

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

LEANDRO DE CAMPOS CECCHI

**ANÁLISE DE TECNOLOGIAS DE ESCANERIZAÇÃO PARA  
MEDIÇÃO DE RUGOSIDADE DE SUPERFÍCIES DE  
MADEIRAS**

Itapeva – SP  
2012

LEANDRO DE CAMPOS CECCHI

**ANÁLISE DE TECNOLOGIAS DE ESCANERIZAÇÃO PARA  
MEDIÇÃO DE RUGOSIDADE DE SUPERFÍCIES DE  
MADEIRAS**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza

Itapeva - SP  
2012

## FICHA CATALOGRÁFICA

Cecchi, Leandro de Campos.

C387A      Análise de tecnologias de escanerização para medição de rugosidade de superfícies de madeiras / Leandro de Campos Cecchi. – – Itapeva, SP, 2012

51 f.; il.

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Industrial Madeireira) -  
Universidade Estadual Paulista, Câmpus Experimental de Itapeva, 2012

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza

Banca examinadora: Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves; Prof. Dr.  
Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves

Inclui bibliografia

1. Madeira. 2. Aspereza de superfície. 3. Scanner ótico. I .Titulo. II. Itapeva - Curso de  
Engenharia Industrial Madeireira.

CDD 674

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

**ANÁLISE DE TECNOLOGIAS DE ESCANERIZAÇÃO PARA  
MEDIÇÃO DE RUGOSIDADE DE SUPERFÍCIES DE  
MADEIRAS**

LEANDRO DE CAMPOS CECCHI

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO  
COMO PARTE REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**GRADUADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL  
MADEIREIRA

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi  
Coordenador de Curso

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza  
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves  
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves  
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Dedico este trabalho à minha família, amigos e amor...

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus em toda sua sabedoria por me guiar nessa encruzilhada chamada vida.

Aos meus pais Neylor e Silmara por todo incentivo, carinho, tolerância e acima de tudo por estarem ao meu lado me mostrando o caminho correto em cada momento de alegria e tristeza.

A minha irmã Thaís por estar sempre perto de mim, me ajudando e incentivando nos momentos mais oportunos e difíceis.

Ao meu cunhado Rodolfo por toda alegria que trazem minha vida e pelo seu companheirismo.

A minha namorada Raissa, que sempre esta ao meu lado seja nos momentos difíceis ou fáceis me ajudando a tomar as melhores decisões para o futuro. Te Amo.

Ao Professor Alexandre Jorge Duarte de Souza por ser meu amigo e professor, me orientando neste trabalho e ajudando durante todos esses anos.

Aos muitos amigos e colegas que fiz em tanto tempo de curso e com eles pude aproveitar cada momento maravilhosa fase da minha vida.

Aos professores e funcionários por fazerem parte da minha vida, me dando conselhos e se tornando amigos, passando seu imenso conhecimento para meu futuro.

A todos que me ajudaram seja uma ou inúmeras vezes para o meu crescimento e desenvolvimento como graduando de engenharia.

E a todas as pessoas que me são muito queridas e fizeram parte de minha vida nesses anos todos...

Muito Obrigado.

*“A dor é passageira. Desistir é para sempre”.*  
Lance Armstrong

## RESUMO

O acabamento superficial da madeira é um parâmetro importante, no que diz respeito à aplicação de vernizes, adesivos e sua aplicação industrial. Com a contínua expansão do mercado de móveis e seus requisitos de qualidade ficando cada vez mais elevados, a aparência da superfície e dos acabamentos é algo importante e está ligado a rugosidade da madeira. O rugosímetro é o aparelho utilizado para o aferimento das irregularidades superficiais, porém o mesmo foi idealizado para o aferimento de superfícies mais regulares como metal e polímeros, e não materiais orgânicos como a madeira, que tem vasos, lumes, falhas e trincas, que apresentam uma grande amplitude na escala de medição. Buscando uma solução para substituir o rugosímetro e assim ter melhor dados sobre a superfície, foi analisada a possibilidade de utilização dos escaners 3D que existem no mercado. Com base nos dados dos fabricantes e dos requisitos para efetuar a medição da rugosidade da superfície da madeira, foi possível inferir que alguns dos escaners disponíveis no mercado poderiam ser utilizados com esse fim, fornecendo informações com maior confiabilidade.

**Palavras chave:** Escaner. Rugosímetro. Superfície de madeira. Acabamento superficial.

## **ABSTRACT**

The surface finish of the wood is an important parameter in respect the application of varnishes, adhesives and their industrial application. With the continuous expansion of the furniture market and quality requirements getting higher, the surface appearance and finishing is important and is linked to roughness of wood. The rugosimeter is the apparatus used for the benchmarking of surface irregularities, but it is designed for calibration of smoother surfaces as metal and polymers, and no organic materials like wood, it has vessels, lumens, flaws and cracks, which have a large amplitude on the scale of measurement. Seeking a solution to replace the rugosimeter and thus have better data on the surface was analyzed usability of 3D scanners that exist on the market. Based on manufacturer data and the requirements to make the measurement of surface roughness of the wood, it was possible to conclude that some of the scanners available in the market could be used for this purpose, providing information with greater reliability.

**Keywords:** Scanner. Rugosimeter. Wood surface. Surface finish.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1 - Incidência da ferramenta à superfície da madeira.....                          | 20 |
| FIGURA 2 - Rugosímetro mecânico de apalpação .....                                        | 25 |
| FIGURA 3 - Comprimentos para avaliação de rugosidade .....                                | 26 |
| FIGURA 4 - Linha média e áreas mínimas superiores e inferiores .....                      | 27 |
| FIGURA 5 - Rugosidade média $R_a$ onde $\lambda$ é o valor de um pico ou de um vale ..... | 27 |
| FIGURA 6 - Imagem 3D gerada por digitalização a laser .....                               | 30 |
| FIGURA 7 - Escaner baseado no princípio da triangulação .....                             | 33 |
| FIGURA 8 - Escaner baseado no tempo de retorno do sinal .....                             | 34 |
| FIGURA 9 - Fluxograma Nuvem de Pontos .....                                               | 35 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 1 - Técnicas de digitalização e seu alcance .....                       | 34 |
| TABELA 2 - Principais escaners encontrados no mercado .....                    | 38 |
| TABELA 3 - Principais rugosímetros encontrados no mercado.....                 | 39 |
| TABELA 4 - Variação diametral dos vazios na madeira .....                      | 40 |
| TABELA 5 - Comprimento máximo de leitura por passe Escaner x Rugosímetro ..... | 43 |
| TABELA 6 – Acuracidade Escaner x Rugosímetro .....                             | 44 |
| TABELA 7 - Modo de exibição dos dados Escaner x Rugosímetro.....               | 45 |
| TABELA 8 - Comparação Velocidade da Leitura Escaner x Rugosímetro .....        | 46 |

## SUMÁRIO

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....                               | 14 |
| 2. OBJETIVO.....                                 | 16 |
| 2.1 Objetivo geral.....                          | 16 |
| 2.2 Objetivos específicos.....                   | 16 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                    | 17 |
| 3.1 Madeira.....                                 | 17 |
| 3.1.1 Rugosidade.....                            | 17 |
| 3.2 Equipamentos para análise de superfície..... | 21 |
| 3.2.1 Rugosímetro.....                           | 23 |
| 3.2.1.1 Parâmetros do rugosímetro.....           | 25 |
| 3.2.2 Laser.....                                 | 28 |
| 3.2.3 Escaner.....                               | 28 |
| 3.2.3.1 Resolução.....                           | 29 |
| 3.2.3.2 Aplicações.....                          | 29 |
| 3.2.3.4 Digitalização tridimensional.....        | 30 |
| 3.2.3.5 Escaner 3D por laser.....                | 31 |
| 3.2.3.5.1 Nuvem de pontos.....                   | 34 |
| 3.3 Modelagem 3D.....                            | 36 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS.....                      | 37 |
| 4.1 Escaner.....                                 | 37 |
| 4.1.1 Escaners analisados.....                   | 37 |
| 4.2 Rugosímetro.....                             | 39 |
| 4.2.1 Rugosímetros analisados.....               | 39 |
| 4.3 Superfícies de madeiras.....                 | 40 |
| 4.3.1 Rugosidade da madeira.....                 | 40 |
| 4.4 Comparações.....                             | 40 |
| 4.4.1 Justificativa.....                         | 41 |

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 4.4.2 Análise .....                                     | 41 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                          | 42 |
| 5.1 Análise de superfícies com rugosímetro .....        | 42 |
| 5.2 Análise de superfície com um escaner laser 3D ..... | 42 |
| 5.3 Rugosímetro X Escaner laser 3D.....                 | 42 |
| 5.3.1 Comprimento máximo de leitura por passe .....     | 43 |
| 5.3.2 Acuracidade .....                                 | 43 |
| 5.3.3 Exibição dos dados.....                           | 44 |
| 5.3.4 Velocidade de leitura .....                       | 45 |
| 6. CONCLUSÃO.....                                       | 47 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                     | 49 |

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação com as características do acabamento superficial tem seu fundamento no pressuposto de que as superfícies representam o elo entre a peça como um todo e o meio ambiente onde se encontra, pois hoje este ambiente sofre uma gama de solicitações de qualidade.

A qualidade dos materiais esta tendo sua solicitação cada dia maior e com isso faz com que as empresas independente do seguimento tenham que se aperfeiçoar e procurar novas técnicas e instrumentos que vislumbrem uma melhor qualidade.

Para tanto, desde a década de 20 são estudados modos que melhorem o acabamento superficial, considerando que inúmeras aplicações tecnológicas sofrem importante influência das características superficiais dos materiais neles envolvidos. Assim, por exemplo, qualquer estudo envolvendo o atrito entre peças, o desgaste de peças em atrito, o uso de lubrificantes para o controle do atrito, o uso do atrito em mecanismos de transporte de materiais, a utilização de adesivos para a união de materiais, a aditividade de materiais de acabamento superficial (como tintas e vernizes), a fixação de materiais de restaurações, etc. ficaria incompleto se não incluísse descrições das características superficiais dos materiais nele utilizado.

