



## **ANÁLISE DAS DIMENSÕES E RUGOSIDADE DE DIFERENTES MATERIAIS**

## **ANALYSIS OF DIMENSIONS AND RUGOSITY OF DIFFERENT MATERIALS**

Adriano Dias<sup>1</sup>  
 Andressa Ribeiro Sanches Pereira<sup>2</sup>  
 Elis Regina Arruda Leite<sup>3</sup>  
 Leticia Rossetto Belazi<sup>4</sup>  
 Sueli Souza Leite<sup>5</sup>  
 Vinícius Giraldelli Salandim<sup>6</sup>

**RESUMO:** Metrologia é a ciência da medição, na qual trata de como medir, seus erros associados e das unidades corretas. Com a finalidade de interligar os conceitos da metrologia com a estatística fez-se este trabalho cujo objetivo é colocar em prática os conceitos teóricos adquiridos na disciplina de Instrumentação e Metrologia. Para isso foram utilizados um paquímetro e um rugosímetro para medir as dimensões e analisar a rugosidade de peças dos seguintes materiais: madeira, aço e polímero. Os dados coletados foram transferidos para um software de estatística, o *software R*®, no qual foram gerados gráficos e valores de média e desvio padrão das medidas. Pela análise dos mesmos pôde-se perceber houve pouca variabilidade dos dados das medidas de dimensões, e que quanto mais organizada a estrutura do material, menor é a rugosidade do mesmo.

**Palavras-Chave:** dimensões, rugosidade, análise descritiva dos dados, materiais.

**ABSTRACT:** Metrology is the science of measurement, in which it deals with how to measure, its associated errors and the correct units. In order to interconnect the concepts of

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

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

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

<sup>4</sup> Graduanda em Engenharia de Produção, Unitoledo

<sup>5</sup> Mestre em Engenharia Mecânica, Unesp

<sup>6</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, Unitoledo

metrology with statistics, this work was carried out in order to put into practice the theoretical concepts acquired in the discipline of Instrumentation and Metrology. For this, a pachymeter and a rugosimeter were used to measure the dimensions and to analyze the roughness of parts of the following materials: wood, steel and polymer. The collected data were transferred to a statistical software, the software R®, in which graphs and mean values and standard deviation of the measurements were generated. By the analysis of the same it was possible to notice that there was little variability of the data of the measures of dimensions, and that the more organized the structure of the material, the smaller the roughness of the same.

**Keywords:** dimensions, rugosity, descriptive analyzis of data, materials.

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de medir surgiu naturalmente ao longo do caminho evolutivo da humanidade. Inicialmente, as medições eram baseadas na anatomia humana, porém como se mostravam insuficientes para medir comprimentos e volumes, á medida que as civilizações floresceram, as técnicas e unidades de medição foram sendo aperfeiçoadas para satisfazer as demandas de cada época. (ALBERTAZZI e SOUZA, 2008)

Para Albertazzi e Souza (2008, p.3) “medir é o procedimento experimental pelo qual o valor momentâneo de uma grandeza física (mensurado) é determinado como um múltiplo e/ou uma fração de uma unidade, estabelecida por um padrão e reconhecida internacionalmente”.

Existe uma ciência das medidas e suas aplicações, que é a Metrologia. Ela abrange todos os aspectos teóricos e práticos que asseguram a precisão exigida no processo produtivo, procurando garantir a qualidade de produtos e serviços mediante a calibração de instrumentos de medição, sejam eles analógicos ou eletrônicos (digitais), e da realização de ensaios, sendo a base fundamental para a competitividade das empresas. (NETO, 2012)

Segundo Neto (2012), no decorrer do tempo, a Metrologia também evoluiu, porque precisava acompanhar o desenvolvimento tecnológico, medindo e analisando as dimensões e as qualidades dos produtos. Sem o desenvolvimento da Metrologia, provavelmente não haveria esse avanço tecnológico, de extrema importância para o desenvolvimento industrial social e econômico da humanidade.

Em 1961, foi criado o Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM), centralizando a política metrológica nacional. Para a plena execução de suas competências, ele adotou, em

1962, o Sistema Internacional de Unidades (SI), consolidado pela 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas em 1960. Os Órgãos Estaduais, hoje conhecidos como Órgãos Delegados, recebem a incumbência de execução de atividades metrológicas, atingindo cada região do País. (INMETRO, 2012)

Para interpretar as medidas obtidas com o auxílio da metrologia é de suma importância fazer a análise estatísticas dos dados. Segundo Correa (2003) a Estatística é uma parte da Matemática que fornece métodos para a coleta, organização, descrição, análise e interpretação de dados, viabilizando a utilização dos mesmos na tomada de decisões. Para gerar os dados estatísticos como média, mediana, variância, desvio padrão, entre outros, podem ser usados softwares e programas, sendo um deles o *software R*®.

## **2. OBJETIVOS**

Aplicar os conceitos teóricos adquiridos com Instrumentação e Metrologia, disciplina integrante da grade curricular do curso de graduação de Engenharia de Produção do Centro Universitário Toledo. Para isso, foi executado a medição das dimensões e da rugosidade dos corpos de prova de diferentes materiais, como madeira (Pinus e Corymbia), aço 1045 e polímero (tecnil), a fim de que esses dados fossem analisados posteriormente por um software de estatística.

