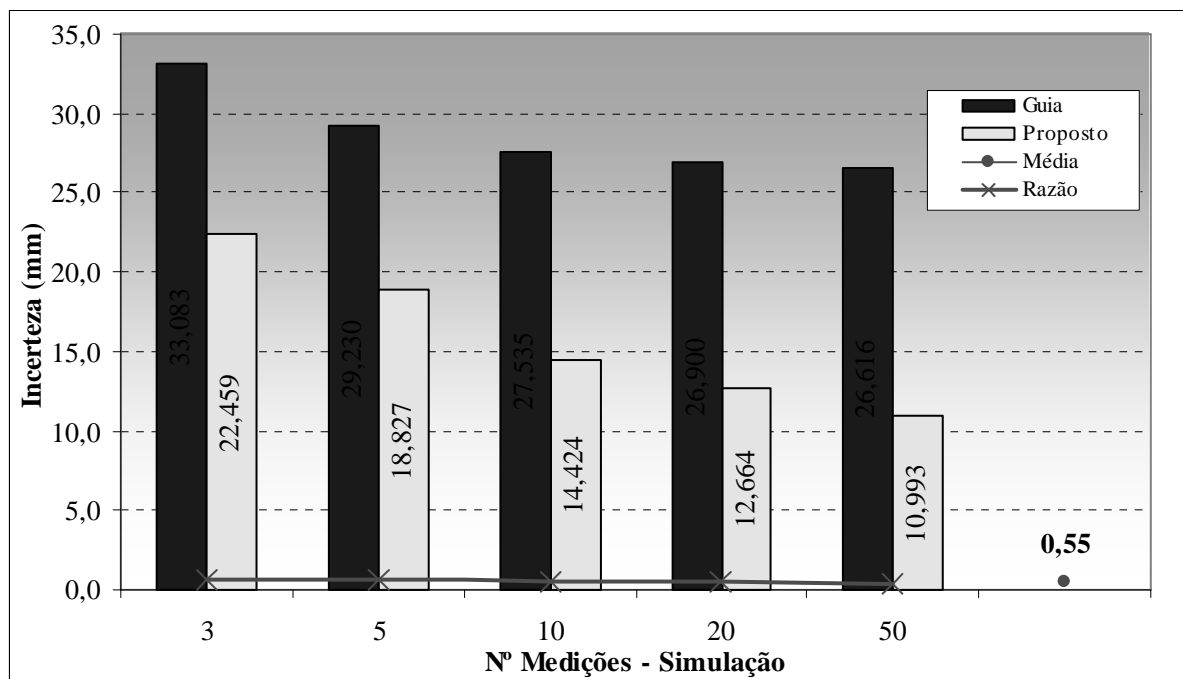
Os demais coeficientes serão apresentados de forma similar, mas resumidamente e assim ter-se-á estabelecido o coeficiente para cada um dos grupos de número de medições realizados.

4.5 Coeficientes de relação

Como pode ser visto no apêndice 2, as distribuições encontradas na simulação são consideradas distribuições normais e desta forma pode-se estabelecer os coeficientes de relação mostrados na tabela 4.7, para o paquímetro, e na tabela 4.8, para o micrômetro.

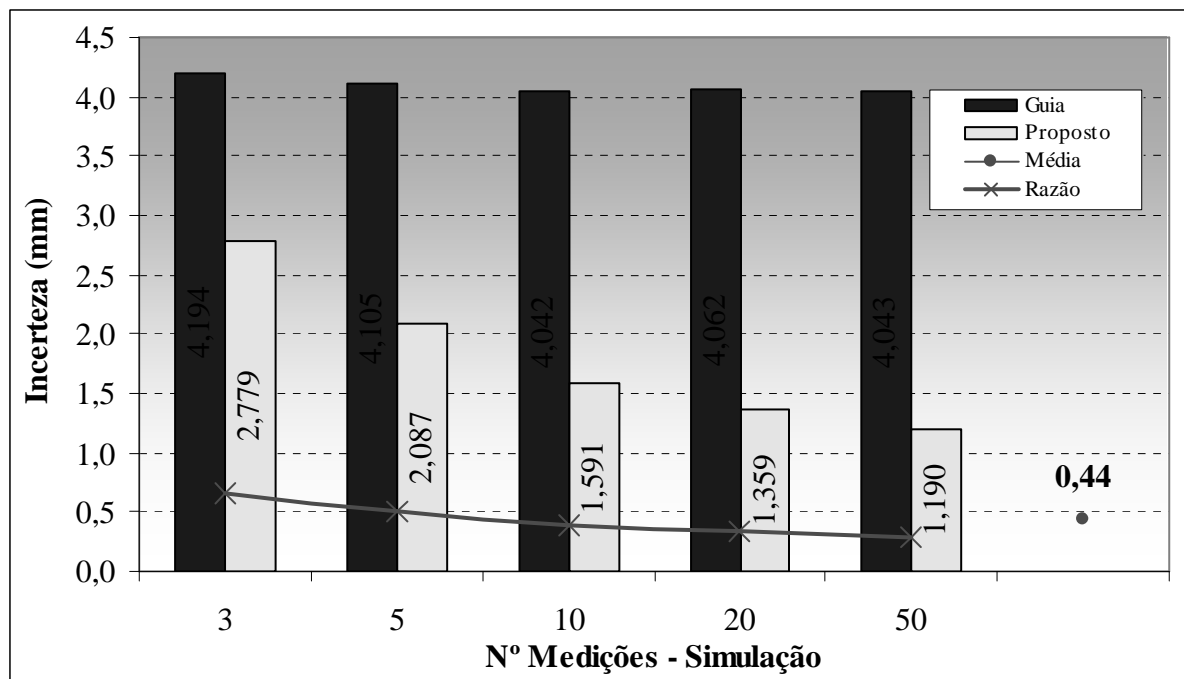
| Nº de medições | Método | Média do Método | Coefficiente de relação | Coefficiente Médio |
|----------------|----------|-----------------|-------------------------|--------------------|
| 3 | ISO GUM | 33,0833 | 0,68 | 0,55 |
| | Proposto | 22,4593 | | |
| 5 | ISO GUM | 29,2299 | 0,64 | |
| | Proposto | 18,8271 | | |
| 10 | ISO GUM | 27,5345 | 0,52 | |
| | Proposto | 14,4243 | | |
| 20 | ISO GUM | 26,8998 | 0,47 | |
| | Proposto | 12,6638 | | |
| 50 | ISO GUM | 26,6162 | 0,41 | |
| | Proposto | 10,9927 | | |

Tabela 4.7 – Coeficientes de relação entre os dois métodos – Paquímetro



| Nº de medições | Método | Média do Método | Coefficiente de relação | Coefficiente Médio |
|----------------|----------|-----------------|-------------------------|--------------------|
| 3 | ISO GUM | 4,1941 | 0,66 | 0,44 |
| | Proposto | 2,7789 | | |
| 5 | ISO GUM | 4,1048 | 0,51 | |
| | Proposto | 2,0867 | | |
| 10 | ISO GUM | 4,0417 | 0,39 | |
| | Proposto | 1,5913 | | |
| 20 | ISO GUM | 4,0623 | 0,33 | |
| | Proposto | 1,3590 | | |
| 50 | ISO GUM | 4,0428 | 0,29 | |
| | Proposto | 1,1901 | | |

Tabela 4.8 – Coeficientes de relação entre os dois métodos - Micrômetro



5. CONCLUSÕES

5.1 Considerações Iniciais

Durante a condução deste trabalho, o pesquisador estabeleceu simplificações e condições de contorno, em detrimento do rigor matemático. Estas considerações foram estabelecidas visando facilitar o trabalho do operador no chão de fábrica, oferecendo um método simplificado. As considerações utilizadas no método proposto foram:

- As parcelas da incerteza foram tratadas como lineares, apesar de não serem dependentes;
- Não avaliação do Erro Sistemático dos Sistemas de Medição, considerando que estes estão livres daquele erro em decorrência da calibração e do uso correto do mesmo.

Após o trabalho de revisão bibliográfica foi possível verificar a existência de diversos métodos para o cálculo da Incerteza de Medição.

Um destes métodos tem grande aplicação nas indústrias metal mecânicas e isto validou o ensaio para seu uso como método proposto. Para poder oferecer a facilidade pretendida, foi proposta a alteração.

O trabalho foi dividido em duas partes: experimento e simulação. O experimento em laboratório balizou a simulação e esta por sua vez consolidou os resultados, confirmando-os.

A simulação permitiu verificar a existência da relação (hipótese) entre os dois métodos estudados e estabelecer um coeficiente de relação entre eles. Estes coeficientes estão descritos no item 4.5 e podem ser utilizados para os dois sistemas de medição estudados.

5.2 Contribuição do Trabalho

Este trabalho deixa como resultado, um método proposto para a avaliação e determinação da incerteza de medição. Um método de custo mais baixo, que de maneira simplificada e com o uso de um fator de correção conhecido, permite que seja determinado corretamente o valor da incerteza, como se estivesse sendo usado o método padronizado pelo ISO GUM.

5.3 Recomendações e sugestões

Como recomendações o pesquisador salienta que mesmo sendo um método de menor custo, antes de fazer a opção por qualquer um dos métodos deve-se analisar:

- a) Custo do sistema de medição, uma vez que se tenha uma incerteza de medição menor é necessário que seja utilizado um sistema de medição de custo maior e vice versa;
- b) Custo do “controle” para que possa ser usado o método do ISO GUM;
- c) Custo devido ao aumento do número de medições ao ser usado o método proposto;
- d) Efeitos sistemáticos, quando relevantes.

Além dos cuidados indicados no parágrafo anterior, outra recomendação refere-se à replicação do trabalho. Assim, o pesquisador propõe que o procedimento desenvolvido neste trabalho seja aplicado a outros sistemas de medição de uso na indústria.

