



## MEDIÇÕES DE MATERIAIS E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

### MEASUREMENTS OF STATISTICAL MATERIALS AND ANALYSIS

Amanda Carmona Sversut<sup>1</sup>

Jonathas Ourives Prado<sup>2</sup>

Letícia Liário Siqueira<sup>3</sup>

Sueli Souza Leite<sup>4</sup>

Vinícius Giraldelli Salandim<sup>5</sup>

**RESUMO:** A Metrologia, desde os seus primórdios, vem gerando grande impacto na sociedade crescendo junto com as necessidades do mercado, definindo medidas padrões para o comércio justo e a defesa do consumidor. Inserida no contexto do processo de produção, a Metrologia atua como um sensor que controla as variáveis e os atributos dos produtos. O objetivo deste trabalho foi analisar os resultados de medições obtidos através do rugosímetro e do paquímetro, permitindo identificar tendências dos resultados de medição de parâmetros pré-definidos em função das condições de medição. Para validar os resultados, foram realizadas análises estatísticas buscando verificar as hipóteses de normalidade, desvio padrão, diferenças entre médias e entre variâncias, com o auxílio do *The R Project for Statical Computing*.

**Palavras chave:** Metrologia; Resultados; Medições

**ABSTRACT:** Since its inception, Metrology has had a great impact on society, growing along with the needs of the market, defining standard measures to define fair trade and

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia de Produção, Unitoledo

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia de Produção, Unitoledo

<sup>3</sup> Graduanda em Engenharia de Produção, Unitoledo

<sup>4</sup> Mestre em Engenharia Mecânica, Unesp

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, Unitoledo

consumer protection. Inserted in the context of the production process, Metrology acts as a sensor that controls the variables and the attributes of the products. The objective of this work was to analyze the results of measurements obtained through the rugosimeter and the pachymeter, allowing identifying trends in the measurement results of predefined parameters as a function of the measurement conditions. To validate the results, statistical analyzes were carried out to verify the hypotheses of normality, standard deviation, differences between means and between variances, with the aid of The R Project for Statical Computing.

**Keywords:** Metrology; Results; Measurements

## INTRODUÇÃO

A Metrologia trata padrões de medição internacionais e nacionais, dos instrumentos laboratoriais como o rugosímetro e o paquímetro. O rugosímetro é um instrumento de medição utilizado para medir o grau de rugosidade, a textura e a ondulação dos materiais, bem como nos fornece um gráfico de seus picos e vales. O paquímetro é utilizado para medir diversos materiais, principalmente os pequenos objetos.

Segundo Fernandes (2009, p. 2):

A Metrologia está cada vez mais inserida no mundo, principalmente nos países desenvolvidos. O governo brasileiro, percebendo o papel vital da Metrologia no desenvolvimento do país e dando continuidade às ações iniciadas com a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE) e do Programa Sistema Brasileiro de Tecnologia (SIBRATEC), nos quais a Metrologia tem papel estratégico no apoio à competitividade do setor produtivo nacional assim como nos segmentos de saúde, meio ambiente, segurança e defesa do País, elaborou um documento que estabelece as Diretrizes Estratégicas para a Metrologia Brasileira 2008-2012, atualizando conceitos e estratégias, bem como explicitando os desafios e as orientações alinhadas às novas demandas para a Metrologia Brasileira. Nesse sentido, coloca-se a Metrologia como pilar fundamental para o crescimento e inovação tecnológica, promoção da competitividade e criação de um ambiente favorável ao desenvolvimento científico e industrial em todo o país.

A metrologia inclui todos os aspectos relacionados com a elaboração, desenvolvimento e implementação de regulamentação metroológica, de forma a proteger os cidadãos das consequências de medições incorretas. Neste âmbito encontram-se os instrumentos de medição consolidados em operações comerciais, fiscais, de proteção do ambiente, de consumo de energia, da segurança e da saúde, que cada Estado entende submeter ao controle metroológico legal, mediante o seu acompanhamento desde a sua disponibilização no mercado até ao fim da sua vida útil. Para analisar as medições incorretas é feito um estudo estatístico dos materiais, dos instrumentos e medições e da variabilidade dos dados e obter respostas para as variações dos materiais.

A figura 1 representa a estrutura dos dois grupos de madeiras.