## **3. REVISÃO TEÓRICA**

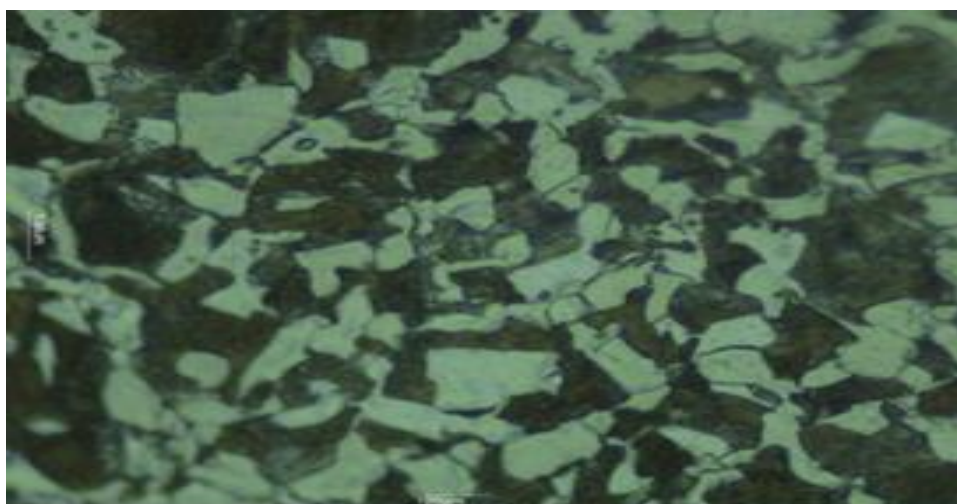
### **3.1 Tipos de materiais**

Existe, na atualidade, uma grande variedade de materiais de engenharia para a execução dos mais diversos tipos de produtos. Estes materiais podem agrupar-se em diversos grupos, sendo eles: materiais naturais, como a madeira; metais; cerâmicos; polímeros; e compósitos, que são a mistura de materiais. Cada um destes tipos de materiais possui propriedades muito diversas, que os caracterizam e lhes conferem aplicações muito específicas e adequadas a fabricação de determinados tipos de produtos. As propriedades físicas, químicas ou mecânicas, são de extrema importância no tipo de utilização dos materiais e principalmente no bom desempenho e durabilidade dos produtos com eles obtidos.

#### **3.1.1 Metais**

Os metais possuem estrutura cristalina, que é formada quando o metal se solidifica e seus átomos que estavam mais dispersos no estado líquido se ordenam formando uma figura geométrica regular (cristal). O conjunto de células unitárias formam cristais com contornos geométricos irregulares e é chamado de grão, e esse contorno é chamado de contorno de grão. (FILHO, 2010)

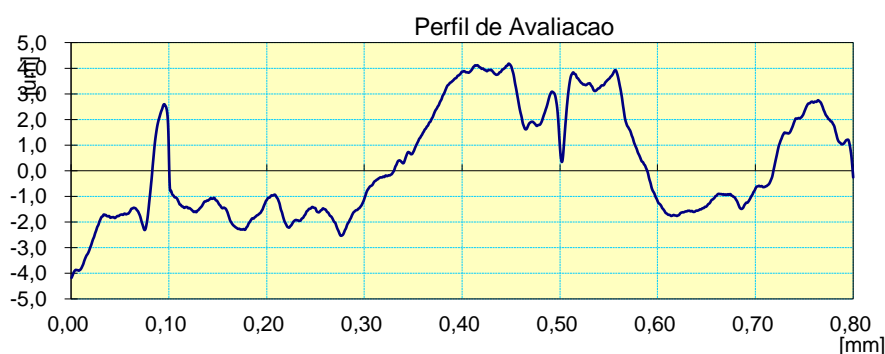
Abaixo se encontra uma figura da metalografia do aço 1045, onde mostra a estrutura desse aço e é possível ver seus contornos de grãos.



Fonte: LEITE, M. C. et al, 2017

Figura 1 - Imagem metalográfica do aço SAE 1045.

Abaixo está apresentado um gráfico do perfil de rugosidade do aço 1045. A rugosidade dos metais não é muito elevada devido a sua estrutura e homogeneidade.



Fonte: próprio autor

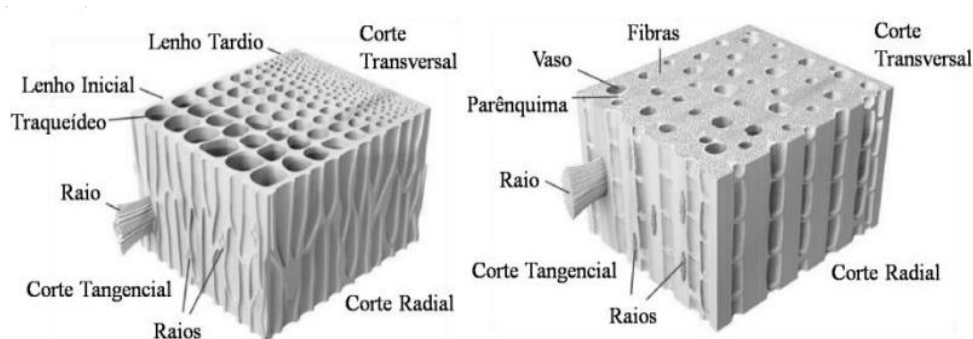
Figura 2 - perfil de rugosidade aço SAE 1045

### 3.2 Madeiras

A madeira é um tipo de material muito utilizado desde móveis a estruturas de construções; apesar de ser muito versátil, é um pouco difícil de ser trabalhada devido as suas

características: por possuírem fibras naturais têm mais facilidade para perder ou ganhar umidade; também são anisotrópicas, que segundo Callister (2012) é a propriedade de um material de variar de tamanho em qualquer direção, ou seja, comprimento, largura e espessura, sendo que na madeira isso pode ocorrer de forma irregular.

