

JOSUÉ TZAN HSIN MA

SPECKLE LASER APLICADO A ANÁLISE DE RUGOSIDADE DE MATERIAIS

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador

Prof. Dr. Roberto Alves Braga Júnior

Co-Orientador

Prof. Mário Luiz Rodrigues Oliveira

Lavras
Minas Gerais - Brasil
2005

JOSUÉ TZAN HSIN MA

***SPECKLE LASER* APLICADO A ANÁLISE DE RUGOSIDADE DE MATERIAIS**

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Áreas de Concentração
Laser, Processamento Digital de Imagens

Orientador
Prof. Dr. Roberto Alves Braga Júnior

Co-Orientador
Prof. Mário Luiz Rodrigues Oliveira

Lavras
Minas Gerais - Brasil
2005

JOSUÉ TZAN HSIN MA

SPECKLE LASER APLICADO A ANÁLISE DE RUGOSIDADE DE MATERIAIS

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em *29 de Junho de 2005*

Prof. Dr. Antônio Tavares da Costa Júnior

Prof. MSc. Luciano Mendes dos Santos

Prof. Dr. Roberto Alves Braga Júnior
(Orientador)

Prof. Mário Luiz Rodrigues Oliveira
(Co-Orientador)

Lavras
Minas Gerais - Brasil

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Considerações Iniciais	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Metodologia Utilizada	2
1.4	Escopo do Trabalho	2
2	REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1	O <i>Laser</i>	3
2.2	O <i>laser</i> e os Fenômenos Ópticos	4
2.3	Madeira	5
2.3.1	Características	5
2.3.2	Usinagem	7
2.3.3	A Desempenadeira	8
3	METODOLOGIA	10
3.1	Considerações Iniciais	10
3.2	Confecção de Aplicativos para Análise das Imagens do <i>Speckle</i>	10
3.3	Iluminação dos materiais	12
3.3.1	Ajustes no Espelho	14
3.4	Análise dos Dados	15
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1	Implementação do Software	16
4.2	Iluminação dos Materiais	16
4.3	Análises	17
4.4	Comparação dos Resultados	18
4.4.1	Comparação por Análises Matemáticas	18
4.4.2	Comparação com o Uso do Rugosímetro	25
5	CONCLUSÃO	27
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
7	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	29
7.1	Reprodução 3-D de uma Superfície Iluminada	29
7.2	Criação de Filtros para Análises de Imagens Geradas pelo <i>Speckle</i>	31
7.3	Refinamento e Estudo dos Perfis Gerados pelo <i>Speckle</i> com os Perfis Gerados pelo Rugosímetro	32

Lista de Figuras

2.1	Esquema básico dos átomos para funcionamento do <i>laser</i>	3
2.2	Esquema básico de um <i>laser</i> de Rubi.	4
2.3	<i>Speckle</i> de um vidro rugoso.	4
2.4	<i>Speckle</i> de um vidro liso.	4
2.5	Corte longitudinal ($90^\circ - 0^\circ$) a favor das fibras.	6
2.6	Corte longitudinal ($90^\circ - 20^\circ$), deitando (a favor) as fibras.	6
2.7	Corte longitudinal ($90^\circ - 20^\circ$), levantando (contra) as fibras.	6
2.8	Corte transversal às fibras da madeira ($0^\circ - 90^\circ$).	6
2.9	Corte no topo da madeira ($90^\circ - 90^\circ$).	7
2.10	Desempenadeira utilizada para preparar os materiais.	8
2.11	Vista de perto das laminas utilizadas para processar madeira.	8
2.12	Fatores determinantes no processamento com a desempenadeira. Valores normativos de um aplainamento, sendo fz = avanço por dente, t = profundidade do arco de ciclóide, V_c = velocidade de corte das facas e V_f = velocidade de avanço da peça de madeira.	9
3.1	Tela geral do programa.	11
3.2	Modos de salvar o programa.	11
3.3	Saída do programa, com a resolução da imagem transformada.	12
3.4	Set-up básico utilizado pelo experimento.	13
3.5	Vista aérea do set-up utilizado pelo experimento.	13
3.6	Set-up utilizado pelo experimento.	14
3.7	Set-up utilizado pela iluminação superior.	14
3.8	Set-up utilizado pela iluminação lateral.	15
4.1	Imagem gerada pela iluminação superior.	17
4.2	Imagem gerada pela iluminação lateral.	17
4.3	Diferença entre os FFT obtidos através da sobreposição de gráficos.	17
4.4	Diferença entre os gráficos de FFT e FFT após a utilização do CONV	18
4.5	Iluminação superior da área 1	19
4.6	Iluminação lateral da área 1	19
4.7	Iluminação superior da área 2	19
4.8	Iluminação lateral da área 2	19
4.9	Iluminação superior da área 3	19
4.10	Iluminação lateral da área 3	19
4.11	Sobreposição dos gráficos da face cima da madeira 3, iluminação por cima.	20
4.12	Sobreposição dos gráficos da face cima da madeira 3, iluminação lateral.	20
4.13	Área (a) iluminada com 2 cristas	21

4.14	Área (b) iluminada com 2 cristas	21
4.15	Sobreposição dos gráficos das áreas "a"(azul) e "b"(vermelho), ambas com 2 cristas	21
4.16	Área (a) iluminada com 4 cristas	22
4.17	Área (b) iluminada com 4 cristas	22
4.18	Sobreposição dos gráficos das áreas "a"(azul) e "b"(vermelho), ambas com 4 cristas	22
4.19	Iluminação superior com 1 onda	23
4.20	Iluminação superior com 2 cristas	23
4.21	Iluminação superior com 3 cristas	23
4.22	Iluminação superior com 4 cristas	23
4.23	Iluminação superior com 5 cristas	23
4.24	Iluminação lateral com 1 crista	24
4.25	Iluminação lateral com 2 cristas	24
4.26	Iluminação lateral com 3 cristas	24
4.27	Iluminação lateral com 4 cristas	24
4.28	Iluminação lateral com 5 cristas	24
4.29	Sobreposição dos gráficos das iluminações superiores	25
4.30	Sobreposição dos gráficos das iluminações laterais	25
4.31	Perfil gerado pela iluminação pelo alto	26
4.32	Perfil gerado pela iluminação lateral	26
4.33	Perfil gerado pelo rugosímetro	26
7.1	Imagem original	29
7.2	Uma pseudo-reprodução obtida por esse trabalho	30
7.3	Set-up básico a ser utilizado para o experimento em 3-D	30
7.4	Imagem base	31
7.5	Imagem base após filtragem	31
7.6	Imagem após aplicação de cores	32
7.7	Imagem após aplicação de cores	32

Dedico esta monografia à Deus, que tem me ajudado e me dado forças, sabedoria e me guiado por todos esses anos, à minha família (meu pai, minha mãe, minha irmã e meus parentes) que por muitas vezes me ajudou nos momentos difíceis e, aos amigos e irmãos que tem me sustentado firme durante essa fase da minha vida. Amo muito vocês.

Agradecimentos

Agradeço a todas pessoas que me ajudaram durante o curso de Ciência da Computação. Aos professores, colegas e amigos dos Departamentos de Ciência da Computação, Engenharia e Ciências Florestais. Sem a ajuda de todos vocês com certeza eu não teria conseguido.

Abstract

The laser has been seen as a very useful and flexible tool, applicable to almost all industrial sectors. Due to characteristics of the light it emits, it can be used in a series of applications. This work is a proposal to use laser light in the analysis of material rugosity, mainly in the wood technology area combined with digital image processing.

Resumo

O *laser* tem se apresentado como uma ferramenta bastante útil e flexível aplicável a quase todos os setores industriais. Devido às características de luz emitidas por ele é possível sua utilização em uma série de aplicações. Esse trabalho propõe a sua utilização em análise de rugosidade de materiais, principalmente na área de tecnologia da madeira, em conjunto com ferramentas de processamento digital de imagens.

Resumo Extendido

O *laser* tem se apresentado como uma ferramenta bastante útil e flexível aplicável a quase todos os setores industriais. Devido às características de luz emitidas por ele é possível sua utilização em uma série de aplicações, entre elas, a análise de rugosidade de materiais. O uso do *speckle* aplicado à análise de rugosidade de materiais apresenta-se como uma técnica promissora, principalmente se conseguirmos estabelecer um padrão para os materiais considerados lisos, as características de suas imagens geradas pelo processo e estabelecer uma "linha guia" para pesquisas futuras nas quais serão possíveis melhoras nos processos, nas metodologias, entre outros. Em aplicações como esta o seu uso ainda é muito restrito, mas se provou muito eficiente em trabalhos anteriores com materiais biológicos. O presente experimento provou ser capaz de identificar, visualmente, cristas resultantes de cortes na madeira que são quase imperceptíveis aos olhos humanos. Também foi desenvolvido um software que transforma a imagem captada em uma matriz de níveis de cinza, o qual irá ajudar a achar algumas estatísticas e também foi utilizada a análise de Fourier para identificar padrões das imagens captadas. O trabalho tem sido desenvolvido em basicamente 4 passos sendo que, primeiramente foi feito um estudo para achar, e conseqüentemente, utilizar a melhor configuração. Após este primeiro passo foi então implementado um programa que transforma a imagem de 512 por 512 pixels em uma matriz de 512 por 512, preenchida com os níveis de cinza da imagem original. Foram escolhidos os pontos chaves de cada amostra da madeira e sua subsequente iluminação, em 2 angulações diferentes. O último passo foi a análise estatística, utilizando convolução e transformadas de Fourier, no qual foi alcançado um resultado positivo, indicando que o *speckle laser* pode ser aplicado à rugosidade de materiais com sucesso.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O *laser* sempre foi visto como algo especial. Por vezes como uma arma, ou uma ferramenta, ou qualquer coisa inexplicável para nossa imaginação, foi também grandemente utilizado em filmes de ficção científica, como Guerra nas Estrelas e Jornada nas Estrelas, entre outros. Com o passar dos anos, o *laser* saiu das telas do cinema para os setores industriais que começaram, pouco a pouco, a se utilizar dessa tecnologia para fins cada vez menos imaginários e mais reais.

O *laser* tem se apresentado como uma ferramenta bastante útil e flexível aplicável a quase todos os setores industriais. Devido às características da luz emitida por ele é possível sua utilização em uma série de aplicações, que vão desde os mais simples, como o apontador de palestras, aos mais complexos, como o seu uso em satélites. Com a expansão do uso do *laser* na indústria, este começou também a ser utilizado pela sociedade.

Após muito tempo sendo utilizado em pesquisas básicas, começou a ser aplicado de maneira mais prática. Com a expansão do seu uso, houve, simultaneamente, uma expansão nas áreas de pesquisa no qual começou a ser descobertos fenômenos característicos de fontes como o *laser* como o *speckle*.

A humanidade, após aprender como controlá-lo, começou a utilizá-lo e em pouco tempo substituiu antigos artefatos como os apontadores de palestras do tipo antenas, os discos *Long-Play*(LP's), sem contar na sua utilização em muitas outras áreas.

O fenômeno do *speckle* é obtido através da iluminação de um objeto pelo *laser* e se apresenta um método em potencial para analisarmos e determinarmos a rugosidade deste material.

O uso do *speckle* aplicado à análise de rugosidade de materiais apresenta-se como uma técnica promissora, principalmente se conseguirmos estabelecer um padrão representando o nível de rugosidade dos objetos iluminados.

Por ser uma linha nova de pesquisa, os experimentos realizados até o momento, tem sido importantes para definir a influência das diversas variáveis envolvidas e traçar o rumo de futuras pesquisas nesta área.

1.2 Objetivos

Este trabalho busca oferecer uma contribuição para o desenvolvimento de uma metodologia que aplica o *laser* e o fenômeno conhecido como *speckle* na análise de rugosidade de materiais.

De forma específica, buscou-se aplicar a técnica para a determinação de rugosidade na madeira resultante do processamento na desempenadeira, em diferentes velocidades. Para este projeto também foi desenvolvido um software para auxiliar na interpretação, no processamento digital das imagens e foram utilizadas análises matemáticas, como as transformadas rápidas de Fourier e a convolução, para diferenciação das mesmas.