6. Apêndice 1 – Ensaios realizados

Neste apêndice são mostrados os valores das medições encontradas em cada um dos ensaios realizados. Reforça-se que as medições serviram de base para os dois métodos em estudo. Desta forma, elas serão mostradas apenas uma vez servindo para os cálculos dos dois métodos.

As distribuições também são comuns aos ensaios realizados. Cada uma das parcelas de incerteza que compõe a incerteza de medição tem sua distribuição descrita como segue:

| Parcelas da Incerteza | Distribuição |
|----------------------------------|---------------------|
| Incerteza Tipo A | Normal |
| Influência da Temperatura | Triangular |
| Calibração do SISTEMA DE MEDIÇÃO | Student |
| Resolução do SISTEMA DE MEDIÇÃO | Uniforme |

O coeficiente de dilatação do aço e a variação máxima da temperatura têm também os mesmos valores em todos os ensaios realizados e são dados por:

- Coeficiente de dilatação do Aço: 0,0000118 mm/°C
- Variação máxima da temperatura: 3°C

6.1 Ensaios realizados com o paquímetro

Para os ensaios realizados com o paquímetro, além das medições realizadas, outra parcela comum aos dois métodos é o valor da incerteza de calibração (I_C). Assim, para a apresentação do resumo dos dados e cálculos, deixaremos em evidência a parte comum, destacando apenas os valores do memorial de cálculo. Do quadro 1 temos que o valor da $I_{c\ 95\%}$ do paquímetro e o valor do fator de abrangência. A partir destes valores podemos determinar o valor da parcela da incerteza devido à calibração do sistema de medição. Temos:

- Incerteza de Calibração, com 95% (mm) 0,02
- Fator de abrangência - k 2,3

Parcela da incerteza devido à incerteza da calibração = $0,02/2,3 = 0,087\text{mm}$

Outra parcela comum é aquela relativa à resolução do sistema de medição. Para o caso do paquímetro temos, do quadro 1, a resolução é de 0,01mm. Assim, aplicando a equação 9 temos que a parcela de incerteza devido à resolução é de 0,0029mm.

6.1.1 Ensaios com 3 medições

Ensaio 1: Paquímetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|
| 20,01 | 19,99 | 20,01 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Média das medições (mm)

20,003

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0067 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0113 |
| Graus de Liberdade | 10,1705 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2281 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,025 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0115 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,037 |

Ensaio 2: Paquímetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 20,00 | 20,00 | 19,99 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 19,997

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0033 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0098 |
| Graus de Liberdade | 12,9870 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0058 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,023 |

Ensaio 3: Paquímetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 20,00 | 19,99 | 20,00 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 19,997

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0033 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0098 |
| Graus de Liberdade | 12,9870 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0058 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,023 |

Ensaio 4: Paquímetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 20,00 | 20,01 | 19,99 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0058 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0108 |
| Graus de Liberdade | 11,5670 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,024 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0100 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,034 |

Ensaio 5: Paquímetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 19,99 | 19,99 | 19,99 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 19,990

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0000 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0092 |
| Graus de Liberdade | 11,1151 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0000 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,009 |

Ensaio 6: Paquímetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 20,00 | 20,01 | 20,00 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,003

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0033 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0098 |
| Graus de Liberdade | 12,9870 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0058 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,023 |

Ensaio 7: Paquímetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 20,00 | 20,00 | 19,99 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 19,997

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0033 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0098 |
| Graus de Liberdade | 12,9870 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0058 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,023 |

Ensaio 8: Paquímetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 20,00 | 20,00 | 20,00 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0000 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0092 |
| Graus de Liberdade | 11,1152 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0000 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,009 |

Ensaio 9: Paquímetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 20,00 | 20,00 | 20,01 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,003

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0033 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0098 |
| Graus de Liberdade | 12,9870 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0058 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,023 |

Ensaio 10: Paquímetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 20,00 | 20,00 | 19,99 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 19,997

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0033 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0098 |
| Graus de Liberdade | 12,9870 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0058 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,023 |

6.1.2 Ensaios com 5 medições

Ensaio 1: Paquímetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| 19,99 | 19,99 | 20,00 | 19,99 | 20,00 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm)

19,994

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0024 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0095 |
| Graus de Liberdade | 12,5809 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0055 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,015 |

Ensaio 2: Paquímetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| 19,99 | 20,01 | 20,01 | 19,99 | 20,00 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0045 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0102 |
| Graus de Liberdade | 14,7189 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1448 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,022 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0100 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,021 |

Ensaio 3: Paquímetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| 20,00 | 19,99 | 20,00 | 19,99 | 20,01 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 19,998

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0037 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0099 |
| Graus de Liberdade | 14,0441 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1448 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0084 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,019 |

Ensaio 4: Paquímetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| 20,00 | 20,00 | 19,99 | 20,01 | 20,01 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,002

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0037 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0099 |
| Graus de Liberdade | 14,0441 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1448 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0084 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,019 |

Ensaio 5: Paquímetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| 19,99 | 20,01 | 20,00 | 20,00 | 20,01 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,002

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0037 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0099 |
| Graus de Liberdade | 14,0441 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1448 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0084 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,019 |

Ensaio 6: Paquímetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| 20,01 | 20,01 | 20,00 | 20,00 | 20,01 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,006

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0024 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0095 |
| Graus de Liberdade | 12,5809 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0055 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,015 |

Ensaio 7: Paquímetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| 20,01 | 20,01 | 20,01 | 19,99 | 20,00 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,004

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0040 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0100 |
| Graus de Liberdade | 14,3093 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1448 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0089 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,020 |

Ensaio 8: Paquímetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| 19,99 | 19,99 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 19,994

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0040 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0100 |
| Graus de Liberdade | 14,3093 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1448 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0089 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,020 |

Ensaio 9: Paquímetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| 20,00 | 20,01 | 20,00 | 20,00 | 20,01 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,004

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0024 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0095 |
| Graus de Liberdade | 12,5809 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0055 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,015 |

Ensaio 10: Paquímetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| 19,99 | 20,00 | 19,99 | 20,01 | 19,99 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm)

19,996

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0040 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0100 |
| Graus de Liberdade | 14,3093 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1448 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0089 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,020 |

6.1.3 Ensaio com 10 medições

Ensaio 1: Paquímetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,99 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | 20,01 | | 20,01 | 19,99 | 20,00 | 20,00 | 20,01 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0030 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0096 |
| Graus de Liberdade | 13,4058 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1604 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0094 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| | |
| | |
| Incerteza da medição (mm) | 0,015 |

Ensaio 2: Paquímetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,99 | 19,99 | 19,99 | 19,99 | 20,00 | | 20,00 | 20,00 | 19,99 | 19,99 | 20,00 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 19,994

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0016 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0093 |
| Graus de Liberdade | 11,8171 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0052 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| | |
| | |
| Incerteza da medição (mm) | 0,012 |

Ensaio 3: Paquímetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,99 | 20,01 | 20,01 | 20,00 | 20,01 | | 20,01 | 19,99 | 20,00 | 20,01 | 19,99 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,002

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0029 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0096 |
| Graus de Liberdade | 13,2955 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1604 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0092 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,015 |

Ensaio 4: Paquímetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20,00 | 19,99 | 20,00 | 19,99 | 19,99 | | 20,00 | 20,01 | 20,01 | 20,00 | 20,00 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 19,999

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0023 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0095 |
| Graus de Liberdade | 12,5371 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0074 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,014 |

Ensaio 5: Paquímetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,99 | 20,01 | 20,01 | 20,01 | 20,00 | | 20,00 | 20,01 | 19,99 | 20,01 | 20,01 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,004

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0027 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0095 |
| Graus de Liberdade | 12,9614 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0084 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,015 |

Ensaio 6: Paquímetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,99 | 20,00 | 19,99 | 20,00 | 19,99 | | 20,00 | 19,99 | 20,01 | 19,99 | 20,00 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 19,996

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0022 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0094 |
| Graus de Liberdade | 12,3943 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0070 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,014 |

Ensaio 7: Paquímetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,99 | 19,99 | 20,01 | 19,99 | 20,00 | | 20,01 | 20,00 | 20,01 | 19,99 | 20,00 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 19,999

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0028 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0096 |
| Graus de Liberdade | 13,1012 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1604 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0088 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,015 |

Ensaio 8: Paquímetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,99 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | 20,01 | | 20,00 | 19,99 | 20,01 | 19,99 | 20,00 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 19,998

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0029 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0096 |
| Graus de Liberdade | 13,2955 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1604 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0092 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,015 |

Ensaio 9: Paquímetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,99 | 20,00 | 20,01 | 20,00 | 19,99 | | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 19,99 | 20,01 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 19,999

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0023 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0095 |
| Graus de Liberdade | 12,5371 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0074 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,014 |

Ensaio 10: Paquímetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20,01 | 19,99 | 20,01 | 20,01 | 19,99 | | 20,00 | 20,01 | 20,01 | 20,01 | 20,00 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,004

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0027 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0095 |
| Graus de Liberdade | 12,9614 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0084 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,015 |

6.1.4 Ensaios com 20 medições

Ensaio 1: Paquímetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20,00 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | 19,99 | | 20,00 | 19,99 | 19,99 | 20,00 | 19,99 |
| 20,00 | 20,01 | 20,00 | 20,00 | 20,01 | | 19,99 | 20,01 | 20,01 | 19,99 | 20,01 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 19,999

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0019 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0094 |
| Graus de Liberdade | 12,0834 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0085 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,013 |

Ensaio 2: Paquímetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20,01 | 19,99 | 20,01 | 20,01 | 20,01 | | 20,01 | 20,01 | 20,00 | 19,99 | 20,00 |
| 20,01 | 20,00 | 20,00 | 19,99 | 20,00 | | 20,00 | 19,99 | 19,99 | 20,00 | 19,99 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,001

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0018 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0094 |
| Graus de Liberdade | 12,0234 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0083 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,013 |