Existem vários tipos de madeiras, e cada espécie pode ter características diferentes da outra, por exemplo o pinus e o eucalipto, no qual o primeiro possui menor resistência mecânica, por ser uma conífera que é menos evoluída do que a folhosa (eucalipto – Corymbia) e também por possuir lenhos (inicial e tardio). As estruturas dessas duas espécies podem ser visualizadas abaixo. (SHACKELFORD, 2008)



(A) conífera → Pinus / (B) folhosa → Corymbia

Fonte : GONZAGA APUD MÜLLER, 2016  
Figura 3 – estrutura do pinus e corymbia

### 3.3 Polímeros

Polímeros são compostos formados por macromoléculas, formadas por pequenas partes que são chamadas de monômeros. Os monômeros são as unidades que se repetem dentro da estrutura do polímero e podem ou não ser unidades iguais, formando longas cadeias. Podem ser naturais ou sintéticos, termoplásticos ou termofixos e com propriedades específicas de acordo com os monômeros que formam a macromolécula dos diversos polímeros existentes. O Tecnil, por exemplo, é um tipo de polímero cuja estrutura química é baseada na poliamida reforçada com fibras minerais e/ou sintéticas, e possui características como alta resistência mecânica, baixo peso, ponto de fusão elevado, etc. (SENAI)

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da experimentação foram utilizados os seguintes materiais:

- Corpos de prova feitos de madeira pinus (*Pinus elliottii*) e madeira eucalipto (*Corymbia citriodora*), aço 1045 e Tecnil (polímero); ( como mostra a Figura 4)
- Paquímetro (Figura 5);
- Rugosímetro ( Figura 6);
- Software R Estatística.

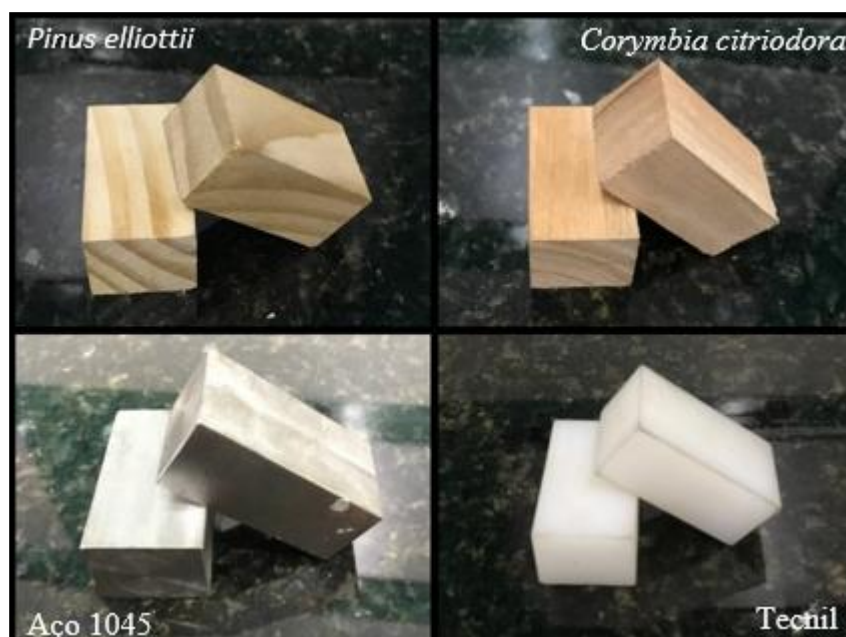


Figura 4 – Corpos de prova



Figura 5 – Paquímetro



Figura 6 - Rugosímetro

Foram realizadas as medições das dimensões (comprimento, largura e espessura) de todos os corpos de prova, sendo que cada uma das dimensões foi medida dez vezes utilizando um paquímetro. Após fazer as medições das dimensões dos corpos de prova, foi realizada a medição das rugosidades média e máxima dos mesmos por seis vezes cada uma, utilizando o rugosímetro portátil digital (ou de contato), o qual possui um apalpador que entra em contato direto com a superfície da peça analisada para assim obter os valores numéricos da rugosidade como mostrado na figura a seguir.



Figura 7 – medição das amostras usando o rugosímetro

Terminado a coleta de todos os dados, os mesmos foram transferidos para o *software* R® para que fossem analisados. Através desse programa, foi gerado a média aritmética, o desvio padrão e ainda foram gerados boxplots (diagramas de caixas), os quais serão mostrados a seguir.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Análise Dimensional

Os valores (em milímetros) obtidos com as medições foram os seguintes:

Medições	Cp	Ep	Lp	Ce	Ee	Le	C1045	E1045	L1045	Ct	Et	Lt
1	49,9	24,2	30	50,2	23,9	29,3	54	22,9	30	53,8	23,1	30
2	50	24,2	30	50,2	23,8	29,4	54	23	29,9	53,9	22,9	30,1
3	49,9	24,3	30	50,2	23,8	29,4	54	22,8	29,9	53,8	23	30,1
4	50,3	24,3	29,4	50,4	24,45	29,2	54	23,1	30	53,65	23	30
5	50	24,4	29,3	50,25	24,5	29,3	54	23	30	52,75	23	30
6	50,3	24,4	29,3	50,25	24,45	29,3	53,9	23	30	52,94	23	30
7	50,1	24,1	30,3	50,6	24,4	29,3	54	23	30	53,6	23,7	30,2
8	50,2	24,2	30,2	50,5	24,5	28,9	53,9	22,9	30	53,5	23,5	30,4
9	50,2	24,2	30,2	50,6	24,1	29,2	54	23	29,9	53,7	23	30,1
10	50,1	24,3	30	50,4	24,3	29,5	53,9	22,7	29,9	53,8	22,9	30,1
Média	50,100	24,26	28,87	50,36	24,22	29,28	53,97	22,94	29,96	53,54	23,11	30,10
Sd	0,0149	0,096	0,386	0,162	0,292	0,1619	0,0483	0,117	0,051	0,388	0,268	0,124

Fonte: os próprios autores

Tabela 1: medidas obtidas com o paquímetro, média e desvio padrão

Legenda da tabela:

C – Comprimento

E – Espessura



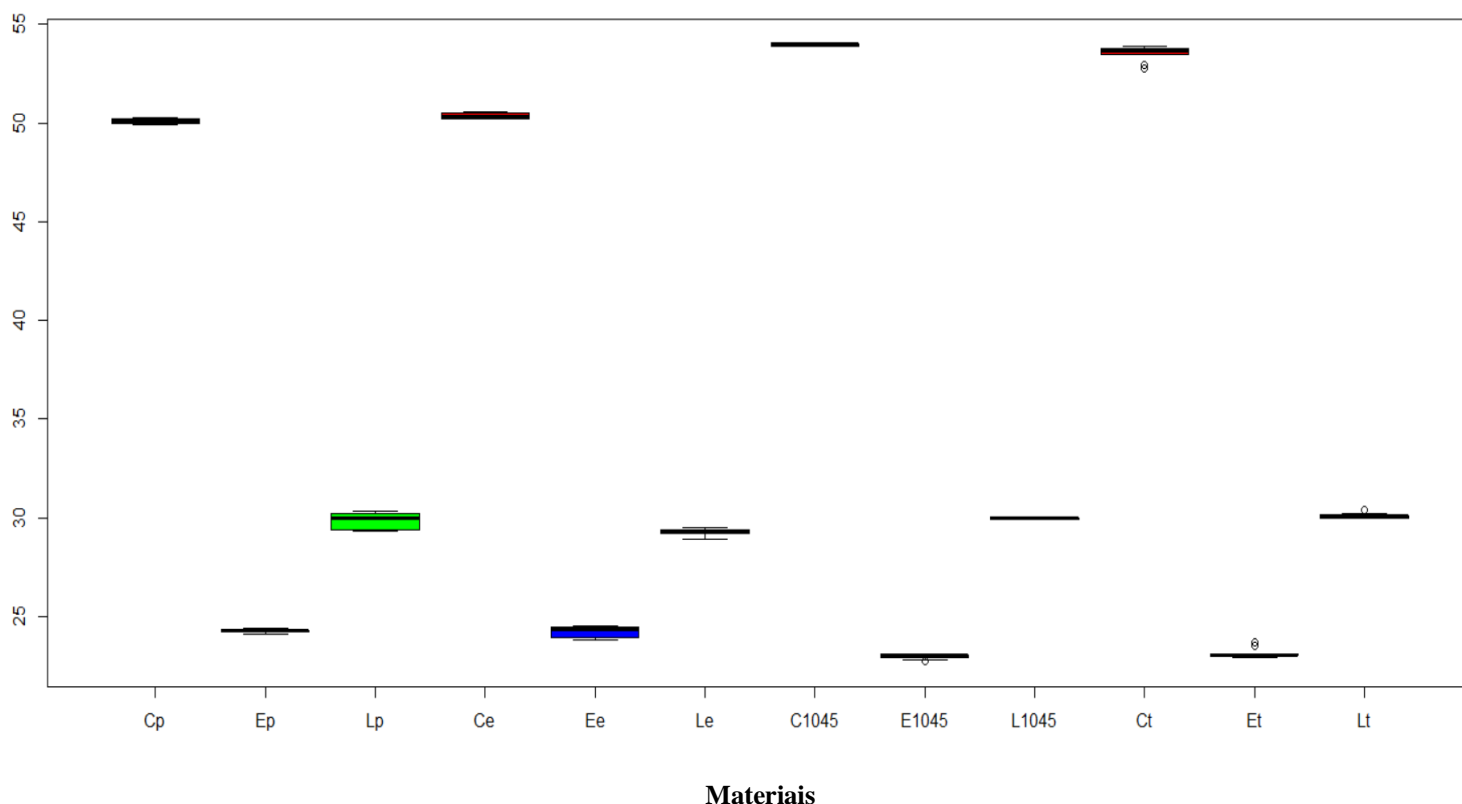
L – Largura  
 P – Pinus  
 E – Eucalipto (*Corymbia  
 citriodora*)  
 1045 – Aço1045  
 T – Tecnil (polímero)  
 Sd – desvio padrão

Após a realização das medições dos materiais com o paquímetro como descrito anteriormente, os dados foram processados gerando gráficos, valores de média e desvio padrão.

A partir dos dados gerou-se gráficos para se fazer uma análise dos dados.

