Campus de São Carlos

**CARACTERIZAÇÃO DE PLACAS DE MADEIRA PARA
FABRICAÇÃO DE LÁPIS, QUANTO A DENSIDADE
APARENTE E O MÉTODO DE DESDOBRO**

Autor: Manoel Gomes de Andrade

Orientador: Prof. Dr. Adilson Gonzaga

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

7 218 102

CARACTERIZAÇÃO DE PLACAS DE MADEIRA PARA FABRICAÇÃO DE LÁPIS, QUANTO A DENSIDADE APARENTE E O MÉTODO DE DESDOBRO

Manoel Gomes de Andrade

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica

ORIENTADOR: Prof. Dr. Adilson Gonzaga

São Carlos
1998

DEDALUS - Acervo - EESC

31100013559

Class.	TESE
Cutt.	0352
Tombo	T218/38

st 0987624

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP**

A553c Andrade, Manoel Gomes de
Caracterização de placas de madeira para
fabricação de lápis, quanto a densidade aparente e
o método de desdobro / Manoel Gomes de Andrade. --
São Carlos, 1998.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1998.
Área: Engenharia Elétrica.
Orientador: Prof. Dr. Adilson Gonzaga.

1. Defeitos. 2. Textura. 3. Densidade.
4. Inspeção visual. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **MANOEL GOMES DE ANDRADE**

Dissertação defendida e aprovada em 20.06.1998
pela Comissão Julgadora:

Prof. Doutor **ADILSON GONZAGA (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Doutor **DENER GONÇALVES PRATA**
(Pesquisador - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Profª. Doutora **MARIA STELA VELUDO DE PAIVA**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **DENIS VINICIUS COURY**
Coordenador da Área de Engenharia Elétrica

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*'Ainda que eu fale todas as línguas,
dos homens e dos anjos,
se eu não tiver amor serei apenas
um bronze que ressoa,
um címbalo que retine.'*

(O que é o amor - Apóstolo São Paulo)

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Adilson Gonzaga, pela excelente orientação e por sempre acreditar em mim.

Ao Professor Evandro L. L. Rodrigues, pelas estimulantes discussões, incentivos, e amizade, que tanto serviram para a alavancagem deste trabalho.

Ao Engenheiro Civil Dener Gonçalves Prata, pesquisador do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LAMEM), pela excelente acolhida e iniciação em uma área por mim antes desconhecida.

Aos colegas, professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica da EESC/USP, pela colaboração.

A toda a minha família em especial à Lourdes Gomes Miranda de Andrade, minha mãe.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Adilson Gonzaga, pela excelente orientação e por sempre acreditar em mim.

Ao Professor Evandro L. L. Rodrigues, pelas estimulantes discussões, incentivos, e amizade, que tanto serviram para a alavancagem deste trabalho.

Ao Engenheiro Civil Dener Gonçalves Prata, pesquisador do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LAMEM), pela excelente acolhida e iniciação em uma área por mim antes desconhecida.

Aos colegas, professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica da EESC/USP, pela colaboração.

A toda a minha família em especial à Lourdes Gomes Miranda de Andrade, minha mãe.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	..vii
LISTA DE TABELAS.....	..xii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	..xiii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	..xiv
RESUMO.....	..xv
<i>ABSTRACT</i>	..xvi
1 INTRODUÇÃO.....	...1
1.1 Objetivos.....	...2
1.2 Formato da dissertação.....	...3
2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA.....	...4
2.1 Características macroscópicas da madeira.....	...4
2.2 Métodos de desdobro.....	...6
2.3 Densidade da madeira.....	...9
2.3.1 Densidade aparente da madeira.....	...10
2.3.2 Densidade real da madeira.....	...10
2.3.3 Densidade básica da madeira.....	...10
2.3.4 Gravidade específica da madeira.....	...10
2.4 Madeiras para fabricação de lápis.....	...12
2.4.1 <i>Eastern redcedar</i>	...12
2.4.2 <i>Incense-cedar</i>	...12
2.4.3 <i>Pinus Hondurensis</i>	...12
3 DEFEITOS EM MADEIRAS.....	...13
3.1 Nomenclatura.....	...13
3.2 Métodos para detecção de defeitos em madeira.....	...16
3.2.1 Ultra-som.....	...16

3.2.2 Microondas.....	18
3.2.3 Raios-x.....	18
3.2.4 Bombardeamento de neutrons.....	19
3.2.5 Método ótico.....	20
4 TEXTURA.....	22
4.1 Introdução.....	22
4.2 Abordagens para a descrição de texturas.....	24
4.2.1 Abordagem Espectral.....	25
4.2.2 Abordagem Estrutural.....	25
4.2.3 Abordagem Estatística.....	25
4.2.3.1 Abordagem de primeira ordem.....	27
4.2.3.2 Abordagem de segunda ordem.....	31
5 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE PLACAS.....	40
5.1 Introdução.....	40
5.2 Primeira fase: Análise do conjunto de amostras.....	40
5.2.1 Experimento 1: Determinação da densidade aparente.....	41
5.2.2 Experimento 2: Verificação do método de desdobro.....	46
5.2.3 Experimento 3: Relações entre classes de densidade aparente e métodos de desdobro..	49
5.3 Segunda fase: Análise das imagens das amostras.....	50
5.3.1 Experimento 4: Relações entre as classes a priori e as características texturais tonais, média e variância.....	51
5.3.2 Experimento 5: Avaliação das texturas de placas selecionas.....	53
6 CONCLUSÕES.....	59
6.1 Sobre a análise do conjunto de amostras.....	59
6.2 Sobre a análise das imagens das amostras.....	61
6.3 Propostas para novos trabalhos.....	62
ANEXO A – IMAGENS DIGITALIZADAS DE CENTO E DUAS PLACAS DE MADEIRA DE PINUS HONDURENSIS.....	63
ANEXO B – VERIFICAÇÃO DO MÉTODO DE DESDOBRIO DE CENTO E DUAS PLACAS DE MADEIRA DE PINUS.....	78
ANEXO C – DENSIDADE APARENTE DE CENTO E DUAS PLACAS DE MADEIRA DE PINUS.....	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86

APÊNDICE 1 – PROGRAMAS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO 4

APÊNDICE 2 – PROGRAMA UTILIZADO NO EXPERIMETNO 5

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	1	- Seção transversal de um tronco.....	5
FIGURA	2	- Métodos de desdobro tangencial e radial.....	6
FIGURA	3	- Superfície de uma placa radial típica.....	7
FIGURA	4	- Seção transversal de uma placa radial típica.....	7
FIGURA	5	- Superfície de uma placa tangencial típica.....	8
FIGURA	6	- Seção transversal de uma placa tangencial típica.....	8
FIGURA	7	- Distribuição do peso seco volumétrico.....	9
FIGURA	8	- Métodos de inspeção "through-transmission" e "pulsed-echo".....	17
FIGURA	9	- Método de inspeção ótico.....	20
FIGURA	10	- Tela.....	22
FIGURA	11	- Parede.....	22
FIGURA	12	- Grade.....	23
FIGURA	13	- Grama.....	23
FIGURA	14	- Tijolos à vista.....	23
FIGURA	15	- Histograma da placa B01S.....	27
FIGURA	16	- Histograma da placa B28S.....	27
FIGURA	17	- Assimetria positiva.....	29
FIGURA	18	- Assimetria negativa.....	29
FIGURA	19	- Platicúrtica.....	30
FIGURA	20	- Normal.....	30
FIGURA	21	- Leptocúrtica.....	30
FIGURA	22	- Imagem I_1	31
FIGURA	23	- Imagem I_2	31
FIGURA	24	- Textura f_1	32
FIGURA	25	- Textura f_2	32
FIGURA	26	- Disposição dos pixels para contagem de ocorrências.....	33

FIGURA	27	- Contagem de ocorrências de pares de pixels dispostos a...	
		$d = 1, \theta = 0^\circ$	..35
FIGURA	28	- Contagem de ocorrências de pares de pixels dispostos a..	
		$d = 1, \theta = 45^\circ$	..35
FIGURA	29	- Contagem de ocorrências de pares de pixels dispostos a..	
		$d = 1, \theta = 90^\circ$	..36
FIGURA	30	- Contagem de ocorrências de pares de pixels dispostos a..	
		$d = 1, \theta = 135^\circ$	..36
FIGURA	31	- Representação de $A_{4,0^\circ}$ para a imagem da figura 12.....	..37
FIGURA	32	- Representação de $A_{4,0^\circ}$ para a imagem da figura 13.....	..37
FIGURA	33	- Representação de $A_{4,0^\circ}$ para a imagem da figura 14.....	..38
FIGURA	34	- Representação do método SGLDM.....	..39
FIGURA	35	- Sub-áreas de 64x64.....	..53
FIGURA	36	- Relações entre sub-áreas e medidas de ASM.....	..54
FIGURA	37	- Sub-áreas referentes à placa S15 ordenadas pelo ASM médio.....	..55
FIGURA	38	- Sub-áreas referentes à placa C07 ordenadas pelo ASM médio.....	..55
FIGURA	39	- Sub-áreas referentes à placa B05 ordenadas pelo ASM médio.....	..56
FIGURA	40	- Sub-áreas referentes à placa S06 ordenadas pelo ASM médio.....	..56
FIGURA	41	- Sub-áreas referentes à placa B10 ordenadas pelo ASM médio.....	..57
FIGURA	42	- Sub-áreas referentes à placa B26 ordenadas pelo ASM médio.....	..57
FIGURA	43	- Média e variância da sub-áreas de 64x64.....	..58
FIGURA	44	- Placa B01S.....	..64
FIGURA	45	- Placa B02S.....	..64
FIGURA	46	- Placa B03S.....	..64
FIGURA	47	- Placa B04S.....	..64
FIGURA	48	- Placa B05S.....	..64
FIGURA	49	- Placa B06S.....	..64

FIGURA	50	- Placa B07S.....	64
FIGURA	51	- Placa B08S.....	64
FIGURA	52	- Placa B09S.....	65
FIGURA	53	- Placa B10S.....	65
FIGURA	54	- Placa B11S.....	65
FIGURA	55	- Placa B12S.....	65
FIGURA	56	- Placa B13S.....	65
FIGURA	57	- Placa B14S.....	65
FIGURA	58	- Placa B15S.....	65
FIGURA	59	- Placa B16S.....	65
FIGURA	60	- Placa B17S.....	66
FIGURA	61	- Placa B18S.....	66
FIGURA	62	- Placa B19S.....	66
FIGURA	63	- Placa B20S.....	66
FIGURA	64	- Placa B21S.....	66
FIGURA	65	- Placa B22S.....	66
FIGURA	66	- Placa B23S.....	66
FIGURA	67	- Placa B24S.....	66
FIGURA	68	- PlacaB25S.....	67
FIGURA	69	- Placa B26S.....	67
FIGURA	70	- Placa B27S.....	67
FIGURA	71	- Placa B28S.....	67
FIGURA	72	- Placa B29S.....	67
FIGURA	73	- Placa B30S.....	67
FIGURA	74	- Placa B31S.....	67
FIGURA	75	- Placa B32S.....	67
FIGURA	76	- Placa B33S.....	68
FIGURA	77	- Placa B34S.....	68
FIGURA	78	- Placa C01S.....	68
FIGURA	79	- Placa C02S.....	68
FIGURA	80	- Placa C03S.....	68
FIGURA	81	- Placa C04S.....	68
FIGURA	82	- Placa C05S.....	68

FIGURA	83	- Placa C06S.....	68
FIGURA	84	- Placa C07S.....	69
FIGURA	85	- Placa C08S.....	69
FIGURA	86	- Placa C09S.....	69
FIGURA	87	- Placa C10S.....	69
FIGURA	88	- Placa C11S.....	69
FIGURA	89	- Placa C12S.....	69
FIGURA	90	- Placa C13S.....	69
FIGURA	91	- Placa C14S.....	69
FIGURA	92	- Placa C15S.....	70
FIGURA	93	- Placa C16S.....	70
FIGURA	94	- Placa C17S.....	70
FIGURA	95	- Placa C18S.....	70
FIGURA	96	- Placa C19S.....	70
FIGURA	97	- Placa C20S.....	70
FIGURA	98	- Placa C21S.....	70
FIGURA	99	- Placa C22S.....	70
FIGURA	100	- Placa C23S.....	71
FIGURA	101	- Placa C24S.....	71
FIGURA	102	- Placa C25S.....	71
FIGURA	103	- Placa C26S.....	71
FIGURA	104	- Placa C27S.....	71
FIGURA	105	- Placa C28S.....	71
FIGURA	106	- Placa C29S.....	71
FIGURA	107	- Placa C30S.....	71
FIGURA	108	- Placa C31S.....	72
FIGURA	109	- Placa C32S.....	72
FIGURA	110	- Placa C33S.....	72
FIGURA	111	- Placa C34S.....	72
FIGURA	112	- Placa S01S.....	73
FIGURA	113	- Placa S02S.....	73
FIGURA	114	- Placa S03S.....	73
FIGURA	115	- Placa S04S.....	73

FIGURA	116	- Placa S05S.....	..73
FIGURA	117	- Placa S06S.....	..73
FIGURA	118	- Placa S07S.....	..73
FIGURA	119	- Placa S08S.....	..73
FIGURA	120	- Placa S09S.....	..74
FIGURA	121	- Placa S10S.....	..74
FIGURA	122	- Placa S11S.....	..74
FIGURA	123	- Placa S12S.....	..74
FIGURA	124	- Placa S13S.....	..74
FIGURA	125	- Placa S14S.....	..74
FIGURA	126	- Placa S15S.....	..74
FIGURA	127	- Placa S16S.....	..74
FIGURA	128	- Placa S17S.....	..75
FIGURA	129	- Placa S18S.....	..75
FIGURA	130	- Placa S19S.....	..75
FIGURA	131	- Placa S20S.....	..75
FIGURA	132	- Placa S21S.....	..75
FIGURA	133	- Placa S22S.....	..75
FIGURA	134	- Placa S23S.....	..75
FIGURA	135	- Placa S24S.....	..75
FIGURA	136	- Placa S25S.....	..76
FIGURA	137	- Placa S26S.....	..76
FIGURA	138	- Placa S27S.....	..76
FIGURA	139	- Placa S28S.....	..76
FIGURA	140	- Placa S29S.....	..76
FIGURA	141	- Placa S30S.....	..76
FIGURA	142	- Placa S31S.....	..76
FIGURA	143	- Placa S32S.....	..76
FIGURA	144	- Placa S33S.....	..77
FIGURA	145	- Placa S34S.....	..77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Método de desdobro das placas da classe 'B'	79
Tabela 2 - Método de desdobro das placas da classe 'C'	80
Tabela 3 - Método de desdobro das placas da classe 'S'	81
Tabela 4 - Densidade aparente das placas da classe 'B'	83
Tabela 5 - Densidade aparente das placas da classe 'C'	84
Tabela 6 - Densidade aparente das placas da classe 'S'	85
Tabela 7 - Rol das densidades aparentes das placas do ANEXO A.....	42
Tabela 8 - Placas do ANEXO A reclassificadas segundo a densidade aparente.....	43
Tabela 9 - Relação entre as classes a priori e densidade aparente.....	45
Tabela 10 - Placas do ANEXO A reclassificadas segundo o método de desdobro.....	47
Tabela 11 - Relação entre as classes a priori e método de desdobro.....	48
Tabela 12 - Classes de desdobro x classe de densidade aparente.....	49
Tabela 13 - Relação entre as classes a priori e medida tonal média.....	51
Tabela 14 - Relação entre as classes a priori e medida tonal variância.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS

ASTM	- American Society for Testing and Materials
ABPM	- Associação Brasileira de Produtores de Madeira
GLCM	- Gray-level Co-occurrence Matrix
GCM	- Generalized Co-occurrence Matrix
SGLDM	- Spatial Gray-level Dependence Method
NDE	- Nondestructive evaluation
ALPS	- Automated Lumber Processing System
ASM	- Angular Second Moment
IDM	- Inverse Difference Moment
CONT	- Contrast
ENT	- Entropy

LISTA DE SÍMBOLOS

a_3	- coeficiente do momento de assimetria
a_4	- coeficiente do momento de curtose
h	- amplitude das classes
k	- número de classes
L	- total de níveis de cinza
m	- média ou expectância de uma distribuição de probabilidades
$p(z_i)$	- probabilidade de ocorrência do pixel de intensidade i
r	- amplitude total
R	- descritor de suavidade
z_i	- variável aleatória discreta que denota o i -ésimo nível de cinza
μ_n	- n -ésimo momento em relação à média
σ^2	- variância

RESUMO

Um conjunto de cento e duas placas de madeira de *Pinus hondurensis*, para produção de lápis, constitui-se o objeto de estudo deste trabalho. Essas placas foram pré-classificadas em três classes por especialistas, baseando-se nos aspectos visuais e táteis, segundo a qualidade.

Há fortes indícios de que fatores como densidade e o método de desdobro tenham exercido fator preponderante nessa classificação; assim neste trabalho determinou-se suas densidades aparente e os métodos empregados em seus cortes.

Adicionalmente, foi feita uma revisão bibliográfica a respeito de métodos de inspeção de defeitos em madeira, da qual, pode-se constatar que técnicas de Processamento de Imagens em Visão Computacional, geram uma forma adequada de correlacionar as duas grandezas físicas já mencionadas, com os aspectos visuais presentes nas superfícies das placas.

ABSTRACT

This work deals with a working set of one hundred and two slats of Pinus hondurensis for pencil manufacture. Those slats have been pre-classified by experts in three groups, based on their visual appearance and tactile sensations, gauging quality.

There is strong evidences that density and sawn method play important role on such classifications, so that these measurements have been done.

Additionally, a revision on the literature was made concerning methods for wood defect inspection, from which has been shown that Image Processing can be used to correlate the physical properties aforementioned with the patterns presented on the slats surfaces.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Em uma indústria que produz lápis, a madeira da qual os mesmos são feitos exerce uma importância fundamental na qualidade final do produto. Assim, o conhecimento das características que um determinado tipo de madeira deva possuir a fim de se produzir lápis de ótima qualidade, é objetivado nesse tipo de indústria.

Existem métodos, SOBEY & SEMPLE (1989), CONNERS et al. (1983) e KOIVO & KIM (1989), para se quantificar as características físicas da madeira, alguns de caráter destrutivo outros não-destrutivos. Atualmente, na indústria produtora de lápis, essas placas são inspecionadas por pessoas treinadas, ou especialistas que, segundo a experiência adquirida em anos de produção contínua, separam-nas segundo suas características.

A partir de um conjunto de placas de madeira para fabricação de lápis, pré-classificadas em três grupos, segundo os aspectos visuais e as sensações táteis que as mesmas apresentam, este trabalho investiga algumas características físicas que estas possuem e as correlacionam aos aspectos visuais presentes, os quais são obtidos por meio de técnicas de visão computacional.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivos investigar um conjunto de cento e duas placas de madeira para produção de lápis, da espécie *Pinus hondurensis*, classificadas por especialistas de uma indústria de lápis em três classes, baseados nos aspectos visuais presentes em suas superfícies e nas sensações táteis das mesmas, quanto à densidade aparente e o método de desdobro.

As classes estabelecidas pelos especialistas são confrontadas com as classes de densidade aparente e de métodos de desdobro, para se avaliar as possíveis inter-relações.