1.3 Metodologia Utilizada

Para este trabalho foram utilizadas madeiras preparadas pelo Laboratório de Tecnologia da Madeira e analisadas no Laboratório de *Laser* e Óptica da Universidade Federal de Lavras.

Após a captura e tratamento das imagens geradas pela iluminação do *laser*, elas foram transformadas em matrizes contendo os valores dos *pixels* das imagens e analisadas, como será visto no capítulo 3.

1.4 Escopo do Trabalho

O trabalho foi realizado em 4 partes e foi realizado em conjunto com os departamentos de Ciência da Computação, de Engenharia e de Ciências Florestais, este último forneceu e preparou os materiais que foram analisados. A primeira parte (capítulo 2), foi o estudo do *laser* e seus fenômenos ópticos, das características da madeira e seus processamentos, estudos de como deveriam ser feitas as iluminações e a implementação das ferramentas que foram utilizadas na análise e processamento digital de imagens. A segunda parte (capítulo 3) consiste no experimento. A terceira (capítulos 4 e 5), é referente à análise e compilação dos resultados. Por fim, a quarta parte, capítulo 7, é um conjunto de propostas para trabalhos futuros, na área de processamento digital de imagens(PDI).

Capítulo 2

REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O Laser

Na década de 1920, Albert Einstein já previu a existência do *laser*. Embora houvessem estudos e teorias já bem consolidadas, o primeiro *laser* bem sucedido veio à existência apenas em 1960. Na época da sua descoberta, o *laser* foi considerado apenas um objeto de muita curiosidade. Posteriormente foi descoberta uma infinidade de aplicações para ele, desde a pesquisa básica até o uso em medicina

A palavra *laser* é um sigla para: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, que significa Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação. Esta apresenta características importantes, como quase monocromaticidade, coerência alta direcionalidade do feixe, alta intensidade, entre outras.

A sua cor está relacionada com o seu comprimento de onda, que é selecionada e amplificada pela óptica interna e pela natureza do material estimulado, que são partes constituintes do equipamento. As leis da óptica são importantes ferramentas para a manipulação do *laser*, pois se trata de um fenômeno eletro-magnético de natureza ondulatória e visível.

Um esquema simplificado do funcionamento do *laser* pode ser visto na figura 2.1, onde se consegue a amplificação por meio da estimulação de emissão de fótons por elétrons que ganharam energia e, ao voltarem ao estado estável, liberam a energia que ganharam, em forma de luz, com certas características que fazem do laser uma importante ferramenta.

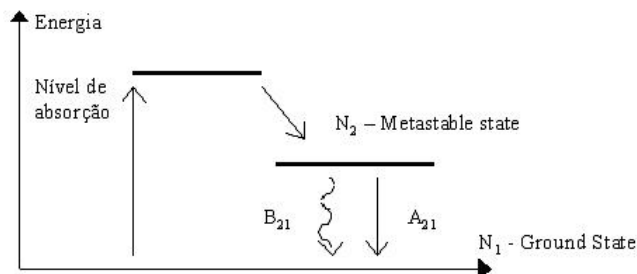


Figura 2.1: Esquema básico dos átomos para funcionamento do *laser*.

Na figura 2.2 abaixo podemos ver o esquema básico de um laser a rubi, onde é apresentado o corte lateral com seus componentes básicos.

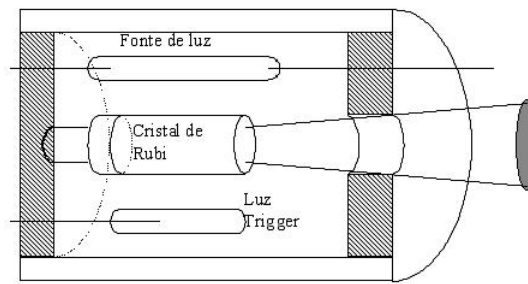


Figura 2.2: Esquema básico de um *laser* de Rubi.

2.2 O *laser* e os Fenômenos Ópticos

Um dos fenômenos produzidos pelo *laser* é o *speckle*, que depende da coerência, da interferência e do espalhamento da luz.

”*Speckle*” significa ”granulado”. A sua percepção inicial como um ruído pelos pesquisadores motivou os estudos e pesquisas com o fim de eliminá-lo. Esses estudos, então, abriram portas para uma nova área de pesquisa.

O *speckle*, que hoje é uma poderosa ferramenta diferenciada e de relativo baixo custo, existe pelo fato de o *laser* ser coerente (coerência espacial e temporal). A coerência do *laser* significa que a luz produzida por estes é uma onda eletromagnética com uma frequência e uma fase bem definidas.

Todas as vezes que um material é iluminado obtém-se algo diferente. Esse efeito se deve ao fato de existir interferência nos diversos feixes que retornam do material iluminado. E essa imagem, que se forma através dos feixes, muda de acordo com o ponto de observação, superfície e posição. É importante observar que se o material for estático e for iluminado sob as mesmas condições, o *speckle* é o mesmo.

As figuras, 2.3 e 2.4, abaixo mostram o resultado de uma captura de imagem de dois *speckles lasers* de pedaços de vidro, um liso e um rugoso.

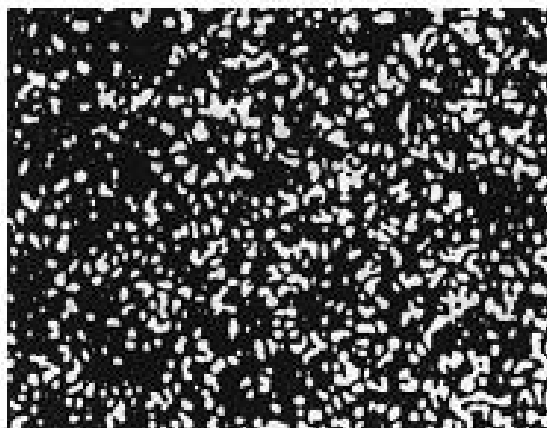


Figura 2.3: *Speckle* de um vidro rugoso.

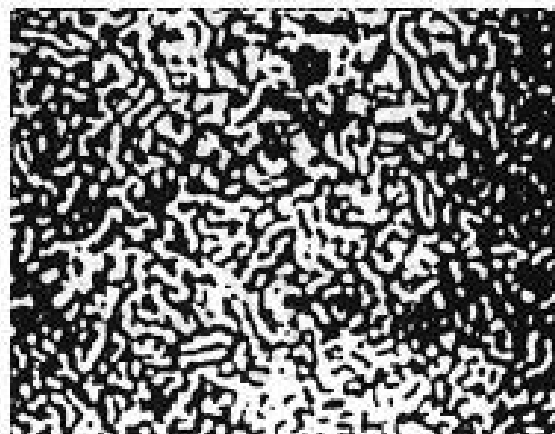


Figura 2.4: *Speckle* de um vidro liso.

Pelas imagens, é possível observar que o vidro liso (figura 2.4) possui grânulos maiores do que o apresentado pelo vidro mais rugoso (2.3). Baseando-se nessa diferença dos *speckles*

gerados de vidros rugosos e lisos é passível dizer que o *speckle* é algo mais do que um ruído, sendo uma ferramenta poderosa e diferenciada para a área de análise de rugosidade dos materiais e outras pesquisas mais.

2.3 Madeira

A madeira é um dos recursos naturais mais antigos de que o homem dispõe para satisfazer as suas necessidades básicas. Pela concepção de [SILVA (2004)], desde os tempos mais remotos, era por meio dela que o homem supria-se de energia, fazia seu abrigo, sua fonte de alimentos e as antigas e simples ferramentas. Essa primitiva associação entre o homem e a madeira se perpetuou através dos tempos e parece não se romper tão cedo. Enquanto o homem evoluiu cultural e tecnologicamente, a madeira continuou se revelando apta a suprir as novas exigências que lhe foram impostas.

Atualmente, existe uma competição com outros produtos da indústria, como o aço, alumínio, plástico ou concreto, não renováveis e produzidos a um custo muito elevado para a sociedade, em termos de energia consumida e degradação ambiental, mas a madeira tem o seu lugar garantido e sempre se mostrou pronta para assumir um papel indefinidamente, desde que se melhore sua eficiência na produção, processamento e uso.

A despeito da existência desses sucedâneos, a madeira tem conservado usos, principalmente nos países industrializados, em virtude de suas propriedades e características, tais como: beleza, grande resistência mecânica em relação ao peso, facilidade de uso, baixa condutibilidade térmica, baixa demanda de energia para sua conversão em produtos acabados e agradável ao tato. Além do mais, tais produtos são comprovadamente restritivos dos pontos de vista ambiental e estratégico.

2.3.1 Características

A madeira é um material mais heterogêneo do que a maioria de materiais industrializados, como plásticos ou metais e, por esse fato, sua usinagem exige uma atenção especial, desde os pontos mais básicos como umidade, peso, resistência, elasticidade até as mais específicas como pressão de trabalho e velocidade de processamento.

Cada tipo de madeira possui resistência e rigidez diferentes. Para [SILVA (2002)], a resistência é a aptidão da matéria suportar tensões e é determinada convencionalmente pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpos-de-prova isentos de defeitos do material considerado, até o aparecimento de fenômenos particulares de comportamento além dos quais há restrição de emprego do material em elementos estruturais. De modo geral estes fenômenos são os de ruptura ou de deformação específica excessiva. Os efeitos da duração do carregamento e da umidade do meio ambiente são considerados por meio dos coeficientes de modificação especificados. A rigidez dos materiais é medida pelo valor médio do módulo de elasticidade, determinado na fase de comportamento elástico-linear.

Ainda segundo [SILVA (2002)], a madeira também sofre mais influência do modo de processamento do que outros materiais, podendo ser processada de 5 maneiras gerais.

- Corte longitudinal ($90^\circ - 0^\circ$) a favor das fibras, cuja madeira apresenta com grã reta. O trabalho é fácil de ser executado. Boas qualidades, para as superfícies, podem ser obtidas mesmo com altas velocidades de avanço da madeira.

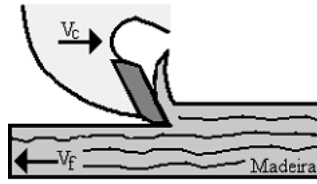


Figura 2.5: Corte longitudinal ($90^\circ - 0^\circ$) a favor das fibras.

- Corte longitudinal ($90^\circ - 20^\circ$), deitando (a favor) as fibras, mas a madeira usinada neste caso apresenta grã inclinada ($\approx 20^\circ$). Nota-se que poderá ter a presença da clivagem do cavaco formado.

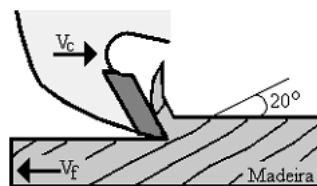


Figura 2.6: Corte longitudinal ($90^\circ - 20^\circ$), deitando (a favor) as fibras.

- Corte longitudinal ($90^\circ - 20^\circ$), levantando (contra) as fibras, cuja madeira apresenta grã inclinada (20°). O trabalho é difícil devido a separação prévia no sentido das fibras. Se possível deve-se evitar este sentido de corte, como, por exemplo, invertendo o sentido de giro da ferramenta.

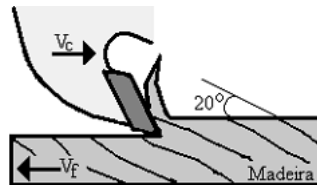


Figura 2.7: Corte longitudinal ($90^\circ - 20^\circ$), levantando (contra) as fibras.

- Corte transversal às fibras da madeira ($0^\circ - 90^\circ$). A usinagem é relativamente fácil, contudo é obtida uma superfície áspera.

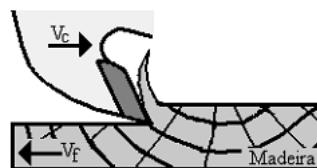


Figura 2.8: Corte transversal às fibras da madeira ($0^\circ - 90^\circ$).