Dentre a imensa gama de solicitações de qualidade, uma das mais importantes é o acabamento superficial, sendo esse o mais aparente e que tem maior domínio dentre todo o conjunto que compõem o produto, se fazendo o componente principal de mudanças com necessidades de melhorias contínuas.

Na madeira o acabamento superficial é um fator que esta sempre em julgamento, pois é algo que sofre grande influência do meio em que se encontra, da espécie, do processamento, dentre outros. A madeira é um material com vasos, lumes, falhas, trincas, etc., e requer assim uma maior verificação do seu acabamento superficial, visto que é de extrema importância para seu valor agregado final.

A identificação da rugosidade da madeira é um parâmetro importante para o acabamento superficial, no que diz respeito à aplicação de vernizes, tinta e adesão influenciando diretamente na sua qualidade final. A competitividade do mercado impulsiona a indústria de móveis a buscar alternativas para melhoria da qualidade,

assim como ocorre em outros setores da economia. A qualidade desse tipo de produto moveleiro se refere à durabilidade e essencialmente a aparência das superfícies e acabamento, o que é dependente diretamente do seu valor final.

A rugosidade da madeira é definida como o caráter que se refere às dimensões, distribuição e abundância relativa dos elementos constituintes do xilema secundário, observados no plano transversal, considerando também a frequência de vasos e a quantidade e distribuição de células parenquimáticas.

Certamente a maneira mais completa de se fazer uma descrição das características de relevo das superfícies de materiais incluiria a apresentação de imagens destas superfícies ampliadas de modo a permitir a visualização de suas irregularidades, porém isso nunca foi feito devido ao fato de instrumentos com tais características só estarem entrando no mercado nos últimos anos.

No entanto foram desenvolvidos e adaptados da indústria metalúrgica inúmeros aparelhos para realizar estas medições como microscópios ópticos, microscópios eletrônicos, perfilômetros mecânicos, perfilômetros ópticos, micro-interferômetros e rugosímetros, mas com o crescimento da necessidade de uma melhor qualidade esses instrumentos não estão mais sendo confiáveis, uma vez que foram desenvolvidos para metais e superfícies com certa homogeneidade de superfície.

Na atualidade do mercado de móveis e produtos derivados de madeira há uma necessidade crescente para substitutos aos convencionais e adaptados aparelhos de verificação da superfície, visando com isso melhores dados para a mensuração da qualidade superficial da madeira o qual não dispõe de uma superfície homogênea.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo teórico sobre a viabilidade do emprego de scanners lasers 3D na substituição do rugosímetro para análise da rugosidade de madeiras em geral.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Verificar a confiabilidade do rugosímetro para análise da rugosidade da madeira;
- Verificar a confiabilidade do scanner 3D para análise da rugosidade da madeira.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Madeira**

A madeira tem uma vasta complexidade em sua formação, pois apresenta em sua composição um material orgânico, heterogêneo, poroso, higroscópico e anisotrópico; orgânico, pelo fato da sua composição química elementar ser formada por carbono (C); heterogêneo, graças a grande variação existente tanto em tipos como em componentes básicos e, na distribuição destes componentes. Tanto disposição e o arranjo diferenciado destes elementos deixam lacunas vazias, tornando a madeira porosa, isso deixa seus elementos visíveis em nível macroscópico. A madeira retém água, fisicamente aderida às paredes e no interior delas, sendo, portanto, um material com alta higroscopicidade. E, por último um elemento anisotrópico, pois se comporta diferentemente nos diferentes eixos anatômicos.

Durante o processamento da madeira, são deixadas marcas ou sulcos pela ferramenta na superfície da madeira. Essas irregularidades são chamadas de rugosidades ou textura primária, que grosseiramente pode também ser chamado de erro. A rugosidade e a ondulação são parâmetros aceitos para controle e qualificação de superfícies (SIQUEIRA *et al*, 2003).

##### **3.1.1 Rugosidade**

A rugosidade da madeira é a impressão visual causada pelo tamanho dos vazios e raios ali contidos (IPT, 2004). A rugosidade e a cor são determinadas pelas células de uma árvore. Madeiras duras têm células tubulares denominadas veios, visíveis como vazios na madeira, se as células têm grandes tamanhos, a rugosidade da madeira é ligeiramente áspera ou aberta, se as células têm pequenos tamanhos, a rugosidade é macia; estas madeiras são descritas como de rugosidade fechada (GUIDE, 2004).

A rugosidade pode ser definida como os desvios apresentados em uma superfície, tendo frequências periódicas e aperiódicas, produzida muitas vezes

diretamente pelo contato das ferramentas ou abrasão sobre a superfície da peça. Porém a rugosidade não deve ser confundida com as ondulações, uma vez que estas são desvios predominantemente periódicos, que acontecem devido a fixação fora de centro, batimento no processo de usinagem, vibrações no corpo da máquina, ferramentas ou peças (SIQUEIRA *et al*, 2003).

Para Rubia *et al*. (2005), a identificação da rugosidade da madeira é um parâmetro importante para o acabamento superficial, no que diz respeito à aplicação de vernizes, adesivos e tintas, influenciando diretamente na sua qualidade final.

A superfície da madeira é classificada em três tipos: fina, média e grosseira. Para as empresas moveleiras que tem como diferencial o acabamento de madeiras, a rugosidade grossa eleva gastos com os polimentos e colagem sendo de grande importância à avaliação desta antes do preparo da superfície (RUBIA *et al*, 2005).

Os métodos utilizados para avaliação da rugosidade do acabamento são embasados em avaliações microscópicas, segundo normas específicas para anatomia de madeira, ou muitas vezes de forma subjetiva pelos profissionais que utilizam madeiras (RUBIA *et al*, 2005).

Há métodos, que empregam visão artificial com processamento de imagens, porém sem aplicação prática mas que podem apresentar um grande potencial de aplicabilidade nesse tipo de descrição (RUBIA *et al*, 2005).

Já foram desenvolvidos alguns trabalhos sobre a análise macroscópica de madeira, na literatura encontramos o conceito macroscópico de madeiras comerciais pela análise de imagens obtidas em escaner, entretanto, trabalhos nesse sentido têm utilizado a luz branca na iluminação dos espécimes e obtido poucos resultados aceitáveis (RUBIA *et al*, 2005).

O estudo de superfícies padecem de alguns inconvenientes como dificuldade de quantificação, pequena área de cobertura dos instrumentos atuais, ainda mais quando se é necessário cobrir grandes áreas com alta resolução e, em muitos casos existe a necessidade de condições especiais do ambiente e/ou da peça (PAIVA *et al*, 2004).

No intuito de contornar esses problemas foram definidas diversas maneiras de se medir e calcular parâmetros de rugosidade, ou seja, utilizar

equipamentos de outros recursos para se obter números que procuram expressar de uma maneira prática e quantitativa a rugosidade de superfícies (PAIVA *et al*, 2004).

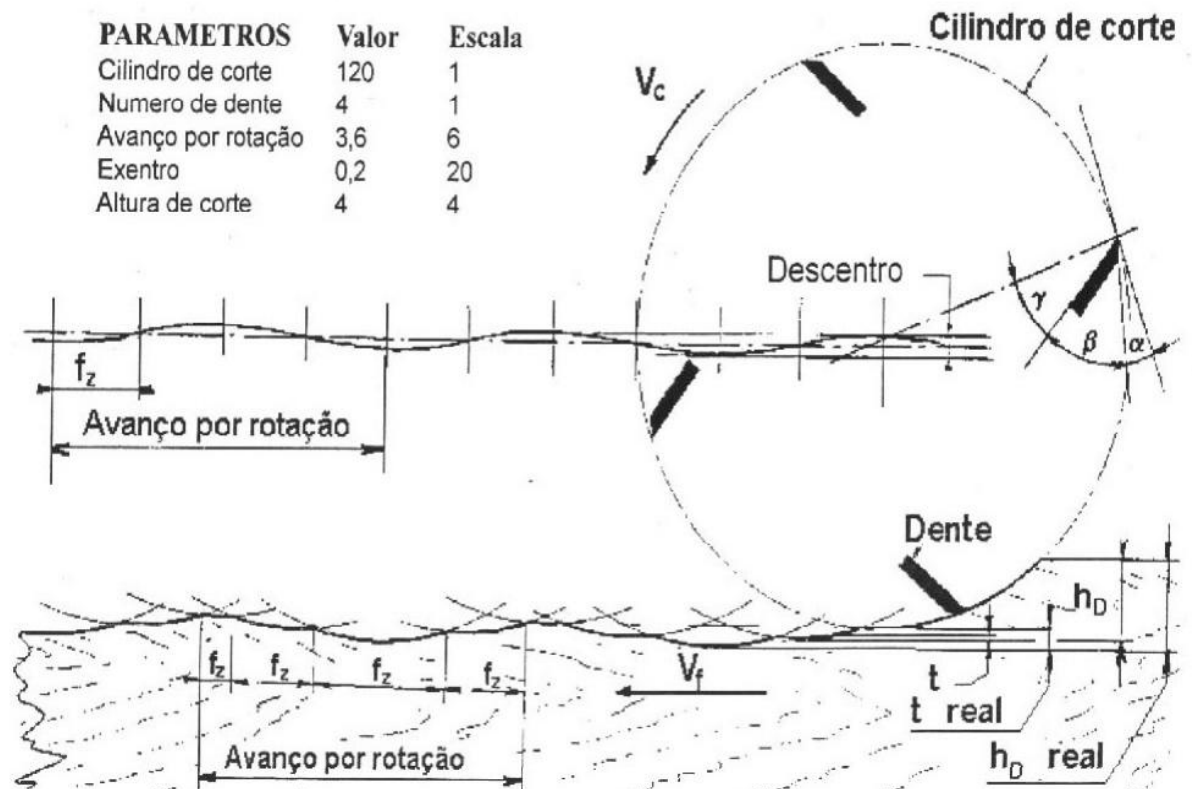
A caracterização objetiva da superfície da madeira pode ser avaliada pela rugosidade antes e após o acabamento, o brilho e a cor da superfície acabada, a molhabilidade antes e após o acabamento. A determinação da rugosidade da madeira é uma tarefa complicada, pois como foi referido, a rugosidade da madeira depende quer da estrutura celular, quer do processamento (COELHO *et al*, 2011).