Ensaio 3: Paquímetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,99 | 19,99 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | | 20,01 | 20,01 | 19,99 | 20,01 | 20,01 |
| 19,99 | 20,01 | 20,00 | 19,99 | 20,00 | | 20,01 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,01 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0022 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0094 |
| Graus de Liberdade | 12,3806 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0097 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,013 |

Ensaio 4: Paquímetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,99 | 20,00 | 20,00 | 19,99 | 19,99 | | 20,00 | 20,00 | 20,01 | 20,00 | 20,01 |
| 19,99 | 20,01 | 20,00 | 20,01 | 20,01 | | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | 20,00 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,001

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0018 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0094 |
| Graus de Liberdade | 12,0234 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0083 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,013 |

Ensaio 5: Paquímetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,99 | 19,99 | 20,01 | 20,01 | 19,99 | | 20,00 | 20,01 | 20,01 | 19,99 | 20,00 |
| 20,01 | 20,00 | 20,01 | 19,99 | 20,00 | | 20,01 | 20,00 | 20,00 | 19,99 | 20,00 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,001

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0018 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0094 |
| Graus de Liberdade | 12,0234 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0083 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,013 |

Ensaio 6: Paquímetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,99 | 19,99 | 19,99 | 20,00 | 19,99 | | 20,00 | 20,00 | 20,01 | 20,00 | 19,99 |
| 19,99 | 19,99 | 20,00 | 19,99 | 19,99 | | 19,99 | 20,01 | 20,01 | 20,00 | 19,99 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 19,996

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0017 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0093 |
| Graus de Liberdade | 11,8718 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0075 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,012 |

Ensaio 7: Paquímetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20,00 | 19,99 | 20,00 | 19,99 | 20,00 | | 19,99 | 19,99 | 20,01 | 20,00 | 19,99 |
| 19,99 | 20,01 | 19,99 | 20,01 | 20,01 | | 19,99 | 19,99 | 20,01 | 20,01 | 20,00 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 19,999

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0020 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0094 |
| Graus de Liberdade | 12,1364 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0088 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| | |
| Incerteza da medição (mm) | 0,013 |

Ensaio 8: Paquímetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,99 | 20,01 | 20,00 | 20,00 | 19,99 | | 20,01 | 20,00 | 20,01 | 20,01 | 19,99 |
| 20,01 | 20,00 | 20,00 | 19,99 | 20,00 | | 20,01 | 19,99 | 20,01 | 20,00 | 19,99 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,001

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0018 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0094 |
| Graus de Liberdade | 12,0234 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0083 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| | |
| Incerteza da medição (mm) | 0,013 |

Ensaio 9: Paquímetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | 20,00 | | 19,99 | 20,00 | 20,01 | 19,99 | 20,01 |
| 20,00 | 20,00 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | | 19,99 | 20,01 | 20,01 | 20,01 | 20,01 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 20,001

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0020 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0094 |
| Graus de Liberdade | 12,2248 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0091 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,013 |

Ensaio 10: Paquímetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,99 | 19,99 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,00 | 19,99 |
| 20,01 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 19,99 | | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,00 | 19,99 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 19,997

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0018 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0093 |
| Graus de Liberdade | 11,9952 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,021 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0081 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,012 |

6.1.5 Ensaio com 50 medições

Ensaio 1: Paquímetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,99 | 20,01 | 20,01 | 19,99 | 20,01 | | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | 19,99 |
| 20,01 | 19,99 | 20,00 | 20,01 | 19,99 | | 19,99 | 20,01 | 20,01 | 20,01 | 19,99 |
| 20,00 | 20,00 | 20,01 | 20,01 | 20,00 | | 19,99 | 19,99 | 20,01 | 20,01 | 20,00 |
| 20,01 | 20,01 | 20,00 | 20,00 | 20,01 | | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,00 | 20,00 |
| 20,01 | 20,01 | 20,00 | 20,01 | 20,00 | | 20,01 | 20,01 | 20,00 | 20,00 | 19,99 |

Média das medições (mm) 20,002

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0012 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0092 |
| Graus de Liberdade | 11,4997 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0085 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,011 |

Ensaio 2: Paquímetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20,00 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | | 19,99 | 20,00 | 19,99 | 19,99 | 20,01 |
| 19,99 | 20,00 | 19,99 | 20,01 | 20,00 | | 20,00 | 20,00 | 19,99 | 19,99 | 19,99 |
| 19,99 | 20,01 | 19,99 | 20,00 | 19,99 | | 20,01 | 19,99 | 20,00 | 20,01 | 19,99 |
| 19,99 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 19,99 | | 19,99 | 20,01 | 20,00 | 20,01 | 20,00 |
| 19,99 | 20,00 | 19,99 | 20,00 | 20,01 | | 20,01 | 19,99 | 20,01 | 20,01 | 19,99 |

Média das medições (mm) 19,998

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0012 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0092 |
| Graus de Liberdade | 11,5065 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0086 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,011 |

Ensaio 3: Paquímetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,99 | 20,00 | 20,01 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,00 | 20,00 | 19,99 | 19,99 |
| 20,01 | 20,01 | 20,00 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | 20,01 | 19,99 | 20,01 | 20,00 |
| 20,00 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,00 | 20,01 | 20,00 |
| 20,00 | 20,01 | 20,01 | 19,99 | 20,00 | 19,99 | 20,01 | 20,00 | 19,99 | 20,00 |
| 19,99 | 19,99 | 19,99 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,01 | 19,99 | 20,00 | 19,99 |

Média das medições (mm) 19,999

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0012 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0092 |
| Graus de Liberdade | 11,4767 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0082 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,011 |

Ensaio 4: Paquímetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20,01 | 20,00 | 20,01 | 20,00 | 19,99 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | 20,01 | 20,01 |
| 20,00 | 19,99 | 20,00 | 20,00 | 19,99 | 20,01 | 20,00 | 19,99 | 19,99 | 20,00 |
| 20,00 | 19,99 | 19,99 | 19,99 | 19,99 | 20,00 | 20,00 | 19,99 | 20,00 | 20,01 |
| 19,99 | 19,99 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,00 | 20,01 | 20,00 | 20,01 | 20,01 |
| 20,01 | 20,01 | 20,00 | 20,01 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | 20,00 |

Média das medições (mm) 19,999

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0012 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0092 |
| Graus de Liberdade | 11,4936 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0084 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,011 |

Ensaio 5: Paquímetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20,00 | 19,99 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | | 20,00 | 20,00 | 20,01 | 20,00 | 20,01 |
| 20,01 | 20,01 | 20,00 | 19,99 | 20,01 | | 20,00 | 19,99 | 20,01 | 20,00 | 19,99 |
| 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,00 | 19,99 | | 20,00 | 20,01 | 20,00 | 19,99 | 20,00 |
| 20,01 | 20,00 | 20,01 | 19,99 | 20,01 | | 20,00 | 20,01 | 20,00 | 20,01 | 20,01 |
| 20,01 | 20,00 | 19,99 | 20,00 | 20,00 | | 20,00 | 20,01 | 20,01 | 20,00 | 20,00 |

Média das medições (mm) 20,001

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0011 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0092 |
| Graus de Liberdade | 11,4330 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0077 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,011 |

Ensaio 6: Paquímetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,99 | 19,99 | 20,00 | 20,00 | 20,01 | | 20,01 | 20,01 | 19,99 | 20,01 | 20,01 |
| 19,99 | 20,01 | 20,01 | 19,99 | 20,00 | | 19,99 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,01 |
| 19,99 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 19,99 | | 19,99 | 20,00 | 20,01 | 20,00 | 20,01 |
| 20,00 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | | 20,00 | 20,00 | 20,01 | 20,01 | 20,00 |
| 20,00 | 20,00 | 20,00 | 19,99 | 19,99 | | 20,00 | 20,01 | 19,99 | 20,01 | 20,00 |

Média das medições (mm) 20,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0011 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0092 |
| Graus de Liberdade | 11,4400 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0078 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,011 |

Ensaio 7: Paquímetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20,01 | 20,00 | 20,00 | 19,99 | 20,01 | | 20,00 | 20,00 | 20,01 | 20,01 | 20,01 |
| 20,00 | 20,00 | 20,00 | 19,99 | 19,99 | | 20,01 | 19,99 | 20,01 | 20,00 | 20,00 |
| 20,00 | 20,01 | 19,99 | 20,01 | 19,99 | | 19,99 | 19,99 | 19,99 | 19,99 | 20,00 |
| 20,00 | 20,00 | 20,01 | 20,01 | 20,00 | | 20,00 | 20,01 | 20,01 | 20,01 | 19,99 |
| 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,01 | 20,00 | | 20,00 | 20,01 | 20,00 | 20,00 | 20,01 |

Média das medições (mm) 20,001

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0011 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0092 |
| Graus de Liberdade | 11,4112 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------|------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0075 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,011 |

Ensaio 8: Paquímetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20,01 | 20,00 | 20,00 | 20,01 | 19,99 | | 20,01 | 20,01 | 20,01 | 19,99 | 20,00 |
| 20,01 | 19,99 | 20,01 | 20,00 | 19,99 | | 19,99 | 19,99 | 20,00 | 19,99 | 20,00 |
| 20,01 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | | 19,99 | 19,99 | 20,00 | 19,99 | 20,01 |
| 20,01 | 19,99 | 19,99 | 19,99 | 20,00 | | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 19,99 | 20,00 |
| 20,01 | 20,01 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | | 20,00 | 19,99 | 20,00 | 19,99 | 20,00 |

Média das medições (mm) 19,999

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0011 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0092 |
| Graus de Liberdade | 11,4464 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------|------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0079 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,011 |

Ensaio 9: Paquímetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20,00 | 19,99 | 20,00 | 19,99 | 20,01 | | 20,00 | 20,01 | 20,01 | 20,01 | 20,01 |
| 20,00 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | | 20,01 | 20,00 | 20,01 | 20,00 | 20,01 |
| 19,99 | 20,01 | 19,99 | 20,00 | 20,00 | | 20,01 | 20,00 | 20,01 | 20,00 | 20,01 |
| 19,99 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | | 20,00 | 20,00 | 19,99 | 20,00 | 19,99 |
| 20,01 | 19,99 | 20,00 | 19,99 | 20,00 | | 20,01 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,00 |