As classes de método de desdobro são confrontadas com as classes de densidade aparente para se avaliar as relações entre as duas classificações.

Para tanto, o conjunto, previamente classificado por especialistas é analisado quanto às suas densidades aparente e quanto ao método empregado no corte, pela medição da inclinação dos anéis de crescimento em suas seções transversais.

Como forma de avaliar os aspectos visuais presentes nas superfícies das placas quanto ao contraste e variações claro/escuro, as imagens digitalizadas das placas de madeira são analisadas quanto à textura, utilizado-se de estatísticas de primeira ordem, Média e Variância, e a de segunda ordem, Segundo Momento Angular. As medidas de primeira ordem são confrontadas com as classes de métodos de desdobro para se verificar as inter-relações ocorridas e a característica de segunda ordem é avaliada quanto ao poder de discriminar as diferentes texturas do conjunto de placas

1.2 Formato da dissertação

No capítulo 2 é feito um estudo a respeito das características macroscópicas da madeira, dos métodos empregados na serragem, bem como das diversas formas de se medir a densidade da madeira e sua implicação na resistência da mesma.

No capítulo 3 são estudados os tipos de defeitos que surgem em madeira e os métodos existentes para detectá-los.

No capítulo 4, são apresentados os métodos estatísticos de primeira e de segunda ordem para extração de características texturais.

No capítulo 5, são realizados os experimentos 1, 2, 3, 4 e 5 os quais correspondem respectivamente a:

- Determinação da densidade aparente;
- Verificação do método de desdobro;
- Relações entre classes de densidade aparente e métodos de desdobro;
- Relações entre classes a priori e as características estatísticas de primeira ordem, média e variância;
- Avaliação das texturas de placas selecionas;

No capítulo 6, são apresentadas as conclusões e propostas para trabalhos futuros.

Capítulo 2

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA

2.1 Características macroscópicas da madeira

As árvores apresentam crescimento vertical ou axial e também no diâmetro do tronco. O crescimento do tronco em volume ou em diâmetro se dá pela adição anual de camadas concêntricas de fibras, HELLMEISTER (1982), ao que se dá o nome de anéis de crescimento.

Na figura 1, os anéis de crescimento podem ser vistos quando se analisa uma seção transversal do tronco de uma árvore. Pelo corte transversal torna-se possível observar os principais detalhes macroscópicos da madeira.

Na parte central encontra-se a medula e uma área composta pelas primeiras camadas de crescimento anual formada por uma de madeira de densidade menor, que são denominadas madeira juvenil.

Envolvendo a área de madeira juvenil, abaixo da casca e do câmbio, desenvolvem-se os anéis de crescimento, os quais possuem duas regiões distintas. Para cada anel, inicialmente desenvolve-se durante a primavera “uma parte com elementos anatômicos maiores, paredes celulares mais finas, madeira mais mole de menor densidade e resistência, mais acessível à água e mais clara, designada como madeira de primavera”, (HELLMEISTER, 1982, p. 25). Outra denominação para a primeira fase de desenvolvimento de um anel de crescimento é pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MADEIRA (ABPM), como lenho inicial, lenho primaveril, ou pelo termo em inglês “earlywood”.

A segunda região de um anel de crescimento é denominada por HELLMEISTER (1982), como madeira de verão, a qual possui “elementos anatômicos de menor dimensão, paredes celulares mais espessas, mais dura, de maior densidade, de resistência mecânica mais alta e de cor mais escura”. Outros termos apresentados pela ABPM, para a denominação de madeira de verão são: lenho tardio, lenho outonal ou em inglês, “latewood”. No ANEXO A, podem ser vistos alguns exemplares de placas, que exibem as características visuais relativas à área de madeira juvenil, tais como, nas figuras: 48 (B05S), 51 (B08S), 72 (B29S) e 75 (B32S). As figuras 54 (B11S), 59 (B16S), 77 (B34S) e 81 (C04S), apresentam em suas superfícies os aspectos de madeira juvenil e o padrão de listras, que denotam os dois

diferentes tipos de lenhos. A figura 144 (S33S) apresenta outro plano de corte, longitudinal-tangencial, no qual também pode-se observar uma porção de madeira juvenil e os lenhos inicial e tardio.

FIGURA 1 - Seção transversal de um tronco.

Em HELLMEISTER (1982), as camadas externas, mais novas, e as mais antigas são denominadas respectivamente alborno e cerne.

Observando-se o conjunto das imagens apresentado no ANEXO A, o qual constitui o objeto de estudo desta dissertação, pode-se verificar que dentre as características macroscópicas citadas neste capítulo, estão madeira juvenil, lenho inicial e lenho tardio.

Outro aspecto que deve ser mencionado, diz respeito aos padrões de listras, como nos casos das figuras 87 (C10S), 99 (C22S) e 110 (C33S), entre outras, e de “ondas” apresentados nas figuras 128 (S17S), 133 (S23S) e 138 (S27S), entre outras.

2.2 Métodos de desdobro

Quando o tronco de uma árvore é serrado no sentido longitudinal, isto é no sentido das fibras, são produzidas pranchas, que podem ser classificadas quanto ao método empregado como tangenciais ou radiais, FINDLAY (1975).

Os termos tangencial ou radial, referem-se ao ângulo que o plano da face larga, ou superfície da prancha, faz com os anéis de crescimento.

Dependendo do método de desdobro ou corte empregado na serraria, na superfície das pranchas surgem padrões característicos, principalmente devido à composição dos lenhos inicial, tardio e de madeira juvenil.

Na figura 2, estão representadas pranchas de madeira obtidas pelo emprego dos métodos de serragem tangencial e radial.

FIGURA 2 - Métodos de desdobro tangencial e radial.

PANSHIN & ZEEUW (1964) e FINDLAY (1975) , consideram uma prancha de madeira como sendo radial quando o ângulo formado entre a superfície e os anéis de crescimento fica entre 45 e 90°.

A norma da AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), de 1981 (D9 - 81), estabelece que uma prancha é considerada radial quando os anéis de crescimento formam um ângulo de 45 a 90° com a superfície larga da mesma ou tangencial quando esse ângulo fica abaixo de 45°. Nessa norma há um termo, “bastard sawn grain”, para designar os padrões apresentados na superfície de “hardwoods” que tenham seus anéis de crescimento fazendo ângulos entre 30 e 60° com a face larga .

DESCH (1953), por sua vez atribui o termo radial às pranchas serradas paralelamente aos raios e tangencial às perpendiculares ao raios.

OLSON & FLACKER (1986), quando realizaram experimentos com madeiras alternativas para produção de lápis, consideraram como placas radiais aquelas cujos anéis anuais faziam um ângulo de 61 a 90° com a superfície e tangencial quando faziam um ângulo entre 0 e 30°. Nesse trabalho um terceiro conjunto de placas de madeira foi formado, no qual a orientação dos anéis de crescimento em relação à superfície estava entre 31 e 60°.

Este conjunto de placas também contém placas com ambas orientações, isto é, radial e tangencial.

Nas figuras 3 e 4, e 5 e 6, são mostradas as imagens das superfícies e das seções transversais de placas de madeira da espécie *Pinus hondurensis*, que representam respectivamente exemplares típicos obtidos pelos métodos de desdobro radial e tangencial.

FIGURA 3 - Superfície de uma placa radial típica.

FIGURA 4 - Seção transversal de uma placa radial típica.

FIGURA 5 - Superfície de uma placa tangencial típica.

FIGURA 6 - Seção transversal de uma placa tangencial típica.

Na figura 3, pode-se notar a presença de listras escuras que correspondem às porções de lenho tardio dos anéis de crescimento e as porções mais claras que corresponde ao lenho inicial.

Como foi citado anteriormente, o método de desdobro influencia nos padrões apresentados nas superfícies das placas, porém, outro aspecto que deve ser mencionado é o de que a madeira é um material anisotrópico, pelo que suas características mecânicas se modificam, dependendo da direção da força aplicada ao corpo-de-prova em relação às suas fibras.

Dessa forma, no Capítulo 5 é investigado se o método de desdobro foi um dos fatores que, mesmo indiretamente, levaram os especialistas a classificarem o conjunto de placas segundo o que se apresenta no ANEXO A .

2.3 Densidade da madeira

Trata-se da propriedade física mais significativa para caracterizar madeiras destinadas à construção civil ou à fabricação de chapas ou à utilização na indústria de móveis.

Como foi citado no item 2.1, entre o lenho inicial e tardio há, entre outros aspectos, diferenças em coloração e densidade.

Nesse aspecto, PAUL apud* KOLLMANN (1959), apresenta curvas, de frequência do peso seco volumétrico dos lenhos inicial e tardio de "Longleaf pine" ou *Pinus palustris* Mill., pelas quais fica evidente a caracterização de duas distribuições distintas, tendo a de lenho inicial média de aproximadamente $0,25 \text{ g/cm}^3$ e a de lenho tardio média aproximada de $0,70 \text{ g/cm}^3$, as quais podem ser vistas na figura 7, a seguir.

FIGURA 7 - Distribuição do peso seco volumétrico.

Anteriormente à investigação, realizada no Capítulo 5, de que a densidade foi um dos fatores, que indiretamente influenciaram os inspetores na classificação das placas de madeira apresentadas no ANEXO A, visto que a inspeção é feita de modo tátil e visual, são apresentadas algumas formas de se determinar a densidade da madeira.

* PAUL, B. H. (1939). Foresty T. 37, p.478 apud KOLLMANN, F. (1959). Tecnologia de la madera y sus aplicaciones - Tomo Primeiro. Madrid, Ministerio da Agricultura, Instituto de investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. p.379.

2.3.1 Densidade aparente da madeira

À medida de densidade obtida pela divisão da massa pelo volume, dá-se o nome de Densidade Aparente.

HELLMEISTER (1982), realizou medidas de volume em 284 corpos de prova, utilizando-se de medidas com paquímetro e por deslocamento de mercúrio. As medidas de volume obtidas através dos dois processos de medição foram confrontadas quanto ao grau de correlação existente, ao que se concluiu “parecer mais real a determinação de medidas de corpos de prova aparelhados utilizando paquímetro, presumindo-se ser menos real a determinação do volume por deslocamento de mercúrio”.

2.3.2 Densidade real da madeira

Outra maneira de se medir a densidade da madeira, leva em conta seu volume real, isto é, preenche-se os vazios do corpo de prova com um fluido para se determinar o volume dos espaços internos do corpo de prova; pela subtração do volume do fluido do “volume aparente” do corpo de prova, obtém-se o volume real.

Dividindo-se a massa completamente seca, 0 % de umidade, pelo volume real obtém-se a Densidade Real. HELLMEISTER (1982), destaca que a determinação da Densidade Real da madeira não é parte da rotina experimental para a caracterização da madeira.

2.3.3 Densidade básica da madeira

Para a determinação da densidade básica da madeira, são consideradas a massa real ou completamente seca e o seu volume verde, HELLMEISTER (1982).

2.3.4 Gravidade específica da madeira

Trata-se de um tipo de medida de densidade da madeira, pela qual o corpo de prova completamente seco, a 0% de umidade, é imerso em água para a determinação de seu volume. A Gravidade Específica ou “Specific Gravity” é determinada dividindo-se a massa

da madeira completamente seca, pela massa de água deslocada pelo corpo de prova, HELLMEISTER (1982).

A Gravidade Específica de uma substância, no caso a madeira, é meramente a densidade relativa dessa substância em comparação com a densidade da água (1 cm^3 de água pesa 1 g), DEUSH (1953).

Entre outros métodos para a determinação da Gravidade Específica da madeira está o descrito por KOLLMANN (1959), pelo qual medindo-se a relação entre a quantidade de luz que atravessa uma preparação microscópica (lasca) e a quantidade de luz incidente infere-se a massa da preparação e por conseguinte sua Gravidade Específica. Esse método apresenta alguns inconvenientes, como o fato de as preparações microscópicas não poderem ter sido tingidas e o de que as preparações devam ser originárias de uma mesma seção do tronco, por exemplo, tangencial.

KOLLMANN (1959), cita outros métodos para a determinação indireta da gravidade específica por meios óticos, como pela projeção de luz por negativos de preparações e pela medição, por meios químicos ou elétricos a absorção e reflexão dos raios X através da madeira.

2.4 Madeiras para fabricação de lápis

2.4.1 *Eastern redcedar*

No início do século vinte a indústria de lápis norte americana, estava concentrada nos estados de Kentucky e Tennessee devido a disponibilidade de antigas árvores “eastern redcedar” ou *Juniperus virginiana*. Em 1906, foi dado um alerta, a respeito da possibilidade de escassez de matéria prima para a indústria de lápis. Árvores de “eastern redcedar” jovens, ou provenientes de outras localidades não demonstravam as mesmas características, desejáveis para produção de lápis, que as mais velhas, OLSON & FACKLER (1986).

2.4.2 Incense-cedar

Uma madeira substituta à “eastern redcedar” encontrada foi a “incense-cedar”, OLSON & FACKLER (1986), *calocedrus* ou *Libocedrus decurrens*, RHEMREV et al. (1993).

PANSHIN & ZEEUW (1964), destacam que a madeira extraída de árvores “incense-cedar” ou “Pencil Cedar”, possui grã orientada, e que se trata de um tipo de madeira leve, cuja Gravidade Específica verde é de 0,38 e seca ao forno é de 0,35.

Quanto à utilidade da madeira extraída de árvores “incense-cedar” destaca-se a produção de lápis, o que segundo o mesmos autores, “é devido à facilidade com que pode ser cortada, devendo isso à uniformidade da grã (lenhos inicial e tardio com aproximadamente a mesma largura), sua uniformidade de textura e sua relativa firmeza”.

2.4.3 *Pinus Hondurensis*

Segundo CARPANEZZI¹ (1985) apud BORTOLETTO (1993), a madeira de *Pinus caribaea* Morelet. var. *hondurensis* Barr. et Golf, é originária da costa atlântica da América Central, de Belize até a Nicarágua. Possui densidade entre 0,35 e 0,50 g/cm³, podendo ser empregada na fabricação de barcos, em construções leves ou pesadas, chapas de fibras e de partículas e produção de celulose de fibra longa. Atualmente essa espécie de *Pinus* tem sido utilizada pela indústria Faber-Castel, para a fabricação de lápis.

¹CARPANEZZI, A. A. (1985). Zoneamento ecológico de plantios florestais no Estado do Paraná. Brasília, EMBRAPA -DDT. 99p. apud BORTOLETTO, G. Jr. (1993). *Indicação para utilização de Seis espécies e variedades de pinus aplicada na construção civil*. São Carlos 127p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Capítulo 3

DEFEITOS EM MADEIRAS

3.1 Nomenclatura

Segundo SZYMANI & McDONALD (1981), defeitos em madeira são quaisquer características que as tornem impróprias para um dado uso. Eles agrupam os defeitos em madeiras em duas grandes classes:

- Defeitos Biológicos:

defeitos naturais (irregularidades na estrutura das fibras como, nós, medula, etc.) ou os causados por fungos e ou insetos.

- Defeitos de Fabricação (“Manufacturing Defects”) :

causados no desdobro, condicionamento ao clima, etc.

Os defeitos biológicos citados por SZIMANI & McDONALD (1981), são: nós, grã cruzada e grã inclinada, podridão, manchas, furos de inseto, bolsa de resina, casca incrustada ou incrustação de casca .

Os autores citados, relacionam outro conjunto de defeitos que denominam “decorrentes dos processos de fabricação” (“Manufacturing”) tais como os que podem ser causados pelo desdobro ou preparo incorretos ou por falhas nos processos de aclimação ou causados por más práticas de manuseio de material. Sendo eles: esmoado ou ausência de madeira na quina da peça de madeira; grã dilacerada; racha; desvio nas dimensões.

A classificação de madeira serrada de coníferas ou “softwoods” pode ser feita baseada na resistência ou na aparência, ou ambas.

Pela aparência pode-se detectar a ausência ou a presença de defeitos, FINDLAY (1975), quer sejam de origem biológica ou de fabricação, SZYMANI & McDONALD (1981), visíveis na superfície da madeira.

Os padrões ou figuras que se apresentam na superfície das pranchas de madeiras provenientes de coníferas sofrem influência de dois fatores:

- Orientação em relação ao tronco;
- Ausência ou presença de defeitos;

BROMAN (1995), realizou um trabalho no qual o principal objetivo era documentar a reação de pessoas perante diferentes características na superfície de madeira “Scots pine” ou *Pinus sylvestris*. Observou que quando as pessoas olhavam para a superfície dessas madeiras, elas viam características reais, tais como: nós, contraste, coloração, textura, medula, bolsa de resina, rachas, etc. e adicionalmente comunicavam as impressões que os padrões lhes suscitavam. Dentre as impressões, descritas pelas pessoas apenas pela visualização da superfície das amostras de madeira, algumas que podem ser relacionadas indiretamente às características físicas, foram registradas, tais como: pintada, pesada, sólida, densa, uniforme, variada, confusa, homogênea, limpa, suja, macia, firme, áspera e suave.

O autor, menciona que quando uma pessoa olha para uma superfície de madeira, são vistas uma mistura de cinco característico-propriedades, sendo elas:

- Contraste,
- Textura,
- Nós,
- Coloração
- Outras.

O contraste percebido pelo olho humano na superfície da madeira pode ser devido à presença de nós sob um fundo de madeira sem defeitos, ou à composição de lenhos inicial e tardio, ou ainda devido às diferenças de coloração entre as regiões do alburno e cerne, sendo a primeira mais clara e menos densa que a segunda.

Assim uma superfície de madeira poderá apresentar contraste global alto ou baixo.

A textura está relacionada à grã, ou mais precisamente à direção da grã.

Devido à inclinação da grã podem surgir texturas que apresentem direcionalidade ou regiões com lustre divergente ou variações.

Essas texturas, relacionadas às inclinações ou direções da grã somente podem ser vistas com auxílio de lentes de aumento.

Os nós são percebidos pelo tamanho (área), quantidade, e podem ser diferenciados se estiverem agrupados.

As variações em coloração ocorrem , por exemplo, entre o alburno, a qual é amarelada, e o cerne, avermelhado.

O que o autor chama de outras propriedades, são os defeitos biológicos, exceto nó de madeira, e os de fabricação.

O conjunto de placas de madeira de *Pinus hondurensis*, o qual é objeto de estudo deste trabalho, cujas imagens digitalizadas em tons de cinza são apresentadas no ANEXO A, não apresenta nenhum tipo de defeito biológico ou de fabricação.

No entanto, o referido conjunto de placas, foi ordenado, pelos especialistas, em três subconjuntos ou classes, “B”, “C” e “S”, das quais a primeira é dita de melhor qualidade, a segunda de qualidade intermediária e a terceira de qualidade inferior às outras duas.

Dessa forma deve haver um conjunto de características, conhecidas pelos especialistas, que à medida em que se manifestem, nas superfícies das placas, contribuem para o estabelecimento das classes a que as mesmas pertençam.

Alternativamente, pode-se dizer que a subdivisão do conjunto de placas nas classes, “B”, “C” e “S”, se deu em função de características, que em última instância podem ser chamadas de “defeitos”, se for considerado que a presença dos mesmos podem torná-las impróprias para a fabricação de lápis.

3.2 Métodos para detecção de defeitos em madeira

A inspeção visual pode ser feita automaticamente ou por inspetores treinados.