Durante o processo de usinagem, são deixadas marcas ou mesmo os vasos abertos, pela ferramenta na superfície da madeira (Figura 1). Essas irregularidades são chamadas de rugosidades ou textura primária, sendo que esse tipo de irregularidade é também chamado de erro (SIQUEIRA *et al*, 2003).

Segundo Ostapiv (2011), o acabamento superficial da madeira é mensurado através da rugosidade e este parâmetro é representado geralmente em micrometro ( $\mu\text{m}$ ). A rugosidade é um dos parâmetros mais difundidos e aceitos para a verificação da qualidade da superfície de um material. A rugosidade depende da natureza do material e dos processos de manufatura a que este foi submetido. Muitos conceitos, nomenclaturas e critérios usados para a avaliação da rugosidade de materiais, estão descritos e apresentados na NBR ISO 4287:2002 da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

A rugosidade da superfície da madeira é influenciada pela estrutura anatômica da madeira, associado a isso, o tipo de usinagem empregado durante o processamento também é responsável pela qualidade do produto final (MARTINS *et al*, 2011).

FIGURA 1 - Incidência da ferramenta à superfície da madeira.



Fonte: (SIQUEIRA *et al*, 2003).

Estudos da rugosidade como propriedade dos materiais se deu início antes de 1939 e estes foram aplicados inicialmente a indústria metal mecânica, enquanto os estudos sobre a rugosidade da madeira se deram início após 1950 (SIQUEIRA, *et al*, 2003).

Hoje é de conhecimento que a mensuração da qualidade da superfície usinada em madeira e derivados requer análise mais elaborada que aquela feita para metais. Os componentes de uma madeira como os vasos, os lumes das fibras, falhas na estrutura e trincas apresentam-se como elementos complicadores da análise e requerem medições de acuracidade (precisão) com escala em micrometros ( $\mu m$ ), além de grandes amplitudes na escala (SORAGI, 2009).

A evolução da usinagem de metais foi diferente àquela ocorrida com a madeira. Os padrões de análise de rugosidade foram definidos para materiais homogêneos e não são totalmente aplicáveis à madeira. Alguns autores afirmaram

que os parâmetros utilizados hoje não foram desenvolvidos para avaliar a qualidade das superfícies de madeira usinada (SORAGI, 2009).

Lucas Filho (2004) desenvolveu um método que quantifica a “topografia” de uma área com o intuito de avaliar a rugosidade da madeira usinada. Esse método inclui um modelo analítico de processamento de dados. Foi possível estabelecer uma relação entre as variáveis de processo de usinagem (velocidade de avanço, espécies de madeira, vida da ferramenta e direção de corte) e os valores de rugosidade. A compreensão destas variáveis de processo permitiu melhorar as operações de usinagem. Porém sem ainda ter uma definição concreta da topografia da madeira.

### **3.2 Equipamentos para análise de superfície**

De acordo com Coelho *et al.* (2011), os aparelhos de análise de superfície foram desenvolvidos inicialmente para metais. Com a demanda crescente por outros materiais e a exigência do mercado de um produto de melhor qualidade, surgiu a necessidade de medição de superfície para esses tipos de materiais, dentre eles a madeira.

Uma forma de avaliar a qualidade da superfície é por meio da medição da rugosidade, porém irregularidades superficiais em madeira maciça não são medidas, tanto quanto para outros materiais engenheirados. Rugosímetros de agulha, perfilômetros ópticos, análise de imagens técnicas usando câmera de vídeo, pneumática, ultrassom, e microscopia são alguns dos instrumentos utilizados para avaliar a rugosidade de produtos de madeira. No entanto, mesmo com a disponibilidade de todos esses métodos, não existe registro de confiabilidade no seu uso na indústria (MARTINS *et al.*, 2011).

No setor moveleiro a qualidade superficial dos móveis esta em constante evolução e os instrumentos utilizados para essa análise da qualidade não estão seguindo o mesmo ritmo (PAIVA *et al.*, 2004). Abaixo estão descritos os equipamentos utilizados para tal finalidade.

Os microscópios (ópticos ou eletrônicos) fornecem imagens da superfície analisada e estão sujeitos aos inconvenientes de abrangerem uma área muito pequena e necessitarem de um preparo prévio do material a ser analisado.

Os perfilômetros mecânicos são providos de uma agulha de diamante que “apalpa” a superfície enquanto é deslocada ao longo de uma direção. Esta é a forma mais simples de obtenção de um perfil da superfície, e por isso muito utilizada. Na verdade, todas as definições de parâmetros de rugosidade e as instruções para sua medição e cálculo que encontramos em normas técnicas estão baseadas em perfis obtidos desta maneira (PAIVA *et al*, 2004).

A partir do perfil da superfície obtido são determinados vários parâmetros para avaliar a rugosidade, mas o significado dos parâmetros calculados para uma superfície de madeira não é inteiramente compreendido. Assim, um conjunto de parâmetros que seja capaz de distinguir tipos particulares de rugosidade da madeira terá ainda que ser estabelecido. Um único parâmetro nunca poderá descrever a qualidade de uma superfície de madeira, isso apenas nos mostra que a maior limitação na avaliação de rugosidade da madeira é que nem instrumentação específica nem métodos e parâmetros universais foram ainda desenvolvidos ainda (COELHO *et al*, 2011).

Segundo Paiva *et al*. (2004), no perfilômetro, o contato da agulha de diamante com a peça, pode causar riscos na superfície fazendo com que a peça seja descartada. Além disso, devido ao princípio de funcionamento deste tipo de instrumento a medição sempre fornece as alturas da superfície ao longo de uma linha (medição bidimensional), cuja distribuição dos resultados é assumida como boa representação do que ocorre em outras áreas da superfície, mas pode ser bastante particular, uma vez que estamos tratando de um material biológico e natural.

Os perfilômetros ópticos acabam com o problema do contato com a superfície analisada, usando uma “sonda óptica”, mas também fazem medição bidimensional. Às vezes procura-se contornar esta restrição realizando a medição de uma série de linhas e montando a partir delas um mapa “tridimensional” da superfície, mas isto torna a medição muito mais trabalhosa e demorada (PAIVA *et al*, 2004).

Micro-interferômetros utilizam a junção do microscópio com interferômetro para fazer comparação entre a superfície sob análise e uma superfície de referência cuja rugosidade é sabida, neste caso, também há necessidade de considerável trabalho de processamento de imagens (PAIVA *et al*, 2004).

Nos instrumentos apresentados até agora a leitura da superfície se limitava a pequenas áreas, com isso existe alguns estudos sobre outra técnica, utilizando o rugosímetro baseado no espalhamento de luz, se mostrando alternativa extremamente atraente quando se quer analisar a superfície sobre áreas (ao invés de linhas) da superfície. Sua maior limitação é o fato de estas técnicas não mostrarem nas áreas escaneadas os detalhes de micro-relevo da superfície, pois a luz captada em cada posição de observação resulta da composição de quantidades espalhadas por toda a área iluminada. Assim não se forma uma imagem com alta definição da superfície sob estudo e os valores obtidos compreendem a média de toda a região iluminada. Outro ponto a ser levado em consideração é que estas técnicas precisam que a luz seja espalhada pela superfície, e apenas por ela, tornando tal instrumento não tão preciso. Isto faz com que peças opacas ou transparentes sejam facilmente medidas, mas cria dificuldades para a aplicação a peças que tenham reflexão da luz incidente. Em contrapartida, são medições intrinsecamente estatísticas passíveis de automatização e absolutamente não destrutivas (PAIVA *et al*, 2004).

### **3.2.1 Rugosímetro**

A avaliação da rugosidade de uma superfície depende da utilização e do grau de acuracidade necessários na definição dessa rugosidade. Esses aparelhos de medição são muitos, podendo ser divididos em três grupos: placas graduadas para comparação visual, aparelhos de leitura de parâmetros e aparelhos que fornecem leituras e gráficos. Os aparelhos de leitura de parâmetros denominados rugosímetros são sistemas eletrônicos que contém uma agulha de diamante que entra em contato com a superfície da peça. Aparelhos de leitura e gráficos, uma derivação do rugosímetro, são conjuntos formados pelos aparelhos eletrônicos com

uma impressora, que fornecem a curva de rugosidade ou o perfil do relevo impressos (SIQUEIRA *et al*, 2003).

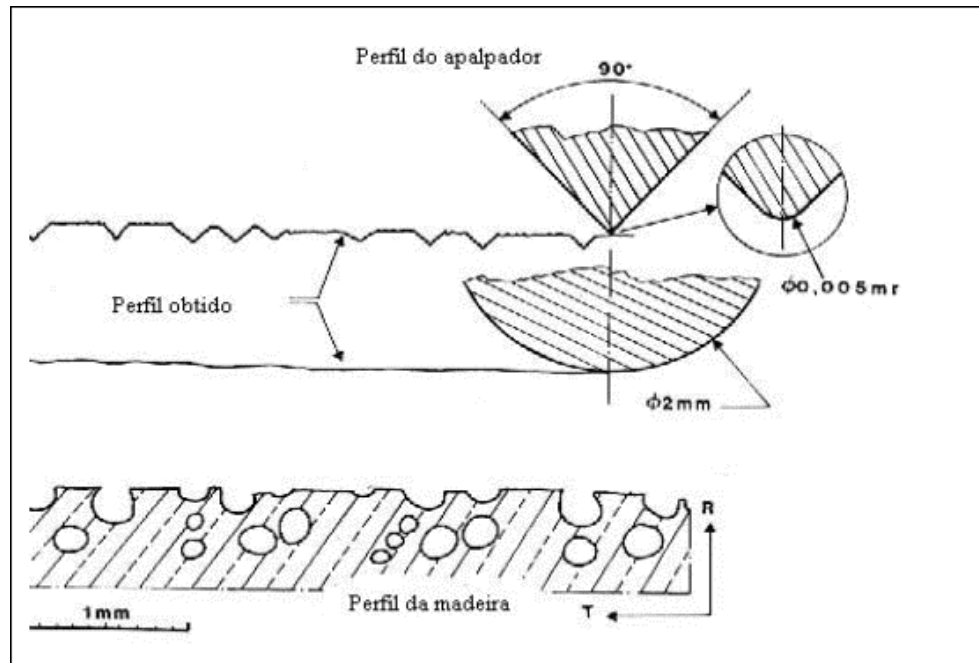
Os parâmetros nos aparelhos de medição para a rugosidade são divididos em três classes: medida da profundidade da rugosidade, medidas horizontais e medidas proporcionais. A medição desses parâmetros pode ser realizada por vários métodos, mais o mais utilizado é o denominado rugosímetro (SIQUEIRA *et al*.,2003).

