

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS PARA  
ANÁLISE DE INTEGRIDADE DO DOSSEL - UM MODELO EM  
MATA SEMIDECÍDUA**

**Thiago Yamada**

**São Carlos/SP**

**2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS PARA  
ANÁLISE DE INTEGRIDADE DO DOSSEL - UM MODELO EM  
MATA SEMIDECÍDUA**

**Thiago Yamada**

**Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências na Área de Concentração em Ecologia e Recursos Naturais.**

**São Carlos/SP**

**2014**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

Y19tp

Yamada, Thiago.

Técnicas de processamento digital de imagens para análise de integridade do dossel - um modelo em mata semidecídua / Thiago Yamada. -- São Carlos : UFSCar, 2014.

91 f.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2014.

1. Ecologia das florestas. 2. Cobertura do dossel. 3. Integridade do dossel. 4. Processamento de imagens - técnicas digitais. I. Título.

CDD: 574.52642 (20<sup>a</sup>)

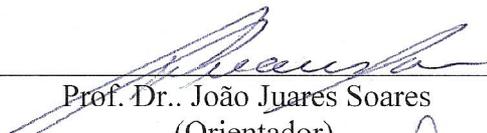
## THIAGO YAMADA

Tese apresentada à Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências.

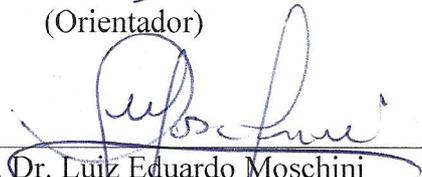
**Aprovada** em 28 de fevereiro de 2014

### BANCA EXAMINADORA

Presidente

  
Prof. Dr. João Juares Soares  
(Orientador)

1º Examinador

  
Prof. Dr. Luiz Eduardo Moschini  
PPGCAm/UFSCar

2º Examinador

  
Prof. Dr. José Eduardo dos Santos  
PPGERN/UFSCar

3º Examinador

  
Profa. Dra. Maria Luiza Franceschi Nicodemo  
EMBRAPA/São Carlos-SP

4º Examinador

  
Prof. Dr. Mário Luiz Tronco  
USP/São Carlos-SP

**Aos meus queridos e amados pais  
Romeu Yamada e Fátima Maria Garcia  
Yamada, que sempre me apoiaram e  
incentivaram em todas as minhas  
escolhas.**

## **AGRADECIMENTOS**

A CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo suporte financeiro concedido;

Aos professores Dr. João Juarez Soares - UFS/ UFSCar e Dr. Emerson Carlos Pedrino - DC - UFSCar, pelos ensinamentos, companheirismo, apoio, orientação e amizade sempre presentes na realização desta Tese;

Ao Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais - PPGERN.

.Aos Funcionários do PPGERN João Augusto da Silva Affonso, Roseli Aparecida Gonçalves e Maria Elizabeth Guimarães Moreira, por todo apoio.

Ao funcionário Evelton Cardoso De Marco do Departamento de Computação - DC, pelo apoio.

Ao Centro de Pesquisa da Pecuária do Sudeste – CPPSE – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, Fazenda Canchim, São Carlos/ SP.

Aos professores Dr. Luiz Eduardo Moschini, Dr. José Eduardo dos Santos, Dra. Maria Luiza Franceschi Nicodemo e Dr. Mário Luiz Tronco, por aceitarem o convite de participação da banca de defesa e por todas as observações e críticas construtivas proferidas.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	17
1.1. ESTRUTURAÇÃO DA TESE.....	22
1.2. REFERÊNCIAS.....	25

---

2. Comparação entre métodos de segmentação de imagens para análise da cobertura do dossel de um fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado no município de São Carlos/SP.....	28
---	----

2.1. RESUMO.....	29
2.2. INTRODUÇÃO.....	30
2.3. OBJETIVO.....	34
2.4. METODOLOGIA.....	34
2.5. RESULTADOS e DISCUSSÃO.....	37
2.6. CONCLUSÃO.....	42
2.7. REFERÊNCIAS.....	43

---

3. Comparação entre imagens da cobertura e oclusão do dossel de um fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado no município de São Carlos/ SP.....	47
---	----

3.1. RESUMO.....	48
3.2. INTRODUÇÃO.....	49
3.3. OBJETIVO.....	51
3.4. METODOLOGIA.....	51
3.5. RESULTADOS e DISCUSSÃO.....	55
3.6. CONCLUSÃO.....	57
3.7. REFERÊNCIAS.....	58

<b>4. Análise da estrutura do dossel utilizando perfil vertical da vegetação, imagens da cobertura do dossel e imagem de satélite em um fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado em São Carlos/SP.....</b>	<b>62</b>
--	-----------

<b>4.1. RESUMO.....</b>	<b>63</b>
<b>4.2. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>64</b>
<b>4.3. OBJETIVO.....</b>	<b>65</b>
<b>4.4. METODOLOGIA.....</b>	<b>65</b>
<b>4.5. RESULTADOS e DISCUSSÃO.....</b>	<b>71</b>
<b>4.6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>78</b>
<b>4.7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>79</b>

---

<b>5. Mapa rugosidade do dossel de fragmentos de mata a partir de técnicas de processamento digital de imagens.....</b>	<b>82</b>
---	-----------

<b>5.1. RESUMO.....</b>	<b>83</b>
<b>5.2. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>84</b>
<b>5.3. OBJETIVO.....</b>	<b>84</b>
<b>5.4. METODOLOGIA.....</b>	<b>85</b>
<b>5.5. RESULTADOS e DISCUSSÃO.....</b>	<b>87</b>
<b>5.6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>88</b>
<b>5.7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>89</b>

---

<b>6. CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>90</b>
----------------------------------	-----------

---

<b>7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>91</b>
---	-----------

## LISTA DE FIGURAS

### 1. INTRODUÇÃO GERAL

- Figura 1:** Comportamento espectral de uma folha verde, onde  $\rho$  é a amplitude e  $\mu m$  o comprimento da onda eletromagnética.....19
- Figura 2:** Ilustra os diagramas de desenvolvimento metodológico de cada capítulo.....22
- 

### 2. Comparação entre métodos de segmentação de imagens para análise da cobertura do dossel de um fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado no município de São Carlos/ SP

- Figura 1:** Imagem binária da cobertura do dossel (preto e branco).....31
- Figura 2:** Mostra um exemplo de imagens produzidas pelo algoritmo *Jseg* com: (a) imagem segmentada e (b) imagem mapa das regiões.....32
- Figura 3:** Mostra um esquema ilustrativo do algoritmo *Watershed Transform*, imagem: (a) níveis de cinza e (b) imagem topográfica.....32
- Figura 4:** Exemplo de imagens: (a) níveis de cinza, (b) imagem binária, (c) imagem complemento, (d) imagem *Distance Transform*, (e) imagem *Watershed Transform* e (f) imagem *Watershed Transform* com a ferramenta *Distance Transform*.....33
- Figura 5:** Exemplo de imagens: (a) gradiente magnitude, (b) *Watershed Transform* e (c) linhas de divisão de bacias.....33
- Figura 6:** Diagrama metodológico para comparação dos quatro métodos de segmentação de imagens utilizados neste capítulo.....34
- Figura 7:** Localização dos transectos T1 e T2 no fragmento de floresta estacional semidecídua da Fazenda Canchim – EMBRAPA, São Paulo, Brasil.....35
- Figura 8:** Contém: (a) uma imagem subdividida em nove partes iguais e (b) uma imagem recortada com apenas a parte central.....36
- Figura 9:** Exemplo de imagem mapa obtida com o método de segmentação *Jseg*, com regiões agrupadas que possuem identificação única.....36
- Figura 10:** Imagem com as porcentagens da cobertura do dossel obtidas com os métodos de segmentação de imagens: Limiarização (**Lim**), **Jseg**,