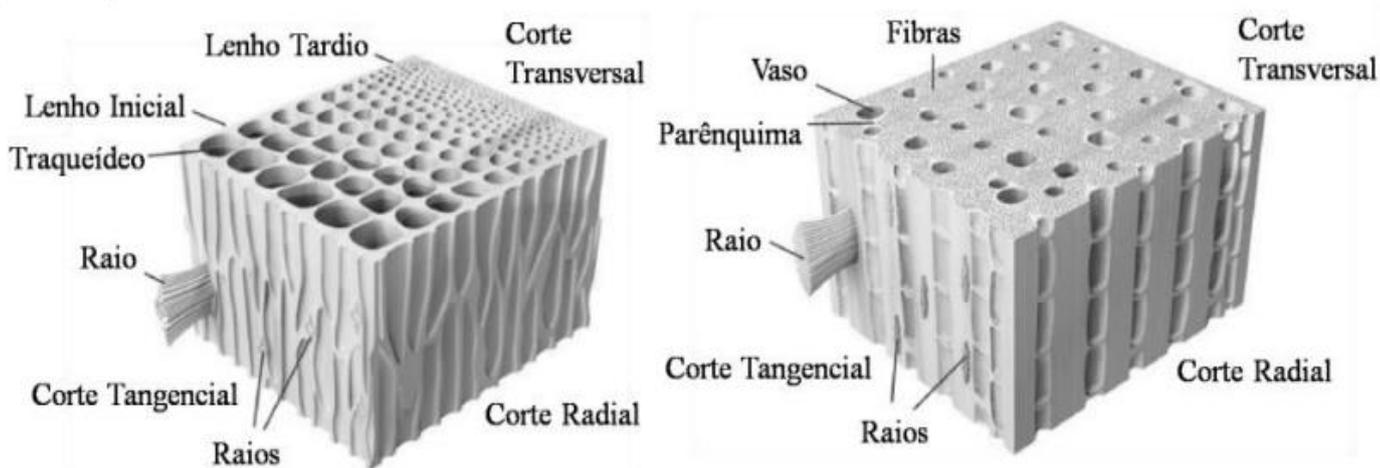


Figura 1 - Aspecto microscópico de madeira

Fonte: GONZAGA APUD MÜLLER (2016).

(A) Conífera → *Pinus*

(B) Folhosa → *Corymbia*

As madeiras podem ser agrupadas em duas categorias distintas, as coníferas e as folhosas. O *Pinus*, pertencente do grupo coníferas possui lenho tardio e lenho inicial, sendo o lenho tardio a parte escura da madeira (representa invernos) e o lenho inicial a parte clara da madeira (representa verões).

O *Corymbia*, pertencente ao grupo das folhosas apresenta menos variações entre lenho tardio e inicial, portanto é mais homogênea, mais resistente e possui menor rugosidade em relação ao *Pinus*.

## 2. OBJETIVOS

Avaliar parâmetros dimensionais de diferentes materiais como aço 1045, Pinus, *Corymbia* e Polímero Tecnil através do paquímetro e do rugosímetro a fim de analisar o comportamento das medidas em relação a cada material cada material e estabelecer a comparação dos resultados obtidos através de ensaios estatísticos por meio do *The R Project for Statical Computing*, o Programa R.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios experimentais para a determinação dos parâmetros de rugosidade e aferição de medidas por meio do paquímetro foram realizados de acordo com as normas NBR NM216 (2000) e NBR 4287 (2002).

Os instrumentos utilizados foram um paquímetro universal Marbeg e um rugosímetro portátil digital modelo Sj-210 fabricado pela empresa Mitutoyo, ambos utilizados em aplicações industriais, conforme mostra as Figuras 2 e 3, respectivamente.



Figura 2 – Paquímetro Marbeg

Fonte: Próprio Autor (2018).



Figura 3 – Rugosímetro Sj - 210

Fonte: Próprio Autor (2018).

As peças utilizadas nesse experimento forame Aço 1045, *Pinus*, *Corymbia* e polímero tecnil, conforme as figuras 4, 5, 6 e 7.



, Araçatuba



Figura 4 – Bloco de aço 1045

Fonte: Próprio Autor (2018).

Figura 5 – Bloco de Pinus

Fonte: Próprio Autor (2018).



Figura 6 – Bloco de Polímero

Fonte: Próprio Autor (2018).



Figura 7 – Bloco de *Corymbia*

Fonte: Próprio Autor (2018).