SZIMANI & McDONALD (1981), analisaram vários métodos com potencial, isoladamente ou em conjunto, para a detecção de defeitos em madeira. Sendo eles:

- Ultra-sônico;
- por Microondas;
- por Raios-x;
- por Bombardeamento de neutrons;
- Ótico;

Cada método tem suas limitações e aplicações específicas.

Otimização do desdobro, avaliação das dimensões do material e qualidade são os requisitos que levam à necessidade de sistemas de inspeção automatizados que operem em tempo real na linha de produção.

Segundo SZIMANI & McDONALD (1981), existe a necessidade de sistemas para avaliação da qualidade da madeira. A indústria madeireira, reconhece que os sistemas de detecção automáticos de defeitos em madeira pagam-se a si mesmos pelo aumento da produção, uniformidade e pelo valor dos produtos de madeira.

3.2.1 Ultra-som

Trata-se de um método não-destrutivo para avaliação de materiais ("Nondestructive Evaluation - NDE), que possui potencial para revelar defeitos que não são superficialmente visíveis.

Esse método baseia-se no fato de que a velocidade da propagação do ultra-som no interior da madeira depende de características relacionadas aos defeitos presentes internamente como, nós, podridões, etc. Outra característica importante a respeito da propagação do sinal de ultra-som no interior da madeira, está relacionada à orientação das fibras ou grã. Na direção da grã, tanto a amplitude quanto a velocidade do sinal, sofrem mínima atenuação.

Há dois métodos de inspeção de madeiras comumente usados, chamados respectivamente, "Through-transmission" e "Pulsed-echo", os quais são detalhados a seguir.

O método de detecção de defeitos denominado "Through-transmission", utiliza dois transdutores de ultra-som posicionados um em cada lado do objeto sendo inspecionado.

No transdutor transmissor, é aplicado um pulso de duração suficiente para conter vários ciclos de um sinal elétrico na faixa de frequências de ultra-som. Esse sinal se propaga no interior da madeira, sendo que, parte do mesmo atinge o transdutor receptor e outra parte retorna ao transdutor transmissor. A porção de energia refletida se dá pela existência de "falhas" no caminho utilizado pelo ultra-som.

O método de inspeção "pulsed-echo", utiliza apenas um transdutor, de modo que apenas a porção da energia refletida é observada. Na figura 8, são esquematizados os métodos "through-transmission" e "pulsed-echo".

FIGURA 8 - Métodos de inspeção "through-transmission" e "pulsed-echo".

Algumas limitações inerentes à aplicação desses métodos são: a dificuldade de se varrer toda a superfície do material sendo inspecionado (posicionamento dos transdutores), contato físico com o material, e a necessidade de serem realizados sob a água (acoplamento ultra-sônico), SZYMANI & McDONALD (1981).

FULLER et al. (1995), utilizaram o método NDE "through-transmission" em tábuas de carvalho vermelho de 3 cm de largura. As medições foram realizadas perpendicularmente às fibras, com sinal de 84 KHz. Nesse experimento foi observado que a presença de nós aumentava significativamente a velocidade de propagação do ultra-som no interior da madeira.

3.2.2 Microondas

É um método do tipo NDE, no qual são empregadas frequências que variam de 300 MHz a 300 GHz.

Neste método, a madeira atua como meio de propagação do sinal, sendo que suas velocidade e atenuação, captadas por uma antena são relacionadas a diversos tipos de defeitos.

Pelo emprego do método de inspeção por microondas, um material homogêneo pode ser caracterizado quanto à permeabilidade magnética, quanto ao coeficiente dielétrico e quanto à condutividade eletromagnética.

Existem vários processos pelos quais os materiais sob inspeção podem interagir com as microondas, sendo eles: por reflexão, por refração, por espalhamento, absorção e dispersão.

Este método é adequado para detecção de vazios no interior da madeira, direção da grã, bem como para a determinação do seu teor de umidade ("Moisture Content" (MC)), SZYMANI & McDONALD (1981).

3.2.3 Raios-x

Os raios-x são ondas eletromagnéticas com comprimento na faixa de 0,01 a 100 Å. Ao passarem por um material parte delas são transmitidas, parte absorvida. A porção dos raios-x que atravessa o material, por fim, choca-se com a superfície de um filme sensível, onde são registradas.

Adicionalmente ao uso de filme radiográfico, os raios-x podem ser convertidos em luz visível, por telas fluorescentes ou diodos foto sensíveis.

Pode-se determinar a distância percorrida pelos raios-x medindo-se seu decréscimo em intensidade ou a densidade de um dado material determinando-se a quantidade de energia absorvida, SZYMANI & McDONALD (1981).

HOAG & McKIMMY (1988), compararam as técnicas por exposição de filme radiográfico e por varredura direta na determinação de densidade aparente de seções finas de madeira, pelo que concluíram ser a segunda técnica mais prática. Segundo os autores, algumas das propriedades da madeira que podem ser derivadas dessas técnicas incluem: densidade média dos anéis de crescimento, densidade média dos lenhos inicial e tardio, largura do anel de crescimento, entre outras.

3.2.4 Bombardeamento de neutrons

Trata-se de um método do tipo NDE, que pode penetrar camadas mais espessas, ou materiais mais densos do que os que podem ser inspecionados pelo método por raios-x.

Pode ser implementado de modo a se obter uma radiografia do material, similarmente ao que ocorre com o método por raios-x, ou pela utilização de cintiladores de neutrons, os quais emitem luz visível quando estimulados. Essa luz, pode ser amplificada e detectada por câmeras de televisão.

O método de inspeção de materiais por bombardeamento de neutrons, em especial, a cintilografia de neutrons, pode ser usado em sistemas de tempo real, na determinação da densidade, espessura e identificação de falhas internas. No entanto, apresenta os riscos inerentes, devido à radiação e redução da sensibilidade ao ser aplicado a materiais de espessura reduzida, SZYMANI & McDONALD (1981).

3.2.5 Método ótico

O método ótico, esquematizado na figura 9, é apropriado para a detecção de defeitos visíveis na superfície da madeira, tais como nós, podridão, manchas, furos, bolsas de resina, presença de casca, esmoados, fibras com viés, rachas, e desvio nas dimensões.

Os sistemas que se utilizam do método ótico possuem basicamente uma fonte de luz, um sensor de luminosidade um amplificador e um dispositivo de saída.

FIGURA 9 - Método de inspeção ótico.

Quando a luz atinge um objeto ela pode ser absorvida, transmitida e/ou refletida. A quantidade da variação da luz refletida é a forma primária usada na busca ("scanning") de defeitos em madeira. A energia da luz refletida é influenciada por dois fatores:

1. A reflexibilidade do objeto, isto é,

A relação entre a energia que incide sobre o objeto e a energia que o mesmo reflete.

2. O tipo de reflexão resultante, que pode ser especular, difusa ou uma combinação das duas.

A imagem, captada pela câmera, é então digitalizada em tons de cinza ou em cores, a qual serve como base para aplicação de técnicas que manipulam os elementos da imagem, ou "pixels".

Pesquisas realizadas no campo de inspeção visual de defeitos em superfície de madeira por SOBEY & SEMPLE (1989), CONNERS et al. (1983) e KOIVO & KIM (1989), têm indicado a aplicação de métodos estatísticos para a manipulação dessas imagens.

SOBEY & SEMPLE (1989), realizaram um trabalho no qual o objetivo foi o de detectar defeitos presentes na superfície de placas de madeira da espécie *Pinus radiata*. As

características citadas no artigo são: nós, buracos, medula, inclusões de casca, bolsa de resina e tingimento azul ou “bluestain”. Os anéis de crescimento e os espaços entre eles, são considerados o “fundo” sob o qual os defeitos ocorrem.

Para compor o vetor de características, foram usadas medidas tonais como média, variância e curtose. Segundo os autores, a inclusão da medida do coeficiente do momento de assimetria adicionou pouco poder de discriminação ao método, e por isso não foi utilizada na composição do vetor de características. As medidas tonais (média, variância e curtose), em associação com um classificador, detectaram as características citadas com eficiência de 98%.

A técnica utilizada, consiste na divisão das imagens das placas de madeira em retângulos não sobrepostos dos quais são computadas medidas tonais. Cada retângulo, ou área local, é classificado separadamente. As áreas identificadas como “contendo características”, são juntadas, se necessário, à áreas vizinhas para compor características, como por exemplo um nó.

É importante destacar que, nesse trabalho, o classificador implementado teve como tarefa decidir se uma determinada amostra pertencia à classe denominada “contendo características” ou à classe “madeira limpa”.

CONNERS et al. (1983), utilizaram as mesmas medidas tonais citadas nos parágrafos acima em conjunto com medidas computadas a partir de matrizes de co-ocorrência na classificação de defeitos em placas de madeira do tipo “southern red oak”.

Nos trabalhos de SOBEY & SEMPLE (1989), CONNERS et al. (1983) e de KOIVO & KIM (1989), foram usadas medidas tonais baseadas em estatística de primeira ordem, tais como média, variância, do coeficiente do momento de assimetria e curtose, para extração de características texturais de madeira. KOIVO & KIM (1989), incluíram a mediana.

Capítulo 4

TEXTURA

4.1 Introdução

Um grande número de definições existem na literatura especializada, do que vem a ser textura.

GONZALEZ & WINTS (1987), relacionam os descritores de textura como um meio de mensurar propriedades como suavidade, aspereza e regularidade.

PRATT (1978), classifica texturas em dois grupos: artificiais e naturais. Texturas artificiais são compostas por símbolos, como segmentos de linhas, pontos, caracteres alfanuméricos, etc., colocados sob um fundo neutro. Texturas naturais são encontradas em cenas naturais contendo arranjos de pixels semi-repetitivos, como as que ocorrem em uma parede de tijolos, na areia, na grama, etc.

FIGURA 10 - Tela.

FIGURA 11 - Parede.

As figuras 10 e 11, são exemplos de texturas artificiais, criadas a partir de segmentos de linhas.

As figuras 12, 13 e 14, são exemplos de texturas naturais, respectivamente de uma grade, de grama e uma parede de tijolos.

FIGURA 12 - Grade.

FIGURA 13 - Grama.

FIGURA 14 - Tijolos à vista.

Como formas de se definir textura, são destacadas duas definições.

Pela primeira, textura é um tipo de medida usada para descrever arranjos bi-dimensionais de variações de intensidades. Esses arranjos de intensidades estariam sujeitos a regras de posicionamento e espaçamento.

Em outra definição, são destacados três ingredientes dos quais textura parece depender:

1. Alguma organização, ou arranjo local, que se repete em uma região, onde o tamanho do arranjo local é bem menor que o tamanho da região;
2. A organização consiste de arranjos não aleatórios de partes elementares;
3. As partes são entidades aproximadamente uniformes tendo aproximadamente as mesmas dimensões em toda a área da região texturizada.

CHARNIAK & McDERMOTT (1987), definem textura como a organização de uma superfície com um conjunto de elementos repetidos. O modo como esses elementos variam pode dar informações relativas a mudanças de profundidade e orientação da superfície.

Para FISHLER (1987), textura está relacionada às percepções humanas a respeito das superfícies que podem ser descritas como fina, grossa, suave, granular, aleatória, etc. As texturas são construídas através de elementos básicos. Em uma parede de tijolos o elemento básico (retângulo) pode ser facilmente detectado e a relação entre esses elementos pode ser descrita. Esses tipos de texturas possuem macroestrutura ou estrutura celular. Texturas como as vistas em fotografias aéreas não possuem elementos básicos que possam ser descritos facilmente. A esse outro tipo de textura dá-se o nome de textura microestruturada.

KULKARNI (1994), relata que textura pode ser definida como um relacionamento mútuo entre valores de intensidade de pixels vizinhos que se repetem por uma grande área maior que o tamanho dos relacionamentos.

Textura pode ser usada na segmentação ou partição de uma imagem em regiões homogêneas, FISCHLER (1987).

4.2 Abordagens para a descrição de texturas

Segundo GONZALEZ & WINTZ (1987), as três principais abordagens usadas em processamento de imagem para descrever a textura de uma região são:

- Espectral
- Estrutural
- Estatística

Em FISCHLER (1987), as abordagens Estatística e Espectral são especialmente recomendadas para texturas micro estruturadas. Outra abordagem para micro estruturas é a de modelamento baseada em funções fractais. A abordagem Estrutural envolve o conhecimento das primitivas ou elementos que formam uma determinada textura e a inter-relação espacial entre eles.

4.2.1 Abordagem Espectral

Essa abordagem é especialmente própria para descrever a direcionalidade de padrões periódicos ou semi-periódicos, e é baseada nas propriedades da transformada de Fourier, KULKARNI (1994).

Assim, os espectros de potência obtidos a partir desses padrões, tendem a apresentar picos nas frequências espaciais correspondentes, BALLARD & BROWN (1982).

4.2.2 Abordagem Estrutural

Pela abordagem estrutural uma dada textura é vista como a repetição de primitivas ou padrões, os quais obedecem a alguma regra de posicionamento para sua geração, BALLARD & BROWN (1982).

BALLARD & BROWN (1982) e KULKARNI (1994), usam o nome “texel”, para designar primitivas visuais com certas propriedades invariantes, que ocorrem repetidamente em diferentes posições , deformações ou orientações dentro de uma área da imagem e podem ser pixels ou agregados de pixels.

As texturas apresentadas nas figuras 12 e 14, respectivamente denominadas Grade e Tijolos à vista, são exemplos nos quais o elemento ou primitiva repetido e a regra de posicionamento dos mesmos podem ser facilmente identificados.

Em determinados casos, tais primitivas e regras de posicionamento somente podem ser visualizadas em escala microscópica, em outros esses elementos e regras nem mesmo existem.

A descrição de texturas por essa abordagem se faz pelo uso de gramáticas, que têm por objetivo descrever as regras que as governam. Alguns exemplos de gramáticas citadas por BALLARD & BROWN (1982) são, gramática de formas, de árvores e de vetores.

4.2.3 Abordagem Estatística

Descreve a textura por meio de regras estatísticas que governam a distribuição e a relação entre seus níveis de cinza.

Essa abordagem serve às texturas que não possuem boa regularidade geométrica, BALLARD & BROWN (1982).

As estatísticas podem ser inferidas a partir do histograma relativo a uma determinada área da imagem e, desse, podem ser obtidas sua média, desvio-padrão, coeficiente de assimetria e de curtose, que quantificam aspectos das texturas como intensidade e homogeneidade. A esse conjunto de medidas, ou características, dá-se o nome de Estatísticas de primeira ordem.

Em contra-partida às características estatísticas de primeira ordem, que levam em conta somente a probabilidade da ocorrência de um pixel de um determinado nível de cinza em uma área de imagem, podem ser computadas as estatísticas de segunda ordem que levam em conta a posição da ocorrência de pares de pixels dispostos a uma dada distância e orientação.

CONNERS & HARLOW (1980), realizaram estudos teóricos comparativos com quatro algoritmos utilizados como descritores de textura e apontaram um algoritmo, "Spatial Gray Level Dependence Method" (SGLDM), baseado em estatística de segunda ordem como sendo o melhor, o qual pertence a abordagem estatística.

O algoritmo SGLDM foi utilizado por CONNERS et al. (1983), como parte do sistema de inspeção visual automático de madeira, denominado "Automated Lumber Processing System" (ALPS), o qual também utilizava estatísticas de primeira ordem. Nesse sistema, a superfície das tábuas de madeira são varridas por câmeras de vídeo conectadas ao computador, que analisa suas imagens digitalizadas quanto aos aspectos tonais e texturais para identificar e localizar defeitos.

Segundo o trabalho publicado por McMILLIN et al. (1984), o ALPS utiliza-se de estatísticas de primeira ordem, para quantificar propriedades tonais, como madeira clara, escura, nós, etc.; estatísticas de segunda ordem para quantificar propriedades texturais, como as que ocorrem em regiões de madeira clara ou com defeitos.

4.2.3.1 Abordagem de primeira ordem

Medidas estatísticas de primeira ordem realizadas sob o histograma de uma área de imagem, podem ser usadas para descrição de textura como citado em GONZALEZ & WINTZ (1987).

O histograma de uma imagem é definido como a função discreta $p(z_i) = n_i/n$, onde z_i é o i -ésimo nível de cinza, n_i é o número de pixels da imagem com este nível de cinza e n é o número total de pixels da imagem. Em outras palavras, pode-se dizer que o histograma de uma imagem ou área de imagem, dá as probabilidades de ocorrência dos níveis de cinza i , na mesma.

FIGURA 15 - Histograma da placa B01S.

FIGURA 16 - Histograma da placa B28S.

Nas figuras 15 e 16, são exibidos os histogramas das placas B01S e B28S, as quais podem ser vistas no ANEXO A.

GONZALEZ & WOODS (1993), relatam que a função $p(z_i)$, dá uma estimativa da probabilidade de ocorrência dos pixels de intensidade z_i , na imagem.

Como z é uma variável aleatória que denota os níveis de cinza de uma imagem ou região, e $p(z_i)$, $i=1,2,...,L$ o histograma correspondente, onde L é o número de níveis de cinza distintos, o valor médio dos níveis de cinza do histograma relativo a uma área de uma imagem pode ser usado como uma medida global da relação claro-escuro da imagem.

A média é definida como:

$$m = \sum_{i=1}^L z_i p(z_i)$$

O histograma da figura 15, possui média de 0,165 e o da figura 16, média de 0,458, o que em outras palavras, quer dizer que a placa B28S, é muito mais clara que a B01S, que por sua vez, segundo essa característica, é a mais escura de todo o conjunto do ANEXO A.

A formulação geral do n-ésimo momento em relação à média é definido como:

$$\mu_n = \sum_{i=1}^L (z_i - m)^n p(z_i)$$

Onde:

m é o valor médio de z ;

n indica a ordem do momento;

$p(z_i)$ é a probabilidade de ocorrência do pixel de intensidade i na imagem.

O momento de ordem zero, resulta em $\mu_0 = 1$, ou seja o somatório da probabilidade de ocorrência de todos os pixels de uma dada área da imagem é igual a um.

O momento de ordem um é $\mu_1 = 0$.

O momento de ordem dois, também chamado de variância, é uma medida de contraste global.

$$\sigma^2 = \mu_2 = \sum_{i=1}^L (z_i - m)^2 p(z_i)$$

A variância, também pode ser usada como um descritor de suavidade, como é citado em GONZALEZ & WINTZ (1987).

$$R = 1 - \frac{1}{1 + \sigma^2(z)}$$

Além da média e da variância, que são computadas a partir do histograma de uma região da imagem, também podem ser quantificados seus graus de assimetria e achatamento em relação à distribuição normal.

Em SPIEGEL (1985), assimetria é definida como o grau de desvio ou afastamento da simetria, de uma distribuição. Para um curva perfeitamente simétrica, como a distribuição normal, o Coeficiente do Momento de Assimetria é nulo.

Uma medida da assimetria da distribuição de freqüências foi utilizada por CONNERS et al. (1983) e SOBEY & SEMPLE (1989).

Nas figuras 17 e 18, estão representadas duas distribuições de freqüência, com assimetria positiva e negativa.

FIGURA 17 -
Assimetria
positiva.

FIGURA 18 -
Assimetria
negativa

O Coeficiente do Momento de Assimetria, ou “skewness” como é chamado por CONNERS et al. (1983) e SOBEY & SEMPLE (1989) é definido como:

$$a_3 = \mu_3 = \frac{\sum_{i=1}^L (z_i - m)^3 p(z_i)}{\sigma^{3/2}}$$

Outra medida utilizada na caracterização do formato de uma distribuição de freqüências é o Coeficiente do Momento de Curtose.