Média das medições (mm) 20,001

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0012 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0092 |
| Graus de Liberdade | 11,4811 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0083 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,011 |

Ensaio 10: Paquímetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20,00 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | | 19,99 | 20,00 | 20,01 | 20,00 | 20,01 |
| 19,99 | 20,01 | 19,99 | 20,01 | 20,00 | | 20,00 | 20,00 | 19,99 | 19,99 | 19,99 |
| 20,00 | 20,01 | 19,99 | 19,99 | 20,01 | | 20,00 | 20,00 | 20,01 | 20,01 | 20,00 |
| 20,01 | 20,01 | 20,01 | 20,00 | 19,99 | | 20,01 | 20,01 | 20,00 | 20,00 | 20,01 |
| 20,00 | 19,99 | 20,00 | 20,01 | 20,01 | | 19,99 | 20,01 | 19,99 | 20,00 | 20,00 |

Média das medições (mm) 20,001

| Método do Guia | |
|---------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,0012 |
| Influência da Temperatura | 0,0003 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Resolução do SM | 0,0029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0092 |
| Graus de Liberdade | 11,4682 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,020 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|--------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,0081 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0087 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,011 |

6.2 Ensaios realizados com o micrômetro

Da mesma forma que foi considerado para os ensaios realizados com o paquímetro, além das medições realizadas, outra parcela comum aos dois métodos é o valor da incerteza de calibração (I_C). Assim, para a apresentação do resumo dos dados e cálculos, deixaremos em evidência a parte comum, destacando apenas os valores do memorial de cálculo.

Do quadro 2 temos o valor da $I_{C\ 95\%}$ do micrômetro e o valor do fator de abrangência. A partir destes valores podemos determinar o valor da parcela da incerteza devido à calibração do sistema de medição. Temos:

| | |
|---------------------------------------|--------|
| Incerteza de Calibração, com 95% (mm) | 0,0025 |
| Fator de abrangência - k | 2,1 |

Parcela da incerteza devido à incerteza da calibração = $0,0025/2,1 = 0,0012$ mm

Outra parcela comum é aquela relativa à resolução do sistema de medição. Para o caso do micrômetro temos, do quadro 1, a resolução é de 0,001mm. Assim, aplicando a equação 9 temos que a parcela de incerteza devido à resolução é de 0,00029mm.

6.2.1 Ensaios com 3 medições

Ensaio 1: Micrômetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 21,999 | 21,999 | 22,001 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00067 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0014 |
| Graus de Liberdade | 13,0041 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1604 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0031 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00115 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0041 |

Ensaio 2: Micrômetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 21,999 | 22,001 | 21,999 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00067 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0014 |
| Graus de Liberdade | 13,0041 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1604 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0031 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00115 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0041 |

Ensaio 3: Micrômetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 22,001 | 22,000 | 22,001 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 21,999

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00033 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 12,7910 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0029 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00058 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0026 |

Ensaio 4: Micrômetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 22,000 | 22,001 | 22,001 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00033 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 12,7911 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0029 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00058 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0026 |

Ensaio 5: Micrômetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 22,000 | 22,001 | 22,001 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 21,999

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00033 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 12,7909 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0029 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00058 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0026 |

Ensaio 6: Micrômetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 22,001 | 22,001 | 22,000 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 21,999

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00033 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 12,7910 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0029 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00058 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0026 |

Ensaio 7: Micrômetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 22,000 | 21,999 | 21,999 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00033 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 12,7911 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0029 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00058 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0026 |

Ensaio 8: Micrômetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 21,999 | 22,000 | 21,999 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00033 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 12,7911 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0029 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00058 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0026 |

Ensaio 9: Micrômetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 22,000 | 22,000 | 21,999 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00033 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 12,7911 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0029 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00058 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0026 |

Ensaio 10: Micrômetro, 3 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 21,999 | 22,000 | 22,001 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00058 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0014 |
| Graus de Liberdade | 13,4331 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1604 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0030 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00100 |
| Fator de Student - t | 4,3027 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0037 |

6.2.2 Ensaio com 5 medições

Ensaio 1: Micrômetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|
| 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,000 | 22,000 | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00037 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 13,3000 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1604 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0029 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00084 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0022 |

Ensaio 2: Micrômetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|
| 21,999 | 22,000 | 22,000 | 22,001 | 21,999 | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00037 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 13,3000 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1604 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0029 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00084 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0022 |

Ensaio 3: Micrômetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|
| 21,999 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,001 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00049 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0014 |
| Graus de Liberdade | 14,2764 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1448 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0029 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00110 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0026 |

Ensaio 4: Micrômetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|
| 22,001 | 21,999 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00049 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0014 |
| Graus de Liberdade | 14,2764 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1448 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0029 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00110 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0026 |

Ensaio 5: Micrômetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|
| 22,000 | 22,000 | 21,999 | 22,001 | 21,999 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00037 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 13,3000 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1604 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0029 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00084 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0022 |

Ensaio 6: Micrômetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|
| 22,001 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,000 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00045 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 13,9209 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1604 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0029 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00100 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0024 |

Ensaio 7: Micrômetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|
| 22,001 | 21,999 | 21,999 | 21,999 | 22,000 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00040 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 13,5182 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1604 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0029 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00089 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0023 |

Ensaio 8: Micrômetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|
| 21,999 | 22,001 | 22,001 | 22,000 | 22,000 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00037 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 13,3000 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1604 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0029 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00084 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0022 |

Ensaio 9: Micrômetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|
| 22,000 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,000 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00037 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 13,3000 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1604 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0029 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00084 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0022 |

Ensaio 10: Micrômetro, 5 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|
| 21,999 | 22,000 | 22,000 | 22,001 | 21,999 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 21,999

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00037 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 13,2999 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1604 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0029 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00084 |
| Fator de Student - t | 2,7765 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0022 |

6.2.3 Ensaios com 10 medições

Ensaio 1: Micrômetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|
| 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,000 | 22,000 | | | | | | |
| 22,000 | 21,998 | 22,000 | 21,999 | 21,999 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 21,9995

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00027 |
| Influência da Temperatura | 0,00000 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00000 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0012 |
| Graus de Liberdade | 10,1785 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2281 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0027 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00085 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0018 |

Ensaio 2: Micrômetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 21,999 | 22,000 | 22,001 | 22,000 | 21,999 | | 22,001 | 22,000 | 21,999 | 22,001 | 21,999 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00028 |
| Influência da Temperatura | 0,00000 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00000 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0012 |
| Graus de Liberdade | 10,2706 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2281 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0027 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00088 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0018 |

Ensaio 3: Micrômetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,000 | 22,001 | 22,001 | 21,999 | 21,999 | | 22,001 | 22,001 | 21,999 | 21,999 | 22,000 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00030 |
| Influência da Temperatura | 0,00000 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00000 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0012 |
| Graus de Liberdade | 10,5374 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2281 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0027 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00094 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0019 |

Ensaio 4: Micrômetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,001 | 21,999 | 22,000 | 21,999 | 22,001 | | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 21,999 | 22,000 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00029 |
| Influência da Temperatura | 0,00000 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00000 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0012 |
| Graus de Liberdade | 10,4380 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2281 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0027 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00092 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0018 |

Ensaio 5: Micrômetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,000 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 21,999 | | 22,000 | 21,999 | 21,999 | 22,000 | 22,001 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00026 |
| Influência da Temperatura | 0,00000 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00000 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0012 |
| Graus de Liberdade | 10,0891 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2281 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0027 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00082 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| | |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0018 |

Ensaio 6: Micrômetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,001 | 22,000 | 22,001 | 22,000 | 22,000 | | 21,999 | 22,000 | 22,000 | 22,001 | 22,001 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00021 |
| Influência da Temperatura | 0,00000 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00000 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0012 |
| Graus de Liberdade | 9,6779 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2622 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0027 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00067 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| | |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0017 |

Ensaio 7: Micrômetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,001 | 22,000 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | | 22,001 | 22,001 | 22,001 | 22,001 | 21,999 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00030 |
| Influência da Temperatura | 0,00000 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00000 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0012 |
| Graus de Liberdade | 10,5627 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2281 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0027 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00095 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0019 |

Ensaio 8: Micrômetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 21,999 | 22,000 | 22,000 | 21,999 | 22,001 | | 21,999 | 22,001 | 22,001 | 22,000 | 22,001 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00028 |
| Influência da Temperatura | 0,00000 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00000 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0012 |
| Graus de Liberdade | 10,2706 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2281 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0027 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00088 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0018 |

Ensaio 9: Micrômetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 21,999 | 22,000 | 22,001 | 21,999 | 22,001 | | 22,001 | 22,001 | 21,999 | 21,999 | 21,999 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00031 |
| Influência da Temperatura | 0,00000 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00000 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0012 |
| Graus de Liberdade | 10,7718 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2281 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0027 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00099 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| | |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0019 |

Ensaio 10: Micrômetro, 10 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 21,999 | 22,001 | 22,001 | 21,999 | 22,000 | | 22,001 | 21,999 | 22,001 | 22,001 | 22,000 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00029 |
| Influência da Temperatura | 0,00000 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00000 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0012 |
| Graus de Liberdade | 10,4380 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2281 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0027 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00092 |
| Fator de Student - t | 2,2622 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| | |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0018 |

6.2.4 Ensaios com 20 medições

Ensaio 1: Micrômetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,000 | 22,000 | 22,001 | 21,999 | 22,001 | | 22,000 | 22,001 | 22,001 | 22,000 | 21,999 |
| 22,000 | 22,001 | 22,001 | 21,999 | 22,000 | | 22,001 | 22,000 | 22,001 | 21,999 | 21,999 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00018 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 11,9706 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00081 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0016 |