Com o auxílio do paquímetro foram realizadas 9 medições de cada material e com o rugosímetro foram realizadas 6 medições a fim de obter uma melhor análise dos dados, observar a variância e verificar a precisão e exatidão dos dados adquiridos.

Além disto, nota-se que a variação ocorre de acordo com o manuseio dos equipamentos de medições assim como o erro de paralaxe oriundo da observação de cada membro do grupo. É importante ressaltar que sempre existirão erros de medição ou erros

sistemáticos. Erros de medição são erros da maneira de utilização dos instrumentos de medição e o erro sistemático é a parcela do erro que se repete quando uma série de medições é efetuada nas mesmas condições.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados a seguir foram analisados com o auxílio do *software* R®. Para determinar de forma adequada os valores de amostragem, foram realizadas uma série de medições dos materiais.

##### 4.1 Análise dimensional

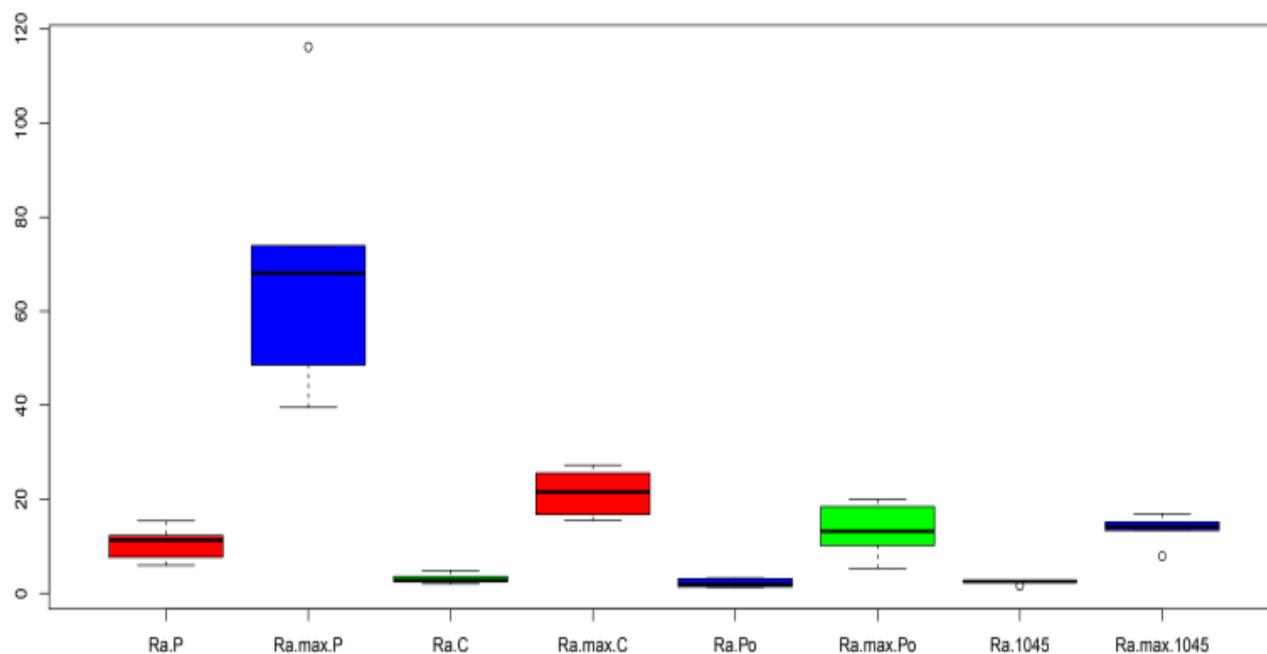
Na Tabela 1 são apresentados os resultados de medições dos materiais com o uso do paquímetro, assim como o cálculo de suas médias, variâncias e desvio padrão, na qual “c” refere-se ao *Corymbia*, “p” ao *Pinus*, “1045” ao aço 1045 e “po” ao Polímero Tecnil. As nomenclaturas C, E e L de cada material representam, sequencialmente o comprimento, a espessura e a largura de cada material.