Segundo a definição encontrada em SPIEGEL (1985), Curtose é o grau de achatamento de uma distribuição em relação à uma distribuição normal. Em outras palavras, é uma medida do quão plano é o histograma de uma imagem.

Quanto ao grau de achatamento, uma distribuição de freqüências pode ser denominada:

- Platicúrtica: quando seu topo é achatado
- Mesocúrtica: distribuição normal
- Leptocúrtica: quando tem um pico relativamente alto

As quais podem ser vistas nas figuras 19, 20 e 21, respectivamente.

FIGURA 19 -
Platicúrtica.

FIGURA 20 -
Normal

FIGURA 21 -
Leptocúrtica.

Uma formulação do Coeficiente do Momento de Curtose baseada no quarto momento centrado na média, expressa sob forma não dimensional, é dada em SPIEGEL (1985), como:

$$a_4 = \mu_4 = \frac{\sum_{i=1}^L (z_i - m)^4 p(z_i)}{\sigma^2}$$

$a_4 = 3$, a distribuição é normal;

$a_4 < 3$, a distribuição é platicúrtica;

$a_4 > 3$, a distribuição é leptocúrtica.

4.2.3.2

Abordagem de segunda ordem

Estatísticas de primeira ordem, como média, variância, assimetria e curtose, realizadas sob o histograma de uma imagem, são limitadas como descritores de textura por não levarem em conta a posição relativa da ocorrência dos diversos níveis de cinza em uma imagem.

Assim, considerando-se duas imagens, I_1 e I_2 , nas figuras 22 e 23 respectivamente, com apenas dois níveis de cinza, $z_0 = 0$, correspondendo ao preto e $z_1 = 1$, correspondendo ao branco, se I_1 for metade branca e metade preta e I_2 for xadrez, as duas imagens darão origem a histogramas com as mesmas distribuições de níveis de cinza, ROSENFELD & KAK (1982). Disso, decorre o fato, que as estatísticas realizadas a partir dos dados desses histogramas resultarão nos mesmos valores, o que tornaria impossível a distinção das duas imagens.

FIGURA 22 - Imagem I_1

FIGURA 23 - Imagem I_2

JULESZ (1975), realizou experimentos de discriminação de pares de texturas geradas por processos de Markov, nos quais as imagens, em dois níveis de cinza, correspondentes às texturas, possuíam igual número de pontos dispostos de maneiras diferentes. Duas imagens, f_1 e f_2 , semelhantes às que são apresentadas nas figuras 24 e 25, respectivamente, foram geradas, sendo que na primeira um número n de pontos ou pixels de intensidade $z_0 = 0$, correspondendo ao preto, foram aleatoriamente ajustados contra um fundo de intensidade $z_1 = 1$, correspondendo ao branco. Na imagem f_2 , o mesmo número de pixels n com intensidade z_0 foram ajustados contra um fundo de intensidade z_1 , porém, foi adotada uma regra de posicionamento, pela qual, dois pixels não poderiam avizinhar-se a menos de dez pixels (ou o diâmetro equivalente) um do outro.

FIGURA 24 - Textura f_1 . FIGURA 25 - Textura f_2 .

Dessa forma, as duas imagens possuíam estatísticas de primeira ordem iguais, isto é, média, variância, etc. Diante desta situação, JULESZ (1975), propôs o uso de estatística de segunda ordem, que leva em conta a posição relativa dos pixels em uma imagem, para a discriminação das imagens f_1 e f_2 .

Assim como as estatísticas de primeira ordem são realizadas sob o histograma da imagem, as estatísticas de segunda ordem são realizadas sob distribuições de probabilidades de segunda ordem, PRATT (1978), ou matrizes de co-ocorrência.

De maneira bem simples, dando seqüência ao exemplo da discriminação das imagens f_1 e f_2 , lança-se mão de um dipolo r , com determinado tamanho e orientação, que é “posicionado” sobre a imagem. Quando dois pixels de intensidade z_0 coincidem com as extremidades desse dipolo, um contador de ocorrências de pares de pixels de intensidade zero é incrementado. Para a estimativa da probabilidade de ocorrência dos pixels z_0 na imagem, o número de ocorrências obtido, é dividido pelo número máximo de ocorrências possíveis, sob as condições impostas pelo tamanho do dipolo d e pela orientação utilizada no seu posicionamento.

Como as distribuições nas imagens f_1 e f_2 diferem quanto à granularidade ou textura, a probabilidade do dipolo r , $p(r)$, “tocar” dois pontos em cada uma das imagens é diferente.

Em adição aos experimentos com pares de texturas com estatísticas de primeira ordem iguais mas com estatísticas de segunda ordem diferentes, JULESZ (1975), questionou-se a respeito do que aconteceria se um par de texturas geradas por processos de Markov que possuísem estatísticas de primeira e segunda ordens idênticas mas que diferissem em estatísticas de terceira ordem fossem comparadas. A conclusão foi de que não poderiam ser discriminadas, salvo em um caso muito particular.

FIGURA 26 - Disposição dos pixels para contagem de ocorrências.

Desses experimentos advém a conjectura de JULESZ (1975), a respeito de pares de textura, que diz: “ Nenhum par de texturas pode ser discriminado se suas estatísticas de segunda ordem forem concordantes”.

Na implementação computacional do estimador das distribuições de probabilidade de segunda ordem, de uma determinada imagem digital, especifica-se valores discretos para o tamanho e a orientação do dipolo r . A orientação, em θ graus, desse dipolo é dada pelo segmento de reta de tamanho d , que une dois pixels posicionados nas coordenadas $f(k, l) = z_i$ e $f(m, n) = z_j$, e a reta $R = x = k$, conforme ilustra a figura 26.

HARALICK & SHANMUGAM (1973), desenvolveram um procedimento para extração de características texturais de Matrizes de Dependência Espacial dos Tons de Cinza (*Spatial Grey Tone Dependence Matrix*) para a análise automática de imagens da estrutura porosa de rochas.

Outras denominações para as Matrizes de Dependência Espacial dos Tons de Cinza são:

- Matriz de Dependência Espacial dos Níveis de Cinza;
- Matriz de Co-ocorrência dos Níveis de Cinza (*Gray-Level Co-occurrence Matrix - GLC*) conforme PECKINPAUGH (1991).

O procedimento desenvolvido por HARALICK & SHANMUGAM (1973), possui estreita relação com a conjectura de JULESZ (1975), pois as características texturais são calculadas a partir de Matrizes de Co-ocorrência dos Níveis de Cinza, que por sua vez correspondem às estatísticas de segunda ordem da imagem ou de uma região da mesma.

No trabalho realizado por HARALICK & SHANMUGAM (1973), para o cômputo das matrizes de co-ocorrência foram usadas quatro direções discretas, θ (0, 45, 90 e 135°) para o posicionamento do dipolo r , e uma distância d ($d=1$). A seguinte métrica foi utilizada para o cálculo da distância entre dois pixels:

$$d((k,l), (m,n)) = \max \{ |k-m|, |l-n| \}$$

As equações para a contagem da ocorrência dos pixels em uma imagem f , dispostos d pixels um do outro nas direções 0, 45, 90 e 135°, são apresentadas abaixo:

$$A_{d,0}(i,j) = \# \{ ((k,l), (m,n)) \in f \mid k-m = 0, |l-n| = d, f(k,l) = z_i, f(m,n) = z_j \}$$

$$A_{d,45}(i,j) = \# \{ ((k,l), (m,n)) \in f \mid (k-m = d, l-n = -d) \text{ OU } (k-m = -d, l-n = d), f(k,l) = z_i, f(m,n) = z_j \}$$

$$A_{d,90}(i,j) = \# \{ ((k,l), (m,n)) \in f \mid |k-m| = d, l-n = 0, f(k,l) = z_i, f(m,n) = z_j \}$$

$$A_{d,135}(i,j) = \# \{ ((k,l), (m,n)) \in f \mid (k-m = d, l-n = d) \text{ OU } (k-m = -d, l-n = -d), f(k,l) = z_i, f(m,n) = z_j \}$$

Nas figuras 27 a 30, estão mostradas duas matrizes, uma representando uma imagem I e outra a contagem das ocorrências para distância 1 e direções 0° , 45° , 90° e 135° , respectivamente.

FIGURA 27 - Contagem de ocorrências de pares de pixels dispostos a $d = 1$, $\theta = 0^\circ$.

FIGURA 28 - Contagem de ocorrências de pares de pixels dispostos a $d = 1$, $\theta = 45^\circ$.

FIGURA 29 - Contagem de ocorrências de pares de pixels dispostos a $d = 1$, $\theta = 90^\circ$. FIGURA 30 - Contagem de ocorrências de pares de pixels dispostos a $d = 1$, $\theta = 135^\circ$.

Para cada uma das quatro direções e distâncias, são contados o número de vezes que os pixels de intensidade z_i e z_j ($i, j = 0, \dots, L-1$) ocorrem na imagem. Esses valores, são organizados em forma de uma matriz, na qual o elemento de $A_{d,\theta}(i,j)$ é igual ao número de vezes que dois pixels de intensidade z_i e z_j ocorreram na imagem a uma distância d e direção θ . A matriz $A_{d,\theta}(i,j)$ é simétrica e possui dimensão $L \times L$.

Em ROSENFELD & KAK (1982) e GONZALEZ & WINTZ (1987), as matrizes de co-ocorrências obtidas não são simétricas, pois para uma dada distância e direção, considera-se a ocorrência dos pixels z_i e z_j somente no sentido do primeiro para o segundo.

Para a obtenção da matriz de co-ocorrência $P_{d,\theta}$, a qual é uma estimativa da distribuição de probabilidade de segunda ordem, deve-se normalizar $A_{d,\theta}$ pelo número máximo de ocorrências possíveis para a distância e orientação utilizadas, $R|_{d,\theta}$.

O número máximo de ocorrências, ou pares de pixels, $R|_{d,\theta}$ também varia em função da dimensão da imagem. Se uma imagem f possuir dimensão $M \times N$, os valores de $R|_{d,\theta}$ podem ser expressos das seguintes formas :

$$R|_{d,0^\circ} = 2 N (M - d)$$

$$R|_{d,45^\circ} = 2 (N - d) (M - d)$$

$$R|_{d,90^\circ} = 2 M (N - d)$$

$$R|_{d,135^\circ} = 2 (M - d) (N - d)$$

Por conseguinte as matrizes de co-ocorrência são dadas pela seguinte expressão:

$$P_{d,\theta} = P(i, j | d, \theta) = A_{d,\theta} / R|_{d,\theta}$$

PRATT (1978), apresentou histogramas bi-dimensionais da contagem das ocorrências e pares de pixels obtidos a partir da aplicação da equação $A_{d,\theta}(i,j)$ às imagens apresentadas nas figuras 12 (Grade), 13 (Grana) e 14 (Tijolos `a vista), os quais podem ser vistos respectivamente nas figuras 31, 32 e 33 a seguir, respectivamente.

FIGURA 31 - Representação de $A_{d,0^\circ}$ para a imagem da figura 12

FIGURA 32 - Representação de $A_{d,0^\circ}$ para a imagem da figura 13

FIGURA 33 - Representação de $A_{4,0^\circ}$ para a imagem da figura 14

Esses histogramas bi-dimensionais ao serem representados graficamente tornam-se representações tri-dimensionais, nas quais, seus eixos x e y , correspondem aos valores de intensidades dos pixels da imagem e o eixo z , ao número de ocorrências dos pixels de intensidade i e j .

HARALIK et al. (1973) e HARALICK & SHANMUGAN (1973) propuseram um conjunto de quatorze características computadas a partir das matrizes de co-ocorrência as quais servem para: quantificar determinados aspectos relativos às texturas das imagens; realizar uma segunda redução na quantidade de dados; e para utilização em vetores de característica em algoritmos de Reconhecimento de Padrão.

Esse procedimento pode ser melhor compreendido pelo figura 34, abaixo:

FIGURA 34 - Representação do método SGLDM.

Dentre as características pode-se destacar:

Segundo Momento Angular (ASM ou f_1):-

$$ASM = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L [P(i, j | d, \theta)]^2$$

Contraste (CONT ou f_2):-

$$CONT = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L (i - j)^2 P(i, j | d, \theta)$$

Momento diferença inverso (IDM ou f_3):-

$$IDM = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L [1 + (i - j)^2]^{-1} P(i, j | d, \theta)$$

Entropia (ENT ou f_9):-

$$ENT = - \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L P(i, j | d, \theta) \log[P(i, j | d, \theta)]$$

KULKARNI (1994), relata que as medidas denominadas ASM e ENT, correspondem à medidas da “homogeneidade” da imagem e CONT à uma medida das variações de intensidade.

FISHLER (1987), apresenta o nome “energia”, como alternativa ao nome ASM e GONZALEZ & WINTZ (1987), também a denominam “uniformidade”.

Sobre a característica IDM, ROSENFELD & KAK (1982), explicam que seu valor atinge o máximo quando a concentração na diagonal for máxima. Adicionalmente, os autores comentam que os valores de ASM, são menores quando todos os elementos da matriz de co-ocorrência são iguais, e maiores quando são muito diferentes.

A etapa de pré-processamento, que pode ser vista na figura 34, constitui-se na equalização do histograma da imagem. Há duas razões pelas quais se deve fazer a equalização. A primeira é para que haja uma redução dos níveis de cinza da imagem, o que torna a matriz de co-ocorrência resultante com dimensões mais fáceis de se manipular, e a segunda é para que as medidas de segunda-ordem (ASM, CONT,..., etc), não dependam das propriedades tonais da imagem, visto que, o histograma equalizado possui formato próximo de plano.

As características de segunda-ordem apresentadas nesta seção, apresentam estreita relação com algumas das característico-propriedades, citadas no capítulo 3 .item 1, adicionalmente seguem as linhas de pesquisa na área de inspeção visual automática de superfícies de Madeira estabelecidas por SOBEY & SEMPLE (1989), CONNERS et al. (1983) e KOIVO & KIM (1989).

Capítulo 5

CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE PLACAS

5.1 Introdução

Este trabalho é desenvolvido em duas fases distintas, sendo que na primeira são investigadas características físicas da madeira e na segunda são extraídas características tonais das imagens digitalizadas das superfícies das placas de madeira e apresentadas no ANEXO A.

Os experimentos realizados na primeira fase visam a compreensão dos critérios utilizados na classificação realizada “a priori” pelos especialistas, na especificação das três classes que dizem respeito à qualidade da madeira para produção de lápis.

Os experimentos realizados na segunda fase visam a verificação da viabilidade da utilização de características tonais e texturais, quanto à capacidade discriminativa das classes 'B', 'C' e 'S', definidas pelos especialistas.

5.2 Primeira fase: Análise do conjunto de amostras

Nesta fase, dois tipos de medições físicas são realizadas, a fim de se compreender quais aspectos influenciaram os especialistas na classificação “a priori” das cento e duas placas de madeira em três classes, inicialmente designadas respectivamente por, classe “B”, classe “C” e classe “S”.

Há fortes indícios de que fatores como a densidade e o método de desdobro tenham sido uns dos critérios utilizados pelos especialistas na classificação das placas de madeira.

Sendo assim, são realizados dois experimentos, nos quais são determinadas a inclinação dos anéis de crescimento na seção transversal e as densidades aparentes nas placas, respectivamente.

5.2.1 Experimento 1: Determinação da Densidade Aparente

Neste experimento investiga-se a possibilidade de as classes de placas 'B', 'C' e 'S', estabelecidas pelos especialistas, estarem relacionadas com as densidades aparentes das mesmas.

Os valores das densidades aparentes das cento e duas placas de madeira, apresentados no ANEXO C, são ordenados de forma crescente, mantendo-se o "rótulo" das placas que as deram origem. A essa forma de apresentação dos dados se dá o nome de 'rol', a qual é apresentada na Tabela 7.

A fim de se estabelecer 'classes de densidade aparente' e confrontá-las com as classes a priori, faz-se necessário definir o número de classes e suas amplitudes, ou os valores mínimos e máximos de densidade aparente que recaem em cada classe. Na Estatística básica, FONSECA & MARTINS (1938), dão uma regra prática pela qual o número de classes (k), pode ser definido como o número inteiro mais próximo obtido pela extração da raiz quadrada do número de amostras (cento e duas, neste experimento; $k = \sqrt{102} \cong 10$).

Para efeitos de praticidade, as dez classes de densidade aparente serão denominadas, D1 a D10, sendo a classe de densidade aparente D1 aquela que possui amostras de menor densidade e a de densidade aparente D10 a de amostras com maior densidade.

Para definir-se a amplitude das classes (h), calcula-se primeiramente, a amplitude total do rol das amostras (r), que se faz pela subtração do maior pelo menor valor do rol das densidades aparentes, resultando em $r = 0,33947 \text{ g/cm}^3$, em seguida aplicando-se a fórmula $h = r / k$, obtém-se a amplitude das classes, $h \cong 0,034$. O rol das densidades aparentes, das cento e duas placas é apresentado na Tabela 7.

Assim, a classe de densidade aparente D1, inicia-se com a amostra de menor densidade, $0,38071 \text{ g/cm}^3$, estendendo-se até o limite deste valor adicionado à constante h , ou seja, $0,41471 \text{ g/cm}^3$.

TABELA 7 - Rol das densidades aparentes das placas do ANEXO A.

Placa nº	Densidade (g/cm ³)	Placa nº	Densidade (g/cm ³)	Placa nº	Densidade (g/cm ³)
B07	0,38071	B29	0,44847	S12	0,54527
B23	0,38580	B32	0,44947	C30	0,55342
B06	0,39334	C04	0,44981	S34	0,55948
B28	0,39744	B10	0,45254	S06	0,56025
B12	0,39928	C22	0,45553	S14	0,56203
B30	0,39970	B33	0,45569	C27	0,56735
B19	0,39972	B14	0,45618	C02	0,57103
B20	0,40171	C16	0,45889	S30	0,57313
B09	0,40235	C17	0,46047	S23	0,57366
B26	0,40355	C21	0,46273	S09	0,57583
B27	0,40462	C19	0,46686	S26	0,58449
B11	0,40836	C32	0,46943	S07	0,58830
B03	0,41592	C15	0,47132	C01	0,59479
B13	0,41750	C24	0,47227	S32	0,60240
B04	0,41790	C11	0,47720	S31	0,60466
B21	0,41840	S05	0,47748	S03	0,60550
C33	0,41901	B02	0,48857	S02	0,60581
B18	0,41913	C20	0,48982	S25	0,61404
B25	0,42404	C03	0,49107	S16	0,61837
C05	0,42783	C26	0,49384	S13	0,61881
C07	0,42812	C25	0,49551	S19	0,62956
B15	0,42986	C09	0,49718	S28	0,63165
C34	0,43218	C31	0,50019	S11	0,63281
C08	0,43300	C13	0,50117	S08	0,63405
B16	0,43303	C28	0,50236	S22	0,64459
C23	0,43354	S20	0,50532	S15	0,64539
B34	0,43736	C18	0,50719	S17	0,64606
B22	0,43839	S21	0,50739	S01	0,64778
C06	0,43866	S18	0,51255	S10	0,65050
B08	0,43922	B01	0,52645	S27	0,66464
B24	0,44179	C14	0,53014	S33	0,66708
C12	0,44419	B17	0,53686	S04	0,67963
B05	0,44600	C29	0,54033	S29	0,71414
B31	0,44742	C10	0,54332	S24	0,72018

A classe D2, contém as amostras cuja densidade aparente estão entre 0,41471 e $0,41471+h$, ou $0,41471 \leq D2 < 0,44871$, ou simplesmente $0,41471 \vdash 0,44871$. Os limites das classes D2 a D10 foram calculados de forma análoga.