O rugosímetro é um equipamento eletrônico que tem uma agulha de diamante em contato com a superfície da peça, registrando as oscilações na superfície. A grande dificuldade na medição da rugosidade da madeira com o rugosímetro relaciona-se com seus elementos anatômicos que interferem na leitura do aparelho, fazendo com que as medições apresentem alto coeficiente de variabilidade (GOZELOTO *et al*, 2009).

Para Siqueira *et al*. (2003), o rugosímetro é baseado na medição absoluta da rugosidade através de variações na pressão registrada na agulha. A intensidade da queda de pressão na agulha observada durante o teste será proporcional à rugosidade na superfície da madeira. Resultados obtidos por Soragi (2009) mostraram que o rugosímetro de arraste pode ser utilizado para verificação de rugosidades de superfícies usinadas de madeira. Porém como os rugosímetros funcionam por apalpamento, eles não oferecem uma análise concreta da superfície, pois a madeira apresenta aspectos anatômicos, físicos e químicos que estão intrinsicamente ligados ao processo de sua transformação mecânica e biológicas (COELHO *et al*, 2011).

Abaixo é apresentado na Figura 2 como o rugosímetro interpreta as informações recebidas da agulha na superfície da madeira e como a superfície realmente se encontra devido a transformações mecânicas e biológicas.

FIGURA 2 - Rugosímetro mecânico de apalpação

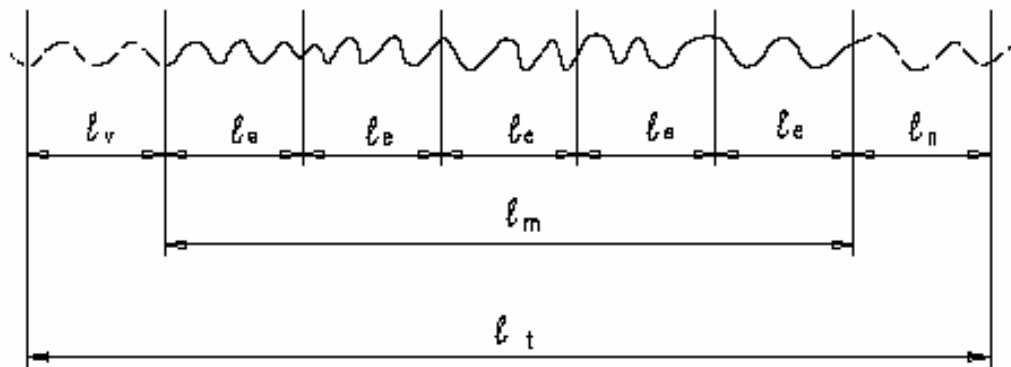


Fonte: (COELHO *et al*, 2011).

### 3.2.1.1 Parâmetros do rugosímetro

Segundo Ostapiv (2011), vários conceitos, nomenclaturas e critérios usados para a avaliação da rugosidade de materiais, são apresentados na NBR ISO 4287:2002 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. É apresentado na Figura 3 a dimensão “ $l_e$ ” como o comprimento de amostragem, pois como o perfil efetivo de um material apresenta além da rugosidade, ondulações maiores, busca-se estabelecer um comprimento de amostragem “ $l_e$ ”, com o qual seja possível filtrar ondulações de maior amplitude (textura secundária) que não devem ser consideradas como rugosidade (textura primária). A norma recomenda que os rugosímetros devam medir cinco comprimentos de amostragem ( $l_m$ : comprimento de medição) e indicar um valor médio.

FIGURA 3 - Comprimentos para avaliação de rugosidade



Fonte: Ostapiv (2011)

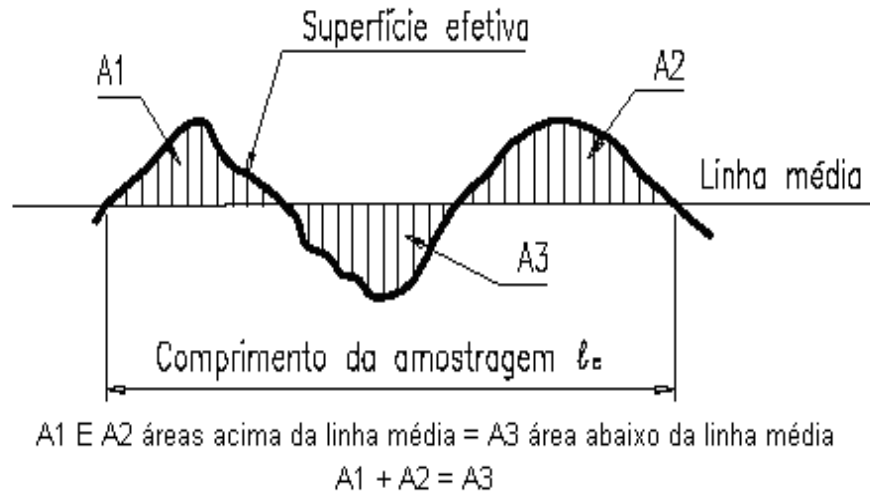
É apresentado na figura acima os comprimentos considerados importantes para avaliação da rugosidade de uma superfície.

- $l_m$ : comprimento do percurso de medição - extensão do trecho útil do perfil de rugosidade utilizado diretamente na avaliação, projetado sobre a linha média;
- $l_t$ : comprimento total de medição;
- $l_v$ : comprimento para atingir a velocidade de medição
- $l_n$ : comprimento para parada do apalpador.

A primeira e a última parte do trecho apalpado não são utilizadas na avaliação, com a finalidade de permitir o amortecimento das oscilações mecânicas e elétricas do sistema e ajuste do perfil de rugosidade.

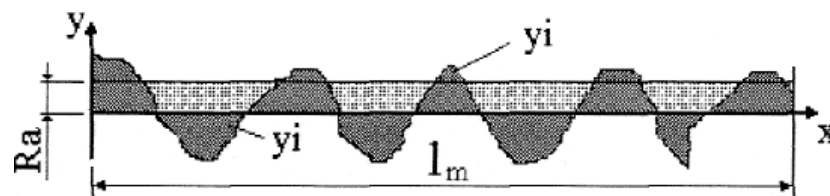
São usados dois sistemas básicos de medida de rugosidade: o da linha média e o da envolvente. No Brasil a ABNT adotou o sistema da linha média que é uma linha paralela à direção geral do perfil, no comprimento da amostragem, de maneira que a soma das áreas superiores, dos picos, compreendidas entre a linha média e o perfil efetivo da superfície ao longo do eixo de medida, seja igual à soma das áreas inferiores, dos vales, no comprimento da amostragem ( $l_e$ ) (Figura 4).

FIGURA 4 - Linha média e áreas mínimas superiores e inferiores



Fonte: Ostapiv (2011)

A rugosidade média ( $R_a$ ) é o parâmetro mais utilizado, apresentado graficamente na Figura 5. Matematicamente é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento ( $y_i$ ), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição ( $l_m$ ). Essa grandeza pode corresponder à altura de um retângulo, cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil de rugosidade e pela linha média, tendo por comprimento o percurso de medição ( $l_m$ ).

FIGURA 5 - Rugosidade média  $R_a$  onde  $y_i$  é o valor de um pico ou de um vale

Fonte: Ostapiv (2011)

A rugosidade máxima ( $R_{m\acute{a}x}$ ) é o maior valor encontrado no comprimento da amostragem, é um parâmetro importante para complementar a caracterização de uma superfície.

### 3.2.2 Laser

Na busca por metodologias não destrutivas e mais confiáveis para as análises de materiais, em especial, de materiais biológicos, o uso de técnicas ópticas ganha espaço a cada ano, fazendo uso dos mais diversos tipos de iluminação e captura de imagens, entre elas utilizando o laser como fonte de luz (SORAGI, 2009).

O laser (*Light Amplification by the Stimulated Emission Radiation*) é uma forma de luz que permite o uso de características importantes e necessárias na análise de superfícies, sendo quase monocromático, além da capacidade de ser uma luz concentrada e altamente direcionável (SORAGI, 2009).

Soragi (2009) testou a técnica de captura das imagens de superfícies de madeira de *Eucalyptus sp* por meio de utilização de laser de baixa potência aplicada em diferentes ângulos. O autor verificou que a iluminação do laser apresentou imagens mais bem definidas, possibilitando a visualização das cristas. Desta forma, a potencialidade da técnica ficou comprovada como viável, necessitando de desenvolvimentos para seu aprimoramento e robustez, uma vez que os equipamentos utilizados eram grandes e de difícil acesso, bem como o tratamento das imagens não havia softwares específicos para sua mensuração.

### 3.2.3 Escaner

Para Alecrim (2004), um escaner é um aparelho de leitura óptica que permite transformar imagens, textos, fotos, ilustrações e superfícies, em formato digital que assim pode ser manipulado em computador. Existem diversos tipos de escaners no mercado, cada um com tecnologias diferentes e mais promissoras.

Cada aparelho utiliza uma forma particular de escaneamento, uma tecnologia mais ou menos avançada e, conseqüentemente, uma qualidade (e um preço) maior ou menor (MORENO, 2008).

Segundo Moreno (2008), o escaneamento é realizado por dois componentes principais que trabalham conjuntamente:

- um hardware, sendo ele um dispositivo de varredura ou escaner;

- um software, que controla o processo de varredura e transforma a imagem em formato digital.

### **3.2.3.1 Resolução**

Alguns escaners permitem que você especifique a resolução que deseja usar. A resolução refere-se à quantidade de detalhes que um escaner vai detectar. Uma resolução mais alta resulta em imagens escaneadas mais detalhadamente, ou seja, mais pontos capturados, mas exige mais espaço de armazenamento (BRUSCHI, 2011).