*Watershed Transform Distance Transform (WTDT) e Watershed Transform Gradients (WTG), para o transecto T1.....38*

**Figura 11:** Imagem com as porcentagens da cobertura do dossel obtidas com os métodos de segmentação de imagens: Limiarização (**Lim**), **Jseg**, *Watershed Transform Distance Transform (WTDT)* e *Watershed Transform Gradients (WTG)*, para o transecto T2.....38

---

### **3. Comparação entre imagens da cobertura e da oclusão do dossel de um fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado no município de São Carlos/ SP**

**Figura 1:** Mostra a diferença entre: (a) cobertura do dossel e (b) oclusão do dossel.....50

**Figura 2:** Localização dos transectos T1 e T2 no fragmento de Mata da Fazenda Canchim – EMBRAPA, São Paulo, Brasil.....53

---

### **4. Análise da estrutura do dossel utilizando perfil da vegetação, imagens da cobertura do dossel e imagem de satélite em um fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado em São Carlos/ SP**

**Figura 1:** Localização dos transectos T1, T2, T3, T4, T5, T6, e T7 no fragmento de floresta estacional semidecídua, Fazenda Canchim – EMBRAPA, São Paulo, Brasil.....65

**Figura 2:** Imagem do perfil vertical do transecto T1 representando uma área conservada.....71

**Figura 3:** Imagem com as alturas versus parcelas dos indivíduos arbóreos representantes do dossel do transecto T1.....71

**Figura 4:** Imagem do perfil vertical do transecto T2 representando uma área menos conservada.....71

**Figura 5:** Imagem com as alturas versus parcelas dos indivíduos arbóreos representantes do dossel do transecto T2.....72

**Figura 6:** Imagem com os gráficos (histograma) de todos os sete transectos.....74

**Figura 7:** Imagem com os gráficos 3D da Transformada Rápida de Fourier, amplitude versus frequência, para cada um dos sete transectos.....76

## 5. Mapa rugosidade do dossel de fragmentos de mata a partir de técnicas de processamento digital de imagens

- Figura 1:** Mostra a localização dos fragmentos de floresta estacional semidecídua, (A) Fazenda Canaã e (B) Fazenda Canchim, no município de São Carlos, São Paulo, Brasil.....85
- Figura 2:** Diagrama metodológico com as etapas desenvolvidas neste capítulo.....86
- Figura 3:** Mostra uma imagem ilustrativa do cálculo *rangefilt*, com grade 3 x 3, onde: (A) imagem de entrada e (B) imagem de saída.....87
- Figura 4:** Revela o mapa rugosidade do dossel dos fragmentos de floresta estacional semidecídua.....88

## LISTA DE QUADROS

### 2. Comparação entre métodos de segmentação de imagens para análise da cobertura do dossel de um fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado no município de São Carlos/ SP

- Quadro 1:** Quadro com as porcentagens da cobertura do dossel obtidas com os métodos de segmentação: Limiarização (**Lim**), Jseg (**Jseg**), *Watershed Transform Distance Transform (WTDT)* e *Watershed Transform Gradients (WTG)*, para o transecto T1.....39
- Quadro 2:** Quadro com as porcentagens da cobertura do dossel obtidas com os métodos de segmentação: Limiarização (**Lim**), Jseg (**Jseg**), *Watershed Transform Distance Transform (WTDT)* e *Watershed Transform Gradients (WTG)*, para o transecto T2.....40
- 

### 3. Comparação entre imagens da cobertura e da oclusão do dossel de um fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado no município de São Carlos/ SP

- Quadro 1:** Quadro com todas as imagens digitais da cobertura do dossel e oclusão do dossel, para os transecto T1 e T2.....52
- Quadro 2:** Quadro com as porcentagens da cobertura e oclusão do dossel para o transecto T1.....56
- Quadro 3:** Quadro com as porcentagens da cobertura e oclusão do dossel para o transecto T2.....57
- 

### 4. Análise da estrutura do dossel utilizando perfil da vegetação, imagens da cobertura do dossel e imagem de satélite em um fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado em São Carlos/ SP

- Quadro 1:** Revela as porcentagens da cobertura do dossel obtidas para cada parcela e as médias e desvios-padrão para cada transecto.....73
- Quadro 2:** Mostra os valores referentes aos atributos de textura para os sete transectos.....75
- Quadro 3:** Mostra os valores de correlação entre: a média da porcentagem da cobertura do dossel (Cob), a homogeneidade (Hom), a entropia (Ent), a energia (Ene), a soma dos picos da FFT (FFT) e o contraste (Con), para todos os sete transectos.....77

## LISTA DE ABREVIATURAS

**$\rho$**  - Rô

**$\mu\text{m}$**  - Micrometro

**2D** – Duas Dimensões

**3D** – Três Dimensões

**CBERS-2B** – China Brazil Earth Resources Satellite

**Cob** – Média da porcentagem da cobertura do dossel

**Con** – Contraste

**CPPSE** – Centro de Pesquisa da Pecuária do Sudeste

**DAP** – Diâmetros à altura do peito

**dpi** – Pontos por polegada

**EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Ene** – Energia

**Ent** – Entropia

**FFT** – Transformada rápida de Fourier

**GLA** – Gap Light Analyzer

**GLCM** – Matriz de coocorrência dos níveis de cinza

**GPS** – Global Positioning System

**HRC** – High Resolution Camera

**INPE** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**IPCC** – Intergovernmental Panel of Climate Change

**Km** – Quilômetros

**LiDAR** – Light Detection And Ranging

**Lim** – Limiarização

**m** – Metros

**MATLAB** – MATrix LABoratory

**mm** – Milímetros

**MS-DOS** – MicroSoft Disk Operating System

**NASA** – National Aeronautics and Space Administration

**RGB** – Red Green Blue

**SIRGAS2000** – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

**SP** – São Paulo

**SPRING** – Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas

**TM** – Thematic Mapper

**UnB** – Universidade de Brasília

**UTM** – Universal Transverse Mercator

**WTDT** – Watershed Transform Distance Transform

**WTG** – Watershed Transform Gradients

## RESUMO

A conservação e manejo das florestas são temas muito atuais e discutidos em todo mundo, devido ao fato de estarem diretamente correlacionados com a manutenção das funções e serviços ambientais prestados pelos ambientes naturais. Com o crescimento dos centros urbanos e da agricultura extensiva, as áreas naturais sofreram e estão sofrendo uma grande pressão fazendo com que surjam constantemente áreas degradadas que acabam impulsionando o movimento de recuperação dessas áreas. Além disso, o corte seletivo e a formação de clareiras naturais ou artificiais produzem descontinuidades no dossel, refletindo em irregularidades na estrutura e no perfil. No entanto, para se realizar a recuperação e manejo, por exemplo, de uma floresta, deve-se primeiro conhecer seu estado de conservação. Esta tese pretende mapear áreas mais e menos conservadas, através da análise da estrutura e integridade do dossel, realizada com: imagens da cobertura do dossel, imagens da oclusão do dossel, desenho do perfil vertical, imagem pancromática HRC do satélite CBERS-2B e técnicas de processamento digital de imagens, além de levantamentos de campo. Com o intuito de criar um modelo capaz de identificar, mapear e monitorar a degradação de uma floresta.

**Palavras-chave:** Processamento digital de imagens, fragmento de floresta estacional semidecídua, cobertura do dossel, integridade do dossel.