Desta forma, a distribuição de frequências das classes de densidade D1 a D10, pode ser apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 - Placas do ANEXO A reclassificadas segundo a densidade aparente

Classes de densidade aparente (g/cm^3)	Nome da classe	Frequência	Identificação das placas em cada classe
$0,38071 \vdash 0,41471$	D1	12	B07, B23, B06, B28, B12, B30, B19, B20, B09, B26, B27, B11
$0,41471 \vdash 0,44871$	D2	23	B03, B13, B04, B21, C33, B18, B25, C05, C07, B15, C34, C08, B16, C23, B34, B22, C06, B08, B24, C12, B05, B31, B29
$0,44871 \vdash 0,48271$	D3	15	B32, C04, B10, C22, B33, B14, C16, C17, C21, C19, C32, C15, C24, C11, S05
$0,48271 \vdash 0,51671$	D4	13	B02, C20, C03, C26, C25, C09, C31, C13, C28, S20, C18, S21, S18
$0,51671 \vdash 0,55071$	D5	6	B01, C14, B17, C29, C10, S12
$0,55071 \vdash 0,58471$	D6	9	C30, S34, S06, S14, C27, C02, S30, S23, S09
$0,58471 \vdash 0,61871$	D7	9	S26, S07, C01, S32, S31, S03, S02, S25, S16
$0,61871 \vdash 0,65271$	D8	10	S13, S19, S28, S11, S08, S22, S15, S17, S01, S10
$0,65271 \vdash 0,68671$	D9	3	S27, S33, S04
$0,68671 \vdash 0,72071$	D10	2	S29, S24

A classe de densidade aparente D1, a qual é composta de doze amostras, apresenta apenas placas classificadas pelos especialistas como classe 'B'.

A classe de densidade aparente D2, não apresenta nenhuma placa proveniente da classe 'S'. Nessa classe, quinze das vinte e três placas que a compõem provem da classe 'B' e as oito placas restantes são provenientes da classe 'C'.

As classes de densidade aparente D3, D4 e D5, são compostas por placas provenientes das três classes estabelecidas pelos especialistas porém, em proporções diferentes. Na classe D3, há mais placas da classe 'C', seguida pelas placas da classe 'B' e pelas placas da classe 'S', nas respectivas proporções de quatro para quinze, dez para quinze e de uma para quinze. Na classe de densidade aparente D4, as proporções de placas das classe 'B', 'C' e 'S', são respectivamente de, uma para treze, nove para treze e de três para treze. Na classe de densidade D5, as proporções são de duas para seis, três para seis e de uma para seis, placas das classes 'B', 'C' e 'S', respectivamente.

As classes de densidade aparente D6 e D7, não apresentam placas provenientes da classe 'B'. As proporções das placas da classe 'C' e 'S' nas classe D6 e D7 são de três para nove e de seis para nove; e de uma para nove e de oito para nove, respectivamente.

As classes de densidade aparente D8, D9 e D10, apresentam apenas placas provenientes da classe 'S'. Estas três classes conjuntamente possuem quinze amostras.

Dessas observações feitas pode-se estabelecer claramente que doze das trinta e quatro placas da classe 'B' são as menos densas de todo o conjunto de cento e duas placas, sendo que foram classificadas como tendo densidade aparente D1.

No outro extremo das classes de densidade, pode-se notar que quinze das trinta e quatro placas da classe 'S', foram classificadas como tendo densidade aparente maior ou igual a D8, sendo portanto as mais densas de todo o conjunto de cento e duas placas.

Na faixa de densidades intermediárias, destacam-se as classes D6 e D7, por não possuírem placas da classe 'B' e as classes D3, D4 e D5 por possuírem proporcionalmente mais placas da classe 'C' do que placas das classes 'B' ou 'S'. Por fim, na classe de densidade aparente D2, portanto bastante baixa, não existe ocorrências de placas da classe 'S', havendo mais placas da classe 'B' do que da classe 'C'.

Na Tabela 9, são apresentadas as relações ou as probabilidades de se obter placas classificadas pelos especialistas, ou a priori, com classes de densidades de D1 a D10.

Em relação às placas da classe 'B', pode-se notar que todas possuem classe de densidade variando da classe D1 a D5, isso vale dizer que existe cem por cento de probabilidades de que as placas desta classe possuam densidade aparente variando de 0,38071 g/cm³ a 0,55071 g/cm³ (exclusive).

As placas da classe 'C' constituem-se em um conjunto de placas de densidade intermediária, cujas classes de densidade variam de D2 a D7.

A respeito das placas da classe 'S' pode-se observar que existem 85,29% de probabilidade de que possuam classes de densidade entre D6 e D10 e 14,71% de probabilidades de que estejam entre as classes de densidade D3 a D5.

Na Tabela 9, as proporções das densidades D1 a D10 em cada classe a priori 'B', 'C' e 'S' são apresentadas efetivando-se dessa forma a caracterização dessas classes quanto à densidade aparente.

Tabela 9 - Relação entre as classes a priori e densidade aparente

Classes a priori	Classe de densidade aparente									
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
B	12/34	15/34	4/34	1/34	2/34	-	-	-	-	-
C	-	8/34	10/34	9/34	3/34	3/34	1/34	-	-	-
S	-	-	1/34	3/34	1/34	6/34	8/34	10/34	3/34	2/34

5.2.2 Experimento 2: Verificação do método de desdobro

Neste experimento investiga-se a possibilidade de as classes de placas 'B', 'C' e 'S', estabelecidas pelos especialistas, estarem relacionadas com os métodos de desdobro tangencial, radial ou misto.

Para essa finalidade, as inclinação dos anéis de crescimento foram medidas na seção transversal, de cada uma das centro duas placas de madeira, anotando-se a menor e a maior inclinação de cada uma.

Os resultados estão apresentados no ANEXO B, nas Tabelas 1, 2 e 3, para as placas das classes 'B', 'C' e 'S', respectivamente.

As Tabelas 1, 2 e 3 do ANEXO B, apresentam a classificação de cada placa segundo o método de desdobro, tendo em vista as seguintes métricas:

tangencial¹ (T1): 0° - 45°

tangencial² (T2): 0° - 30°

radial¹ (R1): 45° - 90°

radial² (R2): 61° - 90°

mista (M): 31° - 60° (ou as que não se enquadram entre as 'T1', 'T2', 'R1' ou 'R2')

Pela observação dos dados do ANEXO B, parte-se para a verificação da possibilidade levantada a cerca das classes estabelecidas a priori estarem relacionadas aos métodos de desdobro a que foram submetidas.

Na Tabela 10, estão representadas as cento e duas placas do conjunto de experimentos classificadas pelos especialistas como 'B', 'C' e 'S', reclassificadas segundo os métodos de desdobro tangencial, radial ou misto.

Para a classificação das placas como sendo pertencentes aos métodos de desdobro radial e tangencial foram usadas duas métricas para cada método. A métrica denominada tangencial² é mais rígida do que a tangencial¹, sendo que a primeira admite inclinação dos anéis de crescimento na seção transversal da placa entre 0° e 30° em relação ao plano da face larga, enquanto que a outra é mais flexível admitindo variações entre 0° e 45°.

Em relação ao método de desdobro radial, também existem duas métricas: radial¹ a qual admite variações na inclinação dos anéis de crescimento entre 45° e 90° e radial² cujos

limites para as inclinações vão de 61° a 90°, sendo portanto esta última mais rígida que a primeira.

Tabela 10 - Placas do ANEXO A reclassificadas segundo o método de desdobro

Classe de Desdobro	Classes a priori		
	‘B’	‘C’	‘S’
Tangencial ¹ (T1)	B26	-	S01, S02, S03, S04, S06, S08, S09, S10, S11, S13, S16, S17, S18, S19, S20, S21, S23, S25, S26, S27, S29, S30, S31, S32, S34
Tangencial ² (T2)	-	-	S01, S03, S06, S09, S10, S11, S13, S16, S17, S18, S20, S21, S23, S26, S27, S31,
Mista (M)	B01, B02, B03, B04, B06, B07, B09, B11, B12, B13, B14, B15, B16, B17, B19, B20, B21, B22, B23, B25, B27, B28, B29, B30, B31, B32, B34	C01, C02, C03, C04, C09, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C17, C18, C20, C21, C22, C24, C25, C26, C27, C28, C29, C30	S05, S07, S12, S14, S15, S22, S24, S28, S33
Radial ¹ (R1)	B05, B08, B10, B18, B24, B33	C05, C06, C07, C08, C16, C19, C23, C31, C32, C33, C34	
Radial ² (R2)	B10	C05, C06, C08, C16, C19, C32, C33, C34	-

As placas que não se enquadraram nos métodos de desdobro tangencial ou radial foram classificadas como mistas, podendo apresentar inclinações variando entre 31° e 60° ou de 0° a 90°.

As placas da classe 'B', foram em grande maioria classificadas como mistas, seguidas pela classificação 'R1', possuindo apenas uma placa com método de desdobro 'T1'. Uma possível explicação para o fato de a placas B26 ter tido essa classificação, pode ser sua localização no interior do tronco, bem próxima à medula, visto que a mesma apresenta aspecto 'limpo', típico de madeira juvenil, conforme pode ser observada na Figura 60 do ANEXO A, não se parecendo com a maioria das amostras tangenciais.

Conforme foi afirmado anteriormente, as métricas 'T2' e 'R2', são mais rígidas que as métricas 'T1' e 'R1', de modo que nenhuma placa classe 'B' foi classificada como 'T2' e apenas uma foi classificada como 'R2'.

Em resumo, na classe 'B' vinte e sete placas foram classificadas como 'M', seis foram classificadas como 'R1' e apenas uma foi classificada como 'T1'.

As placas da classe 'C', em relação ao método de desdobro não tiveram nenhuma amostra classificada como 'T1' ou 'T2'. Desta forma, de um total de trinta e quatro placas da classe 'C', vinte e três foram classificadas como 'M', onze foram classificadas como 'R1' e oito como 'R2'.

Na Tabela 10, pode-se destacar o grande número de placas da classe 'S' reclassificadas como pertencentes aos métodos de desdobro 'T1' e 'T2'. De um total de trinta e quatro placas, vinte e cinco foram reclassificadas como 'T1', vinte como 'T2' e nove como placas 'M'. No conjunto das placas de classe 'S' não há portanto, segundo os critérios de classificação adotados, nenhuma placa radial.

A Tabela 11, resume as relações entre as classes a priori e os métodos de desdobro T1, M e R1, caracterizando-se desta forma as classes 'B', 'C' e 'S' quanto a esses métodos de desdobro.

Tabela 11 - Relação entre as classes a priori e método de desdobro

Classes a priori	Classes de desdobro		
	T1	M	R1
B	1/34	27/34	6/34
C	0/34	23/34	8/34
S	25/34	9/34	0/34

5.2.3 Experimento 3: Relações entre classes de densidade aparente e métodos de desdobro

Neste experimento investiga-se as relações entre as classes de densidade aparente D1 a D10 e os métodos de desdobro T1, M e R1.

Na Tabela 12, é mostrado o resultado do cruzamento das informações relativas às classes de densidade aparente e de classes de desdobro.

Tabela 12 - Classes de desdobro x classe de densidade aparente

Classes de desdobro	Classe de densidade aparente									
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
T1	1/26	-	-	3/26	-	5/26	7/26	7/26	2/26	1/26
M	11/59	12/59	10/59	9/59	6/59	4/59	2/59	3/59	1/59	1/59
R1	-	11/17	5/17	1/17	-	-	-	-	-	-

As placas T1 perfazem um total de vinte e seis, as placas M são o conjunto mais numeroso, possuindo cinquenta e nove exemplares, as placas radiais são as mais raras das amostras estudadas, somando um total de dezessete.

Da Tabela 12, pode-se verificar as diferenças em densidade aparente das placas classificadas como pertencentes aos métodos de desdobro R1 e T1.

Em relação às placas T1, 84,62% possuem densidade aparente entre as classes D6 a D10, sendo portanto de densidade alta. Apenas 15,38% das placas T1, possuem densidade D1 ou D4.

As placas mistas podem ser consideradas de densidade baixa, se admitir-se uma variabilidade entre as classes D1 e D5, faixa na qual situam-se 81,36% das mesmas. O restante das placas mistas, 18,64% possuem densidade aparente variando entre as classes D6 e D10.

As placas R1, possuem a mais baixa variação de densidade aparente de todos os métodos de desdobro considerados. Todas as dezessete placas R1, possuem densidade aparente variando da classe D2 a D4, dessas 94,12% estão entre D2 e D3, e 5,88% recai na classe de densidade D4.

Pelos experimentos desta seção pode-se concluir que há relações bastante estreitas entre os métodos de desdobro e as classes de densidade.

5.3 Segunda fase: Análise das imagens das amostras

Os inspetores, que realizaram a classificação “a priori” das placas, nas classes “B”, “C” e “S”, a fizeram considerando apenas os aspectos visuais observados nas seções longitudinais das mesmas, isto é, inspecionando visualmente as duas faces mais largas das placas.

De uma forma genérica, as placas classificadas “a priori” como “B” são mais claras e mais homogêneas que as que se encontram nas classes “C” e “S”, respectivamente.

Da mesma forma pode-se dizer que as placas “S” são muito menos homogêneas e de modo geral mais escuras que as placas das classes “B” e “C”, respectivamente.

Para a “quantificação” dos aspectos visuais presentes nas superfícies das placas, são aplicados métodos estatísticos, de primeira ordem, sobre os pixels de suas respectivas imagens.

Nos experimentos a seguir, são aplicados métodos estatísticos de primeira ordem, a fim de se obter informações tonais e estatísticas de segunda ordem para a obtenção de informações texturais.

Para a realização deste experimento, a face superior das cento e duas placas de madeira, as quais correspondem às figuras do ANEXO A, das três classes, foram digitalizadas com o auxílio de uma câmera e uma placa “frame-grabber” conectada a um microcomputador, no formato 128 x 256 pixels em 256 níveis de cinza. Essas imagens foram gravadas em arquivos tipo “bit-map”, para serem posteriormente processados pelos experimentos descritos nesta seção.

5.3.1 Experimento 4: Relações entre as classes a priori e as características tonais, média e variância

Neste experimento são extraídas características estatísticas de primeira ordem, a partir dos histogramas das imagens digitalizadas das placas de madeira.

As características utilizadas são a média e a variância, com o intuito de se quantificar respectivamente o quão clara ou escura é uma dada imagem e a sua homogeneidade.

Do processamento das cento e duas imagens do ANEXO A, pelos programas para MATLAB, apresentados no APÊNDICE 1, obteve-se um valor de média e um valor de variância correspondente a cada placa.

Esses valores de média e de variância foram organizados em dez classes adotando-se o mesmo procedimento dos experimentos anteriores. As classes de médias foram chamadas de classe M1 a M10, correspondendo a primeira às menores e a última às maiores médias. De modo semelhante as classes de variância foram chamadas de classes V1 a V10.

De cada classe de média e de variância, anotou-se os 'rótulos' das placas a estas associadas, de modo que se pode conhecer as proporções das classes a priori em cada classe de média ou variância.

As Tabelas 13 e 14, resumem os experimentos realizados nesta seção, indicando as proporções das classes a priori em relação às classes das médias e das variâncias, respectivamente.

Tabela 13 - Relação entre as classes a priori e medida tonal média

Classes a priori	Classe de medida tonal média									
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
B	3/34	6/34	4/34	5/34	3/34	4/34	3/34	3/34	2/34	1/34
C	1/34	3/34	5/34	7/34	7/34	7/34	3/34	1/34	-	-
S	-	4/34	6/34	4/34	5/34	8/34	4/34	2/34	1/34	-

Pela análise das Tabelas 13 e 14, pode-se verificar que essas duas medidas tonais não são capazes de discriminar nenhuma das classes a priori estabelecidas como 'B', 'C' e 'S'.

Tabela 14 - Relação entre as classes a priori e medida tonal variância

Classes a priori	Classe de medida tonal variância									
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
B	3/34	7/34	3/34	5/34	5/34	4/34	2/34	3/34	1/34	1/34
C	1/34	3/34	8/34	8/34	5/34	6/34	2/34	1/34	-	-
S	1/34	3/34	2/34	7/34	7/34	7/34	2/34	5/34	-	-

Se considerarmos que as placas da classe 'B' possuem aspecto limpo e em grande maioria são as mais claras, era de se esperar que as médias mais altas, próximas a M10, tivessem grande quantidade de placas 'B'.

Algo semelhante pode-se dizer a respeito das placas da classe 'S', as quais possuem grande variação de intensidades. Era de se esperar que tais placas possuíssem variância destacada, isto é, que a quantidade de placas a priori classificadas como 'S', nas classes próximas à classe de variância V10, a máxima, fosse alta.

5.3.2 Experimento 5: Avaliação das texturas de placas selecionadas

Neste experimento a característica estatística de segunda ordem, segundo momento angular, é extraída das imagens das placas de madeira apresentadas no ANEXO A, com o objetivo de avaliar suas habilidades em discriminar suas respectivas texturas. O Segundo Momento Angular (ASM), foi escolhido por quantificar a ‘homogeneidade’ das imagens, KULKARNI (1994) ou uniformidade, segundo GONZALEZ & WINTZ (1987).

Pela avaliação das cento e duas placas de madeira *Pinus caribaea var. hondurensis*, as quais constituem o objeto de estudo desta dissertação, foram selecionados alguns exemplares que representassem as diversas texturas encontradas no conjunto como um todo. Desta forma foram selecionadas as imagens correspondentes às placas S15, C07, B05, S06, B10, B26. As imagens utilizadas neste experimento correspondem à face inferior das referidas placas, diferentemente do que é apresentado no ANEXO A. No entanto, dado a grande similaridade entre as faces superior e inferior, dessas placas, as mesmas poderão ser referenciadas no ANEXO A.

As matrizes de co-ocorrência, das quais são extraídas as características estatísticas de segunda ordem, foram computadas a partir de sub-áreas das imagens originais das placas de madeira. Assim, cada imagem, correspondente às placas de madeira, foi dividida em oito sub-imagens de 64 x 64 pixels. Cada sub-imagem sofreu redução na quantidade de níveis de cinza de duzentos e cinquenta e seis para sessenta e quatro. A utilização de sub-áreas das imagens, para o cálculo das matrizes de co-ocorrência, se explica pelo fato de que as texturas ocorrem de forma não homogênea em cada imagem, tendo sido escolhida empiricamente. A redução dos níveis de cinza tem duas finalidades: reduzir as influências devido a variação de iluminação e a de diminuir a dimensão das matrizes de co-ocorrência. O programa utilizado neste experimento pode ser consultado no APÊNDICE 2.

A figura 35, mostra a posição relativa de cada sub-imagem em relação à imagem total das placas de madeira.