Ensaio 2: Micrômetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 21,999 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,001 | | 22,000 | 22,001 | 22,000 | 22,001 | 22,001 |
| 22,001 | 22,000 | 22,000 | 22,001 | 22,001 | | 22,001 | 22,000 | 21,999 | 22,000 | 21,999 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00019 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 11,9953 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00083 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0016 |

Ensaio 3: Micrômetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 21,999 | 22,000 | 22,001 | 22,000 | 22,001 | | 22,001 | 21,999 | 21,999 | 21,999 | 21,999 |
| 22,001 | 21,999 | 21,999 | 22,000 | 21,999 | | 22,001 | 22,001 | 22,001 | 22,001 | 22,000 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00021 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 12,1019 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00092 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0016 |

Ensaio 4: Micrômetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,000 | 22,001 | 22,001 | 22,001 | 22,000 | | 21,999 | 22,001 | 22,001 | 21,999 | 22,001 |
| 22,000 | 22,000 | 21,999 | 22,000 | 21,999 | | 22,001 | 21,999 | 22,000 | 21,999 | 22,001 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00019 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 12,0181 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00085 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0016 |

Ensaio 5: Micrômetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 21,999 | 22,001 | 21,999 | 22,000 | 21,999 | | 21,999 | 22,001 | 21,999 | 22,001 | 21,999 |
| 21,999 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,001 | | 21,999 | 22,001 | 22,000 | 22,001 | 21,999 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00021 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 12,1477 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00095 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0016 |

Ensaio 6: Micrômetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,001 | 22,001 | 22,000 | 22,000 | 21,999 | | 22,001 | 22,000 | 21,999 | 21,999 | 22,000 |
| 21,999 | 22,000 | 22,000 | 22,001 | 21,999 | | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,001 | 21,999 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00019 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 12,0181 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00085 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0016 |

Ensaio 7: Micrômetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 21,999 | 22,001 | 22,001 | 21,999 | 21,999 | | 22,000 | 22,001 | 22,000 | 22,000 | 22,000 |
| 22,001 | 21,999 | 21,999 | 21,999 | 22,000 | | 22,000 | 22,001 | 22,001 | 21,999 | 22,000 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00018 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 11,9858 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00083 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0016 |

Ensaio 8: Micrômetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,000 | 22,001 | 22,001 | 22,001 | 21,999 | | 22,001 | 21,999 | 22,001 | 22,000 | 22,001 |
| 21,999 | 22,000 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | | 21,999 | 22,000 | 21,999 | 22,001 | 22,000 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00020 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 12,0619 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00089 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0016 |

Ensaio 9: Micrômetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,001 | 22,001 | 22,001 | 21,999 | 22,001 | | 22,001 | 22,001 | 21,999 | 21,999 | 22,000 |
| 22,000 | 22,000 | 22,001 | 22,000 | 21,999 | | 21,999 | 22,000 | 22,000 | 22,001 | 21,999 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00019 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 12,0181 |
| Fator de Abrangência - k | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00085 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0016 |

Ensaio 10: Micrômetro, 20 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,000 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,001 | | 22,001 | 22,000 | 21,999 | 22,000 | 22,000 |
| 21,999 | 21,999 | 22,000 | 22,000 | 21,999 | | 22,000 | 22,000 | 22,001 | 21,999 | 21,999 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00017 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 11,9192 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00077 |
| Fator de Student - t | 2,0930 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0015 |

6.2.5 Ensaios com 50 medições

Ensaio 1: Micrômetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,000 | 22,001 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | | 22,000 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,000 |
| 22,000 | 22,000 | 22,001 | 21,999 | 21,999 | | 22,001 | 21,999 | 22,001 | 22,001 | 22,000 |
| 22,001 | 22,001 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | | 21,999 | 22,000 | 22,001 | 22,000 | 21,999 |
| 21,999 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 21,999 | | 22,000 | 22,001 | 21,999 | 21,999 | 22,000 |
| 21,999 | 22,000 | 22,001 | 22,000 | 22,000 | | 22,001 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,001 |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00011 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 11,6592 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00076 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0014 |

Ensaio 2: Micrômetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 21,999 | 22,000 | 22,000 | 21,999 | 22,001 | | 22,000 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,001 |
| 22,000 | 21,999 | 22,001 | 22,001 | 22,000 | | 21,999 | 21,999 | 22,000 | 22,001 | 21,999 |
| 22,001 | 22,000 | 22,000 | 21,999 | 22,000 | | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,001 | 21,999 |
| 22,001 | 22,000 | 21,999 | 22,001 | 22,000 | | 21,999 | 21,999 | 21,999 | 21,999 | 21,999 |
| 21,999 | 22,000 | 22,000 | 22,001 | 22,000 | | 21,999 | 22,001 | 21,999 | 22,001 | 22,001 |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00012 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 11,7021 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00085 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0014 |

Ensaio 3: Micrômetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,001 | 21,999 | 22,001 | 22,000 | 21,999 | | 21,999 | 22,001 | 22,000 | 21,999 | 21,999 |
| 22,000 | 21,999 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | | 21,999 | 22,000 | 21,999 | 22,000 | 21,999 |
| 21,999 | 22,000 | 22,000 | 21,999 | 22,000 | | 22,000 | 22,001 | 22,000 | 21,999 | 22,001 |
| 22,001 | 21,999 | 22,000 | 21,999 | 22,000 | | 22,001 | 21,999 | 22,000 | 22,000 | 22,001 |
| 22,000 | 21,999 | 21,999 | 22,000 | 22,001 | | 22,000 | 22,000 | 21,999 | 21,999 | 22,000 |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00011 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 11,6626 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00076 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0014 |

Ensaio 4: Micrômetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,000 | 21,999 | 21,999 | 22,000 | 21,999 | | 21,999 | 22,001 | 22,000 | 22,001 | 22,000 |
| 22,000 | 22,001 | 21,999 | 21,999 | 22,000 | | 22,000 | 22,000 | 21,999 | 22,001 | 21,999 |
| 22,001 | 22,001 | 21,999 | 22,000 | 22,001 | | 22,001 | 22,000 | 22,001 | 22,001 | 21,999 |
| 22,001 | 22,001 | 22,001 | 21,999 | 21,999 | | 22,000 | 21,999 | 22,001 | 22,000 | 21,999 |
| 22,000 | 22,000 | 22,001 | 21,999 | 22,000 | | 21,999 | 22,001 | 21,999 | 21,999 | 22,001 |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00012 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 11,7003 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00084 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0014 |

Ensaio 5: Micrômetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,000 | 22,001 | 22,000 | 22,001 | 22,000 | | 22,001 | 21,999 | 22,001 | 22,000 | 22,000 |
| 22,000 | 22,000 | 21,999 | 22,000 | 22,000 | | 22,000 | 21,999 | 22,000 | 21,999 | 22,000 |
| 22,000 | 21,999 | 22,001 | 22,000 | 21,999 | | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 21,999 |
| 22,001 | 22,000 | 22,000 | 22,001 | 21,999 | | 22,001 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 21,999 |
| 22,001 | 21,999 | 22,000 | 22,001 | 22,000 | | 22,000 | 22,000 | 22,000 | 21,999 | 21,999 |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00010 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 11,6405 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00071 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0014 |

Ensaio 6: Micrômetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,001 | 22,001 | 22,001 | 22,000 | 22,001 | | 22,000 | 21,999 | 22,001 | 22,001 | 22,000 |
| 22,001 | 22,001 | 22,000 | 22,001 | 22,000 | | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 21,999 | 22,000 |
| 21,999 | 22,001 | 22,000 | 22,000 | 21,999 | | 22,001 | 22,000 | 21,999 | 22,001 | 22,001 |
| 22,000 | 22,000 | 22,000 | 22,001 | 22,001 | | 22,000 | 21,999 | 22,001 | 22,001 | 22,001 |
| 22,000 | 21,999 | 22,001 | 21,999 | 21,999 | | 22,000 | 21,999 | 22,001 | 22,000 | 22,001 |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00011 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 11,6828 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00081 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0014 |

Ensaio 7: Micrômetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 21,999 | 22,001 | 22,001 | 22,000 | 21,999 | | 21,999 | 22,000 | 22,000 | 21,999 | 22,000 |
| 21,999 | 21,999 | 22,001 | 21,999 | 22,001 | | 22,001 | 22,000 | 22,000 | 21,999 | 21,999 |
| 22,000 | 22,001 | 21,999 | 21,999 | 22,000 | | 21,999 | 21,999 | 22,000 | 22,000 | 22,001 |
| 22,001 | 21,999 | 22,001 | 21,999 | 21,999 | | 22,000 | 21,999 | 21,999 | 21,999 | 21,999 |
| 22,000 | 21,999 | 22,000 | 22,001 | 21,999 | | 21,999 | 22,001 | 22,001 | 22,000 | 21,999 |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00012 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 11,6893 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00082 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0014 |

Ensaio 8: Micrômetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,000 | 22,001 | 22,001 | 22,001 | 21,999 | | 22,000 | 21,999 | 22,001 | 22,001 | 22,001 |
| 22,001 | 22,000 | 22,000 | 22,001 | 22,001 | | 21,999 | 21,999 | 22,000 | 21,999 | 21,999 |
| 22,000 | 22,000 | 22,001 | 21,999 | 22,000 | | 22,001 | 22,001 | 21,999 | 22,000 | 22,001 |
| 21,999 | 22,001 | 21,999 | 21,999 | 21,999 | | 22,000 | 22,000 | 22,001 | 21,999 | 21,999 |
| 22,000 | 21,999 | 22,000 | 21,999 | 21,999 | | 21,999 | 22,000 | 21,999 | 21,999 | 22,001 |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00012 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 11,7044 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00085 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0014 |

Ensaio 9: Micrômetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,000 | 22,000 | 22,001 | 22,001 | 22,001 | | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,001 | 22,000 |
| 21,999 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,001 | | 21,999 | 21,999 | 21,999 | 21,999 | 22,001 |
| 22,000 | 21,999 | 22,000 | 22,000 | 21,999 | | 22,001 | 22,001 | 21,999 | 21,999 | 22,001 |
| 21,999 | 22,000 | 21,999 | 21,999 | 22,000 | | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,001 | 21,999 |
| 22,001 | 22,000 | 21,999 | 22,000 | 22,000 | | 21,999 | 21,999 | 21,999 | 21,999 | 22,001 |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00012 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 11,7145 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00087 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0014 |

Ensaio 10: Micrômetro, 50 medições.