- Corte no topo da madeira ($90^\circ - 90^\circ$). A usinagem exige altas forças de corte. O trabalho é difícil e apresenta, na maioria das vezes, superfície áspera, principalmente em condições de usinagem não adequadas.

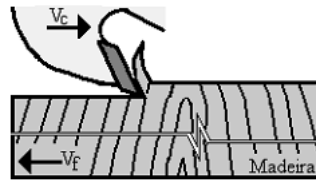


Figura 2.9: Corte no topo da madeira ($90^\circ - 90^\circ$).

2.3.2 Usinagem

Segundo Bonduelle et al. (2002), citado por [SILVA (2002)], a usinagem da madeira poderá ser expressa pela função 5M, sendo:

- matéria-prima - relacionada com todas as propriedades intrínsecas da madeira e suas interações com o processo;
- máquina - relacionado com os aspectos construtivos das máquinas incluindo os dispositivos de fixação, de condução e de exaustão de cavacos que visam melhoria da operação de usinagem;
- metodologia - engloba toda a definição dos parâmetros de usinagem a serem utilizados, bem como escolha das ferramentas mais adequadas para otimizar o processamento;
- mão-de-obra - considera o treinamento dos operadores executores das tarefas de usinagem que deve ter conhecimentos de todos os itens anteriores para poder interferir, no momento certo, caso note alguma deficiência no processo;
- meio-ambiente - considera-se que, em todas as fases de processamento, deve ser evitada a degradação do ambiente e melhorar o aproveitamento da matéria-prima, minimizando os resíduos e ruídos.

E os principais defeitos no processo de usinagem da madeira estão ligados a quatro fontes básicas, sendo elas:

- variações das propriedades da madeira, conforme já discutido anteriormente nas suas diferentes propriedades.
- condições das máquinas - relacionado diretamente ao desgastes dos componentes das máquinas que alteram o seu funcionamento. Os principais aspectos a ser considerados são a manutenção, o balanceamento e o alinhamento do eixo porta ferramentas;
- ferramentas de corte - relacionado ao estado de conservação do gume de corte e a escolha da ferramenta mais adequada;
- treinamento do operador - a regulagem e o ajuste correto das máquinas é função do grau de conhecimento do operador sobre todas as regulagens existentes que afetam diretamente a qualidade da superfície usinada.

2.3.3 A Desempenadeira

A desempenadeira é uma máquina de usinagem de madeira que possui um rotor com navalhas em que a madeira é processada. Essas navalhas cortam a madeira, deixando-a mais lisa. É usada também para nivelar a madeira, em caso de ela estar empenada, daí o nome desempenadeira.

Segundo [SILVA (2002)] vários fatores são importantes para se processar a madeira na desempenadeira, entre elas estão a velocidade de tratamento e a característica específica da madeira.

A velocidade do tratamento influi no resultado final, podendo deixar grandes ondas e cristas, definidas como passos ou estragando a superfície, no caso de haver alguma lasca na madeira. Em geral, quando utilizando-se de um mesmo tipo de material, com mesma densidade, quanto mais rápido a madeira for processada, mais "ruído" de processamento será deixada, enquanto que, quanto mais lento for o processamento, mais "limpa" será a madeira resultante.

Abaixo, algumas fotos da desempenadeira e na figura 2.12, os resultantes do processamento da madeira na desempenadeira.



Figura 2.10: Desempenadeira utilizada para preparar os materiais.



Figura 2.11: Vista de perto das laminações utilizadas para processar madeira.

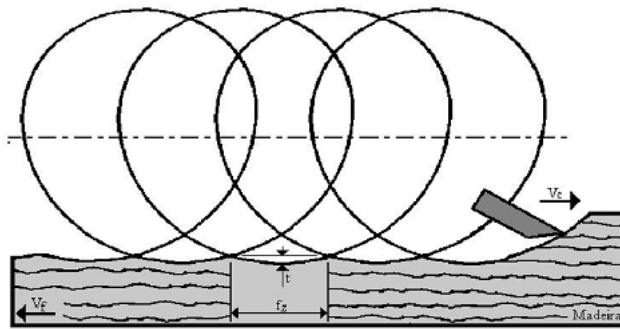


Figura 2.12: Fatores determinantes no processamento com a desempenadeira. Valores normativos de um aplainamento, sendo f_z = avanço por dente, t = profundidade do arco de cicloide, V_c = velocidade de corte das facas e V_f = velocidade de avanço da peça de madeira.

Capítulo 3

METODOLOGIA

3.1 Considerações Iniciais

Esse trabalho foi realizado no Laboratório de *Laser* e Óptica em conjunto com o Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal de Lavras. O trabalho foi dividido em três partes:

- Confecção de aplicativos para análise do *speckle*;
- Geração dos *speckles* dos corpos de prova para análise de rugosidade;
- Estudos e análises dos dados gerados pelos corpos de prova iluminados.

3.2 Confecção de Aplicativos para Análise das Imagens do *Speckle*

Esta etapa foi a de preparação, implementação e uso de alguns programas específicos para análise das imagens geradas pelo *speckle*.

Primeiramente, foi implementado um programa que, transforma uma imagem, em graus de cinza, comumente conhecido como *greyscale*, em uma matriz de números inteiros, representando cada *pixel* da imagem com valores entre 0 e 255, indicando desde a cor branca, valor 255, passando por todos os 254 tons de cinza, até a cor preta, valor 0.

O programa implementado transforma uma imagem bitmap, tradicionalmente conhecida como BMP, na matriz de números. Isso é possível pela característica de construção e leitura de um arquivo de imagem bitmap. Esse tipo de arquivo possui 4 partes principais. Em linhas gerais são o cabeçalho do arquivo, que contém as informações referentes ao tipo, tamanho e formato do arquivo; o cabeçalho de informações do arquivo, que contém o tamanho, tipo de compressão e codificação de cores da imagem; a matriz de cores e um vetor que contém sequência de bits da imagem, referenciando diretamente à tabela de cores. É dessa matriz de cores que o programa retira suas informações, podendo ser números hexadecimais ou decimais, e as colocam em um arquivo de texto.

As imagens abaixo mostram o programa implementado e suas saídas.



Figura 3.1: Tela geral do programa.

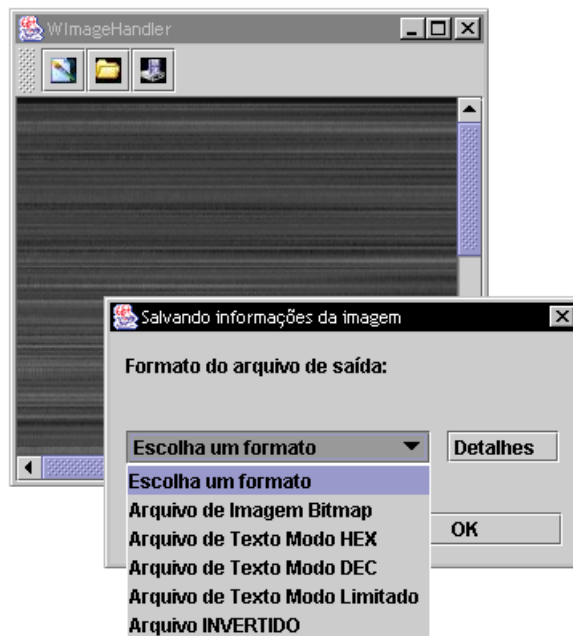


Figura 3.2: Modos de salvar o programa.

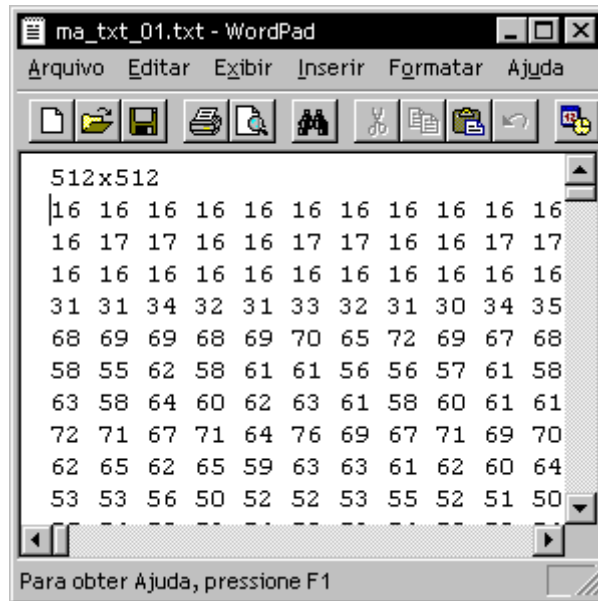


Figura 3.3: Saída do programa, com a resolução da imagem transformada.

3.3 Iluminação dos materiais

A iluminação das madeiras processadas no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais/UFLA ocorreu no Laboratório de *Laser* e Óptica do Departamento de Engenharia/UFLA a partir da seguinte configuração experimental e materiais:

- Madeira devidamente preparada;
- *Laser* para iluminação;
- Lentes divergentes;
- Espelho;
- Câmera de alta resolução para captação das imagens;
- Lente para aproximação da imagem;
- Computador para fazer a captura de imagens e análise das mesmas.

As peças de madeira foram preparadas em uma máquina chamada desempenadeira, mostrada nas figuras 2.10 e 2.11.

A iluminação e captura de imagens foram realizadas de acordo com o set-up apresentado nas figuras 3.7, 3.8 e 3.5 abaixo, com devidos ajustes no espelho, quando necessário.

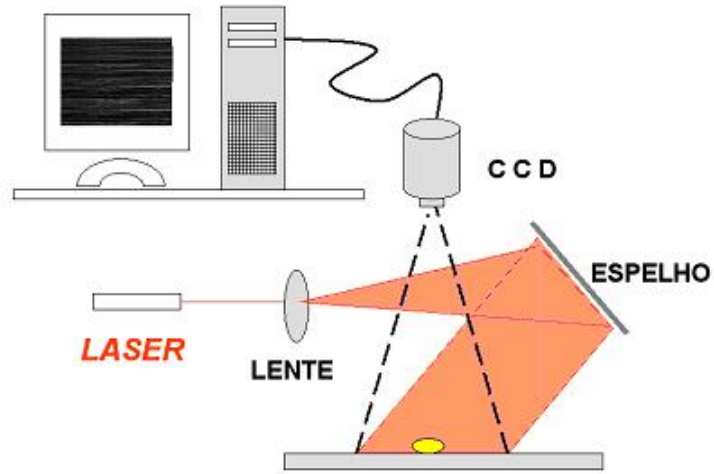


Figura 3.4: Set-up básico utilizado pelo experimento.

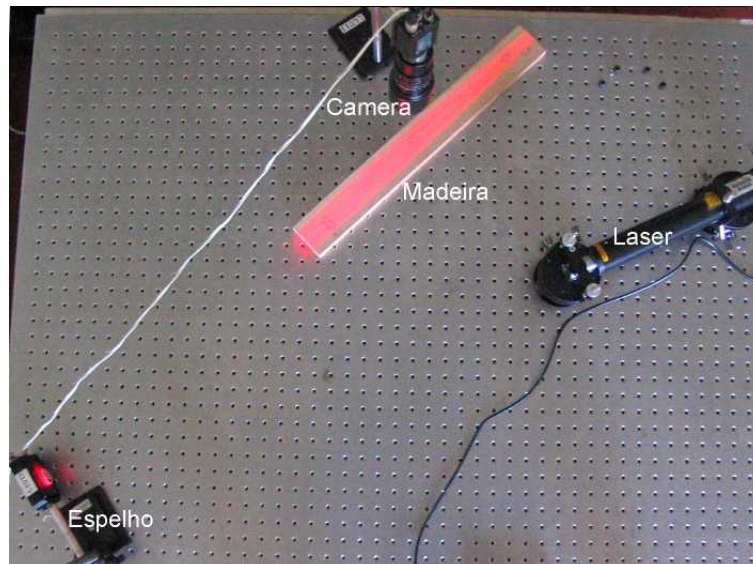


Figura 3.5: Vista aérea do set-up utilizado pelo experimento.