## ABSTRACT

The forests management and conservation are recently subjects discussed throughout the world, because they are directly correlation with the maintenance of environmental functions and services provided by natural environments. With growth of urban centers and extensive agriculture the natural areas have suffered and are suffering a big pressure making arise degraded areas constantly that encourage the recuperation movement in those areas. Moreover, the selective cut and the formation natural or artificial clearings make discontinuities in the canopy, irregularities reflected in the structure and profile. However, to realize the restoration and management, for example, a forest, first must to know your conservation state. This thesis intend to map more and less conserved areas through the analysis of structure and integrity in the canopy, realized with: canopy cover images, canopy closure images, vertical profile sketch, panchromatic image HRC of satellite CBERS-2B, and techniques digital image processing, beyond field survey. With intention to create a model able to identify, map, and monitor the forest degraded.

**Key-words:** Digital image processing, semideciduous forest fragment, canopy cover, canopy integrity.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A cobertura vegetação natural remanescente vem sendo rapidamente retirada devido ao processo desenvolvimentista e ao aumento da população que exige maior eficiência na utilização dos recursos naturais.

Segundo São Paulo mais verde (2012) “... as florestas e os campos nativos cresceram pela segunda década consecutiva no estado de São Paulo, após quase meio século de ondas vertiginosas de devastação que deixaram seu território praticamente desprovido de matas. O mais recente levantamento da cobertura vegetal do estado, feito por pesquisadores do Instituto Florestal com imagens de satélite obtidas em 2008 e 2009, identificou 4,34 milhões de hectares de campos e florestas originais. Essa área corresponde a 17,5 % do território paulista e é comparável à que existia no início dos anos 1970. Do registro verde atual, 95 mil hectares são matas que voltaram a brotar na última década. O restante são trechos de florestas que existiam, mas não eram detectados pelos satélites com menores resoluções”.

Mesmo com o crescimento da cobertura vegetal nativa (SÃO PAULO MAIS VERDE, 2012), o uso do solo dos ecossistemas florestais para fins agrícolas vem tornando cada vez mais frequente a presença de fragmentos florestais, que são definidos como qualquer área de vegetação natural contínua, interrompida por barreiras antrópicas ou naturais, capazes de diminuir o fluxo de animais, pólen e/ou sementes (VIANA, 1990). Estes fragmentos apresentam sérios problemas, como: um grande número de indivíduos arbóreos mortos; uma alta ocorrência de cipós; um grande número de espécies raras e numerosas espécies pertencentes a estágios menos avançados da sucessão (ALMEIDA, 1996; VIANA, 1990; apud SILVA; SOARES, 2002).

Segundo a publicação especial da agência FAPESP (2014), no decorrer do Workshop on Monitoring Forest Dynamics: carbon stocks, greenhouse gas fluxes and biodiversity, realizado na Universidade de Brasília - UnB, com pesquisadores de diversas instituições como: INPE, EMBRAPA, NASA, Max Planck e Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC foi ressaltada a importância de se olhar não só para o desmatamento, mas também para outro processo da dinâmica de florestas, a degradação florestal, que segundo Michael Keller cientista

do US Forest Service dos Estados Unidos e pesquisador visitante da Embrapa Monitoramento por Satélite, “A degradação fica em uma posição intermediária entre a floresta intacta e a que foi transformada em área de pastagem. É uma floresta que ainda não foi desmatada completamente” (Agência FAPESP, 2014). Segundo Mercedes Bustamante, organizadora do evento e professora do Departamento de Ecologia da UnB, a degradação florestal causa “... impactos nas funções ecológicas, no armazenamento de carbono e na conservação da biodiversidade” (Agência FAPESP, 2014).

A abertura de clareiras em uma floresta modifica sua estrutura, causando uma degradação florestal, fazendo com que o dossel apresente descontinuidades. As clareiras podem ser classificadas como: artificiais ou naturais. As artificiais são causadas por cortes seletivos, pesticidas, efeito de borda, etc., que podem provocar consequências irreversíveis à mata. Já as clareiras naturais ocorrem pela queda de árvores velhas ou doentes e também por ventos, que acaba provocando a interação de processos naturais para o restabelecimento do ecossistema florestal.

As clareiras sejam elas artificiais ou naturais são locais de maior penetração de luz, o que altera a temperatura e umidade do ar e do solo, contribuindo assim para o aumento da diversidade florística, uma vez que algumas espécies dependem desses sítios para seu desenvolvimento. Estes ambientes constituem sítios onde ocorre a regeneração natural em florestas tropicais (BROKAW, 1982; DENSLOW; HARTSHORN, 1994; TABARELLI, 1994; ARMELIN; MANTOVANI, 2001). Ao mesmo tempo, a disponibilidade de luz em uma floresta é um fator limitante para o estabelecimento de algumas espécies da flora e fauna (BROWN et al., 2000) e facilitador para o desenvolvimento de espécies invasoras (PARENDES; JONES, 2000).

A disponibilidade de luz é regulada pela quantidade de clareiras existentes e aberturas do dossel que podem ser medidas através de diversos métodos como: sensores de luz, esferodensímetro, fotografias captadas com lente olho de peixe e, até mesmo, com câmeras digitais (MEIRA-NETO et al., 1982; FONSECA; RODRIGUES, 2000; YAMAMOTO, 2000; DURIGAN et al., 2000; VIEIRA; SCARIOT, 2001; LIMA, 2005).

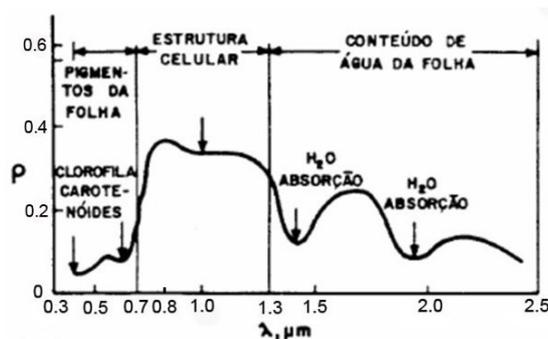
Porém, deve-se fazer distinção entre metodologias que objetivam quantificar a luminosidade em determinado ponto da floresta, com as que objetivam analisar a abertura do dossel ou a cobertura do dossel e, também, com as que procuram dimensionar o tamanho de clareiras.

Outra maneira para se identificar e quantificar clareiras no dossel, sejam elas naturais ou artificiais, é através de imagens de satélites, disponíveis à população civil tais como: IKONOS 2/ PAN; QUICKBIRD/ Pancromática; ERS 2/ RA e SAR; JERS 1/ SAR; SIR-C/ X-SAR; TERRASAR-X/ SAR, entre outras, disponibilizadas por muitas instituições e empresas.

Estudos da vegetação com técnicas de sensoriamento remoto estão diretamente ligados ao dossel da vegetação constituído, principalmente, por folhas e ramos onde as energias incidentes em qualquer uma dessas partes das plantas podem sofrer: espalhamento (reflexão e transmissão) e absorção (PONZONI, 2002).

Uma folha tem seu comportamento espectral em função da sua composição, morfologia e estrutura interna, controlada pela soma dos genes e meio abiótico. Assim, podemos inferir que o dossel da vegetação vai ter um comportamento espectral semelhante à de uma folha, pois a maior parte de sua composição é constituída de folhas.

Na região visível do espectro eletromagnético (0,4  $\mu\text{m}$  a 0,7  $\mu\text{m}$ ), as clorofilas absorvem a radiação eletromagnética; já na região do infravermelho próximo (0,7  $\mu\text{m}$  a 1,3  $\mu\text{m}$ ) a radiação eletromagnética é refletida ou transmitida com absorção mínima, ou seja, a vegetação irá aparecer em tons mais claros de cinza (**Figura 1**).