### Gráficos

Dimensão (mm)



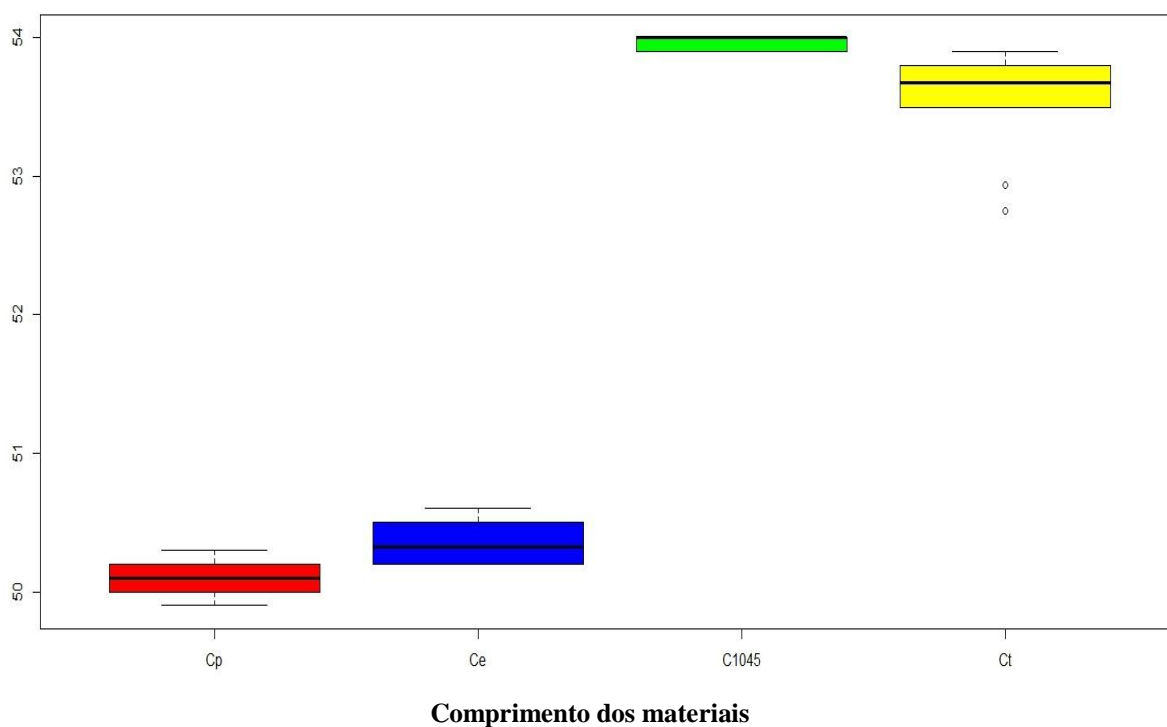
Fonte: os próprios autores  
 Figura 7 – medidas obtidas com o paquímetro

Analisando esse gráfico de forma geral, pôde-se perceber que a maioria dos valores tiveram pouca variabilidade dos dados, pois os limites inferiores e superiores das caixas

(boxplot) estão bem próximos, mas para se fazer uma análise melhor e mais completa foram obtidos mais três gráficos, sendo eles de comprimento, largura e espessura dos materiais.

## Comprimento

Dimensão (mm)