Tabela 1 – Dimensões dos materiais

Medições												
Material	Cc	Ec	Lc	Cp	Lp	Ep	C1045	E1045	L1045	Cpo	Epo	Lpo
1	50	24,1	30,1	50,4	29,4	23,8	54,1	23,65	30	53,9	23	30
2	50	24,05	30,05	50,3	29,5	23,9	54	22,7	30,05	54	22,9	30
3	50	24,1	30	50,5	29,4	23,8	54,05	22,4	30,2	53,95	23,01	29,9
4	50,1	24,3	30	50,4	29,55	24,05	50,1	22,4	30,15	53,95	22,9	30
5	50,1	24,1	30,1	50,4	29,5	24	54,98	22,4	30,05	54,05	23,1	29,95
6	50,2	24,05	30,1	50,45	29,6	24,2	54,05	22,45	30	53,9	23	30
7	50	24	30,05	50,5	29,45	24,1	53,2	22,5	30,1	53,9	23	30,05
8	50,05	24,1	30	50,4	29,4	24,15	53,2	22,4	30,09	53,95	22,9	30
9	50,05	24,1	30,01	50,2	29,45	24,1	53,1	22,5	30	53,9	23	30
10	50	24	30	50,3	29,4	23,9	54,1	22,4	30,2	53,95	22,9	30,1
Média	50,05	24,09	30,05	50,38	29,47	24	53,49	22,58	30,08	53,95	22,97	30
Variância	0,004	0,007	0,002	0,01	0,005	0,021	1,74	0,15	0,006	0,002	0,005	0,003
Desvio Padrão	0,067	0,084	0,047	0,098	0,071	0,143	1,319	0,387	0,078	0,5	0,078	0,053

Fonte: Próprio Autor (2018).

Figura 8 - Gráfico Dimensões



Fonte: Próprio Autor (2018).

Ra.P: Média de Rugosidade do Pinus

Ra.max.P: Rugosidade Máxima do Pinus

Ra.C: Média de Rugosidade da Corymbia

Ra.max.C: Rugosidade Máxima da Corymbia

Ra.Po: Média de Rugosidade do Polímero Tecnil

Ra.max.Po: Rugosidade Máxima do Polímero Tecnil

Ra. 1045: Média de Rugosidade do Aço 1045

Ra.max.1045: Rugosidade Máxima do Aço 1045

Boxplot é um diagrama de caixa que representa a variação de dados de uma variável. No boxplot acima (Figura 8), nota-se que os dados do Pinus apresentam uma variância maior em relação o *Corymbia*, ao Polímero Tecnil e ao aço 1045. Nota-se também que a maior parte dos números obtidos do *Pinus* estão abaixo da média e possui um outlier, ou seja, um valor inexplicável, seja por irregularidade acentuada da peça, presentes por questões anatômicas ou devido ao processo de fabricação.

No boxplot da Figura 8, nota-se que o *Corymbia* e o Polímero apresentam valores similares, não possuem outliers e as variâncias são quase simétricas em relação à média.

No boxplot do Aço 1045 (Figura 8) nota-se a presença de um outlier e percebe-se uma variância inferior em relação aos demais materiais pelo fato de possuir maior resistência

mecânica, ser mais homogêneo e ter contorno de grãos, pois estes fatores contribuem para a superfície apresentar poucas irregularidades.

#### 4.2 Análise da rugosidade superficial

Na Tabela 2 são apresentados os resultados de medições das rugosidades dos materiais com o uso do rugosímetro, assim como o cálculo de suas médias, variâncias e desvio padrão.

Tabela 2 - Rugosidade Média e Máxima

Medições								
Material	RaP	Ra max P	Ra C	Ra max C	Ra Po	Ra max Po	Ra 1045	Ra max 1045
1	7,69	63,69	2,43	15,53	3,12	18,44	2,56	16,92
2	12,29	116,22	3,59	21,79	1,27	5,32	2,62	13,39
3	5,94	39,53	4,88	27,28	3,21	19,98	1,59	7,9
4	15,4	73,92	1,97	16,78	1,88	11,39	2,43	15,18
5	11,78	72,54	2,94	21,3	1,41	10,19	2,6	14,63
6	10,83	48,55	2,51	25,57	1,92	15,02	2,48	13,67
Média	10,66	69,08	3,05	21,38	2,14	13,39	2,38	13,62
Variância	11,5	716,26	1,1	21,58	0,7	30,19	0,16	9,42
Desvio Padrão	3,39	26,76	1,05	4,65	0,84	5,49	0,39	3,07

Fonte: Próprio Autor (2018).