Fonte: Novo (1989).

**Figura 1:** Comportamento espectral de uma folha verde, onde  $\rho$  é a amplitude e  $\mu\text{m}$  o comprimento da onda eletromagnética.

Atualmente com o grande desenvolvimento tecnológico dos satélites e sensores, existem diversos sensores com diferentes resoluções: resolução espacial (tamanho do pixel), resolução radiométrica (número de bits), resolução espectral (largura da banda) e resolução temporal (revisita a um mesmo ponto imageado), que devem ser escolhidos conforme os objetivos desejados.

Com relação às imagens de satélite, nesta tese optou-se por utilizar a banda pancromática (0,5 - 0,8  $\mu\text{m}$ ) do sensor *High Resolution Camera* - HRC do satélite *China Brazil Earth Resources Satellite* - CBERS-2B, capturadas no dia 25 de agosto de 2008, uma vez que o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE a disponibiliza através do link: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

O satélite CBERS-2B foi lançado em 2007, possui campo de visada de 2,1 graus, resolução espacial de 2,7 metros, resolução temporal de 130 dias e uma largura da faixa imageada 27 km.

Em florestas tropicais os estudos que objetivam analisar a sua estrutura e composição têm sido realizados intensamente devido a sua complexidade e importância para o entendimento do funcionamento e da manutenção das funções ecológicas, e também para que a exploração dos recursos naturais seja feita com maior eficiência. Entre outros métodos, a análise da estrutura do dossel através de imagens da cobertura do dossel, tem se mostrado eficiente nas comparações entre áreas com maior ou menor degradação, ou seja, áreas mais ou menos conservadas (BROWN et al., 2000; SOARES, 2007; GOODENOUGH; GOODENOUGH, 2012).

Para a análise da estrutura do dossel foi escolhido o fragmento de floresta estacional semidecídua, pertencente à fazenda Canchim – Centro de Pesquisa da Pecuária do Sudeste – CPPSE – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, uma vez que este fragmento de mata é um dos mais conservados do Estado de São Paulo, e está localizado no município de São Carlos/ SP.

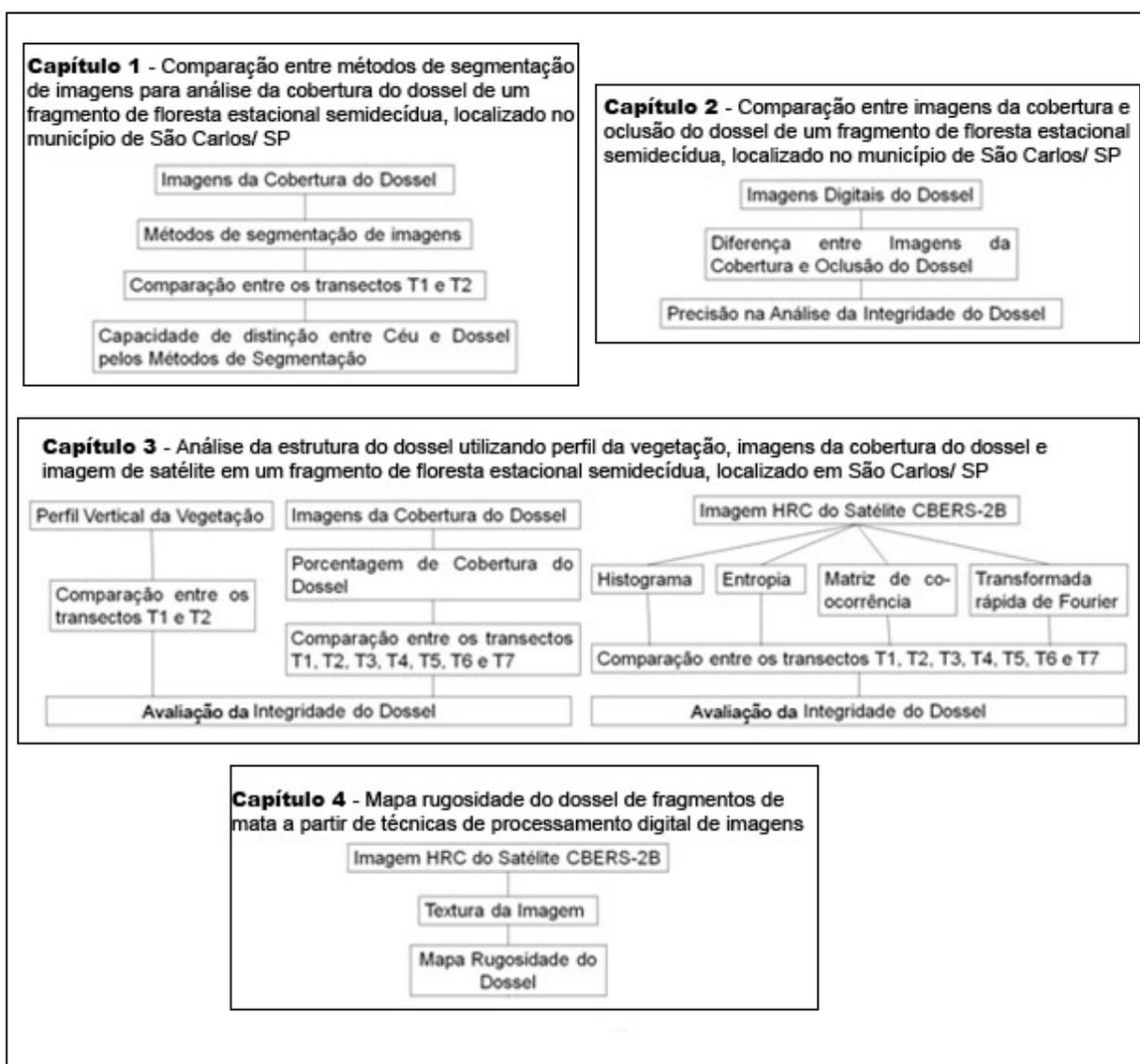
Na mata de estudo foram realizados trabalhos botânicos de florística e fitossociologia (SILVA; SOARES, 2002a, 2002b, 2003), composição e distribuição de lianas (HORA et al., 2008), aspectos da regeneração (LAURITO, 2010) e populações vegetais (ALCALÁ, 2010). Nestes trabalhos, os diversos autores verificaram heterogeneidade ambiental, estrutural, sucessional e fisionômica,

verificando porções ou amostras da vegetação sem, contudo, mapear estas áreas, o que facilitaria futuros tratamentos para recuperação ou conservação.

Com isso, esta tese pretende desenvolver um modelo baseado em imagens para análise da estrutura do dossel, utilizando técnicas de processamento digital de imagens, que facilitam em campo e em laboratório avaliar a conservação da mata, sua integridade, em toda sua extensão, determinando áreas que mereçam atenção e tratamentos específicos.

## 1.1. ESTRUTURAÇÃO DA TESE

A tese foi estruturada em quatro capítulos, todos interligados numa mesma temática de investigação à estrutura do dossel, através de técnicas de processamento digital de imagens (**Figura 2**).



**Figura 2:** Ilustra os diagramas de desenvolvimento metodológico de cada capítulo.

O capítulo 1 analisa a capacidade dos métodos de segmentação de imagens: Limiarização, Jseg, *Watershed Transform Distance Transform* e *Watershed Transform Gradients*, em diferenciar pixels que representam o céu, de pixels que representam o dossel em imagens da cobertura do dossel.