Figura 3.6: Set-up utilizado pelo experimento.

3.3.1 Ajustes no Espelho

O espelho foi ajustado para mudar o tipo de iluminação. Basicamente, foram feitos dois tipos de iluminação: superior e lateral. As figuras abaixo ilustram esses ajustes.

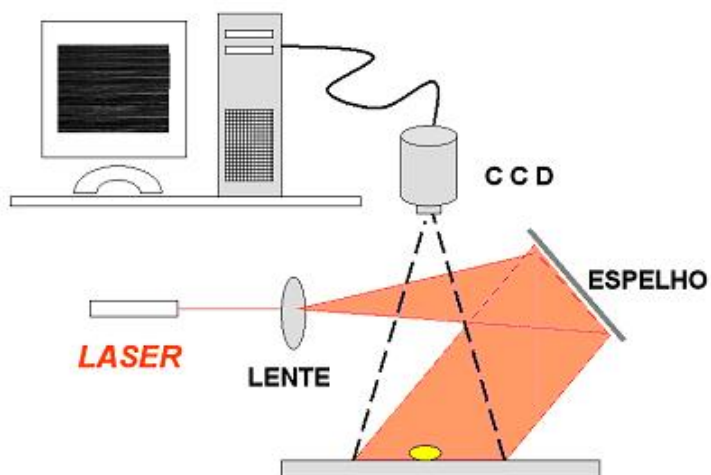


Figura 3.7: Set-up utilizado pela iluminação superior.

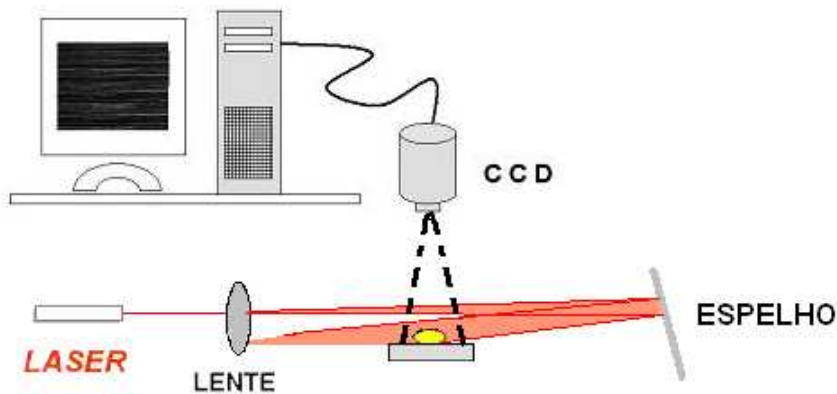


Figura 3.8: Set-up utilizado pela iluminação lateral.

3.4 Análise dos Dados

Essa parte do trabalho foi desenvolvida após a iluminação e captura das imagens. Foram utilizadas as seguintes ferramentas:

- Programa de transformação de imagem para matriz - BMP2TXT
- Espaço matemático, com suporte a FFT e convolução, para cálculo das variantes.

Após captura das imagens e retirar suas devidas matrizes e valores, estas passaram por uma fase de preparação. Foram escolhidas algumas linhas, na mesma região em que foi utilizado o rugosímetro, e estas foram processadas, primeiro obtendo o resultado da convolução, obtida através da fórmula

$$G(w_x, w_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\alpha, \beta) e^{-i(\alpha w_x + \beta w_y)} d\alpha d\beta H(w_x, w_y), \quad (3.1)$$

sendo n o número de elementos de seu vetor, e em seguida foram obtidas as transformadas de Fourier, explicitada pela fórmula

$$\mathcal{F}[f(x)] \equiv F(w_x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-2i\pi w_x x} dx. \quad (3.2)$$

Após esses passos, as imagens foram analisadas para se obter as informações relevantes, e entre estas, de quais são as características e as frequências predominantes nos padrões de *speckle* dos materiais lisos ou rugosos nas transformadas de Fourier, obtendo assim uma relação entre a velocidade de processamento, as informações contidas na imagem e padrão de rugosidade da madeira.

Capítulo 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Implementação do Software

O Software foi implementado na linguagem JAVA, por ser esta uma linguagem orientada a objeto e também multiplataforma, com a vantagem que não é preciso compilar o programa a cada mudança de sistemas por se utilizar de uma máquina virtual.

Apesar de ser um programa simples, a idéia utilizada por ele é de grande ajuda no processamento digital de imagens e nos estudos estatísticos por gerar uma matriz com os valores absolutos de cada *pixel* da imagem. Com essas informações, foi possível o desenvolvimento e a conclusão deste.

Não foram necessárias as implementações adicionais por já existirem programas de filtragem, análise de matrizes e estatísticos prontos no mercado.

4.2 Iluminação dos Materiais

A iluminação lateral trouxe um resultado mais visível aos olhos humanos mas a iluminação por cima dos exemplares de madeira trouxe mais informação embutida na imagem. Essa diferença se deve à diferença das iluminações. A iluminação lateral gera um campo de sombra logo após as cristas deixadas pela usinagem, por isso traz um resultado mais visível aos olhos humanos. A iluminação superior não potencializa essas diferenças. Ela gera um *speckle* completo da área iluminada.

Após essa iluminação, foi realizada a iluminação por cima da madeira. Essa iluminação não evidenciou tanto as cristas como a iluminação lateral mas obteve mais informações sobre as partes iluminadas.

As figuras abaixo demonstram essa diferença.



Figura 4.1: Imagem gerada pela iluminação superior.

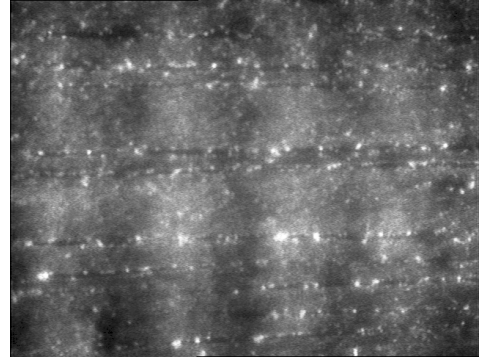


Figura 4.2: Imagem gerada pela iluminação lateral.

4.3 Análises

Na fase de análise foi inicialmente utilizada apenas a função *Fast Fourier Transform*(FFT).

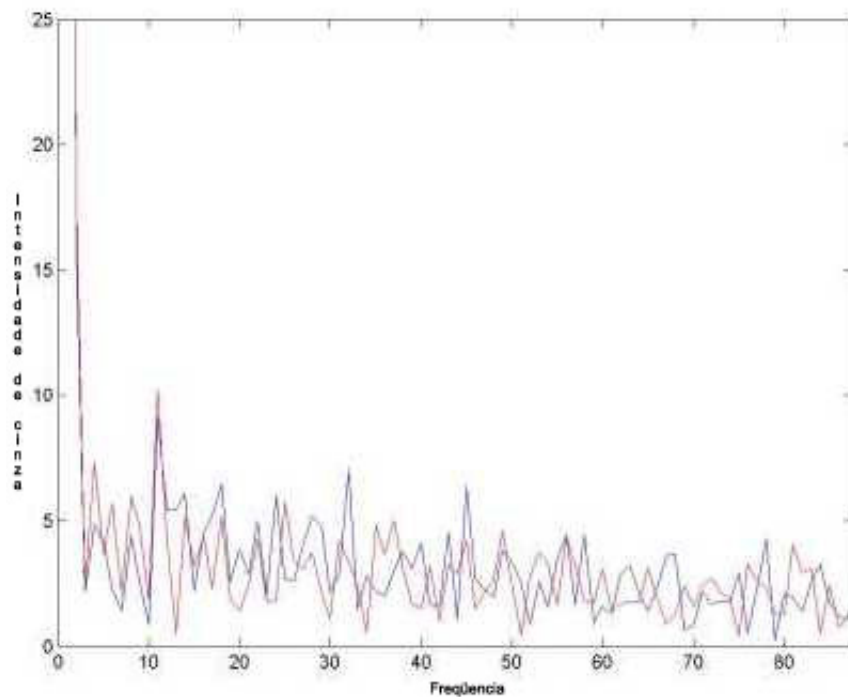


Figura 4.3: Diferença entre os FFT obtidos através da sobreposição de gráficos.

O resultado da FFT visto na 4.3 mostrou a distribuição de frequência da imagem iluminada. Esta, por ser de um sinal de características aleatórias, apresentou distribuição das frequências por ampla faixa do espectro.

Para buscar melhor informação do sinal foi utilizada a convolução. O propósito foi realçar a memória do sinal por meio da densidade estatística e, com a subsequente análise do sinal convoluído, a distribuição das frequências pela densidade espectral. Para isto foi

utilizada a fórmula abaixo, obtido através da combinação das equações 3.1 e 3.2.

$$\mathcal{F}[G(x, x)] = \int_{-\infty}^{\infty} G(x, x)e^{-2i\pi w_x x} dx. \quad (4.1)$$

Para alguns, pelo fato de o *speckle* ser um sinal aleatório, ao se fazer a convolução se filtra a parte aleatória do sinal. Este trabalho parte do princípio de que o *speckle* é algo mais que um sinal aleatório, trazendo em si algumas informações importantes. Então, ao retirar a aleatoriedade do sinal original, o sinal resultante ainda traz informações para análise.

4.4 Comparação dos Resultados

4.4.1 Comparação por Análises Matemáticas

Após a introdução da convolução, o trabalho passou por um novo cálculo de dados, utilizando-se das equações 3.1 e 3.2 da seção 3.4.

A imagem 4.4 a seguir mostra a comparação dos gráficos obtidos durante a primeira fase do projeto, apenas com o cálculo do FFT e durante a segunda fase, após a introdução da convolução.

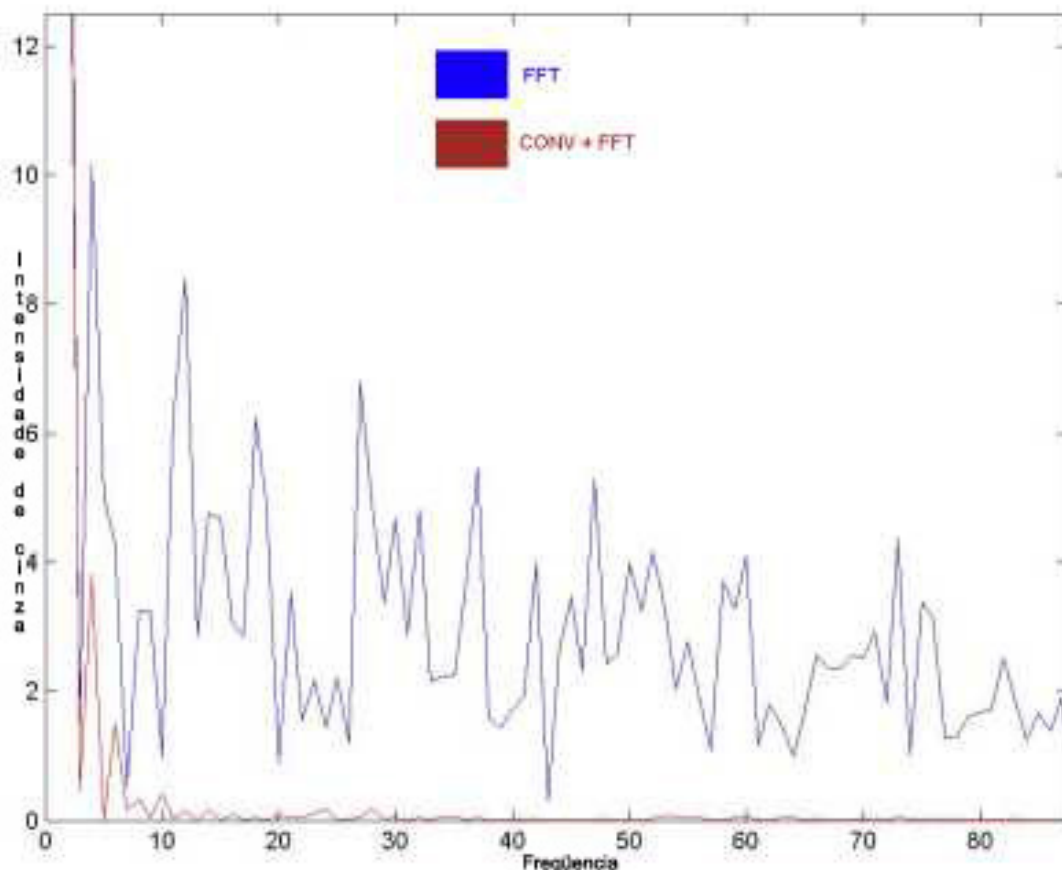


Figura 4.4: Diferença entre os gráficos de FFT e FFT após a utilização do CONV

Como pode ser percebido, a introdução do método da convolução trouxe para o trabalho uma grande ajuda na eliminação de grande parte das frequências que, por enquanto, não

se sabe o significado para a análise, facilitando assim a interpretação e classificação dos mesmos.