Ra.P: Média de Rugosidade do Pinus

Ra.max.P: Rugosidade Máxima do Pinus

Ra.C: Média de Rugosidade do *Corymbia*

Ra.max.C: Rugosidade Máxima do *Corymbia*

Ra.Po: Média de Rugosidade do Polímero Tecnil

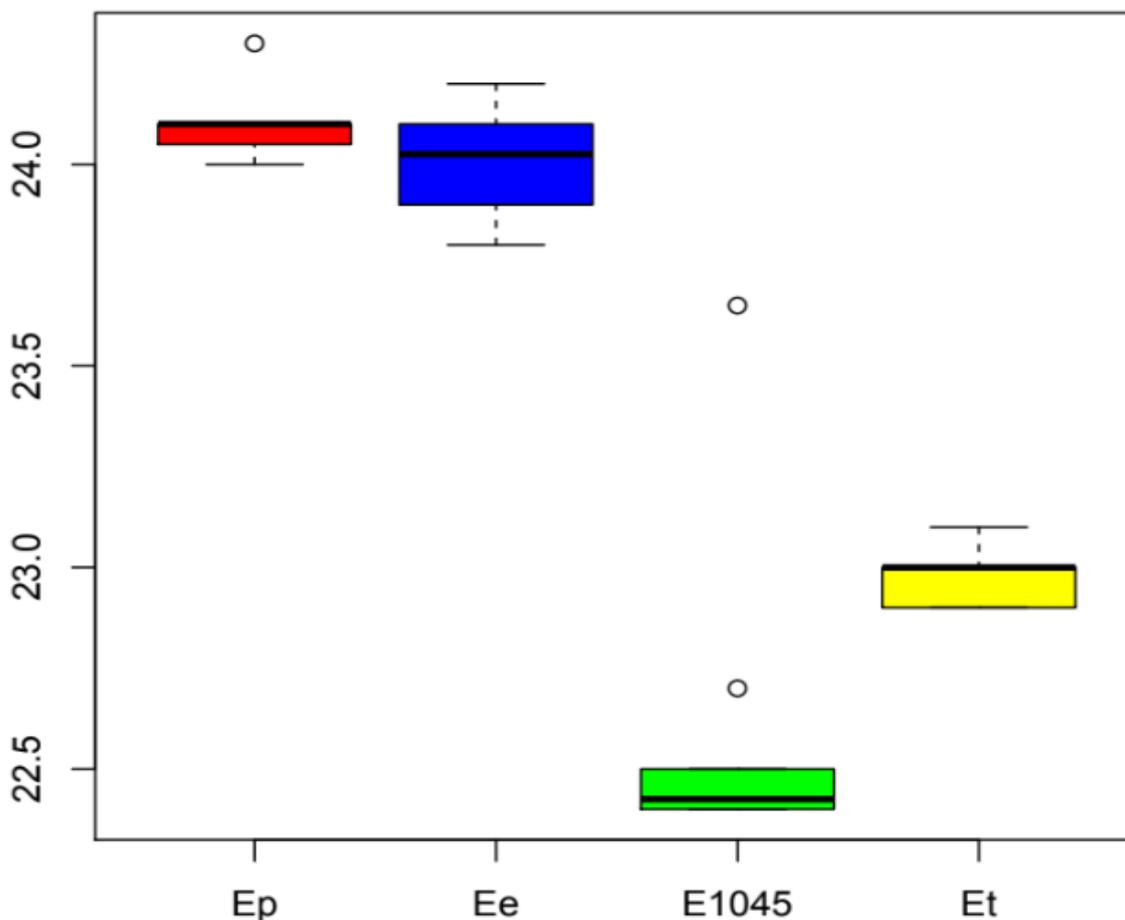
Ra.max.Po: Rugosidade Máxima do Polímero Tecnil

Ra. 1045: Média de Rugosidade do Aço 1045

Ra.max.1045: Rugosidade Máxima do Aço 1045

Na figura 9 apresenta medições referentes a rugosidade média dos materiais citados.

Figura 9 - Gráfico da Rugosidade Média



Fonte: Próprio Autor (2018).

O eixo X apresenta os materiais, na qual Ep representa o *Corymbia*, Ee o Pinus, E1045 o Aço 1045 e o Et o Polímero Tecnil e o eixo Y representa o grau de rugosidade dos materiais citados.