O capítulo 2 compara dois métodos: cobertura do dossel e oclusão do dossel, para a análise da estrutura do dossel. A diferença entre os métodos está na lente de captura das imagens do dossel. Para imagens da cobertura do dossel utilizou-se lente comum, já para captura das imagens da oclusão do dossel utilizou-se lente hemisférica (olho de peixe).

No capítulo 3 foram cruzadas as informações obtidas com: o desenho do perfil vertical dos indivíduos arbóreos representantes do dossel (média de alturas, número de indivíduos mortos e densidade de indivíduos, para os transectos T1 e T2); as imagens da cobertura do dossel (médias de porcentagem da cobertura do dossel e desvios padrão, para os transectos: T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7); e a imagem do sensor *High Resolution Camera - HRC* pancromática do satélite *China Brazil Earth Resources Satellite - CBERS-2B* (visualizando seus histogramas, calculando a homogeneidade, a energia, o contraste e a entropia, através da matriz de coocorrência e gerando as imagens da Transformada Rápida de Fourier - FFT para os transectos: T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7), visando avaliar a utilização da imagem HRC na análise da estrutura do dossel.

No capítulo 4 foi gerado o mapa rugosidade do dossel a partir da análise da textura (entropia local), utilizando a imagem pancromática *High Resolution Camera - HRC* do satélite *China Brazil Earth Resources Satellite - CBERS-2B*, para dois fragmentos de floresta estacional semidecídua, localizados na fazenda Canaã e fazenda Canchim – Centro de Pesquisa da Pecuária do Sudeste – CPPSE – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, município de São Carlos/ SP.

Visando analisar a estrutura do dossel de mata semidecídua, esta tese pretende responder as seguintes questões:

- 1) Qual método de segmentação de imagens, dentre os comparados, é mais eficiente em diferenciar céu e dossel em imagens da cobertura do dossel?
- 2) Entre imagens da cobertura do dossel e da oclusão do dossel, qual a melhor para caracterizar a estrutura do dossel?
- 3) A imagem pancromática *High Resolution Camera* – HRC, do satélite CBERS-2B, pode ser utilizada para caracterizar a estrutura do dossel?
- 4) Qual o estado de conservação do fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado na Fazenda Canchim – Centro de Pesquisa da Pecuária do Sudeste – CPPSE – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA?

## 1.2 REFERÊNCIAS

Agência FAPESP. **Degradação florestal no Brasil preocupa especialistas.** Acessado em: 09 de setembro de 2014. Disponível em: <http://www.agencia.fapesp.br/19759>, 2014.

ALCALÁ, M. **Ecologia da população de *Pachystroma longifolium* (Ness) I. M. Johnst. em área fragmentada de um remanescente de mata atlântica.** 2010. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

ALMEIDA, D. S. **Florística e estrutura de um fragmento de floresta atlântica, no município de Juiz de Fora, Minas Gerais.** 1996. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 1996.

ARMELIN, R. S.; MANTOVANI, W. Definições de clareira natural e suas implicações no estudo da dinâmica sucessional em florestas. **Rodriguésia**, 52 (81): 5-15, p.1-12, 2001. Disponível em: [http://www.jbrj.gov.br/publica/rodriguesia/Rodrig52\\_81/1-soares.pdf](http://www.jbrj.gov.br/publica/rodriguesia/Rodrig52_81/1-soares.pdf). Acessado em: 25 de setembro 2008.

BROKAW, N. V. L. Treefalls: frequency, time, and consequences. In: LEIGHT, E. G. Jr.; RAND, A. S.; WINDSOR, D. M. *The Ecology of a Tropical Forest: Seasonal Rhythms and Long-Term Changes* Washington, D.C: Smith. **Inst. Press**, p.101-108. 1982.

BROWN, N.; JENNINGS, S; WHEELER, P.; NABE-NIELSEN, J. An improved method for the rapid assessment of forest understorey light environments. **Jour. of Appl. Ecol.**, 37: 1044-1053, 2000.

DENSLOW, J. S.; HARTSHORN, G. S. Treefall Gap Environments and Forest Dynamic Process. In: MCDADE, L. A.; BAWA, K. S.; HESPENHEIDE, H. A.; HARTSHORN, G. S. *LA SELVA – Ecology and Natural History of a Neotropical Rain Forest.* Chicago: The University of Chicago Press, p.120 – 128, 1994.

DURIGAN, G.; FRANCO, G. A. D. C.; SAITO, M.; BAITELLO, J. B. Estrutura e diversidade do componente arbóreo da floresta na Estação Ecológica dos Caetetus, Gália, SP. **Revta brasil. Bot.**, São Paulo, V.23, n.3, p.361-373, 2000.

FONSECA, R. C. B.; RODRIGUES, R. R. Análise estrutural e aspectos do mosaico sucessional de uma floresta semidecídua de Botucatu, SP. **Sciencia Forestalis**. 57: 27-43, 2000.

GOODENOUGH, A. E.; GOODENOUGH, A. S. Development of a Rapid and Precise Method of Digital Image Analysis to Quantify Canopy Density and Structural Complexity, **Ecology**, 11 p., 2012.

HORA, R. C. et al. Contribuição das folhas de lianas na produção de serrapilheira em um fragmento de floresta estacional semidecidual em São Carlos, SP. **Rev. Brás. Bot.**, v. 31, n. 2, 2008.

LAURITO, S. F. **Estudo do potencial de regeneração de uma floresta estacional semidecídua, São Paulo, Brasil**. 2010. 71 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

LIMA, R. A. F. Estrutura e regeneração de clareiras em Florestas Pluviais Tropicais. **Revista Brasil. Bot.**, v.28, n.4, p.651-670, 2005.

MEIRA-NETO, J. A. A.; MARTINS, F. R.; SOUZA, A. L. Influência da cobertura e do solo na composição florística do sub-bosque em uma floresta estacional semidecidual em Viçosa, MG, Brasil, **Acta bot. bras.** 19(3): 473-486, 2005.

NOVO, E. M. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo. Edgard Blucher. 308 p., 1989.

PONZONI, F. J. Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a Mata Atlântica. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 28 p., 2002.

SÃO PAULO MAIS VERDE. **Mapa da cobertura vegetal nativa paulista, período 2008 - 2009**. Revista FAPESP. Disponível em: < <http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/08/mapa.pdf>>. 2012.

SILVA. L. A.; SOARES, J. J. Análise sobre o estágio sucessional de um fragmento florestal e sobre suas populações. **Revista Árvore**, v. 26, n. 2, p. 229-236, 2002a.

SILVA. L. A.; SOARES, J. J. Levantamento fitossociológico em um fragmento de Floresta Estacional Semidecídua, no município de São Carlos, SP. **Acta bot. bras.**, v. 16, n. 2, p. 205-216, Disponível em: <<http://www.scielo.br>>, 2002b.

SILVA, L. A.; SOARES, J. J. Composição florística de um fragmento de Floresta Estacional Semidecídua no Município de São Carlos-SP. **Revista Árvore**, v. 27, n. 5, p. 647-656, 2003.

TABARELLI, M. **Clareiras Naturais e a Dinâmica Sucessional de um Trecho de Floresta na Serra da Cantareira, SP**. 1994. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

VIANA, V. M. Biologia e manejo de fragmentos florestais. In: Congresso Florestal Brasileiro, VI, Campos do Jordão. **Anais...**São Paulo, p. 113-8, 1990.

YAMAMOTO, K. Estimation of the canopy-gap size using two photographs taken in different heights. **Ecological Resersh**. 15: 203-208, 2000.