Medições realizadas (mm)

| | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22,000 | 21,999 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | | 21,999 | 22,001 | 22,000 | 21,999 | 22,001 |
| 21,999 | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,001 | | 21,999 | 21,999 | 22,000 | 22,000 | 22,000 |
| 22,001 | 21,999 | 22,000 | 22,001 | 22,001 | | 21,999 | 21,999 | 22,001 | 22,000 | 21,999 |
| 22,000 | 21,999 | 22,000 | 21,999 | 22,001 | | 21,999 | 22,001 | 22,000 | 22,001 | 21,999 |
| 22,000 | 22,001 | 21,999 | 22,000 | 22,001 | | 21,999 | 22,001 | 22,001 | 22,000 | 22,001 |

Média das medições (mm) 22,000

| Método do Guia | |
|---------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Incerteza Tipo A | 0,00012 |
| Influência da Temperatura | 0,00032 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Resolução do SM | 0,00029 |
| Incerteza padrão combinada | 0,0013 |
| Graus de Liberdade | 11,7112 |
| Fator de Abrangência - k | 2,2010 |
| Incerteza Expandida (mm) | 0,0028 |

| Método Alternativo | |
|----------------------------------|---------------|
| Parcelas da Incerteza | Valor (mm) |
| Desvio padrão das medições | 0,00087 |
| Fator de Student - t | 2,0096 |
| Calibração do SM | 0,0012 |
| Incerteza da medição (mm) | 0,0014 |

6.3 Desvios padrão encontrados nos ensaios

Com os resultados encontrados em cada um dos ensaios realizados, foi estabelecido o desvio padrão médio e o desvio padrão dos respectivos desvios padrão. Estes valores estão resumidos na tabelas A1.1 e A1.2, respectivamente para paquímetro e micrômetro.

6.3.1 Resultados encontrados para o paquímetro

| | Número de Medições | | | | |
|----------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 3 | 5 | 10 | 20 | 50 |
| Desvio padrão Médio | 5,6188 | 8,1254 | 8,0342 | 8,4816 | 8,1070 |
| Desvio padrão dos desvios padrão | 3,6152 | 1,4826 | 1,3180 | 0,6023 | 0,3677 |

Tabela A1.1 – Desvio padrão médio e desvio padrão dos desvios - Paquímetro.

6.3.2 Resultados encontrados para o micrômetro

| | Número de Medições | | | | |
|----------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 3 | 5 | 10 | 20 | 50 |
| Desvio padrão Médio | 0,7351 | 0,9105 | 0,8823 | 0,8552 | 0,8149 |
| Desvio padrão dos desvios padrão | 0,2574 | 0,1102 | 0,0888 | 0,0527 | 0,0542 |

Tabela A1.2 – Desvio padrão médio e desvio padrão dos desvios - Micrômetro.

7. Apêndice 2 – Planilhas usadas na Simulação

Neste apêndice mostram-se as planilhas que foram elaboradas para que fosse possível executar a simulação através do *software* Crystal Ball.

Com a execução da simulação através destas planilhas, pode-se determinar a relação entre os resultados encontrados com os dois métodos.

7.1 Planilhas utilizadas do método do ISO GUM

7.1.1 Planilhas utilizadas para a simulação do paquímetro

7.1.1.1 Paquímetro realizando 3 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|---|--------------|-------------------------|
| Incerteza Tipo A | Normal | 10,7295 |
| Influência da Temperatura | Triangular | 0,2730 |
| Calibração do SM | Student | 8,7000 |
| Resolução do SM | Uniforme | 2,8868 |
| Número de medições | | 3 |
| Incerteza padrão combinada | | 14,1145 |
| Graus de Liberdade | | 5,4644 |
| Fator de Abrangência - k | | 2,5706 |
| Incerteza Expandida (μm) | | 36,2825 |

7.1.1.2 Paquímetro realizando 5 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|---|--------------|-------------------------|
| Incerteza Tipo A | Normal | 10,7295 |
| Influência da Temperatura | Triangular | 0,2730 |
| Calibração do SM | Student | 8,7000 |
| Resolução do SM | Uniforme | 2,8868 |
| Número de medições | | 5 |
| Incerteza padrão combinada | | 14,1145 |
| Graus de Liberdade | | 10,0482 |
| Fator de Abrangência - k | | 2,2281 |
| Incerteza Expandida (μm) | | 31,4492 |

7.1.1.3 Paquímetro realizando 10 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|---|--------------|-------------------------|
| Incerteza Tipo A | Normal | 10,7295 |
| Influência da Temperatura | Triangular | 0,2970 |
| Calibração do SM | Student | 8,7000 |
| Resolução do SM | Uniforme | 2,8868 |
| Número de medições | | 10 |
| Incerteza padrão combinada | | 14,1150 |
| Graus de Liberdade | | 18,8202 |
| Fator de Abrangência - k | | 2,1009 |
| Incerteza Expandida (μm) | | 29,6546 |

7.1.1.4 Paquímetro realizando 20 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|---|--------------|-------------------------|
| Incerteza Tipo A | Normal | 10,7295 |
| Influência da Temperatura | Triangular | 0,2730 |
| Calibração do SM | Student | 8,7000 |
| Resolução do SM | Uniforme | 2,8868 |
| Número de medições | | 20 |
| Incerteza padrão combinada | | 14,1145 |
| Graus de Liberdade | | 29,7497 |
| Fator de Abrangência - k | | 2,0452 |
| Incerteza Expandida (μm) | | 28,8675 |

7.1.1.5 Paquímetro realizando 50 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|---|--------------|-------------------------|
| Incerteza Tipo A | Normal | 10,7295 |
| Influência da Temperatura | Triangular | 0,2730 |
| Calibração do SM | Student | 8,7000 |
| Resolução do SM | Uniforme | 2,8868 |
| Número de medições | | 50 |
| Incerteza padrão combinada | | 14,1145 |
| Graus de Liberdade | | 43,7570 |
| Fator de Abrangência - k | | 2,0167 |
| Incerteza Expandida (μm) | | 28,4647 |

7.1.2 Planilhas utilizadas para a simulação do micrômetro

7.1.2.1 Micrômetro realizando 3 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|---|--------------|-------------------------|
| Incerteza Tipo A | Normal | 0,7071 |
| Influência da Temperatura | Triangular | 0,3179 |
| Calibração do SM | Student | 1,1905 |
| Resolução do SM | Uniforme | 0,2887 |
| Número de medições | | 3 |
| Incerteza padrão combinada | | 1,4497 |
| Graus de Liberdade | | 12,6861 |
| Fator de Abrangência - k | | 2,1788 |
| Incerteza Expandida (μm) | | 3,1586 |

7.1.2.2 Micrômetro realizando 5 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|---|--------------|-------------------------|
| Incerteza Tipo A | Normal | 0,7933 |
| Influência da Temperatura | Triangular | 0,3179 |
| Calibração do SM | Student | 1,1905 |
| Resolução do SM | Uniforme | 0,2887 |
| Número de medições | | 5 |
| Incerteza padrão combinada | | 1,4937 |
| Graus de Liberdade | | 15,4484 |
| Fator de Abrangência - k | | 2,1315 |
| Incerteza Expandida (μm) | | 3,1837 |

7.1.2.3 Micrômetro realizando 10 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|---|--------------|-------------------------|
| Incerteza Tipo A | Normal | 0,8080 |
| Influência da Temperatura | Triangular | 0,3179 |
| Calibração do SM | Student | 1,1905 |
| Resolução do SM | Uniforme | 0,2887 |
| Número de medições | | 10 |
| Incerteza padrão combinada | | 1,5015 |
| Graus de Liberdade | | 18,7880 |
| Fator de Abrangência - k | | 2,1009 |
| Incerteza Expandida (μm) | | 3,1545 |

7.1.2.4 Micrômetro realizando 20 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|---|--------------|-------------------------|
| Incerteza Tipo A | Normal | 0,8137 |
| Influência da Temperatura | Triangular | 0,3179 |
| Calibração do SM | Student | 1,1905 |
| Resolução do SM | Uniforme | 0,2887 |
| Número de medições | | 10 |
| Incerteza padrão combinada | | 1,5046 |
| Graus de Liberdade | | 18,8482 |
| Fator de Abrangência - k | | 2,1009 |
| Incerteza Expandida (μm) | | 3,1610 |

7.1.2.5 Micrômetro realizando 50 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|---|--------------|-------------------------|
| Incerteza Tipo A | Normal | 0,8152 |
| Influência da Temperatura | Triangular | 0,3179 |
| Calibração do SM | Student | 1,1905 |
| Resolução do SM | Uniforme | 0,2887 |
| Número de medições | | 10 |
| Incerteza padrão combinada | | 1,5054 |
| Graus de Liberdade | | 18,8641 |
| Fator de Abrangência - k | | 2,1009 |
| Incerteza Expandida (μm) | | 3,1627 |

7.2 Planilhas utilizadas no método proposto

7.2.1 Planilhas utilizadas para paquímetro

7.2.1.1 Paquímetro realizando 3 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|--|--------------|-------------------------|
| Desvio Padrão das medições | Normal | 5,6188 |
| Calibração do SM | Student | 8,7000 |
| Número de medições | | 3 |
| T de Student | | 4,3027 |
| Incerteza da Medição (μm) | | 22,6579 |