Um outro termo que também é necessário saber é o pixel (*Picture element*), ou seja, elemento de imagem. Uma imagem digital é dividida em linhas e colunas de pontos. O pixel consiste na interseção de uma linha com uma coluna. Quanto maior a resolução do escaner, maior será a quantidade de pixels que ele irá capturar e mais detalhada a imagem será (ALECRIM, 2004).

A luz laser, ao incidir em um material, forma uma figura constituída por pontos brilhantes, pontos escuros e pontos que apresentam nuances distintas de intensidade luminosa.

De acordo com Rubia *et al.* (2005), pode-se utilizar o laser como fonte de iluminação, obtendo mais informações e resolução sobre o material estudado. A luz laser interage com as partes constituintes da matéria, tendo como resultado como, por exemplo, refração, difração, reflexão especular e reflexão difusa, além da dispersão de Mie e Rayleigh.

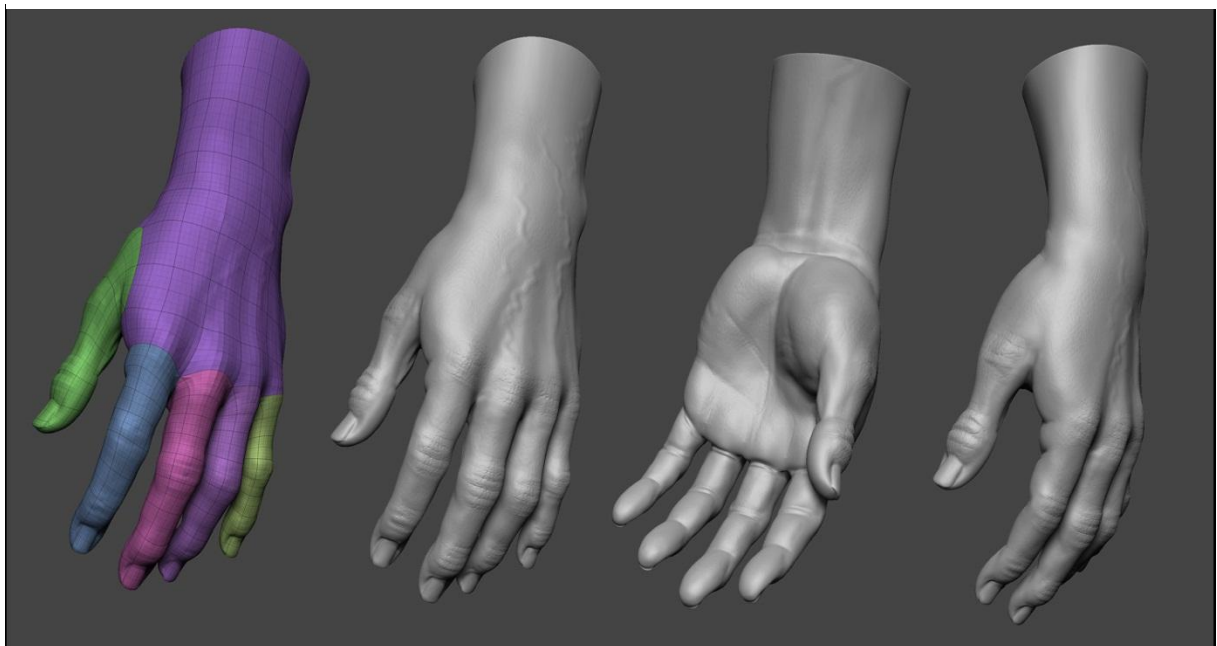
### **3.2.3.2 Aplicações**

O escaner pode ser utilizado para importar diagramas e esboços para um documento ou o próprio documento. Bem como utilizá-lo para digitalizar superfícies e objetos tridimensionais, usualmente chamados de 3D (três dimensões). Convertendo essas informações em dados e tais dados podem ser manipulados e analisados em ambiente computacional (BRUSCHI, 2011).

### 3.2.3.4 Digitalização tridimensional

Atualmente diversas áreas como engenharia, medicina, comunicação, dentre outras, fazem uso de técnicas de computação gráfica para realizar simulações em ambiente computacional a fim de permitir uma melhor visualização de uma situação do mundo real. Exigindo-se cada vez mais, modelos com alto grau de realismo e perfeição. Hoje, na medicina, já se é capaz de estudar o corpo humano através de modelos tridimensionais virtuais, que possibilita estudar detalhes de cada órgão (ex. Figura 6), ou ainda, estudar o corpo humano como um todo; com um simples toque ao mouse separar partes ou juntar partes. Na engenharia consegue-se simular desgaste de todas as peças mecânicas e assim propor soluções até mesmo antes do projeto ser colocado em produção, isso elimina custo desnecessário com correções em milhares de peças, acidentes, etc (RIBEIRO *et al*,

FIGURA 6 - Imagem 3D gerada por digitalização a laser



Fonte: Susan (2008)

Diversos programas da atualidade permitem a construção de modelos tridimensionais de objetos reais a partir de malhas poligonais escaneadas e, que podem, posteriormente, serem manipulados em simulações numéricas computacionais (RIBEIRO *et al*, 2004).

Mesmo com a evolução dos softwares manipuladores de imagens e novas tecnologias em hardware, a criação de modelos tridimensionais ainda demanda muito tempo de trabalho. A tecnologia de digitalização 3D não está acessível e demanda grande investimento (RIBEIRO *et al*, 2004).

Atualmente os novos hardwares têm grande potencial para o auxílio no processo construtivo de estruturas digitais e tridimensionais. Entendendo o processo de projeto a análise como sequência de informação racional deve-se reduzir etapas desnecessárias para melhorar o entendimento das informações. O uso da digitalização 3D e da prototipagem pode auxiliar na coordenação dessa etapa do projeto (RODRIGUES, 2006).

### **3.2.3.5 Escaner 3D por laser**

O escaner *laser* 3D é um sistema de sensoriamento remoto ativo utilizado para medir a distância entre o sensor e a superfície dos objetos. Seu funcionamento é baseado na utilização de um feixe de laser que é emitido em direção aos objetos. É composto por três componentes básicos: uma unidade de medição laser, encarregada de emitir e receber o sinal laser, um sistema de varredura optomecânica e uma unidade de registro de medições de apoio (RIBEIRO *et al*, 2004).

O comprimento entre a origem do laser e a base é fixo e conhecido uma vez que a velocidade de leitura é altíssima, chegando perto ao milissegundo. A distância entre o objeto e o equipamento é geometricamente determinada pelo ângulo registrado e o comprimento da onda. Este tipo de escaner alcança pontos 3D com um desvio padrão menor do que um micrometro (MARTINS *et al*, 2011).

As tecnologias de escaneamento laser 3D podem ser categorizadas de acordo com a técnica utilizada ou de acordo com sua distância de utilização.

No que se refere à distância de utilização, podem ser agrupadas em distâncias curtas, médias, longas e muito longas, as quais atendem a diferentes aplicações na engenharia. As distâncias muito longas possuem aplicações na área de planejamento urbano, possibilitando a realização de levantamentos aéreos de grandes áreas urbanas. As de longa distância permitem o escaneamento de edifícios inteiros e de conjuntos de edifícios. As de curto e médio alcance permitem a

digitalização de objetos como elementos construtivos, detalhes arquitetônicos, esculturas, industriais e ornamentos. Algumas técnicas de curto e médio alcance utilizam elementos referenciais para calibração, como fundos quadriculados ou marcadores posicionados nos objetos, que servem para reconhecimento automático do software. Outras possuem sensores presos a leitores, que auxiliam a dar maior acuracidade à leitura de dados (CELANI, 2011).

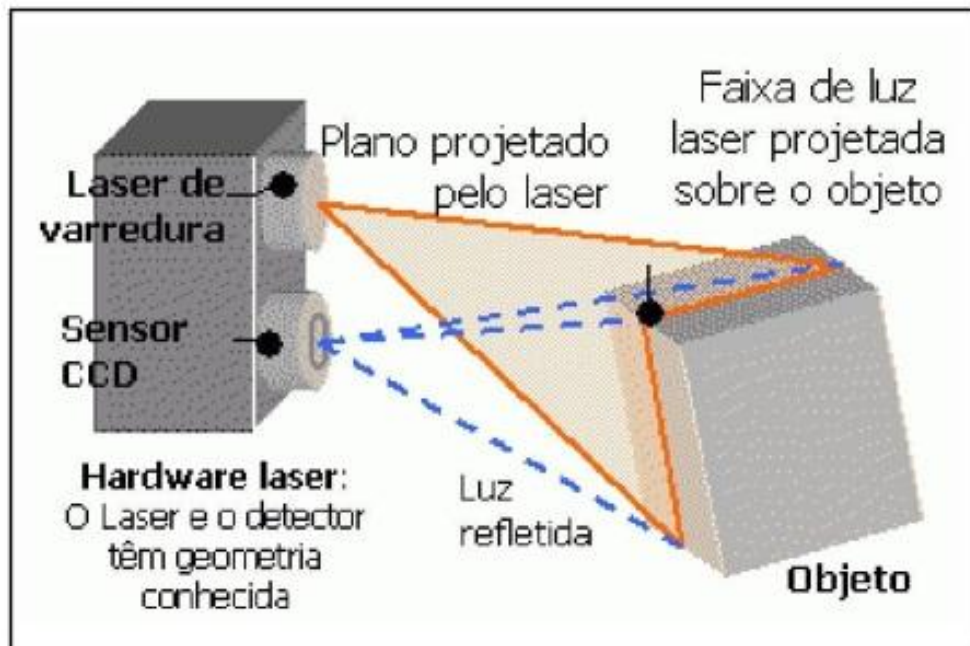
Segundo Ribeiro *et al.* (2004), no que se refere à tecnologia, existem dois tipos principais de laser escaners: baseados no princípio da triangulação, e o baseado no tempo de retorno do sinal.

O princípio da triangulação (Figura 7) ou estéreopar, possui um laser e um sensor CCD, que captura a luz laser refletida pelo objeto. A precisão da reconstrução do modelo do objeto depende de elementos geométricos semelhantes, como a relação base/distância. É adequado para a reconstrução de objetos pequenos.