## **CAPÍTULO 1**

**Comparação entre métodos de segmentação de imagens para análise da cobertura do dossel de um fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado no município de São Carlos/ SP**

## **2. Comparação entre métodos de segmentação de imagens para análise de imagens da cobertura do dossel de um fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado no município de São Carlos/ SP**

**RESUMO** - Uma das maneiras para se analisar a estrutura do dossel é por meio de imagens da cobertura do dossel, captadas com a câmera na vertical. O objetivo neste capítulo foi comparar o desempenho de quatro métodos de segmentação de imagens: Limiarização, Jseg, *Watershed Transform Distance Transform* e *Watershed Transform Gradients*, para análise das imagens da cobertura do dossel captadas em um fragmento de floresta estacional semidecídua localizado na Fazenda Canchim – Centro de Pesquisa da Pecuária do Sudeste – CPPSE – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, município de São Carlos/ SP. Neste comparativo, apenas o método de segmentação Jseg conseguiu diferenciar pixel do céu e do dossel com maior precisão em imagens da cobertura do dossel.

**Palavras-chave:** Cobertura do dossel, segmentação de imagens, Jseg.

**ABSTRACT** - **Comparison between images segmentation methods canopy cover images analysis of a semideciduous forest fragment, located in São Carlos/ SP.** One way to analyze the canopy cover is through digital images, taken with the camera lens facing vertical. The chapter's goal was to compare four methods of image segmentation: Thresholding, Jseg, *Watershed Transform Distance Transform* and *Watershed Transform Gradients* for analysis of canopy cover of semi deciduous forest fragment, located on the Canchim farm - EMBRAPA, São Carlos - SP. In this comparison, only the method Jseg could represent more accurately and at low cost to the canopy cover.

**Key-words:** Canopy cover, Images segmentation, Jseg.

## 2.1. INTRODUÇÃO

A análise da estrutura do dossel de matas através de imagens da cobertura do dossel, captadas na vertical, vêm se mostrando eficiente, simples e rápido na avaliação da integridade do dossel (BROWN et al., 2000; SOARES, 2007; GOODENOUGH; GOODENOUGH, 2012).

Em imagens da cobertura do dossel, a distinção entre áreas abertas (pixels representantes do céu) e áreas cobertas pelo dossel (pixels representantes do dossel) em imagens é um desafio para análise da estrutura do dossel, devido às dificuldades em distinguir pixels na transição entre elas e, também, efeitos de reflexo de luz pelas folhas.

A segmentação de imagens utiliza algoritmos que realizam uma pré-análise da imagem e a subdivide em agrupamentos de interesse, o grau de subdivisão vai depender do objeto a ser estudado (GONZALEZ et al., 2004). Neste capítulo, os objetos de interesse a serem separados nas imagens da cobertura do dossel foram: o céu e o dossel (folhas e ramos).

Os algoritmos de segmentação baseiam-se em propriedades de descontinuidade e similaridade dos valores de nível de cinza de uma imagem para dividi-la. A descontinuidade divide uma imagem em relação às mudanças abruptas dos níveis de cinza com a detecção de pontos isolados, linhas e bordas da imagem. Já a similaridade agrupa os diferentes níveis de cinza utilizando: limiarização, crescimento de regiões, divisão e fusão de regiões (BEUCHER; MEYER, 1992; GONZALEZ et al., 2000; GONZALEZ et al., 2004).

Neste capítulo foram comparados quatro métodos de segmentação de imagens: Limiarização, Jseg, *Watershed Transform Distance Transform* e *Watershed Transform Gradients*, descritos a seguir mais detalhadamente.

A segmentação de imagens por Limiarização determina um ou mais limiares entre todos os valores de níveis de cinza de uma imagem, que melhor separar os objetos de interesse do seu plano de fundo, neste caso o céu e o dossel, atribuindo ao céu pixels brancos e dossel pixels pretos, criando uma imagem binária da cobertura do dossel (**Figura 1**).

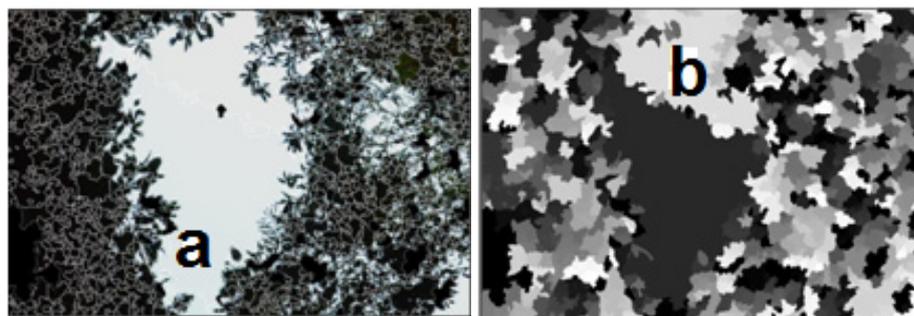


**Figura 1:** Imagem binária da cobertura do dossel (preto e branco).

O método Jseg utiliza o algoritmo Jseg, criado em 1999, pelos pesquisadores Deng e Manjunath (2001) do laboratório de pesquisa de visão da Universidade da Califórnia. Este algoritmo utiliza os elementos cor e textura das imagens para agrupar regiões semelhantes, disponível no link: <http://vision.ece.ucsb.edu/segmentation/jseg/software/>. Sua utilização é normalmente realizada em cenas naturais (DENG; MANJUNATH, 2001; CAVANI et al., 2006; WANG et al., 2007).

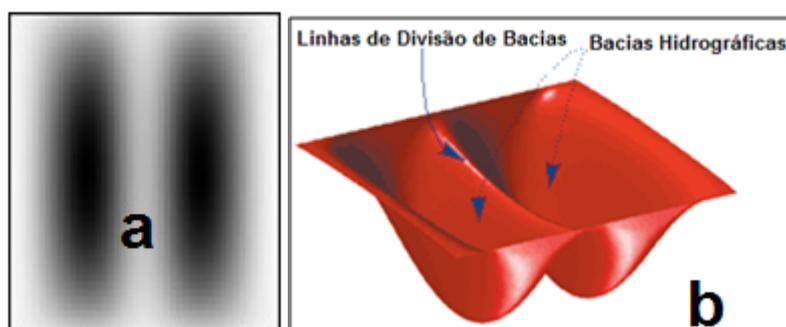
Em Cavani et al., (2006) os autores utilizaram o algoritmo de segmentação Jseg para separar objetos de cenas agrícolas antes da sua classificação por redes neurais, obtiveram ótimos resultados na separação dos objetos. Já Wang et al., (2007) utilizaram o algoritmo Jseg em fotografias aéreas para delimitar as bordas de uma floresta na Suíça e obtiveram excelentes resultados, os quais foram melhorados com a integração aos dados obtidos com a tecnologia *Light Detection And Ranging* - LiDAR.

A utilização do algoritmo Jseg é bem simples com interface MS-DOS, sendo necessário entrar com os seguintes parâmetros: nome da imagem de entrada, tipo de mídia de entrada, imagem de saída com limite, tamanho da imagem, imagem mapa com as regiões semelhantes agrupadas, limite de quantização de cor (quanto maior o valor, menor o número de cores quantizadas na imagem), número de escalas (quanto maior, mais separação) e região de união dos limites. Como saída o algoritmo Jseg produz duas imagens, como mostra a **Figura 2**, uma imagem segmentada com a imagem original no fundo (a) e outra com o mapa imagem em níveis de cinza com as regiões agrupadas (b).



**Figura 2:** Mostra um exemplo de imagens produzidas pelo algoritmo Jseg com: (a) imagem segmentada e (b) imagem mapa das regiões.