Fonte: os próprios autores

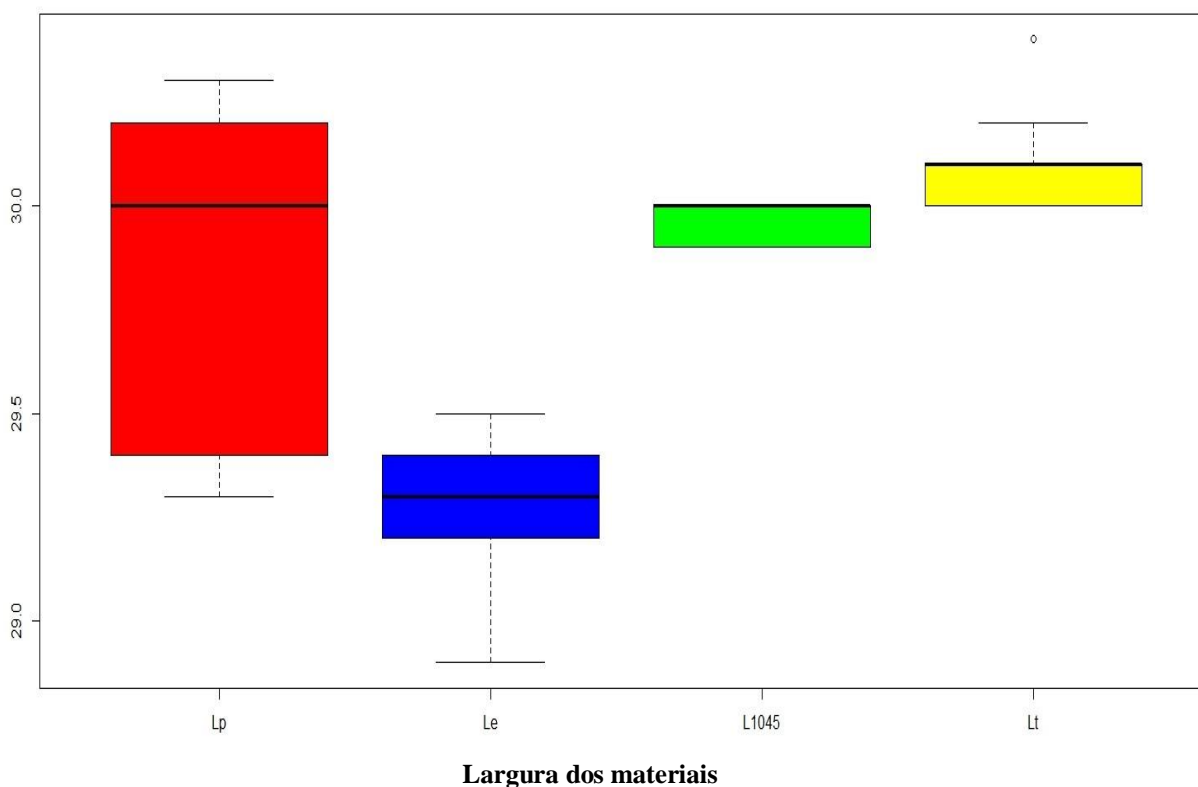
Figura 8 – Comprimento dos materiais

A partir do gráfico dos comprimentos, foi possível observar que praticamente todas as medidas de cada material estão próximas a média, com pouca variabilidade, fato este comprovado pelos valores de média e desvio padrão apresentados na Tabela 1. O material Pinus foi o que apresentou o menor desvio padrão, porém observando o gráfico, o que mostrou menor variação das medidas foi o aço 1045. O tecnil obteve o maior desvio padrão,

que pode ser explicado com o gráfico, no qual se observou que houve uma maior variabilidade das medidas e ainda houveram dois outliers (pontos fora da caixa), o que pode indicar uma medição ou leitura feita de forma errada no paquímetro. Também pôde ser verificado que os corpos de prova de maior comprimento foram o de aço 1045 e tecnil. Todos os corpos de prova foram feitos do mesmo tamanho, mas as madeira tiveram menor comprimento, pois são um material que pode variar (contrair ou expandir) de acordo com a umidade do ar e temperatura.

## Largura

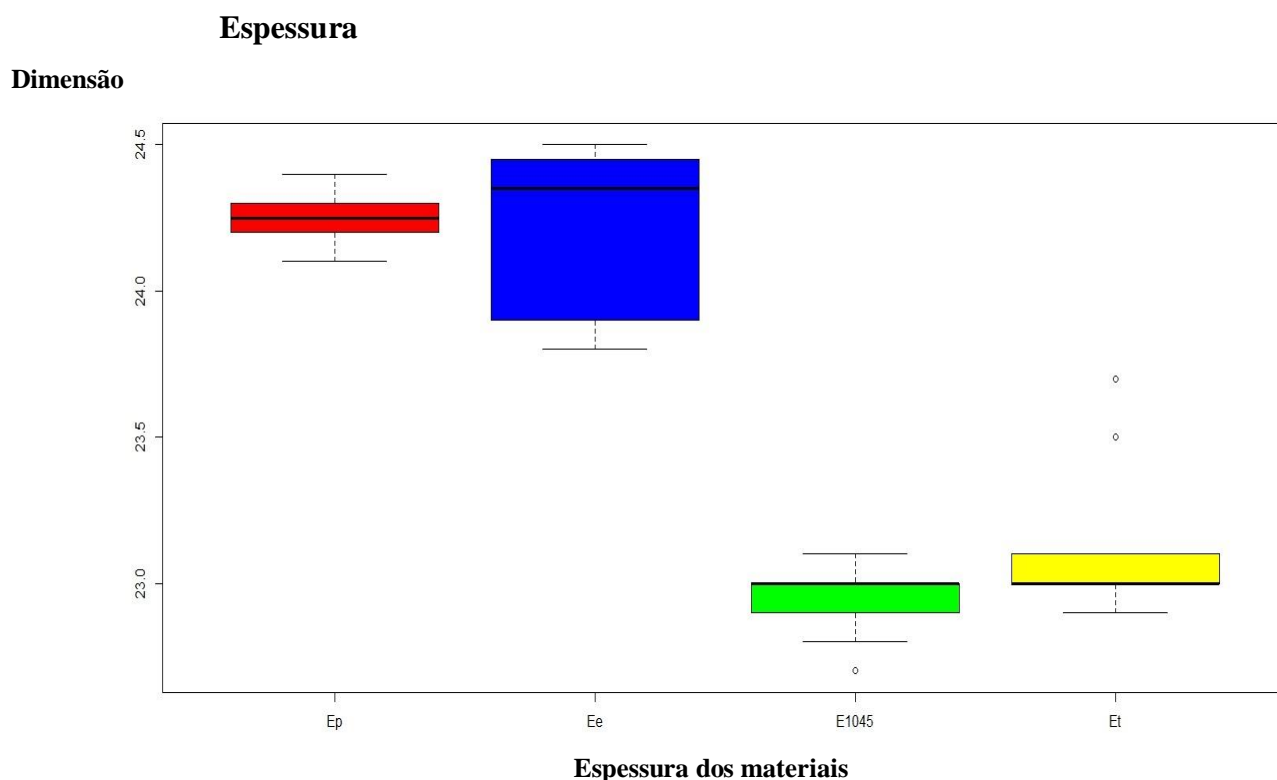
Dimensão (mm)



Fonte: os próprios autores  
 Figura 9 – Largura dos materiais

A partir do gráfico das larguras analisou-se que as medidas da largura do corpo de prova de Pinus apresentaram a maior variação, sendo elas entre 29,3mm e 30,3mm, este fator também foi observado pelo valor de desvio padrão que foi o maior dentre todos os materiais. No tecnil houve um outlier, o que pode ter sido uma medida feita errada pois se distancia

dos demais valores e da média. O eucalipto e o aço 1045 obtiveram valores sem grandes variações, sendo que o aço apresentou o menor desvio e consequentemente a menor variabilidade, o que pode ser indicação de uma medição e leitura feita de maneira mais precisa. O material com menor largura foi o eucalipto, enquanto os outros materiais possuíram tamanhos próximos.