Foram iluminadas, ao todo, cinco pedaços de madeira, com duas faces possuindo tratamentos diferenciados, e cada face contendo velocidades de tratamentos diferentes, identificados, gerando ao todo 22 imagens para análise.

Dessas, foram sobrepostas as que pertenciam às mesmas faces, para de comparação e foram, então, obtidos gráficos conjuntos, como mostrado a seguir. O exemplo abaixo mostra a iluminação da face cima das áreas do corpo de prova(madeira) 3.

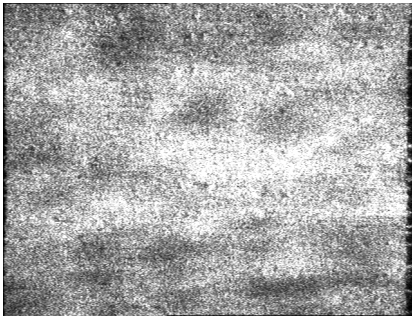


Figura 4.5: Iluminação superior da área 1

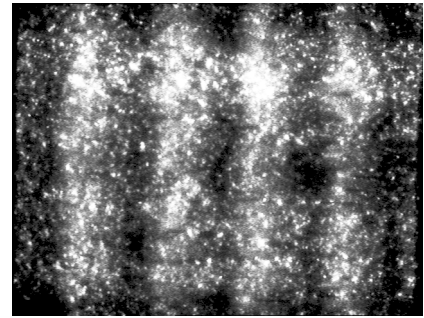


Figura 4.6: Iluminação lateral da área 1

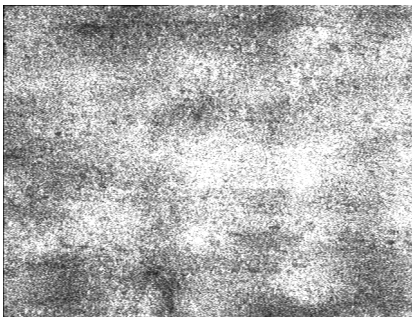


Figura 4.7: Iluminação superior da área 2

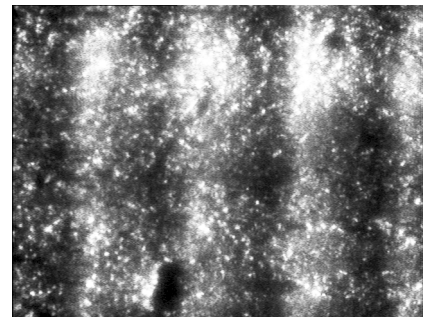


Figura 4.8: Iluminação lateral da área 2



Figura 4.9: Iluminação superior da área 3

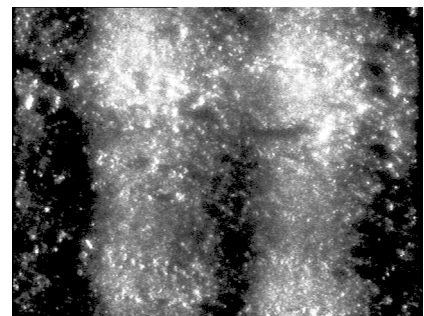


Figura 4.10: Iluminação lateral da área 3

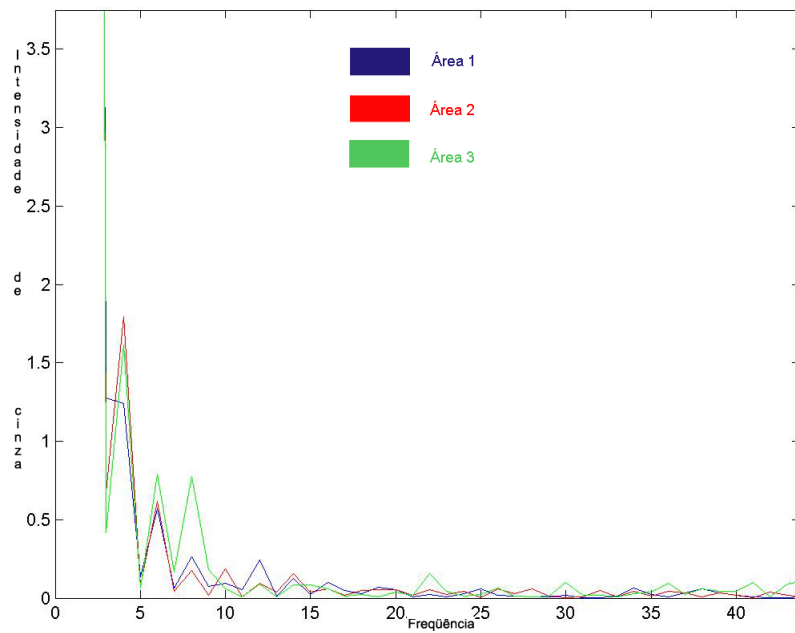


Figura 4.11: Sobreposição dos gráficos da face cima da madeira 3, iluminação por cima.

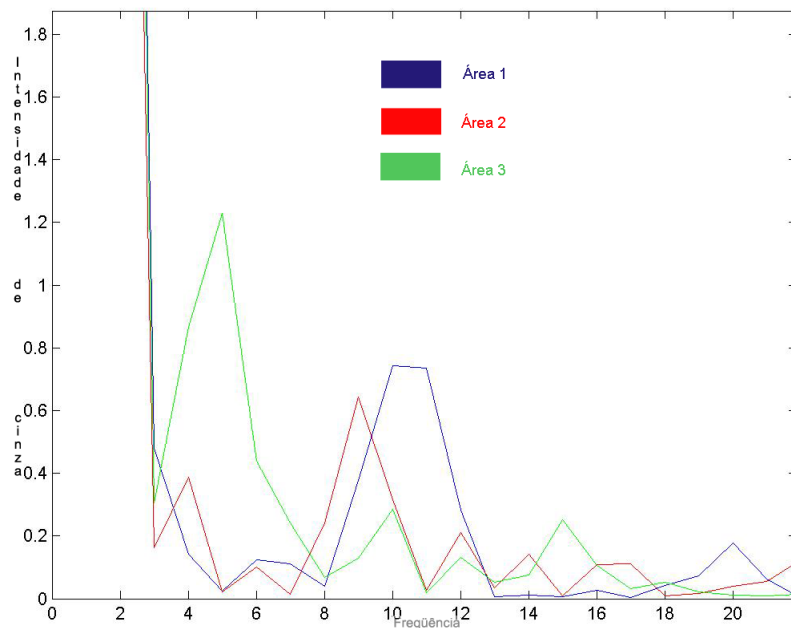


Figura 4.12: Sobreposição dos gráficos da face cima da madeira 3, iluminação lateral.

As diferenças nos gráficos das frequências obtidas mostram maior diferenciação nas frequências mais baixas, significando que as irregularidades grosseiras das imagens geradas pelo *speckle* estão influenciando, neste caso, muito mais do que as nervuras características da madeira.

Comparação por Largura de Cristas

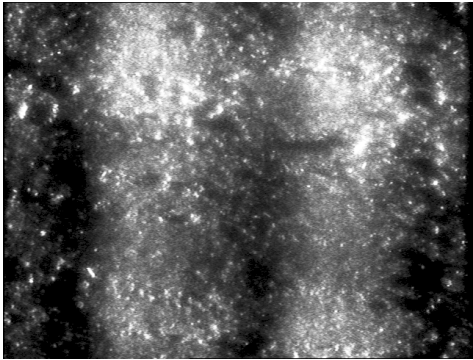


Figura 4.13: Área (a) iluminada com 2 cristas

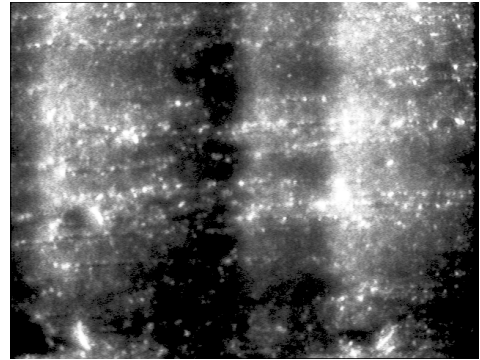


Figura 4.14: Área (b) iluminada com 2 cristas

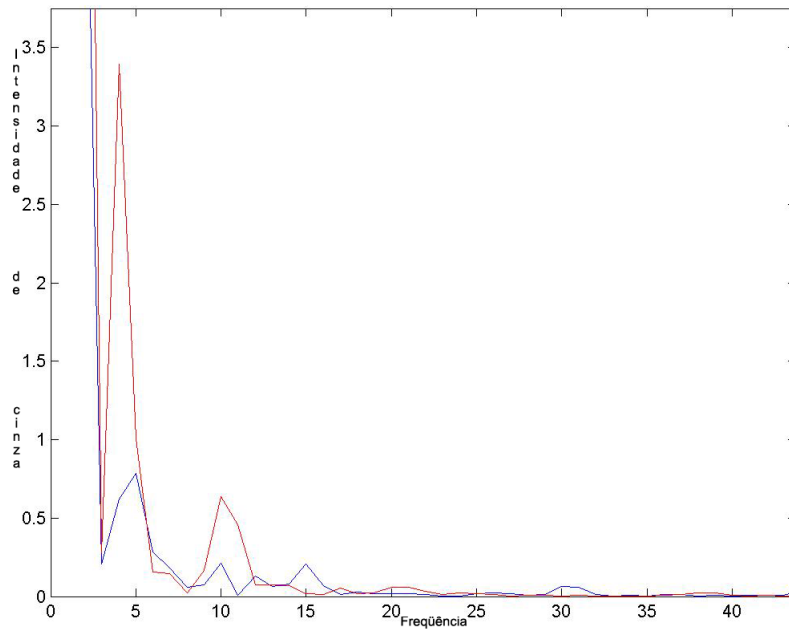


Figura 4.15: Sobreposição dos gráficos das áreas "a"(azul) e "b"(vermelho), ambas com 2 cristas