*Watershed Transform* é um algoritmo baseado em crescimento de regiões, reunindo os pixels de uma imagem em regiões semelhantes. Seu funcionamento é análogo à criação de bacias hidrográficas, com linhas de divisão de bacias (divisor de bacias) **Figura 3** (a) e (b). Segundo Gonzalez et al., (2004) “como a ponte que divide áreas drenadas por sistemas fluviais diferentes”.



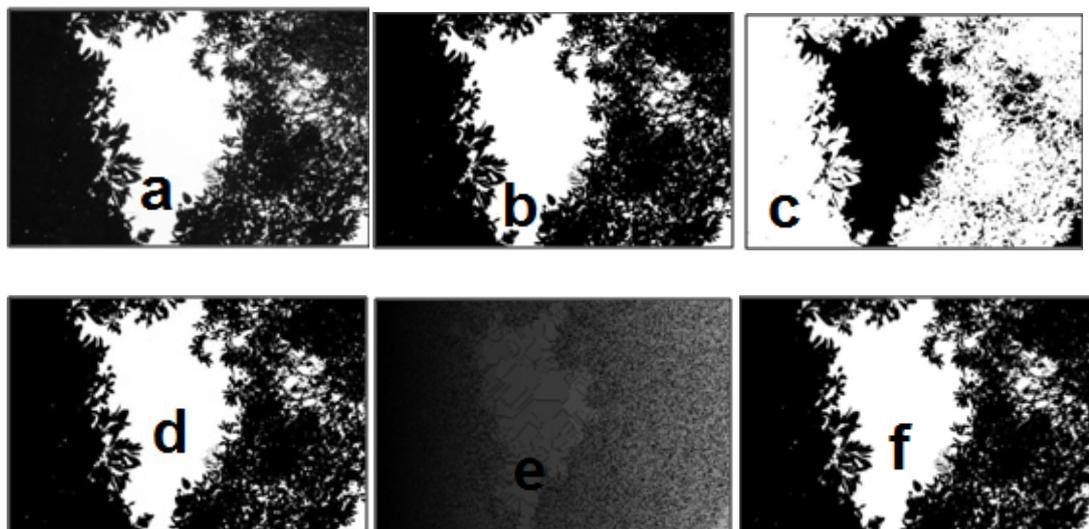
Fonte: [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)

**Figura 3:** Mostra um esquema ilustrativo do algoritmo *Watershed Transform*, imagem: (a) níveis de cinza e (b) imagem topográfica.

O algoritmo *Watershed Transform* com a ferramenta *Distance Transform* é utilizado para definir a distância de um pixel ao mais próximo, que seja diferente de zero, utilizando a distância Euclidiana (GONZALEZ et al., 2004).

Para a segmentação de imagens com o *Watershed Transform* com a ferramenta *Distance Transform*, são necessários os seguintes passos: conversão das imagens RGB para níveis de cinza, transformação destas para imagens binárias, criação da imagem complemento, da imagem *Distance Transform*, da imagem *Watershed Transform* e, finalmente, da imagem segmentada, contendo as

linhas de divisão sobrepostas em preto sobre a imagem binária, como mostra a **Figura 4**.



**Figura 4:** Exemplo de imagens: (a) níveis de cinza, (b) imagem binária, (c) imagem complemento, (d) imagem *Distance Transform*, (e) imagem *Watershed Transform* e (f) imagem *Watershed Transform* com a ferramenta *Distance Transform*.

Já o algoritmo *Watershed Transform com a ferramenta Gradients* para segmentação de imagens, utiliza o gradiente magnitude, um pré-processamento da imagem em níveis de cinza, onde os altos valores dos pixels são as bordas dos objetos e os baixos valores, o restante (GONZALEZ et al., 2004).

Para utilização do *Watershed Transform Gradients* é necessário criar a imagem gradiente magnitude, gerar a imagem *Watershed Transform* e, finalmente, gerar a imagem das linhas de divisão de bacias, criada pela imagem *Watershed Transform Gradients* mostrada na **Figura 5**.



**Figura 5:** Exemplo de imagens: (a) gradiente magnitude, (b) *Watershed Transform* e (c) linhas de divisão de bacias.

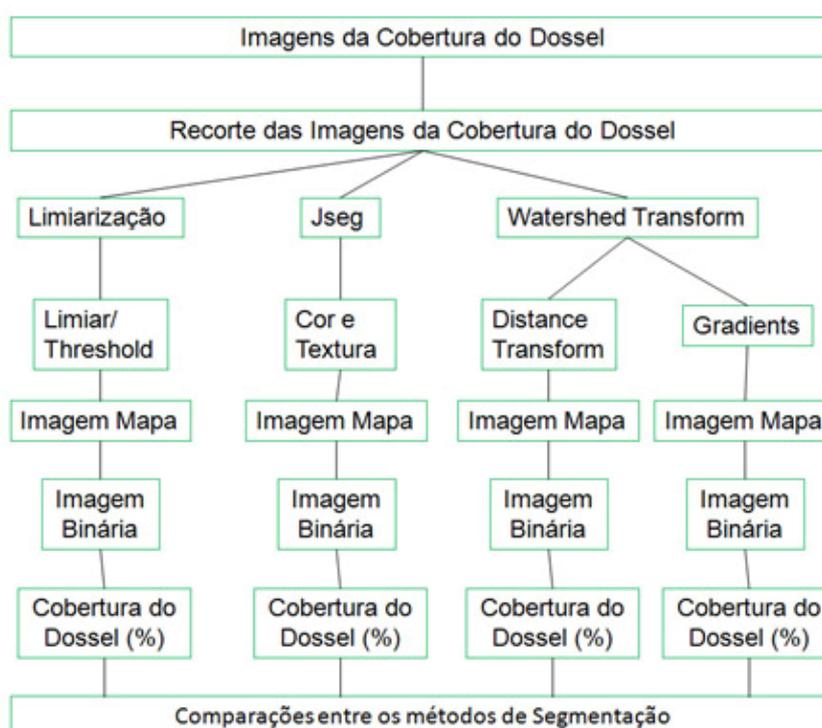
## 2.2. OBJETIVO

Este capítulo tem como objetivo comparar os métodos de segmentação de imagens: Limiarização, Jseg, *Watershed Transform Distance Transform* e *Watershed Transform Gradients*, com intuito de identificar o mais apropriado em diferenciar céu e dossel, em imagens da cobertura do dossel.

## 2.3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste capítulo foram captadas imagens da cobertura do dossel em duas áreas, uma área mais conservada onde foi alocado o transecto T1 e outra, menos conservada (degradada), onde foi alocado o transecto T2. Escolhidas previamente, com especialista, para fins de comparação.