Fonte: os próprios autores

Figura 10 – Espessura dos materiais

De acordo com o gráfico acima, observou-se que o Eucalipto apresentou a maior variação entre as medidas, sendo algumas mais distantes da média, e também o maior desvio padrão, visto na Tabela 1. O material com o segundo maior desvio foi o tecnil, pois obteve dois outliers que estão fora do padrão em relação às outras medidas. O Aço 1045 também apresentou um outlier, mas não tão distante da média, não resultando em um desvio padrão

muito grande. No Pinus as medidas foram pouco variáveis, conseqüentemente bem próximas à média e com o menor desvio padrão, sendo este de 0,096.

## 5.2 Análise da rugosidade superficial

As medidas (em micrometro) obtidas com o rugosímetro foram as seguintes

Medições	Rmp	Rmaxp	Rme	Rmaxe	Rm1045	Rmax1045	Rmt	Rmaxt
1	4,621	22,58	2,425	14,86	2,239	12,048	1,544	7,583
2	7,038	34,158	2,468	13,431	1,239	7,037	0,87	5,809
3	5,424	34,277	2,148	12,558	1,447	10,416	1,627	12,847
4	5,5	27,912	4,71	22,529	2,178	11,175	1,465	8,089
5	6,295	54,371	5,58	32,908	2,33	16,432	2,169	11,695
6	3,364	26,408	3,214	24,173	1,332	8,617	1,907	9,255
Média	5,374	33,28	3,424	20,08	1,794	10,954	1,597	9,213
Sd	1,284	11,288	1,406	7,941	0,505	3,236	0,441	2,641

Fonte: os próprios autores

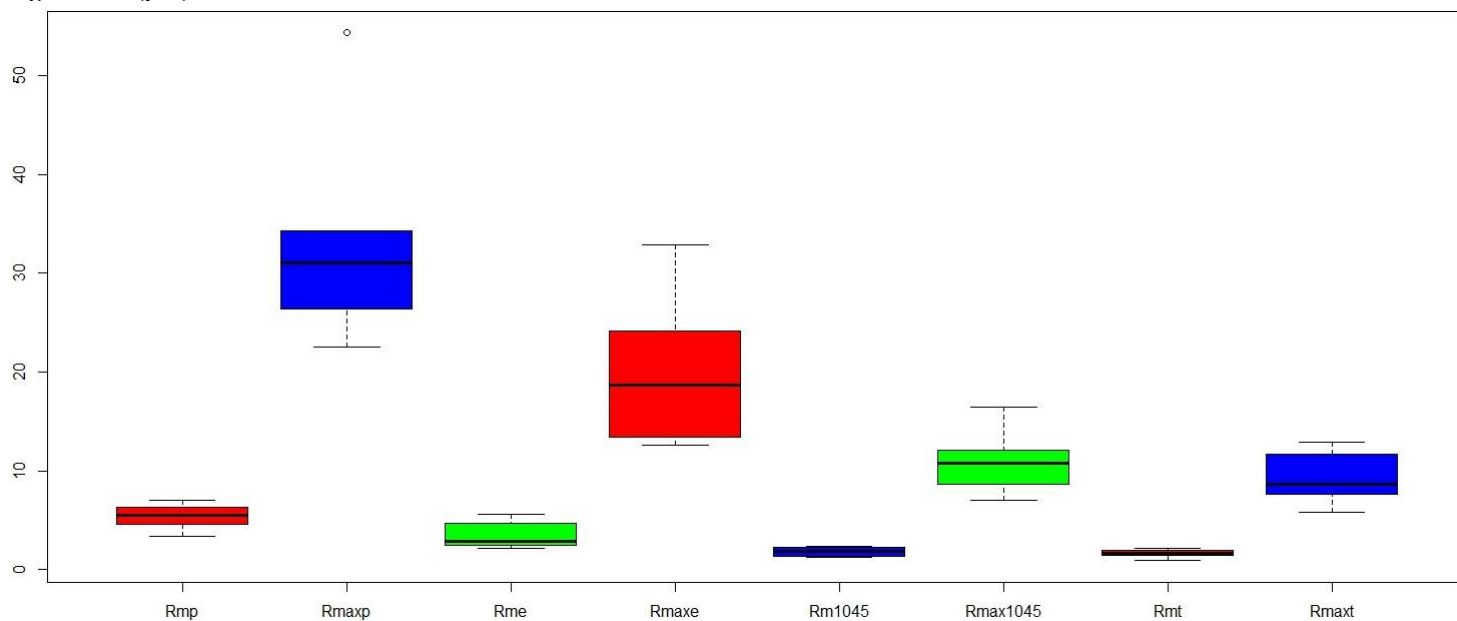
Tabela 2 – medidas obtidas com o rugosímetro

Legenda:

Rm – rugosidade média / Rmax – rugosidade máxima / Sd – desvio padrão

Após processar os dados da tabela no programa “R”, um gráfico foi obtido, assim como os valores de média e desvio padrão das medidas.