O problema no método de triangulação é a identificação do ponto laser refletido pelo objeto e registrado pelo CCD, que pode ser limitada pela iluminação do ambiente e pela distância ao objeto.

Já os *escaners laser* 3D baseado no tempo de retorno do sinal (Figura 8), é utilizado para distâncias maiores, medindo a distância através do tempo de retorno do pulso laser (*Time of Light*), esse sistema é conhecido como LIDAR (*Light Detection And Ranging*). Neste sistema, o instrumento emite milhares de pulsos laser por segundo, normalmente de luz infravermelha, permitindo o instrumento a medir as distâncias. A partir destes dados é possível calcular as coordenadas 3D dos pontos medidos e sua resposta espectral (RIBEIRO *et al.*, 2004).

FIGURA 7 - Escaner baseado no princípio da triangulação

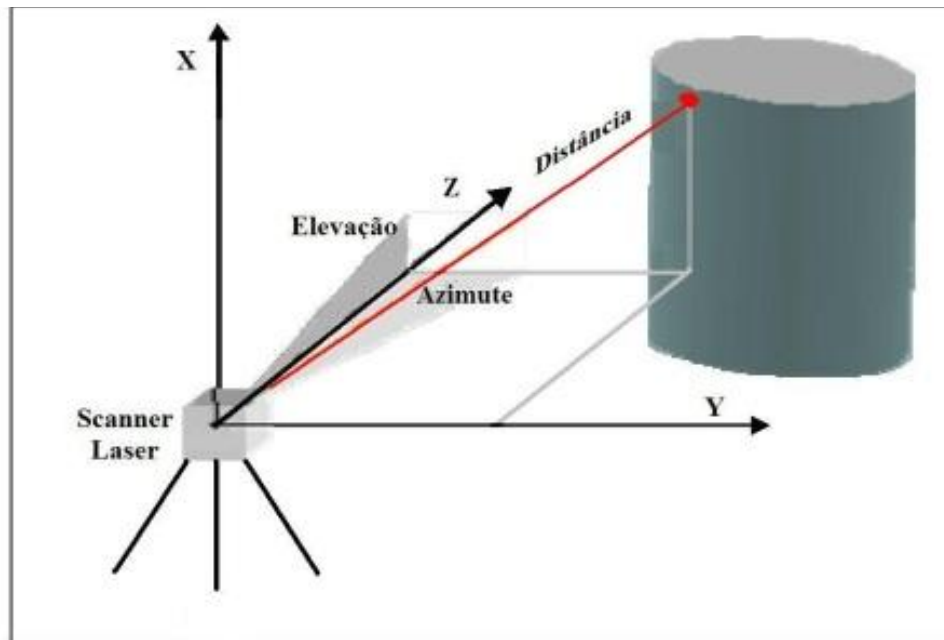


Fonte: Ribeiro *et al.* (2004).

O resultado final do processo de medição e processamento é uma nuvem de pontos, chamado genericamente, de “modelo numérico de superfície”. Este sistema é possível trabalhar durante a noite, já que não requer luz visível. As nuvens de pontos com coordenadas dos pontos no espaço e seus valores de refletância são coletados de várias direções para eliminar as oclusões devido à apenas uma perspectiva central (RIBEIRO *et al.*, 2004).

Um problema nos escaners a laser, tanto por triangulação quanto o LIDAR é reflexo nos objetos. Se o sinal laser não for refletido adequadamente por um determinado material, não haverá como calcular as coordenadas daquele ponto (RIBEIRO *et al.*, 2004).

FIGURA 8 - Escaner baseado no tempo de retorno do sinal



Fonte: Ribeiro *et al.* (2004).

É apresentado na Tabela 1 uma correlação entre as principais técnicas de digitalização e seu alcance. É possível notar na comparação que o estereopar é a técnica mais flexível, podendo ser aplicada em todas as escalas. Essa técnica pode ser aplicada a diferentes tipos objetos, desde imagens fotográficas até imagens subaquáticas obtidas por sonares e por imagens tridimensionais.

TABELA 1 - Técnicas de digitalização e seu alcance

| Técnica       | Alcance       |       |             |
|---------------|---------------|-------|-------------|
|               | Curto / Médio | Longo | Muito Longo |
| Estereopar    | X             | X     | X           |
| Time of light |               | X     | X           |

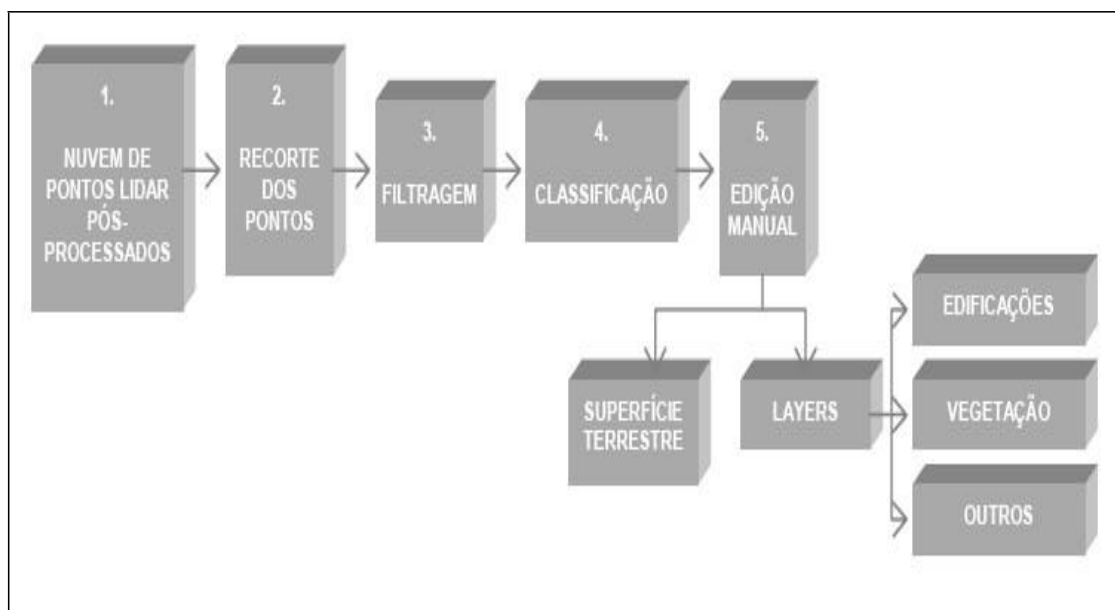
Fonte: Celani (2011)

### 3.2.3.5.1 Nuvem de pontos

Para se diferenciar as informações resultantes da nuvem de pontos, é necessário tratar os dados, e esse tratamento se divide em três etapas principais: filtragem, classificação e edição manual da nuvem de pontos (JÚNIOR *et al*, 2006).

Na Figura 9, apresenta-se o fluxograma desenvolvido para o tratamento de dados de um escaner laser 3D em edificações (JÚNIOR *et al*, 2006).

FIGURA 9 - Fluxograma Nuvem de Pontos



Fonte: (JÚNIOR *et al*, 2006).

- Nuvem de pontos Laser escaner pós-processados: são considerados todos os dados escaneados, pós-processados e devidamente georreferenciados sem filtragem ou análise adicional;
- Recorte da área de estudo e filtragem: essa etapa diz respeito à remoção de pontos indesejados como objetivo de separá-los em pontos que tocaram à superfície desejada e pontos que tocaram outros alvos não desejados. A filtragem é feita pelo software do escaner;
- Classificação: tem a tarefa de encontrar uma estrutura geométrica ou estatística específica, como vasos, vazios e outros. No software são criados layers separando os principais elementos encontrados na área de estudo. O objetivo da classificação é auxiliar a encontrar pontos pertencentes à

superfície do objeto que foram definidos erroneamente no processo de filtragem;

- Edição manual: como os métodos de filtragem e classificação são automáticos, por algoritmos próprios do software, algumas vezes se faz necessário adicionar ao tratamento à etapa de edição manual, para alcançar resultados satisfatórios de acordo com Júnior et al. (2006).

### **3.3 Modelagem 3D**

Atualmente o recurso da modelagem é muito utilizado no mercado para atrair clientes. O modelo em três dimensões simula com perfeição o volume dos objetos, porém, na maioria das vezes não tem ligação direta com a engenharia e sim apenas com o aspecto marketing visual (RODRIGUES, 2006).

Segundo Rodrigues (2006) pouco se tem feito para visualizar e compreender o aspecto técnico-construtivo e a sequência de atividades relativa à construção dos elementos tridimensionais no ensino da computação gráfica voltada à Engenharia.

Os desenhos em 2D e 3D são vistos apenas como ferramenta para comunicar a ideia de projeto na fase da criação, para transmissão da ideia do projeto para o cliente. A falta de informação na engenharia para com a fase de produção provoca consequências negativas em relação ao pleno entendimento das etapas do uso e desenvolvimento de estudos (RODRIGUES, 2006).

O modelo em 3D pode ser utilizado como ferramenta de investigação de problemas, possibilitando a solução destes na etapa anterior à produção. A complexidade das superfícies dos diversos produtos e a alta exigência por qualidade faz com que o escaner seja uma ferramenta para suprir essas necessidades em uma solução concreta e tridimensional dos objetos possibilitando no desfecho final a prototipagem rápida do produto (RODRIGUES, 2006).

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste trabalho foi realizada uma análise teórica sobre escaners 3D, rugosímetros e superfície da madeira, baseando-se nos dados disponibilizados pelos fabricantes e literatura encontrada sobre os mesmos.

### **4.1 Escaner**

Dentre todos os recursos que cada um dos tipos de escaners dispõem, foram selecionados alguns requisitos principais para que o escaner obtenha um resultado positivo e eficaz na proposta de scanear a superfície da madeira.

Essas necessidades são:

- Comprimento de leitura;
- Acuracidade de leitura;

#### **4.1.1 Escaners analisados**

Abaixo é apresentado na Tabela 2 os aparelhos analisados e seus respectivos dados relevantes.