7.2.1.2 Paquímetro realizando 5 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|--|--------------|-------------------------|
| Desvio Padrão das medições | Normal | 8,1254 |
| Calibração do SM | Student | 8,7000 |
| Número de medições | | 5 |
| t de Student | | 2,7765 |
| Incerteza da Medição (μm) | | 18,7890 |

7.2.1.3 Paquímetro realizando 10 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|--|--------------|-------------------------|
| Desvio Padrão das medições | Normal | 8,0342 |
| Calibração do SM | Student | 8,7000 |
| Número de medições | | 10 |
| t de Student | | 2,2622 |
| Incerteza da Medição (μm) | | 14,4473 |

7.2.1.4 Paquímetro realizando 20 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|--|--------------|-------------------------|
| Desvio Padrão das medições | Normal | 8,4816 |
| Calibração do SM | Student | 8,7000 |
| Número de medições | | 20 |
| t de Student | | 2,0930 |
| Incerteza da Medição (μm) | | 12,6695 |

7.2.1.5 Paquímetro realizando 50 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|--|--------------|-------------------------|
| Desvio Padrão das medições | Normal | 8,1070 |
| Calibração do SM | Student | 8,7000 |
| Número de medições | | 50 |
| t de Student | | 2,0096 |
| Incerteza da Medição (μm) | | 11,0040 |

7.2.2 Planilhas utilizadas para a simulação do micrômetro**7.2.2.1 Micrômetro realizando 3 medições**

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|--|--------------|-------------------------|
| Desvio Padrão das medições | Normal | 0,7351 |
| Calibração do SM | Student | 1,1905 |
| Número de medições | | 3 |
| t de Student | | 4,3027 |
| Incerteza da Medição (μm) | | 3,0166 |

7.2.2.2 Micrômetro realizando 5 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|--|--------------|-------------------------|
| Desvio Padrão das medições | Normal | 0,9105 |
| Calibração do SM | Student | 1,1905 |
| Número de medições | | 5 |
| t de Student | | 2,7765 |
| Incerteza da Medição (μm) | | 2,3210 |

7.2.2.3 Micrômetro realizando 10 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|--|--------------|-------------------------|
| Desvio Padrão das medições | Normal | 0,8823 |
| Calibração do SM | Student | 1,1905 |
| Número de medições | | 10 |
| t de Student | | 2,2622 |
| Incerteza da Medição (μm) | | 1,8216 |

7.2.2.4 Micrômetro realizando 20 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|--|--------------|-------------------------|
| Desvio Padrão das medições | Normal | 0,8552 |
| Calibração do SM | Student | 1,1905 |
| Número de medições | | 20 |
| t de Student | | 2,0930 |
| Incerteza da Medição (μm) | | 1,5907 |

7.2.2.5 Micrômetro realizando 50 medições

| Parcelas da Incerteza | Distribuição | Valor (μm) |
|--|--------------|-------------------------|
| Desvio Padrão das medições | Normal | 0,8149 |
| Calibração do SM | Student | 1,1905 |
| Número de medições | | 50 |
| t de Student | | 2,0096 |
| Incerteza da Medição (μm) | | 1,4221 |

7.3 Estatísticas encontradas na simulação

| Estatística | Paquímetro 3 medições | | Paquímetro 5 medições | |
|------------------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
| | ISO GUM | Proposto | ISO GUM | Proposto |
| Média | 33,0833 | 22,4593 | 29,2299 | 18,8271 |
| Mediana | 32,9417 | 22,4243 | 29,2321 | 18,7785 |
| Desvio Padrão | 3,1097 | 8,9956 | 2,1840 | 2,0728 |
| Variância | 9,6701 | 80,9210 | 4,7698 | 4,2964 |
| Assimetria (Skewness) | 0,34 | 0,01 | 0,02 | 0,06 |
| Curtose (Kurtosis) | 3,31 | 2,96 | 2,96 | 2,95 |
| Coef. de Variabilidade | 0,09 | 0,40 | 0,07 | 0,11 |
| Valor Mínimo | 23,4607 | -10,0755 | 20,9888 | 11,5686 |
| Valor Máximo | 48,4269 | 54,0406 | 37,0136 | 27,0872 |
| Amplitude | 24,9661 | 64,1161 | 16,0248 | 15,5186 |
| Erro padrão médio | 0,0440 | 0,1272 | 0,0309 | 0,0293 |

| Estatística | Paquímetro 10 medições | | Paquímetro 20 medições | |
|------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|
| | ISO GUM | Proposto | ISO GUM | Proposto |
| Média | 27,5345 | 14,4243 | 26,8998 | 12,6638 |
| Mediana | 27,5501 | 14,4470 | 26,8999 | 12,6623 |
| Desvio Padrão | 1,9220 | 1,2844 | 1,8597 | 0,9104 |
| Variância | 3,6939 | 1,6497 | 3,4585 | 0,8288 |
| Assimetria (Skewness) | -0,08 | -0,02 | -0,06 | -0,01 |
| Curtose (Kurtosis) | 2,93 | 3,06 | 3,04 | 3,00 |
| Coef. de Variabilidade | 0,07 | 0,09 | 0,07 | 0,07 |
| Valor Mínimo | 20,7995 | 9,5922 | 19,0122 | 8,2591 |
| Valor Máximo | 34,0135 | 18,8603 | 32,7399 | 15,9802 |
| Amplitude | 13,2140 | 9,2681 | 13,7277 | 7,7211 |
| Erro padrão médio | 0,0272 | 0,0182 | 0,0263 | 0,0129 |

| Estatística | Paquímetro 50 medições | |
|------------------------|-------------------------------|-----------------|
| | ISO GUM | Proposto |
| Média | 26,6162 | 10,9927 |
| Mediana | 26,5874 | 10,9976 |
| Desvio Padrão | 1,8770 | 0,8725 |
| Variância | 3,5232 | 0,7612 |
| Assimetria (Skewness) | 0,05 | 0,02 |
| Curtose (Kurtosis) | 2,96 | 2,99 |
| Coef. de Variabilidade | 0,07 | 0,08 |
| Valor Mínimo | 20,3815 | 8,0370 |
| Valor Máximo | 33,3681 | 13,9026 |
| Amplitude | 12,9866 | 5,8656 |
| Erro padrão médio | 0,0265 | 0,0123 |

| Estatística | Micrômetro 3 medições | | Micrômetro 5 medições | |
|------------------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
| | ISO GUM | Proposto | ISO GUM | Proposto |
| Média | 4,1941 | 2,7693 | 4,1048 | 2,0867 |
| Mediana | 4,1297 | 2,7789 | 3,9845 | 2,0894 |
| Desvio Padrão | 1,1663 | 0,6473 | 1,1395 | 0,1949 |
| Variância | 1,3602 | 0,4191 | 1,2984 | 0,0380 |
| Assimetria (Skewness) | 0,15 | -0,03 | 0,21 | -0,03 |
| Curtose (Kurtosis) | 2,13 | 2,98 | 2,04 | 2,91 |
| Coef. de Variabilidade | 0,28 | 0,23 | 0,28 | 0,09 |
| Valor Mínimo | 1,4668 | 0,6843 | 1,2209 | 1,4022 |
| Valor Máximo | 8,6468 | 5,0191 | 6,9936 | 2,7196 |
| Amplitude | 7,1800 | 4,3347 | 5,7727 | 1,3174 |
| Erro padrão médio | 0,0165 | 0,0092 | 0,0161 | 0,0028 |

| Estatística | Micrômetro 10 medições | | Micrômetro 20 medições | |
|------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|
| | ISO GUM | Proposto | ISO GUM | Proposto |
| Média | 4,0417 | 1,5890 | 4,0623 | 1,3590 |
| Mediana | 3,8748 | 1,5913 | 3,8853 | 1,3589 |
| Desvio Padrão | 1,1054 | 0,1520 | 1,1090 | 0,1411 |
| Variância | 1,2219 | 0,0231 | 1,2298 | 0,0199 |
| Assimetria (Skewness) | 0,28 | -0,08 | 0,31 | 0,01 |
| Curtose (Kurtosis) | 1,94 | 3,13 | 1,89 | 2,94 |
| Coef. de Variabilidade | 0,27 | 0,10 | 0,27 | 0,10 |
| Valor Mínimo | 1,7744 | 0,9574 | 2,0000 | 0,8730 |
| Valor Máximo | 6,5470 | 2,2003 | 6,5668 | 1,9128 |
| Amplitude | 4,7725 | 1,2429 | 4,5668 | 1,0398 |
| Erro padrão médio | 0,0156 | 0,0021 | 0,0157 | 0,0020 |

| Estatística | Micrômetro 50 medições | |
|------------------------|-------------------------------|-----------------|
| | ISO GUM | Proposto |
| Média | 4,0428 | 1,1876 |
| Mediana | 3,8764 | 1,1895 |
| Desvio Padrão | 1,0932 | 0,1436 |
| Variância | 1,1951 | 0,0206 |
| Assimetria (Skewness) | 0,32 | 0,00 |
| Curtose (Kurtosis) | 1,89 | 2,94 |
| Coef. de Variabilidade | 0,27 | 0,12 |
| Valor Mínimo | 1,9549 | 0,6630 |
| Valor Máximo | 6,4173 | 1,6858 |
| Amplitude | 4,4624 | 1,0227 |
| Erro padrão médio | 0,0155 | 0,0020 |