1	2	3	4
5	6	7	8

FIGURA 35 - Sub-áreas de 64x64

Pela implementação do método SGLDM à cada sub-área obteve-se quatro matrizes de co-ocorrência correspondentes às direções 0, 45, 90 e 135 graus, para o contagem de ocorrências de pares de pixels foi usada distância 'chess-board' igual a um, de forma similar ao que foi apresentado no Capítulo 4, item 2.3.2. Cada uma dessas matrizes deu origem a uma medida da característica estatística de segunda ordem denominada segundo momento angular. Para se obter uma medida de ASM invariante à posição, calculou-se a média dos quatro valores de segundo momento angular relativos às quatro direções.

As sub-áreas cujos números são 1, 4, 5 e 8, não foram usadas neste experimento por apresentarem marcas características das ferramentas de corte, que por sua vez alteravam significativamente os padrões de textura que se desejava investigar, desta forma foram consideradas as áreas centrais de cada imagem, correspondentes aos números 2, 3, 6 e 7.

O procedimento descrito nos parágrafos anteriores foi repetido nas sub-áreas já consideradas em todas as imagens selecionadas para este experimento.

O gráfico da figura 36, mostra as relações entre os valores de ASM médio e as áreas dos seis padrões de texturas utilizados.

FIGURA 36- Relações entre sub-áreas e medidas de ASM.

No eixo das abscissas estão as numerações de cada uma das sub-áreas de imagem correspondentes à figura 35.

Os valores de ASM médio obtidos para as sub-áreas da imagem referente à imagem da placa S15, demonstram uma ampla variação. A placa S15, foi classificada como tendo

classe de desdobro misto e classe de densidade 'D8' nos experimentos anteriores. Em seu aspecto visual, apresenta grande concentração de listras, o que faz lembrar do método de desdobro radial. Especial atenção deve ser dado ao fato de que os valores de ASM médio relativos às sub-áreas 2 e 3, as quais possuem maior quantidade de listras, são significativamente menores, do que os valores de ASM médio das outras duas sub-áreas, que por sua vez possuem menos listras. As sub-áreas 2 e 3 são visualmente menos homogêneas do que as sub-áreas 6 e 7.

A figura 37, mostra as quatro sub-áreas da imagem referente à face inferior da placa S15, ordenadas segundo o valor médio da característica estatística de segunda ordem, Segundo Momento Angular.

FIGURA 37 - Sub-áreas referentes à placa S15 ordenadas pelo ASM médio

As sub-áreas da imagem referente à placa C07 foram ordenadas segundo os valores de ASM médio conforme pode ser visto na figura 38.

FIGURA 38 - Sub-áreas referentes à placa C07 ordenadas pelo ASM médio

A placa C07, foi classificada quanto ao método de desdobro como pertencente à classe das placas 'radiais'(R1 e R2) e quanto a densidade como pertence à classe 'D2', nos experimentos anteriores. Seu aspecto visual é típico das placas radiais, possuindo listras distribuídas a distâncias mais ou menos iguais entre si. Observando-se o gráfico da figura 36, pode-se confirmar, devido à pequena variação dos valores de ASM médio de suas sub-áreas, a homogeneidade de sua área central, no entanto tais valores situam-se abaixo da metade da escala de ASM médio, indicando homogeneidade global próxima de média.

As texturas correspondes à imagem obtida a partir da placa B05, apresenta o aspecto visual da região da medula do tronco do pinheiro. Nos experimentos anteriores esta placa

foi classificada quanto ao método de desdobro como radial e quanto a densidade como 'D2'. Quanto ao valores de ASM médio de suas sub-áreas, possuem a mais baixa variação comparada a todos os outros padrões de textura, indicando a homogeneidade de sua quatro sub-áreas. No conjunto, apresenta ASM médio próximos à metade da escala.

Na figura 39, pode-se constatar visualmente a pequena variação entre as sub-áreas da referentes à placa B05.

FIGURA 39 - Sub-áreas referentes à placa B05 ordenadas pelo ASM médio

A placa S06, foi classificada, pelos experimentos anteriores, quanto ao método de desdobro como pertencente à classe das placas 'tangenciais' (T1 e T2) e quanto a densidade como pertence à classe 'D6'. Seu aspecto visual é típico das placas 'radiais', apresentando grandes variações em coloração e textura devido ao modo como os lenhos inicial e tardio são expostas em sua superfície.. De modo particular, a sub-área 2 apresenta o maior valor de ASM médio entre todas as suas quatro sub-áreas, o que pode ser confirmado visualmente pela pequena apresentação de lenho tardio em seu interior. Possuindo o menor valor de ASM médio, a sub-área 7, por sua vez, apresenta porções de lenho tardio.

Pela figura 40, pode-se visualizar as sub-áreas da imagem referente à placa S06 e constatar-se a grande diferença em homogeneidade entre as sub-áreas 7 e 2.

FIGURA 40 - Sub-áreas referentes à placa S06 ordenadas pelo ASM médio

O padrão de textura referente à placa B10, foi classificado quanto a classe de densidade aparente como 'D3' e quanto a classe de desdobro como 'R2', pelos experimentos anteriores. Suas sub-áreas ordenadas pelo ASM médio são mostradas na figura 41.

No gráfico da figura 36 pode-se verificar a ordem de magnitude de seu valores de ASM médio. Das quatro áreas avaliadas, a área 6 apresentou um valor de ASM médio muito maior que as outras.

Visualmente sua área número 6 não apresenta nenhuma característica que possa justificar tal valor. No entanto, o alto valor de ASM obtido a partir da área 6 é um indicativo da alta homogeneidade que esta área apresenta frente ao algoritmo (SGLDM) empregado. As outras sub-área possuem valores de ASM médio praticamente igual, segundo o gráfico do figura 36.

FIGURA 41 - Sub-áreas referentes à placa B10 ordenadas pelo ASM médio

A textura da imagem referente à placa B26 é bastante uniforme. Essa placa foi classificada quanto a classe de densidade aparente como 'D1' e quanto a classe de desdobro como 'T1', pelos experimentos anteriores. No item 2.2 deste Capítulo foi feita uma observação relativa ao aspecto visual da superfície da placa B26. A ordem de magnitude dos valores de ASM médio das sub-áreas da placa B26, podem ser observadas na figura 36.

A figura 42, apresenta essas sub-áreas ordenada segundo os valores de ASM médio. Visualmente há pouquíssima variação entre as sub-áreas extremas, de número 7 e seis.

FIGURA 42 - Sub-áreas referentes à placa B26 ordenadas pelo ASM médio

O gráfico da figura 43, sintetiza o experimento realizado nesta seção, demonstrando os valores da média e da variância das sub-áreas de cada placa.

Pode-se notar, pela figura 43, a alta variância nas medidas de ASM médio apresentadas pelas imagens das placas B10 e S15, o que reflete a heterogeneidade entre suas respectivas sub-áreas.

As imagens da placa B05, apresentaram a mais baixa variância em relação ao valores de ASM médio de suas sub-áreas, demonstrando alta homogeneidade. Na faixa das variâncias intermediárias situam-se as primeiramente imagens referentes às placas B26 e C07 seguidas pelas imagens da placa S06.

As imagens das placas B26 e C07, apresentaram valores da variância das medidas de ASM médio praticamente iguais, no entanto, a média dos valores de ASM médio de suas sub-áreas apresentam significativa diferença, indicando maior homogeneidade das imagens da placas B26 frente à placa C07. Comentário análogo pode ser feito em relação às imagens relativas às placas B10 e S15, na qual a primeira possui valor médio das médias de ASM muito maior que a segunda.

FIGURA 43 - Média e variância da sub-áreas de 64x64

Capítulo 6

CONCLUSÕES

6.1 Sobre a análise do conjunto de amostras

Pelo Experimento 1, todas as placas da classe 'B' foram enquadradas nas classes de densidade D1 a D5, o que vale a dizer que qualquer uma das trinta e quatro placas desta classe possui densidade aparente variando de $0,38071 \text{ g/cm}^3$ a $0,55071 \text{ g/cm}^3$ (exclusive). Pode-se concluir desta forma, que as placas da classe 'B', possuem densidade aparente 'baixa', visto que a maior classes é denominada D10, cujo limite de densidade é de $0,72071 \text{ g/cm}^3$.

As placas da classe 'C' estão enquadradas nas classes de densidade aparente D2 a D7, constituindo um conjunto cuja densidade situa-se na faixa de 'baixa para alta'. Na faixa das densidades baixas, isto é, de D1 a D5, foram enquadradas 30/34 placas da classe 'B', apenas 4/34 estão acima deste limite. As placas da classe 'B' de densidade 'baixa', possuem valores de densidade aparente entre $0,41471 \text{ g/cm}^3$ e $0,55071 \text{ g/cm}^3$ (exclusive). As placas 'B' de densidade alta possuem valores de densidade aparente entre $0,55071 \text{ g/cm}^3$ e $0,61871 \text{ g/cm}^3$ (exclusive).

As placas da classe 'S' constituem um conjunto cujas classes de densidade aparente variam de D3 a D10. Na faixa das densidades 'altas', isto é D5 a D10, foram enquadradas 30/34 placas desta classe. As placas da classe 'S' de densidade 'baixa', isto é abaixo de D5, perfazem um total de 4 /34.

Em resumo, o Experimento 1 mostrou que as placas da classe 'B' possuem densidade 'baixa', as placas da classe 'C' possuem densidade 'intermediária' e as placas da classe 'S' possuem densidade 'alta'.

No Experimento 2, as placas da classe 'B' foram enquadradas em grande maioria nas classes de desdobro mista (M) e radial¹ (R1). Assim, 33/34 amostras desta classe pertencem aos métodos de desdobro M e R1, restando apenas uma placas T1.

As placas da classe 'C', não possuem nenhuma amostra com método de desdobro T1, estando todo o conjunto enquadrado nos métodos M e R1. Proporcionalmente, 23/34 das placas desta classe são mistas e as oito restantes são tangenciais¹.

As placas da classe 'S' foram enquadradas nas classes de desdobro T1 e M, não havendo nenhuma placas desta classe enquadrada como R1.

Em resumo, as placas das classes 'B' e 'C' são essencialmente M e R1 e as placas da classe 'S' são T1 ou M.

No Experimento 3, investigou-se as relações entre as classes de densidade aparente D1 a D10 e as classes de métodos de desdobro T1, M e R1, do qual obteve-se as seguintes conclusões.

As placas classificadas ou enquadradas no método de desdobro T1, são em sua grande maioria de densidade 'alta', isto é, foram enquadradas em classes de densidades acima da classe D5.

As placas classificadas ou enquadradas no método de desdobro misto possuem densidade aparente variando desde a classe D1 até a classe D10. A relação entre as placas mistas de densidade 'baixa' e 'alta', é de 48/59 e 11/59, respectivamente, de onde pode-se verificar a maior proporção de placas mistas de densidade 'baixa' do que de densidade 'alta'.

As placas classificadas ou enquadradas no método de desdobro R1 foram enquadradas nas classes de densidade D2 a D4, o que equivale a se dizer que possuem densidade aparente variando de 0,41471 g/cm³ a 0,51671 g/cm³ (exclusive).

Em resumo, as placas T1 possuem densidade 'alta', as placas mistas, densidade 'baixa', e as placas R1, densidade baixa.

6.2 Sobre a análise das imagens das amostras

No Experimento 4, investigou-se as relações entre as características estatísticas de primeira ordem, descritoras de texturas, média e variância e as classes a priori, do qual se obteve as seguintes conclusões.

As características estatísticas texturais de primeira ordem, média e variância, não demonstraram poder discriminativos perante as classes a priori 'B', 'C' e 'S'.

No Experimento 5, aplicou-se a característica estatística de segunda ordem denominada, Segundo Momento Angular (ASM), em exemplares de placas possuindo texturas representativas de todo o conjunto.

Os resultados obtidos demonstraram grande valia, da característica citada, em ordenar sub-áreas das imagens referentes às placas de madeira segundo sua 'uniformidade' ou 'homogeneidade'. Estes resultados estão em acordo com KULKARNI (1994) e GONZALEZ & WINTZ (1987)., que indicam tal característica exatamente para essa finalidade.

6.3 Propostas para novos trabalhos

- ✓ Implementar classificadores utilizando características estatísticas de segunda ordem, bem como a investigação de outras características, além do Segundo Momento Angular.
- ✓ Reclassificar o conjunto de placas usadas nos experimentos considerando a existência de classes intermediárias às classes 'B', 'C' e 'S'.
- ✓ Experimentar diversos tamanhos de sub-áreas e quantizações, nas imagens das placas de madeira a fim de se aplicar o algoritmo SGLDM, de modo a se obter medidas texturais que reflitam os aspectos visuais presentes em suas superfícies.
- ✓ Aplicar algoritmos flexíveis na classificação das imagens das placas de madeira.

ANEXO A -

IMAGENS DIGITALIZADAS DE CENTO E DUAS PLACAS DE MADEIRA DE PINUS.

Neste seção, são apresentadas as imagens referentes às cento e duas placas de madeira para fabricação de lápis, da espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, utilizadas nos experimentos desenvolvidos neste trabalho.

O conjunto de cento e duas placas foi classificado a priori pelos fabricantes de lápis de modo que cada placa recebeu um número e uma letra . Assim há nesse conjunto trinta e quatro placas nas classes 'B', 'C' e 'S', respectivamente.

Em cada placa, foi definido arbitrariamente uma face denominada superior (S) e outra inferior, daí nomes com B01S (placa no. 01, da classe 'B', fase superior (S)).

As imagens mostradas nesta seção correspondem à digitalização das imagens das faces superiores, feitas por uma câmera e uma placa 'frame-grabber' conectadas a um computador PC compatível. Cada imagem possui a resolução de 128x256 pixels em 256 tons de cinza no formato 'bit-map'.

FIGURA 44 - Placa B01S.

FIGURA 48 - Placa B05S.

FIGURA 45 - Placa B02S.

FIGURA 49 - Placa B06S.

FIGURA 46 - Placa B03S.

FIGURA 50 - Placa B07S.

FIGURA 47 - Placa B04S.

FIGURA 51 - Placa B08S.

FIGURA 52 - Placa B09S.

FIGURA 56 - Placa B13S.

FIGURA 53 - Placa B10S.

FIGURA 57 - Placa B14S.

FIGURA 54 - Placa B11S.

FIGURA 58 - Placa B15S.

FIGURA 55 - Placa B12S.

FIGURA 59 - Placa B16S.

FIGURA 60 - Placa B17S.

FIGURA 64 - Placa B21S.

FIGURA 61 - Placa B18S.

FIGURA 65 - Placa B22S.

FIGURA 62 - Placa B19S.

FIGURA 66 - Placa B23S.

FIGURA 63 - Placa B20S.

FIGURA 67 - Placa B24S.

FIGURA 68 - Placa B25S.

FIGURA 72 - Placa B29S.

FIGURA 69 - Placa B26S.

FIGURA 73 - Placa B30S.

FIGURA 70 - Placa B27S.

FIGURA 74 - Placa B31S.

FIGURA 71 - Placa B28S.

FIGURA 75 - Placa B32S.

FIGURA 76 - Placa B33S.

FIGURA 77 - Placa B34S.

Trinta e quatro placas da classe "C"

FIGURA 78 - Placa C01S.

FIGURA 81 - Placa C04S.

FIGURA 79 - Placa C02S.

FIGURA 82 - Placa C05S.

FIGURA 80 - Placa C03S.

FIGURA 83 - Placa C06S.

FIGURA 84 - Placa C07S.

FIGURA 88 - Placa C11S.

FIGURA 85 - Placa C08S.

FIGURA 89 - Placa C12S.

FIGURA 86 - Placa C09S.

FIGURA 90 - Placa C13S.

FIGURA 87 - Placa C10S.

FIGURA 91 - Placa C14S.

FIGURA 92 - Placa C15S.

FIGURA 96 - Placa C19S.

FIGURA 93 - Placa C16S.

FIGURA 97 - Placa C20S.

FIGURA 94 - Placa C17S.

FIGURA 98 - Placa C21S.

FIGURA 95 - Placa C18S.

FIGURA 99 - Placa C22S.

FIGURA 100 - Placa C23S.

FIGURA 104 - Placa C27S.

FIGURA 101 - Placa C24S.

FIGURA 105 - Placa C28S.

FIGURA 102 - Placa C25S.

FIGURA 106 - Placa C29S.

FIGURA 103 - Placa C26S.

FIGURA 107 - Placa C30S.

FIGURA 108 - Placa C31S.

FIGURA 110 - Placa C33S.

FIGURA 109 - Placa C32S.

FIGURA 111 - Placa C34S.

Trinta e quatro placas da classe "S".

FIGURA 112 - Placa S01S.

FIGURA 116 - Placa S05S.

FIGURA 113 - Placa S02S.

FIGURA 117 - Placa S06S.

FIGURA 114 - Placa S03S.

FIGURA 118 - Placa S07S.

FIGURA 115 - Placa S04S.

FIGURA 119 - Placa S08S.

FIGURA 120 - Placa S09S.

FIGURA 124 - Placa S13S.

FIGURA 121 - Placa S10S.

FIGURA 125 - Placa S14S.

FIGURA 122 - Placa S11S.

FIGURA 126 - Placa S15S.

FIGURA 123 - Placa S12S.

FIGURA 127 - Placa S16S.

FIGURA 128 - Placa S17S.

FIGURA 132 - Placa S21S.

FIGURA 129 - Placa S18S.

FIGURA 133 - Placa S22S.

FIGURA 130 - Placa S19S.

FIGURA 134 - Placa S23S.

FIGURA 131 - Placa S20S.

FIGURA 135 - Placa S24S.

FIGURA 136 - Placa S25S.

FIGURA 140 - Placa S29S.

FIGURA 137 - Placa S26S.

FIGURA 141 - Placa S30S.

FIGURA 138 - Placa S27S.

FIGURA 142 - Placa S31S.

FIGURA 139 - Placa S28S.

FIGURA 143 - Placa S32S.

FIGURA 144 - Placa S33S.

FIGURA 145 - Placa S34

ANEXO B -

VERIFICAÇÃO DO MÉTODO DE DESDOBRAMENTO DE CORTA E DUAS PLACAS DE MADEIRA DE PINUS

Nesta seção são apresentados os resultados do experimento proposto no Capítulo 5, item 2.2, cujo objetivo era o da verificação do método de desdobro de cortas e duas placas de madeira para fabricação de lápis da espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

O procedimento adotado foi o mesmo utilizado por OLSON & FLACKER (1986), o qual utiliza-se de um transferidor para medir-se a menor e a maior inclinação dos anéis de crescimento nas seções transversais das placas. Esses ângulos foram anotados, de modo que cada placa recebeu uma classificação de métodos de desdobro, segundo as seguintes métricas:

tangencial¹ (T1): 0° - 45°

tangencial² (T2): 0° - 30°

radial¹ (R1): 45° - 90°

radial² (R2): 61° - 90°

mista (M): 31° - 60° (ou as que não se enquadram entre as 'T1', 'T2', 'R1' ou 'R2')

Os resultados foram agrupados em três tabelas, segundo a classificação a priori feita pelos especialistas citada no Capítulo 1.

Tabela 1 - Método de desdobro das placas da classe B.