TABELA 2 - Principais escaners encontrados no mercado

| Sistema         | Uso         | Custo (dólares) | Largura máxima de leitura por passe (mm) | Acuracidade (µm) | Exibição dos dados    | Peso (g) | Vel. de Leitura (mm/s) |
|-----------------|-------------|-----------------|------------------------------------------|------------------|-----------------------|----------|------------------------|
| Cerec 3D        | Ortodôntico | 27.000,00       | 18                                       | 47               | Software 3D - Monitor | 450      | 12                     |
| Procera         | Ortodôntico | 22.000,00       | 9.2                                      | 54               | Software 3D - Monitor | 490      | 10                     |
| Vivid 9i        | Geral       | 32.000,00       | 450                                      | 50               | Software 3D - Monitor | 15.000   | 30                     |
| Konica Range 7  | Geral       | 40.000,00       | 500                                      | 40               | Software 3D - Monitor | 6.700    | 50                     |
| David3D Escaner | Geral       | 590,00          | 400                                      | 125              | Software 3D - Monitor | 1.000    | 10                     |
| Photomodeler    | Geral       | 3.000,00        | 100                                      | 80               | Software 3D - Monitor | 980      | 10                     |
| Nikon K610      | Montadoras  | 210.000,00      | 3320                                     | 50               | Software 3D - Monitor | 5.000    | 110                    |
| Nikon MMCx      | Montadoras  | 100.000,00      | 160                                      | 23               | Software 3D - Monitor | 400      | 90                     |
| Nikon XC65Dx    | Montadoras  | 112.000,00      | 65                                       | 15               | Software 3D - Monitor | 440      | 85                     |
| Nikon LC60Dx    | Montadoras  | 88.000,00       | 60                                       | 60               | Software 3D - Monitor | 390      | 85                     |

Fonte: Autoria própria

## 4.2 Rugosímetro

Dentre todos os recursos que cada um dos tipos de rugosímetro dispõe, foram selecionados alguns requisitos principais a serem comparados com o escaner e a superfície.

Essas necessidades são:

- Exibição dos dados;
- Acuracidade de leitura.

### 4.2.1 Rugosímetros analisados

Abaixo é apresentado na Tabela 3 os aparelhos encontrados no mercado e seus respectivos dados relevantes.

TABELA 3 - Principais rugosímetros encontrados no mercado

| Aparelho         | Largura máxima de Leitura por passe ( $\mu\text{m}$ ) | Acuracidade ( $\mu\text{m}$ ) | Exibição dos dados     | Vel. de leitura mm/s |
|------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------|
| RugoSurf 20      | 0,01                                                  | 0,01                          | Display 2D no aparelho | 1                    |
| RugoSurf 10      | 0,088                                                 | 0,088                         | Display 2D no aparelho | 1                    |
| Testes KT600     | 0,01                                                  | 0,01                          | Impresso no aparelho   | 0,8                  |
| Metromec SRT6400 | 0,01                                                  | 0,01                          | Display 2D no aparelho | 0,135                |
| Starrett SR100   | 0,01                                                  | 0,01                          | Display 2D no aparelho | 0,8                  |
| Starrett SR200   | 0,008                                                 | 0,008                         | Display 2D no aparelho | 1                    |
| PCE RT100        | 0,05                                                  | 0,05                          | Display 2D no aparelho | 1                    |
| PCE RT1200       | 0,02                                                  | 0,02                          | Display 2D no aparelho | 1                    |
| PCE Positector   | 1                                                     | 1                             | Display 2D no aparelho | 0,8                  |
| Surtronic 25     | 0,02                                                  | 0,02                          | Display 2D no aparelho | 0,8                  |

Fonte: Autoria própria

### 4.3 Superfícies de madeiras

Quando nos referimos à superfície da madeira estamos falando de algo irregular e com grandes vazios, para tal refere-se a superfície como a rugosidade da madeira.

#### 4.3.1 Rugosidade da madeira

Com o objetivo de utilizar um escaner 3D no lugar de um rugosímetro a diversidade de espécies de madeira faz com que o experimento para valores específicos de vasos seja algo impossível, uma vez que o foco é abranger todas as espécies de madeira utilizadas comercialmente e não comercialmente (RUBIA *et al*, 2005).

Segundo Rubia *et al* (2005), em suas análises com diversos tipos de madeira, o autor diz que o diâmetro dos vazios na madeira é classificado em fina, média e grosseira, conforme Tabela 4.

TABELA 4 - Variação diametral dos vazios na madeira

|           | Diâmetro dos vazios (µm) |
|-----------|--------------------------|
| Fina      | <100                     |
| Média     | 100 a 300                |
| Grosseira | >300                     |

Fonte: Autoria própria

### 4.4 Comparações

As comparações e verificações se deram em duas partes.

#### **4.4.1 Justificativa**

Realizado uma comparação das especificações dos rugosímetros e sua aplicação na rugosidade das madeiras.

Verificando se o rugosímetro é o melhor e mais apropriado aparelho para mensurar as imperfeições da superfície da madeira.

É importante ressaltar que além das questões relativas à escala dos vasos e estruturas anatômicas da madeira, o rugosímetro não consegue detectar macro imperfeições geométricas, resultantes da retração da madeira em função da umidade, ou imperfeições devido ao processo de usinagem, é preciso considerar o tempo de medição do rugosímetro e a limitação da área abrangida, já que existe uma baixa homogeneidade do material.

#### **4.4.2 Análise**

Realizado uma análise se os modelos de escaners que foram fruto deste trabalho atendem aos requisitos para mensurar as imperfeições da superfície da madeira. Verificando se estes se mostram uma alternativa viável e melhor que o rugosímetro.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados estão divididos por instrumentos e suas características no uso junto à madeira e serão expressos abaixo através de comparação.

### **5.1 Análise de superfícies com rugosímetro**

Para análise da eficácia do rugosímetro em madeira, levou-se em conta o maior valor de poro encontrado na literatura, sendo este igual ou superior a 300µm.

Com base nos dados da Tabela 3 (coluna da “Agulha”), tem-se que estes valores em todos os aparelhos se encontram muito abaixo do tamanho máximo apresentado por um poro de madeira.

Isso reconfirma os dados encontrados em literaturas o qual mostram que a madeira tem vazios muito maiores do que a agulha de leitura de um rugosímetro, fazendo com que este aparelho seja desaconselhável para leitura de superfícies em madeira.

### **5.2 Análise de superfície com um escaner laser 3D**

Uma vez que há ausência do emprego de escaners para a análise da rugosidade de madeiras em geral, analisa-se os escaners com melhor resolução e passível de aplicação superfícies de madeira, independente do seu uso no mercado.

É apresentado na Tabela 2 que os valores da coluna “Acuracidade” de todos os sistemas exceto o “David 3D Escaner” atendem a necessidade da leitura dos vazios da madeira, sendo estes valores inferiores aos valores encontrados na literatura para vazios de diâmetro considerado “Fino” que são iguais ou inferiores a 100µm.

### **5.3 Rugosímetro X Escaner laser 3D**

Verificando agora a viabilidade de substituir rugosímetro é apresentado uma análise de comparação do rugosímetro com o escaner.

Para tal análise segue abaixo os dados julgados como de maior relevância na literatura, sendo eles:

- Comprimento máximo de leitura por passe;
- Acuracidade;
- Exibição dos dados;
- Velocidade de leitura;

### 5.3.1 Comprimento máximo de leitura por passe

Visando a área de leitura dos aparelhos, segue a Tabela 5, onde serão mesclados os dados dos aparelhos e utilizado o maior e menor valor para o comprimento de leitura por passe.

TABELA 5 - Comprimento máximo de leitura por passe Escaner x Rugosímetro

|                  | Largura mínima de leitura por passe | Largura máxima de leitura por passe |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Escaner laser 3D | 9,2 mm                              | 3320 mm                             |
| Rugosímetro      | 0,008 $\mu\text{m}$                 | 1 $\mu\text{m}$                     |

Fonte: Autoria própria

É apresentado na Tabela 5 que o escaner tem um comprimento de leitura muito superior ao rugosímetro, mostrando que o escaner é um equipamento que consegue abranger uma área muito superior ao rugosímetro por passe.

Isso mostra o escaner como sendo um aparelho que aumenta a área de leitura simultânea da superfície reduzindo assim o tempo de leitura da superfície.

### 5.3.2 Acuracidade

Na análise da acuracidade será comparada a maior e menor acuracidade dos dois aparelhos (Tabela 6) e verificada se atendem a necessidade do objetivo deste estudo. Ressaltando que já esta sendo retirado desta análise o sistema “*David 3D Escaner*”, pois o mesmo já foi eliminado em analise anterior.

TABELA 6 – Acuracidade Escaner x Rugosímetro

|                  | Acuracidade máxima<br>( $\mu\text{m}$ ) | Acuracidade mínima<br>( $\mu\text{m}$ ) |
|------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Escaner laser 3D | 15                                      | 80                                      |
| Rugosímetro      | 0,008                                   | 1                                       |

Fonte: Autoria própria

É apresentado na Tabela 6 que o rugosímetro tem uma acuracidade muito maior que o escaner, porém isso já era esperado uma vez que o rugosímetro é um aparelho feito para verificar a superfície de metais, os quais apresentam imperfeições muito menor que a madeira em sua superfície.

Verificando os dados apresentados no escaner constata-se que seus dados são superiores ao rugosímetro, porém está apto à leitura da superfície de madeiras com base nos dados da Tabela 6.

### 5.3.3 Exibição dos dados

O modo como os dados são apresentados para sua análise é algo que está sendo cobrado de melhoria, uma vez que a exibição dos dados resulta em um melhor valor dimensional e um aferimento mais preciso da superfície que está sendo analisada.