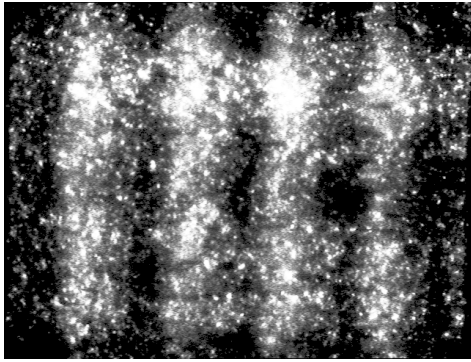


Figura 4.16: Área (a) iluminada com 4 cristas

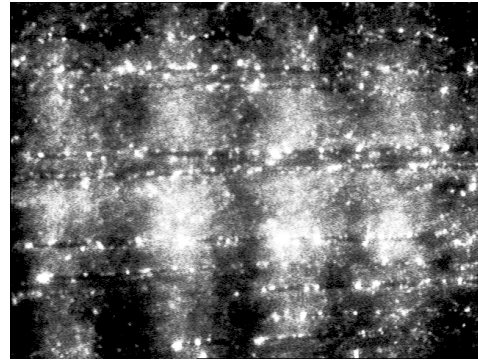


Figura 4.17: Área (b) iluminada com 4 cristas

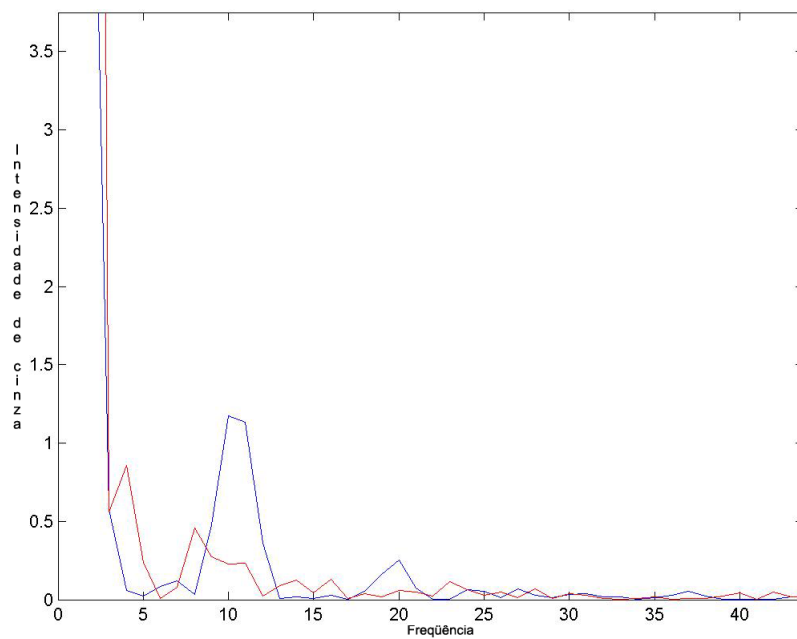


Figura 4.18: Sobreposição dos gráficos das áreas "a"(azul) e "b"(vermelho), ambas com 4 cristas

É possível perceber pelas gráficos 4.15 e 4.18, geradas pelas figuras 4.13, 4.14 e 4.16, 4.17, respectivamente, não apenas o número de cristas, ou passos, gerados através do processamento, influem no resultado final mas também sua amplitude e periodicidade.

Comparação por Número de Cristas

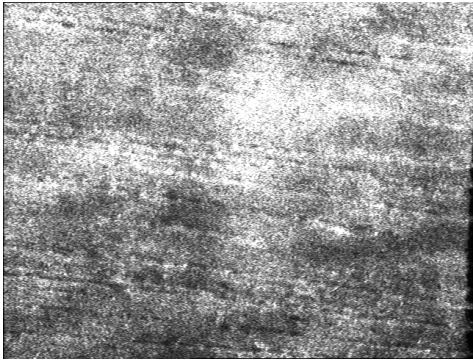


Figura 4.19: Iluminação superior com 1 onda

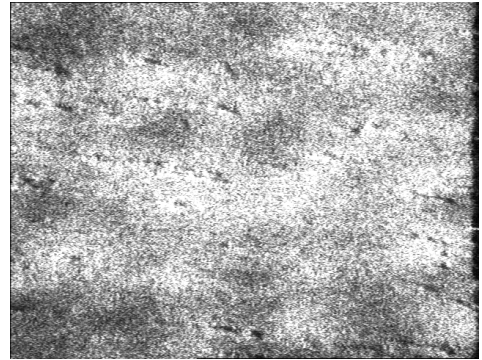


Figura 4.20: Iluminação superior com 2 cristas

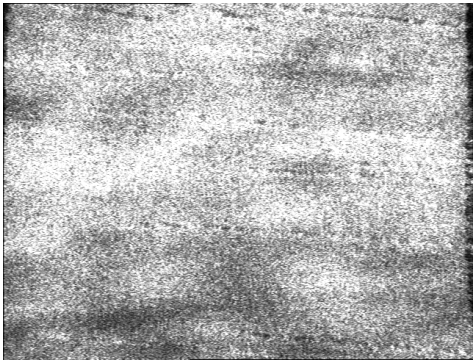


Figura 4.21: Iluminação superior com 3 cristas

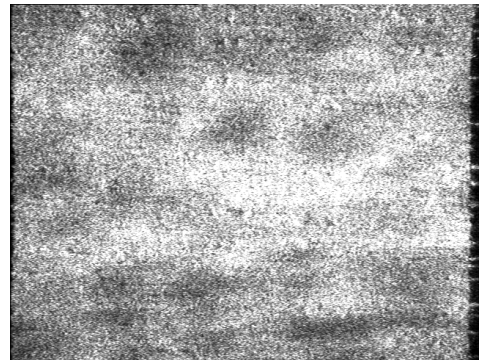


Figura 4.22: Iluminação superior com 4 cristas

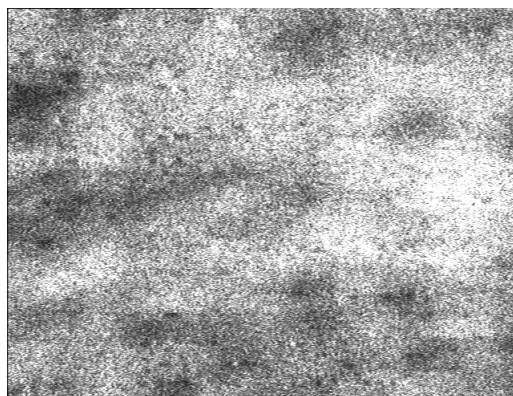


Figura 4.23: Iluminação superior com 5 cristas

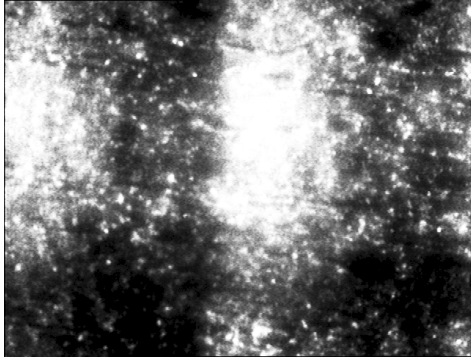


Figura 4.24: Iluminação lateral com 1 crista

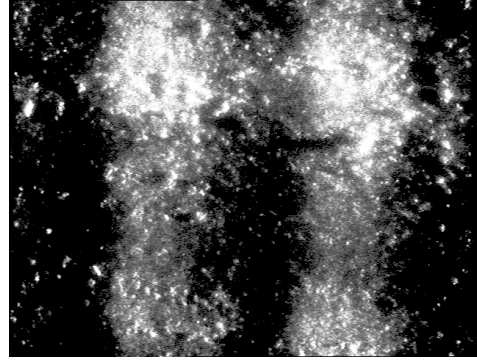


Figura 4.25: Iluminação lateral com 2 cristas

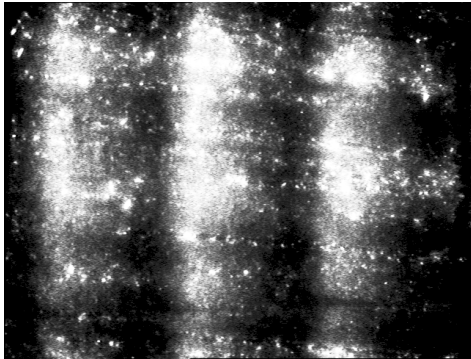


Figura 4.26: Iluminação lateral com 3 cristas

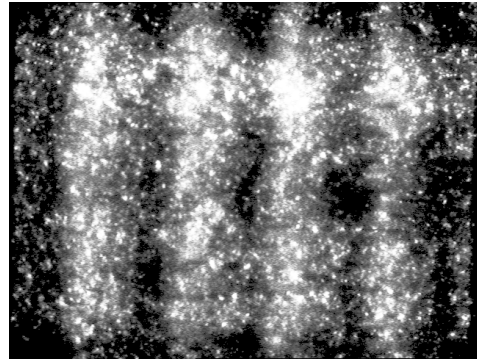


Figura 4.27: Iluminação lateral com 4 cristas

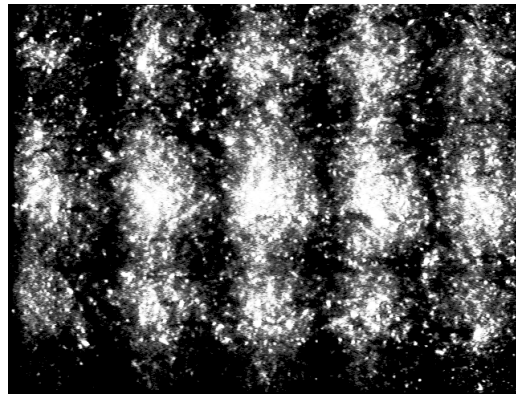


Figura 4.28: Iluminação lateral com 5 cristas

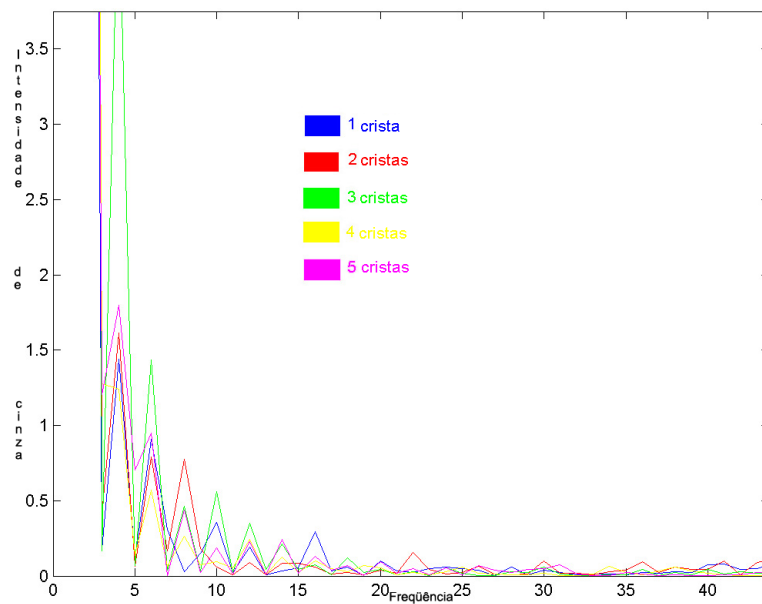


Figura 4.29: Sobreposição dos gráficos das iluminações superiores

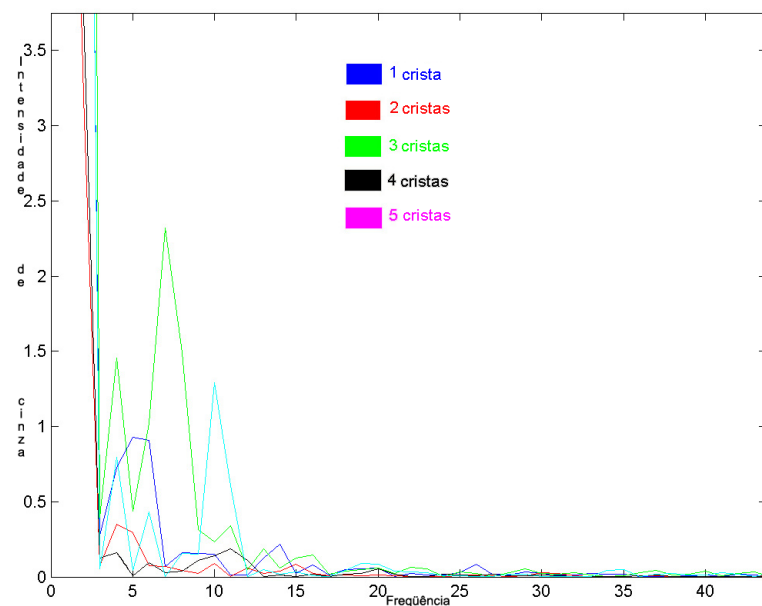


Figura 4.30: Sobreposição dos gráficos das iluminações laterais

4.4.2 Comparação com o Uso do Rugosímetro

Após serem feitas as comparações estatísticas, foram feitas comparações com o perfil gerado pelas iluminações do *laser* e pelo rugosímetro.