Placa	Inclinação dos anéis em graus		Método empregado no corte				
	menor	maior	tangencial ¹	radial ¹	tangencial ²	radial ²	mista ²
B01	0.0	64.0	-	-	-	-	X
B02	35.0	52.0	-	-	-	-	X
B03	35.0	65.0	-	-	-	-	X
B04	35.0	55.0	-	-	-	-	X
B05	49.0	73.0	-	X	-	-	-
B06	0.0	56.0	-	-	-	-	X
B07	0.0	70.0	-	-	-	-	X
B08	54.0	65.0	-	X	-	-	-
B09	0.0	71.0	-	-	-	-	X
B10	64.0	75.0	-	X	-	X	-
B11	0.0	83.0	-	-	-	-	X
B12	24.0	59.0	-	-	-	-	X
B13	0.0	69.0	-	-	-	-	X
B14	0.0	55.0	-	-	-	-	X
B15	0.0	71.0	-	-	-	-	X
B16	0.0	82.0	-	-	-	-	X
B17	0.0	82.0	-	-	-	-	X
B18	49.0	78.0	-	X	-	-	-
B19	0.0	66.0	-	-	-	-	X
B20	0.0	71.0	-	-	-	-	X
B21	0.0	71.0	-	-	-	-	X
B22	34.0	68.0	-	-	-	-	X
B23	0.0	57.0	-	-	-	-	X
B24	50.0	73.0	-	X	-	-	-
B25	0.0	73.0	-	-	-	-	X
B26	0.0	42.0	X	-	-	-	-
B27	0.0	58.0	-	-	-	-	X
B28	0.0	56.0	-	-	-	-	X
B29	0.0	70.0	-	-	-	-	X
B30	0.0	67.0	-	-	-	-	X
B31	0.0	74.0	-	-	-	-	X
B32	0.0	70.0	-	-	-	-	X
B33	53.0	54.0	-	X	-	-	-
B34	0.0	82.0	-	-	-	-	X

Tabela 2 - Método de desdobro das placas da classe C.

Placa	Inclinação dos anéis em graus		Método empregado no corte				
	menor	maior	tangencial ¹	radial ¹	tangencial ²	radial ²	mista ²
C01	21.0	55.0	-	-	-	-	X
C02	0.0	68.0	-	-	-	-	X
C03	0.0	77.0	-	-	-	-	X
C04	0.0	77.0	-	-	-	-	X
C05	61.0	86.0	-	X	-	X	-
C06	61.0	75.0	-	X	-	X	-
C07	56.0	80.0	-	X	-	-	-
C08	82.0	90.0	-	X	-	X	-
C09	0.0	89.0	-	-	-	-	X
C10	23.0	75.0	-	-	-	-	X
C11	0.0	76.0	-	-	-	-	X
C12	24.0	75.0	-	-	-	-	X
C13	35.0	68.0	-	-	-	-	X
C14	18.0	70.0	-	-	-	-	X
C15	43.0	72.0	-	-	-	-	X
C16	86.0	89.0	-	X	-	X	-
C17	34.0	71.0	-	-	-	-	X
C18	26.0	68.0	-	-	-	-	X
C19	82.0	89.0	-	X	-	X	-
C20	21.0	61.0	-	-	-	-	X
C21	40.0	83.0	-	-	-	-	X
C22	41.0	77.0	-	-	-	-	X
C23	60.0	78.0	-	X	-	-	-
C24	0.0	75.0	-	-	-	-	X
C25	28.0	59.0	-	-	-	-	X
C26	18.0	75.0	-	-	-	-	X
C27	0.0	50.0	-	-	-	-	X
C28	0.0	52.0	-	-	-	-	X
C29	28.0	51.0	-	-	-	-	X
C30	0.0	49.0	-	-	-	-	X
C31	58.0	87.0	-	X	-	-	-
C32	83.0	84.0	-	X	-	X	-
C33	70.0	79.0	-	X	-	X	-
C34	73.0	88.0	-	X	-	X	-

Tabela 3 - Método de desdobro das placas da classe S.

Placa	Inclinação dos anéis em graus		Método empregado no corte				
	menor	maior	tangencial ¹	radial ¹	tangencial ²	radial ²	mista ²
S01	0.0	18.0	X	-	X	-	-
S02	0.0	39.0	X	-	-	-	-
S03	0.0	36.0	X	-	-	-	-
S04	0.0	36.0	X	-	-	-	-
S05	0.0	51.0	-	-	-	-	X
S06	0.0	24.0	X	-	X	-	-
S07	0.0	52.0	-	-	-	-	X
S08	20.0	39.0	X	-	-	-	-
S09	0.0	26.0	X	-	X	-	-
S10	0.0	24.0	X	-	X	-	-
S11	0.0	26.0	X	-	X	-	-
S12	0.0	46.0	-	-	-	-	X
S13	0.0	17.0	X	-	X	-	-
S14	10.0	52.0	-	-	-	-	X
S15	21.0	61.0	-	-	-	-	X
S16	0.0	19.0	X	-	X	-	-
S17	0.0	29.0	X	-	X	-	-
S18	0.0	30.0	X	-	X	-	-
S19	0.0	32.0	X	-	-	-	-
S20	0.0	21.0	X	-	X	-	-
S21	0.0	24.0	X	-	X	-	-
S22	32.0	64.0	-	-	-	-	X
S23	0.0	22.0	X	-	X	-	-
S24	0.0	59.0	-	-	-	-	X
S25	0.0	36.0	X	-	-	-	-
S26	0.0	25.0	X	-	X	-	-
S27	0.0	23.0	X	-	X	-	-
S28	19.0	47.0	-	-	-	-	X
S29	0.0	41.0	X	-	-	-	-
S30	0.0	32.0	X	-	-	-	-
S31	0.0	26.0	X	-	X	-	-
S32	0.0	34.0	X	-	-	-	-
S33	0.0	71.0	-	-	-	-	X
S34	0.0	41.0	X	-	-	-	-

Anexo C -

DENSIDADE APARENTE DE CENTO E DUAS PLACAS DE MADEIRA DE PINUS.

Nesta seção são apresentados os resultados do experimento proposto no Capítulo 5, item 2.1, cujo objetivo era o de determinar a densidade aparente de cento e duas placas de madeira para fabricação de lápis, da espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Cada placa teve suas dimensões, altura, largura e comprimento, medidas com um paquímetro, para a determinação de seus volumes. As placas foram pesadas em uma balança digital, de modo que se obteve suas respectivas massas. Pela relação da massa pelo volume obteve-se a densidade aparente, cujos resultados foram agrupados em três tabelas segundo as classes a priori estabelecidas pelos especialistas, conforme foi mencionado no Capítulo 1.

Tabela 4 - Densidade aparente das placas da classe B.

Placa nº	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
B01	72,63781	38,24	0,52645
B02	66,23425	32,36	0,48857
B03	66,52704	27,67	0,41592
B04	67,74399	28,31	0,41790
B05	67,60159	30,15	0,44600
B06	67,01596	26,36	0,39334
B07	67,26839	25,61	0,38071
B08	67,34704	29,58	0,43922
B09	67,42828	27,13	0,40235
B10	68,03866	30,79	0,45254
B11	67,66153	27,63	0,40836
B12	67,84759	27,09	0,39928
B13	67,25672	28,08	0,41750
B14	67,89018	30,97	0,45618
B15	68,16213	29,3	0,42986
B16	68,12453	29,5	0,43303
B17	68,73341	36,9	0,53686
B18	66,9243	28,05	0,41913
B19	67,32212	26,91	0,39972
B20	67,13827	26,97	0,40171
B21	67,4719	28,23	0,41840
B22	67,65636	29,66	0,43839
B23	66,45955	25,64	0,38580
B24	67,29432	29,73	0,44179
B25	66,71552	28,29	0,42404
B26	67,35226	27,18	0,40355
B27	67,49587	27,31	0,40462
B28	68,08594	27,06	0,39744
B29	67,407	30,23	0,44847
B30	65,77391	26,29	0,39970
B31	67,38663	30,15	0,44742
B32	67,10176	30,16	0,44947
B33	67,15148	30,6	0,45569
B34	67,08361	29,34	0,43736

Tabela 5 - Densidade aparente das placas da classe C.

Placa nº	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
C01	72,7657	43,28	0,59479
C02	67,9127	38,78	0,57103
C03	73,41105	36,05	0,49107
C04	66,65108	29,98	0,44981
C05	67,47935	28,87	0,42783
C06	66,40665	29,13	0,43866
C07	67,38786	28,85	0,42812
C08	66,41989	28,76	0,43300
C09	67,25901	33,44	0,49718
C10	68,81753	37,39	0,54332
C11	66,07307	31,53	0,47720
C12	67,35892	29,92	0,44419
C13	67,66173	33,91	0,50117
C14	67,62418	35,85	0,53014
C15	67,42801	31,78	0,47132
C16	67,38043	30,92	0,45889
C17	67,5183	31,09	0,46047
C18	67,62693	34,3	0,50719
C19	67,81441	31,66	0,46686
C20	67,88257	33,25	0,48982
C21	68,05232	31,49	0,46273
C22	67,6129	30,8	0,45553
C23	67,23791	29,15	0,43354
C24	67,35571	31,81	0,47227
C25	68,37372	33,88	0,49551
C26	68,3413	33,75	0,49384
C27	67,22468	38,14	0,56735
C28	67,76001	34,04	0,50236
C29	67,58808	36,52	0,54033
C30	66,82105	36,98	0,55342
C31	67,27448	33,65	0,50019
C32	67,69955	31,78	0,46943
C33	66,46591	27,85	0,41901
C34	66,93977	28,93	0,43218

Tabela 6 - Densidade aparente das placas da classe S.

Placa nº	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
S01	70,28641	45,53	0,64778
S02	74,85824	45,35	0,60581
S03	75,42493	45,67	0,60550
S04	73,02494	49,63	0,67963
S05	70,20142	33,52	0,47748
S06	68,00543	38,1	0,56025
S07	68,19704	40,12	0,58830
S08	66,27194	42,02	0,63405
S09	67,60626	38,93	0,57583
S10	66,21108	43,07	0,65050
S11	66,11797	41,84	0,63281
S12	67,60012	36,86	0,54527
S13	68,24343	42,23	0,61881
S14	67,02481	37,67	0,56203
S15	69,95775	45,15	0,64539
S16	67,11198	41,5	0,61837
S17	68,5536	44,29	0,64606
S18	67,73944	34,72	0,51255
S19	68,11095	42,88	0,62956
S20	70,41023	35,58	0,50532
S21	67,6006	34,3	0,50739
S22	67,14369	43,28	0,64459
S23	67,63547	38,8	0,57366
S24	67,78879	48,82	0,72018
S25	67,09691	41,2	0,61404
S26	68,09318	39,8	0,58449
S27	69,6169	46,27	0,66464
S28	66,42922	41,96	0,63165
S29	67,57812	48,26	0,71414
S30	68,30953	39,15	0,57313
S31	67,39313	40,75	0,60466
S32	69,20693	41,69	0,60240
S33	67,77307	45,21	0,66708
S34	67,54473	37,79	0,55948

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1981). ASTM D9 - 81 - *Standard definitions of terms relating to wood*. Philadelphia. p.8-22.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MADEIRAS. *Catálogo de normas de madeira serrada de pinus*. Caxias do Sul, R S, Spectrum Comunicação.

AUGUSTEIJN, M. F.; CLEMENTS, L. E.; SHAW, K. A. (1995). *Performance evaluation of texture measures for ground cover identification in satellite image by means of a neural network classifier*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.33, n.3, p.616-626, May.

BALLARD, D. H.; BROWN, C. M. (1982). *Computer vision*. New Jersey, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs.

BORTOLETTO, G. Jr. (1993). *Indicação para utilização de seis espécies e variedades de pinus aplicada na construção civil*. São Carlos 127p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BROMAN, N. O. (1995). *Visual impressions of features in scots pine wood surfaces: a quality study*. Forest Products Journal, v.45, n. 3, p.61-66. Mar.

CHARNIAK, E.; McDERMOTT, D. V. (1987). *Introduction to artificial intelligence*. Massachussets, Addison-Wesley.

CHIEN, Y. P.; FU, K. S. (1974). *Recognition of x-ray picture patterns*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, v.4, n.2, p.145-156, Mar.

- CONNERS, R. W.; HARLOW, C. A. (1980). *A theoretical comparison of texture algorithms*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, v.2, n.3, p.204-222, May.
- CONNERS, R. W.; MACMILLIN, C. W.; LIN, K.; VASQUEZ-ESPINOZA, R. (1983). *Identifying and locating surface defects in wood: part of an automated lumber processing system*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, v.5, n.6, p.573-583, Nov.
- DARLING, E. M.; JOSEPH, D. (1968). *Pattern recognition from satellite altitudes*. IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, v.4, n.1, p.38-47, Mar.
- DAVIS, L. S.; JHONS, S. A.; AGGARWAL, J. K. (1979). *Texture analysis using generalized co-occurrence matrices*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, v.1, n.3, p.251-259, July.
- DEUSH, H.E.(1953) Timber - Its Structure and Properties. New York, Macmillan & Co LTD.
- FINDLAY, W.P.K. (1975). *Textbook of Wood Technology - Timbers: Properties and uses*. London, Crosby Lockwood Staples.
- FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. (1938). *Curso de estatística*. 5.ed. São Paulo, Atlas.
- FISCHLER, M. A. (1987). *Intelligence: the eye, the brain, and the computer*. Addison-Wesley.
- FULLER, J.; ROSS, R. J.; DRAMM, J. R. (1995). *Nondestructive evaluation of honeycomb and surface checks in red oak lumber*. Forest Products Journal, v.45, n. 5, p.42-44. May.
- GONZALEZ, R. C.; WINTZ, P. A. (1987). *Digital image processing*. Massachusetts, Addison-Wesley.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. (1993). *Digital image processing*. Massachusetts, Addison-Wesley.
- GOTLIEB, C. C.; KREYZIG, H. E. (1990). *Texture descriptors based on co-occurrence matrices*. CVGIP Computer Vision Graphics, and Image Processing, v.51, -, p.70-86.

- HALL, E. L.; KRUGER, R. P.; DWYER III, S. J.; HALL, D. L.; MACLAREN, R. W.; LODOWICK, G. S. (1971). *A survey of preprocessing and feature extraction techniques for radiometric images*. IEEE Transactions on Computers, v.20, n.9, p.1032-1044, Sept.
- HARALICK, R. M.; SHANMUGAM, M. K. (1973). *Computer classification of reservoir sandstones*. IEEE Transactions on Geoscience Electronics, v.11, n.4, p.171-177, Oct.
- HARALICK, R. M.; SHANMUGAN, M. K.; DINSTEIN, I. (1973). *Textural features for image classification*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, v.3, n.6, p.610-621, Nov.
- HELLMEISTER, J. C. (1982). Sobre a Determinação das Características Físicas da Madeira. São Carlos, LaMEM-EESC-USP. 117 p.
- HOAG, M.; McKIMMY, M. D. (1988). *Direct scanning x-ray densitometry of thin wood sections*. Forest Products Journal, v.48, n. 1, p.23-26. Jan.
- HOLMES, Q. A.; NÜESCH, D. R.; SHUCHMAN, R. A. (1984). *Textural analyses and real-time classification of sea-ice types using digital SAR data*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.22, n.2, p.113-120, Mar.
- JULESZ, B. (1975). *Experiments in the visual perception of texture*. Scientific American, v.232, n.4, p.34-43, Apr.
- KING, R. J.; BASUEL, J. C. (1993). *Measurement of basis weight and moisture content of composite boards using microwaves*. Forest Products Journal, v.43, n.9, p.15-22, Sept.
- KOIVO, A. J.; KIM, C. W. (1989). *Automatic classification of surface defects on red oak boards*. Forest Products Journal, v.39, n.9, p.22-30, Sept.
- KOLLMANN, F. (1959). Tecnologia de la madeira y sus aplicaciones - Tomo Primeiro. Madrid, Ministerio da Agricultura , Instituto de investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madeira.
- KRUGER, R. P.; THOMPSON, W. B.; TURNER, A. F. (1974). *Computer diagnosis of pneumoconiosis*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, v.4, n.1, p.40-49, Jan.

- KULKARNI, A. D. (1994). *Artificial neural networks for image understanding*. New York, Van Nostrand Reinhold.
- McMILLIN, C. W.; CONNERS, R. W.; HUBER, H. A. (1984). *ALPS - A potential new automated lumber processing system*. Forest Products Journal, v.34, n.1, p.13-20, Jan.
- MARCEAU, D. J.; HOWARTH, P.J.; DUBOIS, J. M.; GRATTON, D. H. (1990). *Evaluation of the gray-level co-occurrence matrix method for land-cover classification using SPOT imagery*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.28, n.4, p.513-519, July.
- OHANIAN, P. P.; DUBES, R. C. (1992). *Performance evaluation for four classes of textural features*. Pattern Recognition, v.25, n.8, p.819-833. Aug.
- OLSON, J. R.; FACKLER, F. C. (1986). *Utilization of hardwoods for pencil manufacture*. Forest Products Journal, v.36, n.3, p.44-50, Mar.
- PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. (1964). *Textbook of Wood Technology*. New York, McGraw-Hill.
- PECKINGPAUGH, S. H. (1991). *An improved method for computing gray-level cooccurrence matrix based texture*. CVGIP: Graphical Models and Image Processing, v.53, n.6, p.564-580, Nov.
- PRATT, W. K. (1978). *Digital Image Processing*. Wiley Interscience.
- RHEMREV, J.; RHEMREV, R.; LEMASTER, R. (1993). *Laser scanning for the detection of twist or warp in pencil slats*. Forest Products Journal, v.43, n. 2, p.29-36. Feb.
- ROSENFELD, A.; KAK, A. (1982). *Digital image processing*. Orlando, Academic Press.
- SOBEY, P. J.; SEMPLE, E. C. (1989). *Detection and sizing visual features in wood using tonal measures and a classification algorithm*. Pattern Recognition, v.22, n.4, p.367-380.
- SPIEGEL, M. R. (1985). *Estatística 2ª Edição*. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil.

SZYMANI, Ryszard., McDONALD, Kent. (1981). *Defect detection in lumber: state of the art.* Forest Products Journal, v. 31, n. 11, p. 34-44. Apr.

WESZKA, J. S.; DYER, C. R.; ROSENFELD, A. (1976). *A comparative study of texture measure for terrain classification.* IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, v.6, n.4, p.269-285, Apr.

APÊNDICE 1 -

PROGRAMAS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO 4

Nesta seção, encontram-se as listagens dos programas para MATLAB utilizados no experimento 4, do Capítulo 5, item 3.1.

Há um programa para o cálculo das médias utilizando o histograma das imagens e outro para o cálculo das variâncias.

Os programas, basicamente abrem as imagens padrão 'bit-map', referentes às placas apresentadas no ANEXO A, computam seus respectivos histogramas, dos quais são calculadas as médias e variâncias. Os resultados são gravados em arquivos no formato ASCII.