TABELA 7 - Modo de exibição dos dados Escaner x Rugosímetro

| Escaner         | Exibição dos dados    | Rugosímetro      | Exibição dos dados     |
|-----------------|-----------------------|------------------|------------------------|
| Cerec 3D        | Software 3D - Monitor | RugoSurf 20      | Display 2D no aparelho |
| Procera         | Software 3D - Monitor | RugoSurf 10      | Display 2D no aparelho |
| Vivid 9i        | Software 3D - Monitor | Testes KT600     | Impresso no aparelho   |
| Konica Range 7  | Software 3D - Monitor | Metromec SRT6400 | Display 2D no aparelho |
| David3D Escaner | Software 3D - Monitor | Starrett SR100   | Display 2D no aparelho |
| Photomodeler    | Software 3D - Monitor | Starrett SR200   | Display 2D no aparelho |
| Nikon K610      | Software 3D - Monitor | PCE RT100        | Display 2D no aparelho |
| Nikon MMCx      | Software 3D - Monitor | PCE RT1200       | Display 2D no aparelho |
| Nikon XC65Dx    | Software 3D - Monitor | PCE Positector   | Display 2D no aparelho |
| Nikon LC60Dx    | Software 3D - Monitor | Surtronic 25     | Display 2D no aparelho |

Fonte: Autoria própria

É apresentado na Tabela 7 que os escaners tem uma forma de exibição de dados muito superior ao rugosímetro, uma vez que ele usa um software 3D para exibição dos dados escaneados, podendo assim ter mais flexibilidade no tamanho da imagem visualizada no monitor, melhor manipulação e superior definição de imagem com cores.

Isso dependendo das condições se torna algo prejudicial, pois em alguns casos não há a possibilidade de levar tantos aparelhos ao local, porém devo ressaltar que o leitor do escaner tem tamanhos variáveis e com isso podem fazer a leitura em locais de difícil acesso e armazenar em memórias internas, e depois tais dados podem ser descarregados no software em um computador.

#### 5.3.4 Velocidade de leitura

É apresentado na Tabela 8 que a velocidade de leitura de todos os escaners é muito superior ao rugosímetro. Fazendo com que os escaners tenham um melhor aproveitamento em cada passe.

TABELA 8 - Comparação Velocidade da Leitura Escaner x Rugosímetro

| Escaner         | Vel. de Leitura (mm/s) | Rugosímetro      | Vel. de leitura mm/s |
|-----------------|------------------------|------------------|----------------------|
| Cerec 3D        | 12                     | RugoSurf 20      | 1                    |
| Procera         | 10                     | RugoSurf 10      | 1                    |
| Vivid 9i        | 30                     | Testes KT600     | 0,8                  |
| Konica Range 7  | 50                     | Metromec SRT6400 | 0,135                |
| David3D Escaner | 10                     | Starrett SR100   | 0,8                  |
| Photomodeler    | 10                     | Starrett SR200   | 1                    |
| Nikon K610      | 110                    | PCE RT100        | 1                    |
| Nikon MMCx      | 90                     | PCE RT1200       | 1                    |
| Nikon XC65Dx    | 85                     | PCE Positector   | 0,8                  |
| Nikon LC60Dx    | 85                     | Surtronic 25     | 0,8                  |

Fonte: Autoria própria

Em quesito em conjunto com comprimento de leitura por passe o escaner se mostra muito melhor que o rugosímetro, pois consegue scanear um comprimento maior e com maior velocidade e não perdendo a resolução.

## 6. CONCLUSÃO

Com base nos dados apresentados e analisados neste trabalho apresento que a qualidade da superfície da madeira esta a cada dia sendo alvo de maiores cobranças em qualidade. Tais cobranças mostram que o estado que se encontram hoje não são satisfatórios, com isso há necessidade de uma reavaliação dos aparelhos utilizados para sua análise.

O rugosímetro como apresentado é um equipamento desenvolvido para as necessidades da indústria metal mecânica e se mostra de baixa qualidade na análise das superfícies de madeiras, uma vez que a superfície encontra-se com cristas e cavidades desiguais, irregulares e de tamanhos muito variáveis.

O substituto analisado foi o escaner laser 3D o qual hoje já tem seu uso sendo difundido em grande escala e obtendo ótimos resultados nos mais diversos ramos do mercado. O escaner após comparações rigorosas de todas as principais necessidades na análise superficial e de substituição ao rugosímetro foi dado como um ótimo ou mesmo ideal aparelho para substituir o rugosímetro na análise de superfícies.

O escaner laser 3D tem propriedades de análise melhores que o rugosímetro, conseguindo assim uma melhor análise da superfície da madeira ou qualquer outro produto que apresente uma superfície irregular como ela.

Infelizmente não foi possível adquirir ou mesmo emprestar o aparelho, pois os mesmos se encontram em uma faixa de preço muito elevada e como este trabalho tinha como o intuito elucidar se o escaner poderia ser um substituto para o rugosímetro, não foi possível fazer a compra dos aparelhos a título de teste de comparação com o rugosímetro. Porém agora que foi possível analisar quantitativamente o seu emprego nesta necessidade é de grande valia uma melhor análise dos aparelhos e verificar qualitativamente sua empregabilidade, uma vez que segundo seus dados de fabricação e potencialidade ele abrange todas as necessidades para a seu uso com sucesso.

Depois da análise demonstrada neste trabalho o escaner é imprescindível para este tipo de análise de superfície, e com o decorrer das novas necessidade do mercado bem como as cobranças de qualidade superior para os produtos, o escaner

tenha seu valor de compra reduzido e assim tal tecnologia se torne alvo de maiores estudos e acima de tudo maior empregabilidade nas áreas a qual ele pode abranger.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALECRIM, E.. **Scaneers**. Disponível em: <<http://www.infowester.com/escaners.php>>. Acesso em: 09 set. 2012.

BRUSCHI, A. G.. **Aplicações para o escaner**. Disponível em: <<http://www.fabriciobreve.com/trabalhos/escaner.php#.UJ550OTAf9W>>. Acesso em: 12 ago. 2012.

CELANI, G.; CANCHERINI, L.; NORTON, A. A.. **Digitalização tridimensional de objetos**: Um estudo de caso. São Paulo, 2011. 14 p.

COELHO, C.; CARVALHO, L.; MARTINS, J.. **ESTUDO DOS EFEITOS DOS PARÂMETROS DE MAQUINAÇÃO DA MADEIRA NAS CARACTERÍSTICAS OBJECTIVAS E PERCEPÇÃO SUBJECTIVA DE UM ACABAMENTO**. São Paulo, 2011. 11 p.

CORREIA, A. R. M.; FERNANDES, J. C. A. S.; CARDOSO, J. A. P. .. **CAD-CAM: a informática a serviço da prótese fixa**. Revista de Odontologia da Unesp, São Paulo, n. , p.183-189, 01 jan. 2006.

GOZELOTO, M.; GONÇALVEES, R.. **Dióxido de carbono em forma de névoa na refrigeração da ferramenta de corte, durante a usinagem da madeira**. Ciência Rural, Campinas, n. , p.1426-1432, 26 jan. 2009.

GUIDE, C.. **O básico da madeira para móveis**. Disponível em: <<http://casa.hsw.uol.com.br/um-guia-para-madeiras-de-moveis.htm>>. Acesso em: 22 out. 2012.

IPT, Instituto de Pesquisa e Tecnologia. **Madeira de reflorestamento para móveis**. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=649&subject=M%F3veis&title=Madeira%20de%20reflorestamento%20para%20m%F3veis](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=649&subject=M%F3veis&title=Madeira%20de%20reflorestamento%20para%20m%F3veis)>. Acesso em: 09 out. 2012.

LUCAS FILHO, F. C. **Análise da usinagem de madeiras visando a melhoria de processos em indústrias de móveis**. 2004. 1741 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MARTINS, C.; ROSA, S.; NORTON, A. A.. **Digitalização 3D em Medicina Dentária**. São Paulo: X, 2011. 7 p.

MARTINS, S. A.; FERRAZ, J. M.; SANTOS, C. M. T.. **Efeito da Usinagem na Rugosidade da Superfície da Madeira de Eucalyptus benthamii**. Brasília, 2011. 9 p.

MORENO, L. .. **Digitalização de imagens: Os tipos de escaners**. Disponível em: <  
<http://www.criarweb.com/artigos/digitalizacao--de-imagens-tipos-de-escaners.html>>.  
 Acesso em: 02 ago. 2012.

MORIMOTO, C. . **Escaner**. Disponível em: <  
<http://www.hardware.com.br/termos/escaner>>. Acesso em: 02 ago. 2012.

N. JÚNIOR,; SCHULER, J. O .; CAVALCANTE, R. B.. **SISTEMA LASER ESCANER**.  
**In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO**  
**REMOTO**, 3., Aracaju, 2006.

OSTAPIV, F.. **RESISTÊNCIA MECÂNICA DO MATERIAL COMPÓSITO: MADEIRA DE EUCALIPTO-LÂMINA DE BAMBU**.2011. 155 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Materiais, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2011.

PAIVA, R. D.; MURAMATSU, M.. **Desenvolvimento de um Rugosímetro a Laser**. Revista de Física Aplicada e Instrumentação, São Paulo, v.2 , n.7 , p.60-69, 01 jun. 2004.

PAULA, J. E.. **CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DA MADEIRA DE SETE ESPÉCIES DA AMAZÔNIA COM VISTAS À PRODUÇÃO DE ENERGIA E PAPEL**. Brasília, 2003. 20 p.

RIBEIRO, D. S.; SILVA, R. E.. **DIGITALIZADOR 3D A LASER PARA CONSTRUÇÃO DE MALHAS POLIGONAIS**. In: WORD CONGRESS ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION. 2004, São Paulo, 2004. p. 1181 - 1185.

RODRIGUES, M.. **Modelagem 3D e prototipagem rápida aplicada à Coordenação de Projetos**. 2006. 164 f. Dissertação (M) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

RUBIA, M. S.; AKIRA, F. M.; RABELLO, G. F.. **INTERAÇÃO DA LUZ LASER PARA A AVALIAÇÃO DA TEXTURA DE MADEIRAS NATIVAS E DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 15, n. 2, p.167-175, 03 jun. 2004.

SIQUEIRA, K. P.; MONTEFUSCO, A. R. G.; G. NETO, A. B.. **Principais metodologias de medição de estado de superfícies**. Revista Ciências Exatas e Naturais, Curitiba, n.32 , p.20-28, 02 dez. 2003.

SORAGI, L. C.. **QUALIDADE DE SUPERFÍCIES USINADAS EM MADEIRA DE *Toona ciliata* M. Roem**. 2009. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SUSAN, D. Digital Sculpting Reel 2008. Disponível em: <  
<http://www.selwy.com/2008/digital-sculpting-reel-2008/>>. Acesso em 12 nov. 2012.