ANEXO A – t de Student

| Número de valores Individuais (n) | Valores do Coeficiente de Student | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | P = 68,3% 1,00 σ | P = 95,0% 1,96 σ | P = 99,0% 2,58 σ | P = 99,73% 3,00 σ |
| 2 | 1,8395 | 12,7062 | 63,6559 | 235,7736 |
| 3 | 1,3224 | 4,3027 | 9,9250 | 19,2062 |
| 4 | 1,1978 | 3,1824 | 5,8408 | 9,2189 |
| 5 | 1,1425 | 2,7765 | 4,6041 | 6,6200 |
| 6 | 1,1113 | 2,5706 | 4,0321 | 5,5070 |
| 7 | 1,0913 | 2,4469 | 3,7074 | 4,9040 |
| 8 | 1,0775 | 2,3646 | 3,4995 | 4,5299 |
| 9 | 1,0673 | 2,3060 | 3,3554 | 4,2765 |
| 10 | 1,0594 | 2,2622 | 3,2498 | 4,0942 |
| 11 | 1,0533 | 2,2281 | 3,1693 | 3,9570 |
| 12 | 1,0483 | 2,2010 | 3,1058 | 3,8499 |
| 13 | 1,0441 | 2,1788 | 3,0545 | 3,7643 |
| 14 | 1,0407 | 2,1604 | 3,0123 | 3,6941 |
| 15 | 1,0377 | 2,1448 | 2,9768 | 3,6358 |
| 16 | 1,0352 | 2,1315 | 2,9467 | 3,5864 |
| 17 | 1,0329 | 2,1199 | 2,9208 | 3,5441 |
| 18 | 1,0310 | 2,1098 | 2,8982 | 3,5074 |
| 19 | 1,0292 | 2,1009 | 2,8784 | 3,4754 |
| 20 | 1,0277 | 2,0930 | 2,8609 | 3,4472 |
| 21 | 1,0263 | 2,0860 | 2,8453 | 3,4221 |
| 22 | 1,0251 | 2,0796 | 2,8314 | 3,3997 |
| 23 | 1,0239 | 2,0739 | 2,8188 | 3,3795 |
| 24 | 1,0229 | 2,0687 | 2,8073 | 3,3613 |
| 25 | 1,0219 | 2,0639 | 2,7970 | 3,3448 |
| 26 | 1,0211 | 2,0595 | 2,7874 | 3,3296 |
| 27 | 1,0203 | 2,0555 | 2,7787 | 3,3157 |
| 28 | 1,0195 | 2,0518 | 2,7707 | 3,3030 |
| 29 | 1,0188 | 2,0484 | 2,7633 | 3,2913 |
| 30 | 1,0182 | 2,0452 | 2,7564 | 3,2804 |
| 31 | 1,0176 | 2,0423 | 2,7500 | 3,2703 |
| 32 | 1,0171 | 2,0395 | 2,7440 | 3,2609 |
| 33 | 1,0165 | 2,0369 | 2,7385 | 3,2521 |
| 34 | 1,0160 | 2,0345 | 2,7333 | 3,2440 |
| 35 | 1,0156 | 2,0322 | 2,7284 | 3,2363 |
| 36 | 1,0152 | 2,0301 | 2,7238 | 3,2291 |
| 37 | 1,0147 | 2,0281 | 2,7195 | 3,2223 |
| 38 | 1,0144 | 2,0262 | 2,7154 | 3,2159 |
| 39 | 1,0140 | 2,0244 | 2,7116 | 3,2099 |
| 40 | 1,0136 | 2,0227 | 2,7079 | 3,2042 |
| 45 | 1,0122 | 2,0154 | 2,6923 | 3,1797 |
| 50 | 1,0110 | 2,0096 | 2,6800 | 3,1605 |
| 55 | 1,0100 | 2,0049 | 2,6700 | 3,1450 |
| 60 | 1,0092 | 2,0010 | 2,6618 | 3,1322 |
| 65 | 1,0085 | 1,9977 | 2,6549 | 3,1215 |
| 70 | 1,0079 | 1,9949 | 2,6490 | 3,1124 |
| 75 | 1,0075 | 1,9925 | 2,6439 | 3,1046 |
| 80 | 1,0070 | 1,9905 | 2,6395 | 3,0977 |
| 85 | 1,0066 | 1,9886 | 2,6356 | 3,0918 |
| 90 | 1,0063 | 1,9870 | 2,6322 | 3,0865 |
| 95 | 1,0060 | 1,9855 | 2,6291 | 3,0817 |
| 100 | 1,0057 | 1,9842 | 2,6264 | 3,0775 |
| 105 | 1,0055 | 1,9830 | 2,6239 | 3,0737 |
| 110 | 1,0053 | 1,9820 | 2,6217 | 3,0702 |
| 120 | 1,0049 | 1,9801 | 2,6178 | 3,0643 |
| ∞ | 1,0000 | 1,9600 | 2,5800 | 3,0000 |

t de Student obtido com o uso de função específica do Excel ®.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTAZZI, A. G. Jr., *Apostila de Metrologia*, UFSC, LabMetro, 24 de Junho de 2002
- ASQC, AIAG, *Statistical Process Control*”, Automotive Industry Action Group, Troy, Mi, 1992.
- BALDO, C.F. & DONATELLI, G.D., *Avaliação da capacidade de processos: efeito da amostragem e da incerteza de medição*. METROLOGIA 2003 - Metrologia para a Vida Sociedade Brasileira de Metrologia (SBM) Setembro 01-05, 2003, Recife, Pernambuco – BRASIL, 2003
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 10012, *Sistemas de Gestão de Medição – Requisitos para os processos de medição e equipamento de medição*, Rio de Janeiro, 2004.
- BALLICO, M., *Limitations of the Welch-Satterthwaite approximation for measurement uncertainty calculations*, Metrologia 37 61-64, 2000.
- BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, OIML, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, International for Standardization, Geneva, Switzerland, First Edition, 1993
- CAMPANELLA, J., - *Principles of Quality Cost - principles, implementation and use*. 3ª Edição. Milwaukee, Wisconsin, USA: ASQ Quality Press, 1999
- CRYSTAL BALL 2000.2 *Student Edition* - Decisioneering, Inc., 1515 Arapahoe St., Suite 1311, Denver, CO 80202, EUA, 2000
- DONATELLI, G. D., BARP, A. M., SCHNEIDER, C. A., *The influence of measurement errors on the values of process capability indices*, 6th IMEKO SYMPOSIUM Metrology for Quality Control in Production, pp.133-141, 1998.
- FEIGENBAUM, A. V, *Total Quality Control*. 3a Edição. New York: McGraw-Hill Book Company, 1991
- GRABE, M., *Estimation of measurement uncertainties - an alternative to the ISO Guide*, Metrologia 38 97-106, 2001
- HARRINGTON, H. J., *Aperfeiçoando Processos Empresariais*. Tradução de Luiz Liske; revisão técnica Luciano Saboia Lopes Filho. São Paulo: Makron Books, 1993
- INCERPI, P. H., NORONHA, J. L., BARCA, L. F., *Avaliação da Incerteza de Medição de Instrumentos da Indústria – III CONEN*, Agosto de 2004, Belém – PA, Brasil, 2004
- INCERPI, P. H., NORONHA, J. L., BARCA, L. F., *Comparação de Procedimentos na Avaliação da Incerteza de Medição – Máquinas e Metais*, Fevereiro de 2005, São Paulo, Brasil, 2005A
- INCERPI, P. H., NORONHA, J. L., BARCA, L. F., *Incerteza de medição simplificada na análise da conformidade do produto – XXV ENEGEP*, Novembro de 2005, Porto Alegre – RS, Brasil, 2005B

INMETRO, *Guia para a expressão da Incerteza de Medição (ISO GUM)*, 2ª edição, Rio de Janeiro, 1998

INMETRO, *Expressão da Incerteza de Medição na Calibração – Versão Brasileira da Publicação EA-4/02*, 1999

INMETRO, *Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia (VIM)*, 2.ª Edição, Brasília, 2000.

INMETRO, *NIT-DICLA-021 Expressão da Incerteza de Medição*, 2003

ISO 14253-1, Geometrical product specifications (GPS) - Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 1: Decision rules for proving conformance or non-conformance with specifications, Switzerland, 1998

ISO 3534-1 Statistics – *Vocabulary and symbols – Part I: Probability and General Statistical Terms*, International Organization for Standardization (Genebra, Suíça), 1993

JURAN, J.M.; GRZYNA, F. M, *Juran's Quality Control Handbook*. 4ª Edição. New York: McGraw-Hill Book Company, 1988

KORNBLIT, F., *Evaluation of Uncertainty in Calibration and Testing*, Advanced School of Metrology: Evaluation of Uncertainty of Measurement, Programa RH Metrologia, Angra dos Reis, RJ, 1997

LIRA, I., KYRIAZIS, G., *Bayesian inference from measurement information*, Metrologia 36 163-169, 1999

LISKA, A. F., DONATELLI, G. D., *Conformidade com especificação de comprimento considerando o efeito dos erros de forma*, Seminário Internacional de Metrologia para Controle da Qualidade, Florianópolis, Brasil, 1997

LISKA, A.F., *Controle Estatístico das Componentes da Incerteza em Processos de Medição de Parâmetros Geométricos*, Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis – SC, 1999

MARTENS H.J.G., *Evaluation of Uncertainty in Measurements Problems and Tools, Optics and Lasers in Engineering*, vol 38 p 185–206, 2002

MATHIESEN, O., *Uncertainty of Measurement – understand the GUM*. Advanced School of Metrology: Evaluation of Uncertainty of Measurement, Programa RH Metrologia, Angra dos Reis, RJ, 1997

MONTGOMERY, D.C., RUNGER, G. C., *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*, 2ª Edição, Rio de Janeiro, 2003

QS9000, *Manual of Measurement Systems Analysis, Automotive Industry Action Group*, Ford, GM, Chrysler. Detroit Michigan, 1995

SILVA, J.H.C. & DONATELLI, G.D, *Efeito da incerteza de medição na sensibilidade da carta de controle de valores individuais*. - Metrologia para a Vida, Sociedade Brasileira de Metrologia (SBM), Setembro 01-05, Recife, 2003

VAN DER VEEN, A. M. H., COX, M. G., *Error analysis in the evaluation of measurement uncertainty*, Metrologia 40 42-50, 2003

VUOLO, J. H., *Fundamentos da Teoria de Erros*. 2ª Edição, Editora Edgard Blücher, São Paulo, 1996

WILLINK, R., HALL, B.D., *A classical method for uncertainty analysis with multidimensional data*, Metrologia 39 361-369, 2002