**Gráfico**

**Rugosidade ( $\mu\text{m}$ )****Rugosidade dos materiais**

Fonte: os próprios autores

Figura 11 – Rugosidade dos materiais

De acordo com o gráfico e a Tabela 2 e a figura 11, pôde-se concluir algumas coisas sobre os materiais.

A rugosidade do Pinus apresentou pouca variabilidade das medidas, garantindo assim um desvio padrão relativamente baixo, mas foi o material que obteve a maior rugosidade, tanto média como máxima. Esse fato pode ser explicado pelo tipo de material, que é um tipo de madeira menos evoluída e em sua estrutura existem vazios e sua superfície é bastante heterogênea. Sua rugosidade máxima foi bastante variável, como se pode observar pelo valor de desvio padrão de 11,288; os valores das medidas de rugosidade do eucalipto ficaram próximos à média, ou seja, com pouca variabilidade, mas menores do que às do *Pinus* mesmo os dois sendo madeira, pois o pinus é um tipo mais evoluído, possui superfície mais regular e homogênea e tem menos vazios em sua estrutura. Ambos os materiais possuem uma superfície rugosa, tanto que para utilizá-los, estes devem ser lixados para poder proporcionar um melhor acabamento superficial. A rugosidade máxima demonstrou grande variabilidade e desvio padrão, o que também explica a rugosidade maior da madeira comparada ao aço por exemplo.

O aço por sua vez apresentou menor rugosidade média e máxima do que as madeiras, devido a sua estrutura cristalina e de contorno de grão, que é mais organizada, mas não perfeita e tem menos deformações e ainda o corpo de prova era o metal polido, garantindo

melhor acabamento superficial. Os desvios padrões também foram menores do que o pinus e eucalipto, demonstrando que é uma medida com menor variabilidade.

Os valores de rugosidade do Tecnil foram ainda menores do que do aço 1045, e tiveram pouquíssima variação nas medidas como mostra na Figura 5. Isso ocorreu devido a estrutura do polímero, sendo este uma cadeia orgânica que se forma de maneira muito organizada e homogênea, fazendo com que as peças feitas com esse tipo de material apresentem menos irregularidades.

## 6. CONCLUSÕES

Concluiu-se que em todas as medidas dos corpos de prova realizadas, sejam elas de comprimento, de espessura, ou ainda de largura apresentaram pouca variabilidade dos dados. Analisando-as individualmente pode-se constatar que o maior valor de desvio padrão ficou com o comprimento do polímero Tecnil, já o menor valor ficou com o comprimento da madeira *Pinus*. Ainda pode-se observar, através dos gráficos obtidos com o *software* R®, outliers dessas medidas que representam medidas possivelmente feitas de forma errada com o instrumento de medição utilizado, o paquímetro.

Além disso, foram analisados os valores da rugosidade de cada material sendo a madeira *Pinus* a que obteve maior valor, e o material menos rugoso foi o polímero Tecnil. Esses valores podem ser explicados comparando-os com cada tipo de estrutura desses materiais, podendo concluir que quanto mais organizada a estrutura do material, menos rugoso ele é. Ou seja, sendo o Tecnil um polímero, sua estrutura é formada por uma cadeia orgânica que se forma de maneira muito organizada e homogênea, permitindo assim que peças feitas com esse tipo de material sejam menos rugosas; já a madeira *Pinus*, que é um tipo de madeira menos evoluída, possui uma estrutura em que existem vazios e sua superfície é muito heterogênea, sendo assim mais rugosa.

Espera-se que esse estudo estimule pesquisas futuras acerca desse tema e possam somar-se ao corpo teórico da metrologia e instrumentação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTAZZI, A., SOUSA DE, R.A. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. Barueri, SP: Manole, 2008.

CAETANO, Mario J. L. **Materiais de Engenharia**. 2016. Disponível em: [https://ctborracha.com/?page\\_id=411](https://ctborracha.com/?page_id=411). Acesso em: 23 mai de 2018.

CALLISTER Jr., W. D. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2006;

CALLISTER, Willian D., 1940. **Ciência e engenharia de materiais**; tradução Sergio Murilo Stamile Soares; revisão técnica José Roberto Moraes de Almeida. Rio de Janeiro; LTC, 2012.

**Ciência e Comportamento dos Materiais Plásticos I e II**, SENAI – SP, Núcleo de Tecnologia em Plásticos, Escola SENAI Mario Amato, 2012.

CORREA, S. M B. B., **Probabilidade e Estatística**. Belo Horizonte: PUCMINAS, 2003.

FILHO, HÉLIO C., **A estrutura dos materiais**; Técnico Mecânica; ETEC, Rubens de Faria e Souza, 2010. Disponível em: <http://www.eterfs.com.br/material/mecanica/aula1-tm1.pdf>. Acesso em: 15 de maio de 2018.

INMETRO. **Conheça o Inmetro**. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/> >. Acesso em: 14 maio 2018.

LEITE, M. C. et al. **Mechanical Traction Test And Metallographic Analysis Of**. Revista Engenharia em Ação UniToledo, v. 2, p. 83–93, 2017.

METROLOGIA. **Conceitos.com**; 20 de dezembro de 2017. Disponível em: <https://conceitos.com/metrologia/>. Acesso em: 02 de maio de 2018

SHACKELFORD, J. E. **Ciência dos materiais**. São Paulo: Prentice Hall, 2008;

SILVA NETO, J.CIRILO DA. **Metrologia e controle dimensional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.