É possível observar pelas imagens abaixo que os perfis gerados pelo *laser* possuem mais sinais do que o perfil gerado pelo rugosímetro. Não se sabe ainda qual o grau de exatidão

mostrado pelos gráficos, mas é possível ver que os perfis gerados pelos *speckles* apresentam mesmo comportamento do perfil gerado pelo rugosímetro.

A figura 4.31 mostra o perfil gerado pela iluminação superior da madeira. É possível notar que o comportamento do perfil é semelhante ao do perfil gerado pelo rugosímetro. Esse perfil foi afetado pela supersaturação decorrente da alta intensidade de luz do *speckle* resultante e pode ser evitado ao se regular o diafragma da câmera para limitar a intensidade de luz que irá penetrar. Do mesmo modo, o perfil gerado pelo *speckle* resultante da iluminação lateral, mostrado na figura 4.32 segue o mesmo comportamento do caso base mas a diferença agora é devido ao campo de sombra gerado pela crista, dando à esta mais intensidade do que apresenta realmente.

Se os sinais gerados pela metodologia proposta forem mais confiáveis, foi encontrada então uma alternativa para o rugosímetro no mundo da análise de rugosidade de materiais.

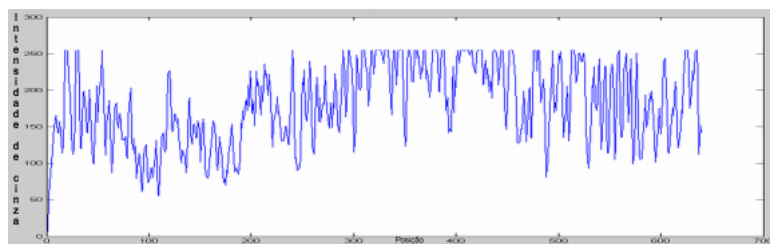


Figura 4.31: Perfil gerado pela iluminação pelo alto

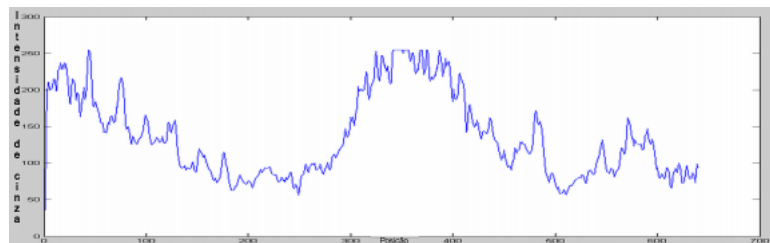


Figura 4.32: Perfil gerado pela iluminação lateral

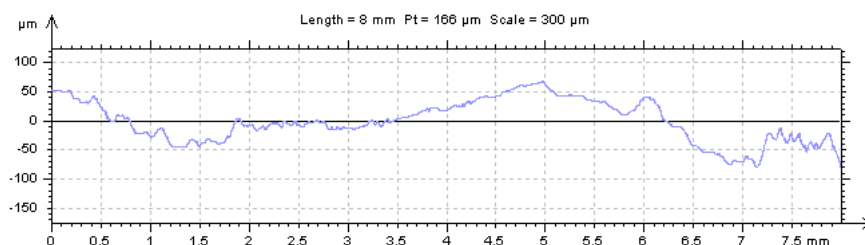


Figura 4.33: Perfil gerado pelo rugosímetro

Capítulo 5

CONCLUSÃO

Este trabalho ofereceu uma nova metodologia de aplicação para o *laser*, aplicando-o na análise de rugosidade de materiais.

A técnica foi aplicada para diferenciar a rugosidade na madeira em diferentes velocidades de processamento na desempenadeira. A diferenciação foi mais visível ao iluminar os corpos de prova lateralmente, potencializando as cristas resultantes do processamento da madeira na desempenadeira. Para geração de perfis, a iluminação superior dos corpos de prova se mostrou mais eficiente pois, além das informações do perfil, trazia também informações adicionais.

A implementação do software BMP2TXT para auxiliar no processamento e análise das imagens foi de grande ajuda para o trabalho. Combinando as matrizes geradas pelo programa com o uso de análises, como FFT e convolução, foi possível diferenciar, com sucesso, a rugosidade das madeira tratadas na desempenadeira.

Capítulo 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta inicial deste trabalho foi utilizar o *laser* para análise de rugosidade de materiais. Como havia uma necessidade na área de tecnologia de madeira, especificamente na área de usinagem, foi então utilizado o *laser* para analisar esse material específico.

Por ser a utilização do *laser* para análise de rugosidade de madeira uma área nova, utilizamos este experimento como um projeto piloto para desenvolver uma metodologia para as próximas pesquisas. Além disso, eu aprendi nesse trabalho que, a madeira não possui um instrumento de análise de rugosidade homologado. Usa-se o rugosímetro por conveniência pois este é utilizado para análise de rugosidade em vários outros materiais, então a proposta deste projeto casou com uma necessidade específica desta área.

A proposta deste trabalho foi alcançada com certo esforço e dedicação. O que parecia um trabalho trivial mostrou-se uma grande fonte de áreas de pesquisas com o passar do tempo como indicado pelas propostas de trabalhos futuros, que se encontra no seção 7.

Com os resultados apresentados por esse trabalho, não é precipitado concluir que o *laser* é capaz de analisar e diferenciar rugosidades em madeira, mas necessita, sim, de aprimoramentos e de estudos mais refinados, para, assim, gerar uma técnica de alta confiabilidade, podendo ser mais até barato, para todos os setores, tanto industriais como para pesquisa.

Capítulo 7

PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1 Reprodução 3-D de uma Superfície Iluminada

A técnica utilizada também se mostrou bastante encorajadora na área de reprodução 3-D (em três dimensões) das superfícies iluminadas, através das propriedades de reflexão da luz, onde os pontos mais próximos à fonte emissora refletem a luz com maior intensidade luminosa, ou seja, as "cristas" e os "vales" da superfície podem ser distinguidos através de seu valor absoluto de resposta, na matriz gerada pela imagem capturada.

Essa é uma proposta de melhorar a qualidade da reprodução 3-D já alcançada por essa pesquisa, vide figura 7.2 abaixo. Essa figura ainda é uma pseudo-reprodução em 3-D da superfície iluminada pelo fato de uma imagem 3-D não poder ser extraída de forma correta com apenas 1 ponto de vista.

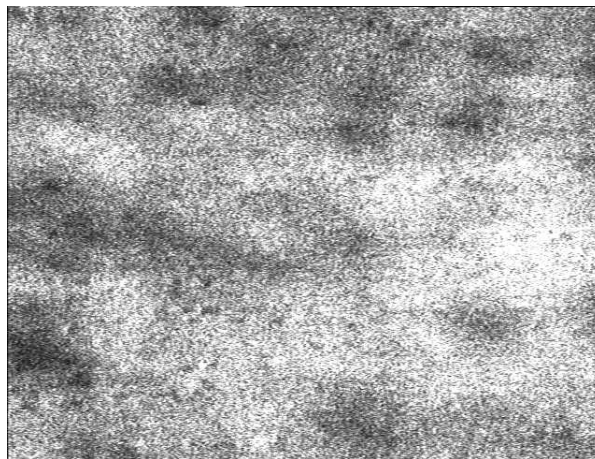


Figura 7.1: Imagem original

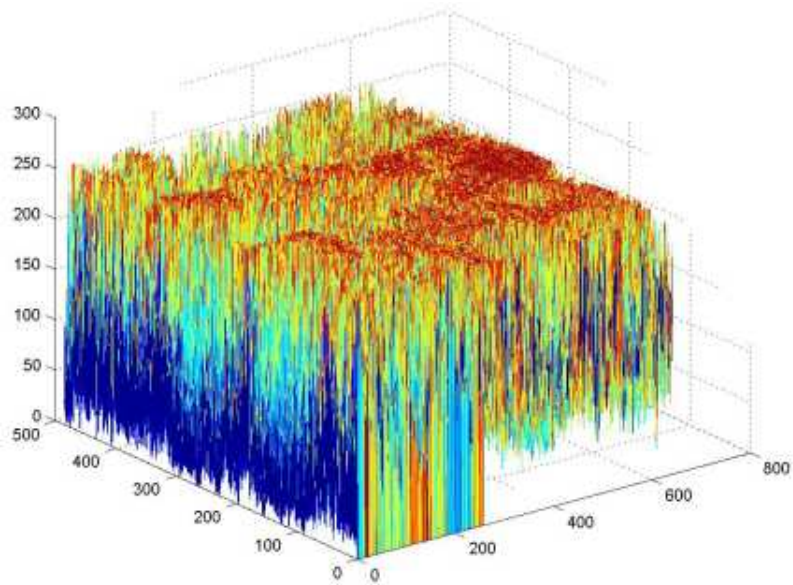


Figura 7.2: Uma pseudo-reprodução obtida por esse trabalho

O proposto é utilizar-se de duas ou mais câmeras de captura, ou 2 ou mais feixes de *lasers*, em angulações diferentes, para corrigir e ter uma percepção maior da superfície iluminada, com uma configuração semelhante à exposta na figura 7.3

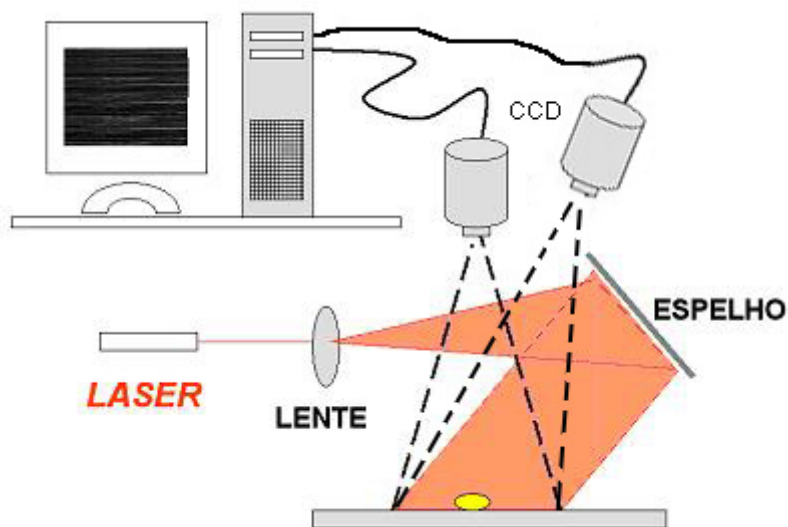


Figura 7.3: Set-up básico a ser utilizado para o experimento em 3-D

7.2 Criação de Filtros para Análises de Imagens Geradas pelo *Speckle*

Outra proposta para trabalho futuro é a criação de filtros de imagens, necessários para eliminar ruídos ou melhorar a interpretação das imagens capturadas. Com a criação de filtros será possível analisar, com mais precisão e eficiência, as imagens resultantes da iluminação do *speckle*.

Em geral, podem ser filtros simples, como os conhecidos por "Passa-Alto" ou "Passa-Baixo" que apenas eliminam ou diminuem consideravelmente os valores acima, ou abaixo, dos valores especificados, ou podem ser filtros mais complexos ou serem processados diferentemente com "moiré", entre outros.

Um exemplo dado nas figuras abaixo, que foi utilizado nesse trabalho para auxiliar na interpretação da imagem, é uma simples transformação da imagem original, em preto e branco, para uma imagem em cores, variada pelos valores da matriz gerada pela original. As figuras abaixo mostram um exemplo de filtro "Passa-Alto".