Programa para o cálculo das médias.

```

clear;

fid = fopen('c:/manoel/Mat_out/media.txt','W');

for c=1:3          % seleciona uma das três classes

    if c == 1
        classe = 'b';
    elseif c == 2
        classe = 'c';
    else
        classe = 's';
    end

    for placa=1:34      % trinta e quatro placas por classe

        face = 's';    % usa imagem da face superior

        arquivo = sprintf('%c%02d%cu',classe,placa,face);
        disp(arquivo);
        [fig,map]=bmpread(arquivo);

        [x y]=size(fig);

        %zera contador histograma

        for i=1:256
            cont(i)=0;
        end

        %varre a imagem

        tam = x*y;
        for i=1:x
            for j=1:y
                cont(fig(i,j)) = (cont(fig(i,j)) + 1)/tam;
            end
        end

        media = 0; % calculo da média
        for i=1:256
            media = media + (i * cont(i));
        end

        fprintf(fid,'%s\t%f \n',arquivo,media);
        disp(media);

    end
end
end

fclose(fid);

```


Programa para o cálculo da variância

```
% calcula a variância

clear;

fid = fopen('c:/manoel/mat_out/var.txt','W');

for c=1:3          % seleciona uma das três classes

    if c == 1
        classe = 'b';
    elseif c == 2
        classe = 'c';
    else
        classe = 's';
    end

    for placa=1:34      % trinta e quatro placas por classe

        face = 's';    % face superior apenas

        arquivo = sprintf('%c%02d%cu',classe,placa,face);
        disp(arquivo);
        [fig,map]=bmpread(arquivo);

        [x y]=size(fig);

        %zera contador histograma

        for i=1:256
            cont(i)=0;
        end

        tam = x*y; % implementa o histograma
        for i=1:x
            for j=1:y
                cont(fig(i,j)) = (cont(fig(i,j)) + 1)/ tam;
            end
        end

        media = 0; % calculo da media
        for i=1:256
            media = media + (i * cont(i));
        end

        var = 0;    %calculo da variância
        for i=1:256
            var = var + ((i - media)^2 * cont(i));
        end

        fprintf(fid,'%s\t%f \n',arquivo,var);
    end
end
end
fclose(fid);
```

APÊNDICE 2 -

PROGRAMA UTILIZADO NO EXPERIMENTO 5

O programa apresentado nesta seção, processa imagens gravadas em um formato particular, denominado '.sel', no qual os pixels da imagem estão organizados como uma matriz de 'm' linhas por 'n' colunas, gravados como variáveis 'C' do tipo 'int'. Os arquivos com extensão '.sel' foram gerados a partir de um sistema de aquisição de imagens composto por câmera, monitor e placa 'frame-grabber'.

O programa foi escrito em linguagem 'C' para o compilador 'Microsoft C versão 6.0'.

A redução da quantidade de níveis de cinza é feita mascarando-se, utilizando-se de lógica 'AND', tantos bits quanto forem necessários na variável utilizada para armazenagem da intensidade dos pixels da imagem.

Neste programa, cada imagem é aberta, de modo que de suas sub-áreas são computadas quatro matrizes de co-ocorrência, segundo os procedimentos descritos no Capítulo 4, item 2.3.2. Das matrizes de co-ocorrência relacionadas às sub-áreas são extraídas a característica estatística de segunda ordem denominada Segundo Momento Angular (ASM). Os resultados dos valores de ASM médio de cada sub-área são gravado em arquivo de relatório no formato ASCII, para posterior utilização.

```

/* implementacao de 03/07/96 */
/* Ultima atualizacao 31/07/96 */
/* Este programa processa automaticamente os arquivos de imagem
.SEL
listados em arquivos
*/

#include <string.h>
#include "graph.h"
#include <stdio.h>
#include <ctype.h>
#include <stdlib.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>
#include "malloc.h"
#include "stdio.h"
#include "stddef.h"
#include <fcntl.h> /* O_ constant definitions */
#include <sys/types.h>
#include <time.h>
#include <sys/timeb.h>
#include <sys/stat.h> /* S_ constant definitions */

typedef unsigned char BYTE;

#define TAM_X 128 /*tamanho (dir. vertical) da imagem */
#define TAM_Y 256 /*tamanho (dir. horizontal) da imagem */

/* numero de arquivos de imagem a processar*/
#define NUM_ARQ 6

/* definicoes para as funcoes "imatriz" e "free_imatriz" */
#define NR_END 1
#define FREE_ARG char*

struct param_2{
double asm[4]; /* 0,45,90 e 135 graus */
double asm_m; /* ASM médio (Segundo Momento Angular)*/
double r[4]; /* R0, R45, R90 e R125 */
};

struct param{
char nome[28];
int x_init; /* coordenada x inicial da imagem */
int y_init; /* coordenada y inicial da imagem */
unsigned int tam_x; /* altura da area da imagem */
unsigned int tam_y; /* largura da area da imagem */
int dist; /* distancia (horizontal) dos pixels vizinhos */
int n_cinza; /* niveis de cinza*/
struct param_2 calc; /*resultado dos calculos */
};

struct param m; /* Global */

```



```

/* Protótipo das funções */
void abre_arq_relaf(FILE *r_asm);
float _huge **fmatriz(long nrl, long nrh, long ncl, long nch);
void free_fmatriz(float _huge **m, long nrl, long nrh, long ncl, long
nch);
int _huge **imatriz(long nrl, long nrh, long ncl, long nch);
void free_imatriz(int _huge **m, long nrl, long nrh, long ncl, long
nch);
BYTE _huge **cmatriz(long nrl, long nrh, long ncl, long nch);
void free_cmatriz(BYTE _huge **m, long nrl, long nrh, long ncl, long
nch);
void ajusta_n_cinza(BYTE _huge **i, int n_cinza);
void mat_coocor_000(struct param m, BYTE _huge **img, float _huge
**h);
void mat_coocor_045(struct param m, BYTE _huge **img, float _huge
**h);
void mat_coocor_090(struct param m, BYTE _huge **img, float _huge
**h);
void mat_coocor_135(struct param m, BYTE _huge **img, float _huge
**h);
float calc_asm(float _huge **h, int n_cinza, int tam_y, float r);

char *arquivo[] ={
"AIS15.SEL",
"BIC07.SEL",
"CIB05.SEL",
"DIS06.SEL",
"EIB10.SEL",
"FIB26.SEL",
};

void main()
{
FILE *fp, *r_asm;
BYTE _huge **img, _huge **i; /* ponteiros para leitura da imagem */
float _huge **hor, _huge **h;
size_t tamanho = sizeof( float );
char *patch_in="c:\\manoe\\img_sel\\";
char *patch_out="c:\\manoe\\dados\\";
char arquivo_img[26];
int n, cont_arq, x, y;
int num_areas;
int num_lados_x ;
int num_lados_y;

union tipos{
unsigned int i_word;
unsigned char ichar[2];
};

union tipos d;

_clearscreen(_GCLEARSCREEN);
m.tam_x = 64; /* altura da janela de imagem */
m.tam_y = 64; /* largura da janela de imagem */

```

```

for(cont_arq=0;cont_arq<NUM_ARQ;cont_arq++)
{
    /*define o nome e abre arquivo de relatório para ASM */
    strcpy(&m.nome[0],&patch_out[0]);
    strcpy(&m.nome[16],&arquivo[cont_arq][0]);
    strcpy(&m.nome[22],"001");

    if(( r_asm=fopen(&m.nome[0],"w") ) == NULL)
    {
        printf("Arquivo não pode ser aberto r_asm\n");
        printf("digite uma tecla para finalizar...\n");
        getch();
        exit(0);
    }

    for(m.dist = 1;m.dist <=1; m.dist += 1)
    {
        for(m.n_cinza=64;m.n_cinza<=64;m.n_cinza*=4)
        {
            num_lados_x = TAM_X/m.tam_x;
            num_lados_y = TAM_Y/m.tam_y;
            num_areas = num_lados_x * num_lados_y;

            /* abre arquivo .SEL */
            strcpy(&arquivo_img[0],&patch_in[0]);
            strcpy(&arquivo_img[18],&arquivo[cont_arq][0]);

            if(( fp=fopen(&arquivo_img[0],"r") ) == NULL)
            {
                printf("Arquivo nao pode ser aberto .SEL\n");
                printf("digite uma tecla para finalizar...\n");
                getch();
                exit(0);
            }

            img = cmatriz(0,TAM_X-1,0,TAM_Y-1); /*aloca matriz */

            /* Transfere imagem do arquivo para o buffer img */
            i = img;
            for(x=0;x<TAM_X;x++)
            {
                for(y=0;y<TAM_Y;y++)
                {
                    fread(&d.i_word,sizeof(int),1,fp);
                    i[x][y] = d.ichar[0];
                }
            }

            fclose(fp); /* fecha arquivo .SEL */
            i = img;
            ajusta_n_cinza(i,m.n_cinza);

            for(m.x_init=0;m.x_init<num_lados_x * m.tam_x ;m.x_init +=m.tam_x)
            {
                for(m.y_init=0;m.y_init<num_lados_y * m.tam_y;m.y_init +=m.tam_y)
                {
                    i = img;
                    /* Aloca buffer para a matriz de co-ocorrência 0 grau */
                    hor = fmatriz(0,m.n_cinza-1,0,m.n_cinza-1);
                }
            }
        }
    }
}

```

```

if(hor == NULL)
{
    fcloseall();
    free_cmatriz(img,0,TAM_X-1,0,TAM_Y-1);
    printf("Não há memória para a matriz de co-ocorrência \n");
    printf("Digite algo para terminar...\n");
    getch();
    exit(1);
}

h = hor;
zera_matriz_h(m.n_cinza,h);
h= hor;
mat_coocor_000(m,i,h); /*calcula matriz de co-ocorrência */
/* na direcao 0 grau */
/* Cálculo do Segundo Momento Angular na dir. 0 grau */
/* Cálculo de #R ou constante de normalização da matriz */
/* na direção horizontal */
m.calc.r[0] = 2 * m.tam_y * (m.tam_x - m.dist);
h = hor;
m.calc.asm[0] = calc_asm(h,m.n_cinza,m.tam_y,m.calc.r[0]);
free_fmatriz(hor,0,m.n_cinza-1,0,m.n_cinza-1);
i = img;

/*Aloca buffer para a matriz de co-ocorrência a 45 graus */
hor = fmatriz(0,m.n_cinza-1,0,m.n_cinza-1);
h = hor;
zera_matriz_h(m.n_cinza,h);
h= hor;
mat_coocor_045(m,i,h);

/* Cálculo de #R ou constante de normalização da matriz */
/* 45 graus */
m.calc.r[1] = 2 * (m.tam_y - m.dist) * (m.tam_x - m.dist);

/* Cálculo do Segundo Momento Angular */
h = hor;
m.calc.asm[1] = calc_asm(h,m.n_cinza,m.tam_y,m.calc.r[1]);
free_fmatriz(hor,0,m.n_cinza-1,0,m.n_cinza-1);
i = img;

/*Aloca buffer para a matriz de co-ocorrência a 90 graus */
hor = fmatriz(0,m.n_cinza-1,0,m.n_cinza-1);
h = hor;
zera_matriz_h(m.n_cinza,h);
h= hor;
mat_coocor_090(m,i,h);

/* Cálculo de #R ou constante de normalização da matriz */
/* 90 graus */
m.calc.r[2] = 2 * m.tam_x * (m.tam_y - m.dist);

/* Cálculo do Segundo Momento Angular*/
h = hor;
m.calc.asm[2] = calc_asm(h,m.n_cinza,m.tam_y,m.calc.r[2]);
free_fmatriz(hor,0,m.n_cinza-1,0,m.n_cinza-1);
i = img;

```



```

/* Aloca buffer para a matriz de co-ocorrência a 135 graus */
hor = fmatriz(0, m.n_cinza-1, 0, m.n_cinza-1);
h = hor;
zera_matriz_h(m.n_cinza, h);
h = hor;
mat_coocor_135(m, i, h);

/* Cálculo de #R ou constante de normalização da matriz */
/* 135 graus */
m.calc.r[3] = 2 * (m.tam_x - m.dist) * (m.tam_y - m.dist);

/* Cálculo do Segundo Momento Angular (ASM) */
h = hor;
m.calc.asm[3] = calc_asm(h, m.n_cinza, m.tam_y, m.calc.r[3]);
free_fmatriz(hor, 0, m.n_cinza-1, 0, m.n_cinza-1);

/* ASM medio */
m.calc.asm_m = (m.calc.asm[0] + m.calc.asm[1] + m.calc.asm[2] +
m.calc.asm[3]) / 4;

/* grava ASM médio em arquivo */
fprintf(r_asm, "%f\n", m.calc.asm_m);
}
}
free_cmatriz(img, 0, TAM_X-1, 0, TAM_Y-1);
}
}
fclose(r_asm);
}
} /* fecha main */

```

```

void abre_arq_rel(FILE *r_asm)
{
/* define o nome e abre arquivo de relatório para ASM */
strcpy(&m.nome[0], &arquivo[cont_arq][0]);
strcpy(&m.nome[6], "001");
if((r_asm = fopen(&m.nome[0], "w")) == NULL)
{
printf("Arquivo não pode ser aberto r_asm\n");
printf("digite uma tecla para finalizar...\n");
getch();
exit(0);
}
}

```

```

void free_imatriz(int _huge **m, long nrl, long nrh, long ncl, long nch)
{
hfree((FREE_ARG) (m[nrl]+ncl-NR_END));
hfree((FREE_ARG) (m+nrl-NR_END));
}

```

```

float _huge **fmatriz(long nrl, long nrh, long ncl, long nch)
{
    long i, nrow=nrh-nrl+1, ncol=nch-ncl+1;
    float _huge **m;
    m = (float _huge**) malloc(nrow+NR_END, sizeof(float*));
    if(m != NULL)
    {
        m += NR_END;
        m -= nrl;
        m[nrl] = (float _huge*) malloc(nrow*ncol+NR_END, sizeof(float));
        if(m != NULL)
        {
            m[nrl] += NR_END;
            m[nrl] -= ncl;
            for(i=nrl+1; i<=nrh; i++) m[i]=m[i-1]+ncol;
        }
    }
    return(m);
}

void free_fmatriz(float _huge **m, long nrl, long nrh, long ncl, long nch)
{
    hfree((FREE_ARG) (m[nrl]+ncl-NR_END));
    hfree((FREE_ARG) (m+nrl-NR_END));
}

int _huge **imatriz(long nrl, long nrh, long ncl, long nch)
{
    long i, nrow=nrh-nrl+1, ncol=nch-ncl+1;
    int _huge **m;
    m = (int _huge**) malloc(nrow+NR_END, sizeof(int*));
    m += NR_END;
    m -= nrl;
    m[nrl] = (int _huge*) malloc(nrow*ncol+NR_END, sizeof(int));
    m[nrl] += NR_END;
    m[nrl] -= ncl;
    for(i=nrl+1; i<=nrh; i++) m[i]=m[i-1]+ncol;
    return(m);
}

BYTE _huge **cmatriz(long nrl, long nrh, long ncl, long nch)
{
    long i, nrow=nrh-nrl+1, ncol=nch-ncl+1;
    BYTE _huge **m;
    m = (BYTE _huge**) malloc(nrow+NR_END, sizeof(int*));
    m += NR_END;
    m -= nrl;
    m[nrl] = (BYTE _huge*) malloc(nrow*ncol+NR_END, sizeof(int));
    m[nrl] += NR_END;
    m[nrl] -= ncl;
    for(i=nrl+1; i<=nrh; i++) m[i]=m[i-1]+ncol;
    return(m);
}

```

```

void free_cmateriz(BYTE _huge **m, long nrl, long nrh, long ncl, long
nch)
{
    hfree((FREE_ARG) (m[nrl]+ncl-NR_END));
    hfree((FREE_ARG) (m+nrl-NR_END));
}

void zera_matriz_h(int n_cinza, float _huge **h)
{
    int i, j;
    for(i=0; i<n_cinza; i++)
        for(j=0; j<n_cinza; j++)
            h[i][j] = 0.0;
}

void ajusta_n_cinza(BYTE _huge **i, int n_cinza)
{
    int mascara;
    int m, n, shift;
    switch(n_cinza) {
        case 2:
            mascara = 0x80;
            shift = 7;
            break;
        case 4:
            mascara = 0xc0;
            shift = 6;
            break;
        case 8:
            mascara = 0xe0;
            shift = 5;
            break;
        case 16:
            mascara = 0xf0;
            shift = 4;
            break;
        case 32:
            mascara = 0xf8;
            shift = 3;
            break;
        case 64:
            mascara = 0xfc;
            shift = 2;
            break;
        case 128:
            mascara = 0xfe;
            shift = 1;
            break;
    }
    if(n_cinza != 256)
    {
        for(m=0; m<TAM_X; m++)
            for(n=0; n<TAM_Y; n++)
            {
                i[m][n] &= mascara;
                i[m][n] >>= shift;
            }
    }
}

```



```

void mat_coocor_000(struct param m, BYTE _huge **img, float _huge **h)
{
    int init,x,y,limite_x,limite_y;
    BYTE p1,p2;
    limite_x = m.tam_x + m.x_init;
    limite_y = m.tam_y + m.y_init - m.dist;
    for(x=m.x_init; x < limite_x ; x++)
    {
        for(y=m.y_init; y < limite_y ; y++)
        {
            p1 = img[x][y];
            p2 = img[x][y + m.dist];
            h[p1][p2] +=1;
            h[p2][p1] +=1;
        }
    }
}

/* Cálculo da matriz de co-ocorrência na direção 45 graus */
void mat_coocor_045(struct param m, BYTE _huge **img, float _huge **h)
{
    int init,x,y,limite_x,limite_y;
    BYTE p1,p2;
    limite_x = m.tam_x + m.x_init - m.dist;
    limite_y = m.tam_y + m.y_init - m.dist;
    for(x=m.x_init; x < limite_x ; x++)
    {
        for(y= m.y_init; y < limite_y ; y++)
        {
            p1 = img[x + m.dist][y];
            p2 = img[x][y + m.dist ];
            h[p1][p2] +=1;
            h[p2][p1] +=1;
        }
    }
}

/* Cálculo da matriz de co-ocorrência na direção vertical */
void mat_coocor_090(struct param m, BYTE _huge **img, float _huge **h)
{
    int init,x,y,limite_x,limite_y;
    BYTE p1,p2;
    limite_x = m.tam_x + m.x_init - m.dist;
    limite_y = m.tam_y + m.y_init;
    for(x=m.x_init; x < limite_x ; x++)
    {
        for(y=m.y_init; y < limite_y ; y++)
        {
            p1 = img[x + m.dist][y];
            p2 = img[x][y];
            h[p1][p2] +=1;
            h[p2][p1] +=1;
        }
    }
}

```

```

/* Cálculo da matriz de co-ocorrência na direção 135 graus */

void mat_coocor_135(struct param m,BYTE _huge **img,float _huge **h)
{
    int init,x,y,limite_x,limite_y;
    BYTE p1,p2;
    limite_x = m.tam_x + m.x_init - m.dist;
    limite_y = m.tam_y + m.y_init - m.dist;
    for(x=m.x_init; x < limite_x; x++)
    {
        for(y= m.y_init; y < limite_y ;y++)
        {
            p1 = img[x + m.dist][y + m.dist ];
            p2 = img[x][y];
            h[p1][p2] +=1;
            h[p2][p1] +=1;
        }
    }
}

/* Cálculo do Segundo Momento Angular (ASM) */

float calc_asm(float _huge **h,int n_cinza,int tam_y,float r)
{
    int x,y;
    float temp_1,temp_2,asm;
    asm = 0.0;
    for(x=0;x<n_cinza;x++)
    {
        for(y=0;y<n_cinza;y++)
        {
            temp_1 = h[x][y]/r;
            temp_2 = pow(temp_1,2);
            asm += temp_2;
        }
    }
    return(asm);
}

```