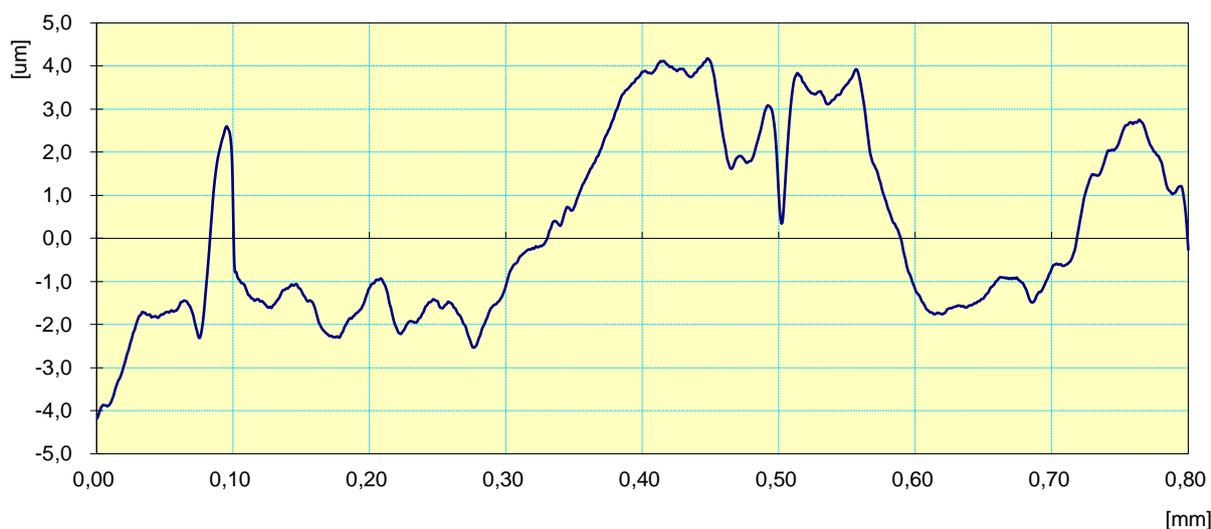
Na análise no gráfico da rugosidade nota-se que o *Corymbia* possui maior variância em relação aos demais e seus dados concentram-se abaixo da média. O Pinus apresenta baixa variação, com dados abaixo da média e possui um outlier. O Polímero Tecnil apresenta baixa variação e dados abaixo da média. O aço 1045 possui dois outlier e apresenta baixa variância de dados e estes estão acima da média.

Comparando-se o *Corymbia* e o Pinus, nota-se que no gráfico de rugosidade o *Corymbia*, pertencente ao grupo das folhosas apresenta menos variações entre lenho tardio e inicial, portanto é mais homogênea, mais resistente e possui menor rugosidade em relação ao Pinus.

O aço 1045, por ser um material mais homogêneo que os demais, possui menor espaço entre os cristais, implicando em sua elevada resistência mecânica e baixo grau de

rugosidade, pelo fato de possuir baixas variações em relação a superfície do material, logo, possui dados mais precisos. O Ra máximo do aço SAE 1045 é 8,10 $\mu\text{m}$ , como pode-se observar na figura 10.

Figura10 - Perfil de rugosidade aço SAE 1045



Fonte: Próprio Autor.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos estudos realizados, nota-se que o aço 1045 é o que apresenta mais precisão de medição e menor grau de rugosidade devido ao fato de possuir uma estrutura homogênea e, conseqüentemente, elevada resistência mecânica. Dentre as madeiras, nota-se que o *Corymbia*, apresentou maior homogeneidade em relação ao Pinus, e isto resulta em menores variações de medições e de grau de rugosidade. O Polímero Tecnil, por ser constituído de ligações covalentes e possuir alta resistência mecânica e alta rigidez, apresentou uma variação regular em seus dados e não apresentou nenhum outlier.

Conclui-se que todas as medições possuem incertezas, algumas muito elevadas e outras menos. Quanto menor o grau de incerteza, mais preciso serão os dados. É importante a padronização das unidades de medida para assegurar o nível de qualidade de produção, diminuir retrabalhos e conseqüentemente custo de operações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2000). NBR NM216 – Paquímetros e paquímetros de profundidade – Características construtivas e requisitos metrológicos, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002). NBR 4287 – Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil, definições e parâmetros da rugosidade, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 107p, 1997.

FERNANDES, W. D. et al. METROLOGIA E QUALIDADE – SUA IMPORTÂNCIA COMO FATORES DE COMPETIVIDADE NOS PROCESSOS PRODUTIVOS. Enegep, p. 2, 2009

GONZAGA, A. L. MADEIRA: USO E CONSERVAÇÃO. Brasília/DF: IPHAN/MONUMENTA, 2006.