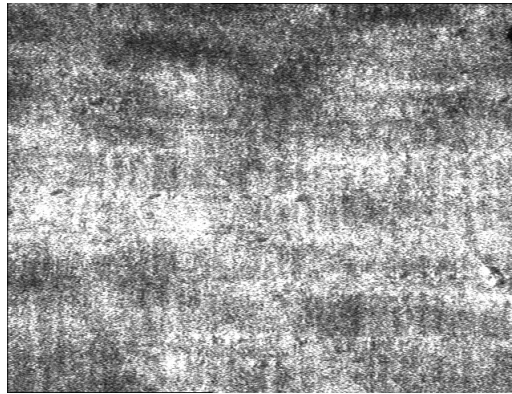


Figura 7.4: Imagem base

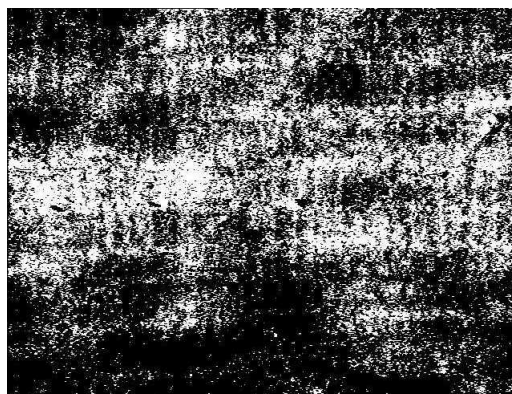


Figura 7.5: Imagem base, com filtro Passa-Alto

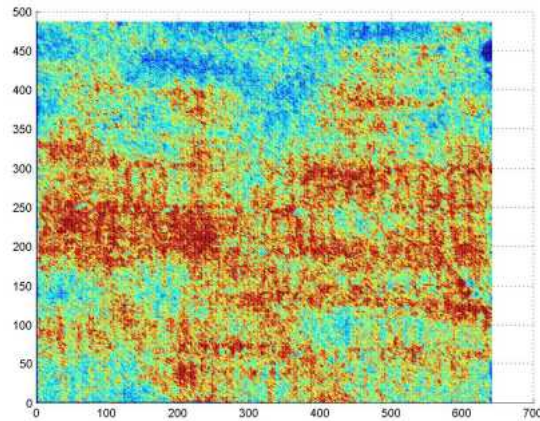


Figura 7.6: Imagem após aplicação de cores

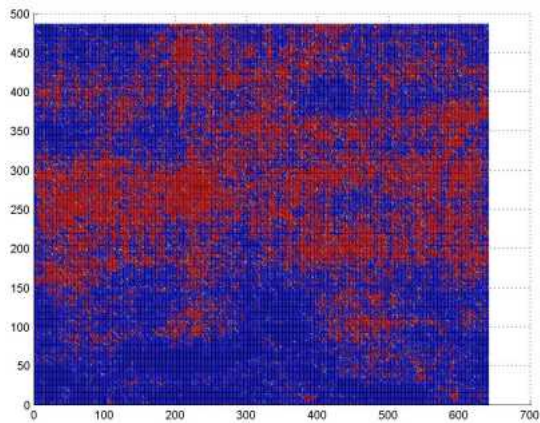


Figura 7.7: Imagem após aplicação de cores

7.3 Refinamento e Estudo dos Perfis Gerados pelo *Speckle* com os Perfis Gerados pelo Rugosímetro

Resultados gerados pelo rugosímetro nem sempre são as mais corretas. Como ainda não existe uma máquina especial para analisar perfil de madeiras, o uso do *laser* para gerar perfil é uma proposta promissora e bastante real, como visto nas imagens 4.31, 4.32 e 4.33. Ao se utilizar das características do *laser* é possível gerar um perfil próximo do real. Essa proposta é justamente estudar e refinar o perfil gerado pela utilização do *laser*.

Utilizando-se da mesma metodologia deste trabalho é possível demarcar uma área na madeira em que o *laser* e o rugosímetro irão ser utilizados, comparar suas saídas e desenvolver uma técnica de análise de perfil de madeira, de alta confiabilidade, utilizando *laser*.

Referências Bibliográficas

- [ARIZAGA et. al (1999)] ARIZAGA, R.; CAP, N.; Rabal, H.; TRIVI, M.. Activity image in Dynamical speckle *3rd. Iberoamerican Optics Meeting*, A. Guzman Ed. Proceeding SPIE 3572, 310-314. 1999.
- [ARIZAGA et. al (1999)] ARIZAGA, R.; CAP, N.; Rabal, H.; TRIVI, M.; BALDWIN, G.. Dynamic speckle segmentation. *Proceeding of Laser Metrology 99*, A. Albertazzi Ed., 5.73-5.79. 1999.
- [ARIZAGA et. al (1999)] ARIZAGA, R.; CAP, N.; Rabal, H.; TRIVI, M.. Speckle time evolution characterization by co-ocurrence matrix analis. *Optics & Laser Technology*, v.4-5, n.3, p.1-7. 1999.
- [ARIZAGA et. al (1998)] ARIZAGA, R.; CAP, N.; Rabal, H.; TRIVI, M.. Analisis de diagramas de speckle dinamicos utilizando la matriz de coocurrencia *III RIAO - Encuentro Ibero-Americano de Óptica*, Cartagena das Indias. 1998.
- [BEAVIS et. al (1999)] BEAVIS, A. J.; KALEJTA, R. F.. Simultaneous analysis of the cyan, yellow and green fluorescent proteins by flow cytometry using single-laser excitation at 458 nm. *Cytometry*, v. 37, I. 1, p.68 - 73. Wiley-Liss, Inc. 1999.
- [BRAGA JR. (2000)] Braga Jr., R. A. *Utilização do Biospeckle laser em sementes - Uma contribuição para o desencolcimento de uma tecnologia*, Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas, SP, Setembro, 2000.
- [BUTTER et. al (1971)] BUTTER, J.; LEENDERTZ, J. *Journal of measurement and control*, v. 4, p.344. 1971
- [BUTTER et. al (1972)] BUTTER, J.; LEENDERTZ, J. *Proceedings, Eng Applications of Holography*, p. 361, 1972.
- [CASTRO et. al (2002)] CASTRO, A.C.; VICENTE F.S.. *LASER - Que luz é essa?*, Revista Eletrônica de Ciências - USP-São Carlos, N. 07, São Carlos, SP, Maio, 2002.
- [CIOp (1997)] CIOp *Laser Y Optica en Ingenieria*.. La Plata Argentina. 1997.
- [DAINTY (1975)] DAINTY, J. C. *Speckle and Related Phenomena*, v. 9. Springer-Veriag. Heidelberg, 1975.
- [ELIÉS et. al (1997)] ELIÉS, P.; JEUNE, B.; GERLIGAND, P. Y.; CARIOU, J.; LOTRIAN, J.. *Analysis of the dispersion of speckle polarization on the Poincaré sphere*., J. Phys. D: Applied Physics, v. 30, p.1285-1292, 1997.

- [FAVRET et. al (2001)] FAVRET, E.; POVOLO, F.. Linear rugosity concept of crystalline surfaces by using the unidirectional laser oblique illumination (ULOI) technique. *Microscopy Research and Technique*, V. 55, Issue 4 , p.270 - 281. Wiley-Liss, 2001.
- [FUJII et. al] FUJII, H et al.. Evaluation of blood flow by laser speckle image sensing *Applied Optics*, V.26, N.24, p. 5321-5325.
- [GOMEZ et. al (1984)] GOMEZ, K.A., GOMEZ, A.A.. *Statistical Procedures for Agricultural Research*. 2nd ed. John Wiley I& Sons, New York, 680p.. 1984.
- [GONZALES et. al (1993)] GONZALES, R. C.; WOODS, R. E.. *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company, USA. 1993.
- [HECHT (1998)] HECHT, E. *Optics*. 3 ed Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Co. 1998.
- [J2SE (2004)] Sun microsystems - Java Virtual Machine 5.0, *URL: <http://java.sun.com>*, 29 de Novembro de 2004.
- [JCC (2005)] Code Conventions for the Java Programming Language, *<http://java.sun.com/docs/codeconv/>*, 10 de Janeiro de 2005.
- [JIMENEZ et.al (1999)] JIMENEZ, A.R.; CERES, R.; PONS, J.L.. A Machine Vision System Using a Laser Radar Applied to Robotic Fruit Harvesting. *IEEE Workshop on Computer Vision Beyond the Visible Spectrum: Methods and Applications* , p.110. Fort Collins, Colorado. 1999.
- [KHAMIS (2005)] KHAMIS, E. *J.Hologramas gerados por computador utilizados como sensores ópticos*, Tese de Mestrado, USP, São Paulo, SP, 2005.
- [KOYUNCU (2003)] KOYUNCU, B.. Determination of in-plane surface displacements of objects by using speckle correlation and image processing techniques. *International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment.*, Ege University, Izmir, Turkey. Outubro, 2003.
- [KOYUNCU et. al (1980)] KOYUNCU, B.; COOKSON, J. *Journal of Physics*, v. 13, p. 206-208. 1980
- [KOYUNCU (1981)] KOYUNCU, B. *Optics & Lasers in Engineering*, v. 1, p. 37-49. 1981.
- [LEENDERTZ (1970)] LEENDERTZ, J. *Journal of Physics*, Ed. 3, p.214. 1970.
- [MACOVSKI et. al (1971)] MACOVSKI, A.; RAMSEY, S. D. *Applied Optics*, v. 10(12), p. 2722. 1971.
- [NETO (1999)] NETO, J. F.. Aplicação da Transformada de Fourier no Processamento Digital de Imagens *<http://www.infonet.com.br/users/jfonseca/PDI-FOURIER.PDF>*, 18 de Maio de 2005.
- [NEUROHR et. al (1991)] NEUROHR, R. et al. Photon Emission - A new method for scanning the quality of food. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 78-82, Mar. 1991.

- [MARTINELLI (1998)] MARTINELLI, Marcelo. *Medidas de efeitos ópticos não-lineares por reflexão de luz polarizada*, Tese de Mestrado, USP, São Paulo, SP, Março, 1998.
- [PRATT (1991)] Pratt, W.K., *Digital Image Processing*, John Wiley & Sons Inc., USA. 1991.
- [RABAL et. al.(1998)] RABAL, H.J. et al. Laser na Agricultura. In: Energia, Automação e Instrumentação. XXVII CONBEA. Poços de Caldas. 1998.
- [ROMERO (1999)] ROMERO, G.G. *Estudio y caracterization de patrones de speckle que varian en el tiempo*. Tese de Doutorado, Facultad de Ciencias Exactas, Departamento de Física, Univerddidade Nacional de Salta, Argentina. 1999.
- [SCHALKOFF (1985)] SCHALKOFF, R. J. *Digital Image Processing and Computer Vision*, J. Wiley & Sons. Canadá, 1989.
- [SCHWOMMA (1972)] SCHWOMMA, O. *Austrian Patent 298, 830*,1972.
- [SILVA (2004)] SILVA, J. de C. *Vantagens comparativas e competitivas da madeira de eucalipto*,2004.
- [SILVA (2002)] SILVA, J. R. M. *RELAÇÕES DA USINABILIDADE E ADERÊNCIA DO VERNIZ COM AS PROPRIEDADES FUNDAMENTAIS DO Eucalyptus grandis HILL EX. MAIDEN*,2002.
- [SILVA et. al(1996)] SILVA, J. R. M., et.al *Afiação de ferramentas para o setor madeireiro*. Lavras: UFLA/DCF, 1996. 37p.
- [SINHA et.al (1997)] SINHA, J. ; TIPPUR, H.. *Infrared interferometry for rough surface measurements: application to failure characterization and flaw detection..* Optical Engineering, v. 36, p. 2233-2239. Agosto, 1997.
- [TAVARES et.al (2002)] TAVARES, A. C.; BADARANE, H. P.; MAIA, R. M. *Avaliação de Filtragens Interativas, no Domínio Espacial, de Imagens Digitais: O Caso da Microscopia Eletrônica*, Unama, Belém, PA. 2002.