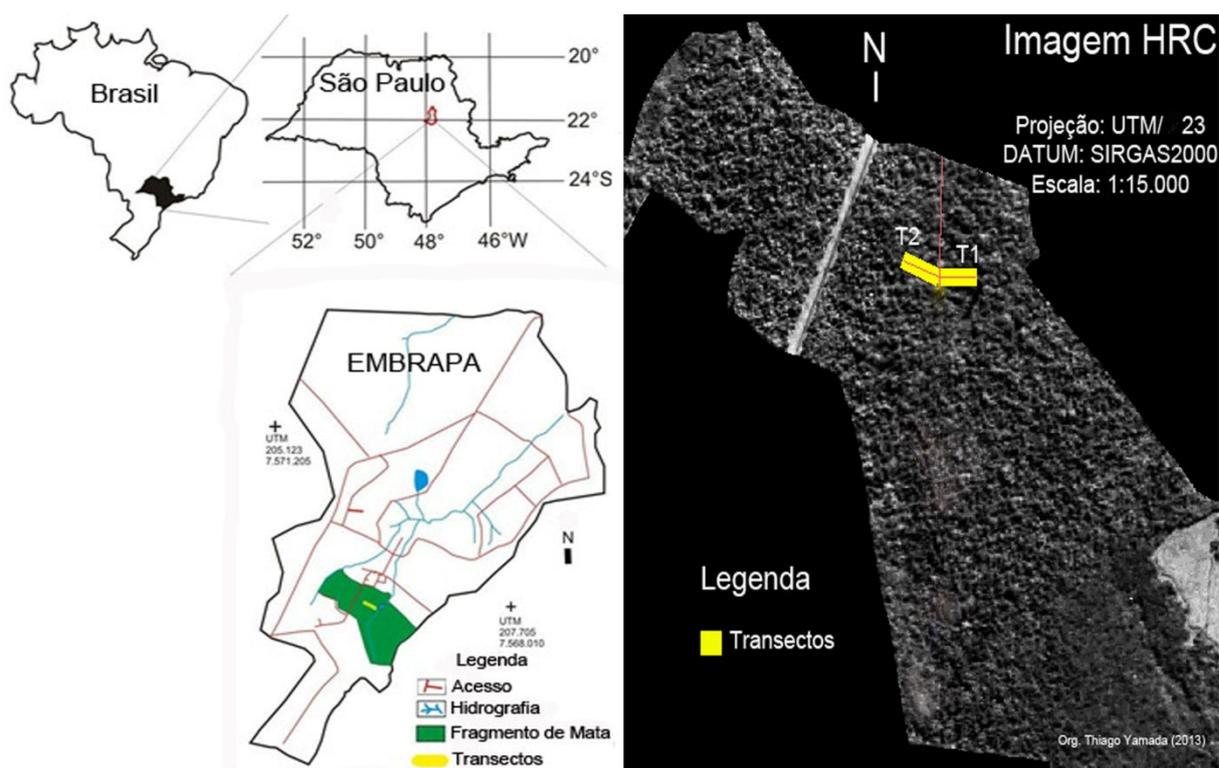
A **Figura 6** ilustra, em um diagrama, as etapas realizadas para comparação dos métodos de segmentação de imagens: Limiarização, Jseg, *Watershed Transform Distance Transform*, *Watershed Transform Gradients*, aplicados em imagens da cobertura do dossel.



**Figura 6:** Diagrama metodológico para comparação dos quatro métodos de segmentação de imagens utilizados neste capítulo.

A primeira etapa constou com a aquisição das imagens da cobertura do dossel, capturadas a uma altura de 1,5 metros em relação ao solo, com uma câmera digital Nikon D7000, no dia 09 de agosto de 2011, com a lente na vertical, de dez em dez metros, percorrendo um total de 200 metros (transecto T1 e transecto T2), totalizando 22 imagens. Na câmera foram escolhidos os seguintes parâmetros: dimensão de 4928 x 3264 pixels, resolução de 300 dpi, representação RGB, distância focal de 18 mm, foco ajustado para infinito, velocidade e abertura do obturador determinados automaticamente e ISO - 6400.

A área escolhida para captura das imagens da cobertura do dossel foi um fragmento de floresta estacional semidecídua localizado na Fazenda Canchim – Centro de Pesquisa da Pecuária do Sudeste – CPPSE – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, município de São Carlos/ SP, que possui uma área total de 112 hectares (**Figura 7**).



Fonte: Primavesi (1999) e satélite CBERS-2B.

**Figura 7:** Localização dos transectos T1 e T2 no fragmento de floresta estacional semidecídua da Fazenda Canchim – EMBRAPA, São Paulo, Brasil.

Na próxima etapa chamada pré-processamento todas as 22 imagens captadas da cobertura do dossel foram importadas para o ambiente computacional matemático MATLAB, para serem divididas em nove partes, com as mesmas dimensões de 1643 x 1089 pixels (**Figura 8a**).



**Figura 8:** Contém: (a) uma imagem subdividida em nove partes iguais e (b) uma imagem recortada com apenas a parte central.

Optou-se por utilizar apenas as partes centrais das imagens (**Figura 8b**), pois assim é possível representar a cobertura do dossel de um ponto específico, ponto de captura da imagem com precisão e baixo custo, além das partes centrais das imagens serem as que menos sofrem distorção na escala (SOARES, 2007; SUGANUMA et al., 2008; GOODENOUGH e GOODENOUGH, 2012).

Assim, passou-se para a etapa de processamento, na qual apenas as partes centrais das imagens da cobertura do dossel foram segmentadas, sendo processadas para imagens mapa que contêm conjuntos de pixels semelhantes (regiões agrupadas que possuem identificação única) (**Figura 9**).



**Figura 9:** Exemplo de imagem mapa obtida com o método de segmentação Jseg, com regiões agrupadas que possuem identificação única.

A próxima etapa foi o reconhecimento de cada uma das regiões agrupadas como sendo céu ou dossel. O reconhecimento foi realizado manualmente, identificando visualmente por comparação com as imagens da cobertura do dossel de entrada quais regiões nas imagens mapa eram céu ou dossel. As regiões rotuladas como sendo céu foram preenchidas com pixels brancos, já as regiões rotuladas como sendo cobertura do dossel, preenchidas com pixels pretos.

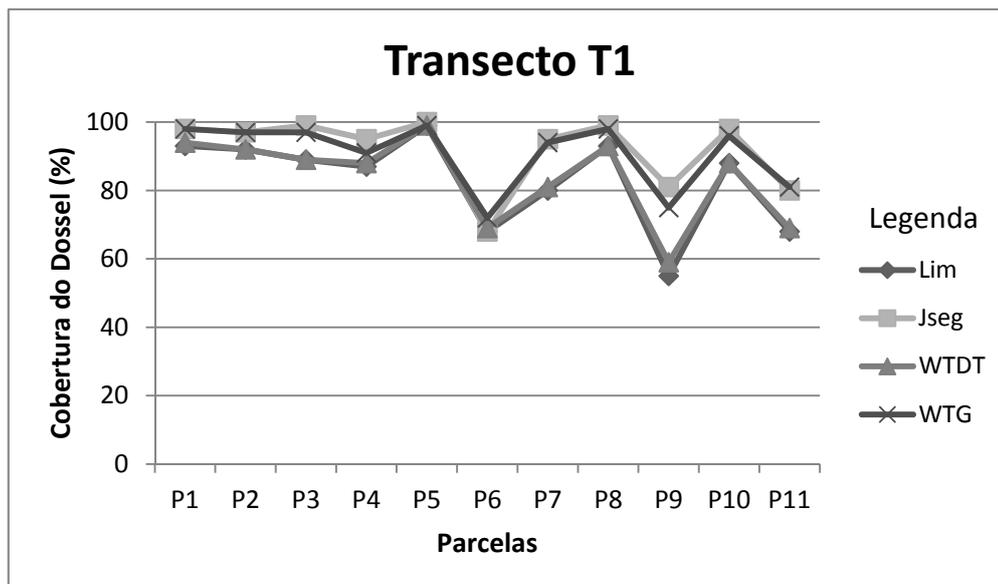
A última etapa realizada foi o cálculo da porcentagem da cobertura do dossel para cada uma das 22 imagens pertencentes aos transecto T1 e T2, através da soma das regiões rotuladas com pixels pretos (cobertura do dossel) divididos por cem.

Assim, foi possível comparar o desempenho de cada um dos quatro métodos de segmentação, utilizados para separar pixels representantes do céu de pixels representantes do dossel, em imagens da cobertura do dossel.

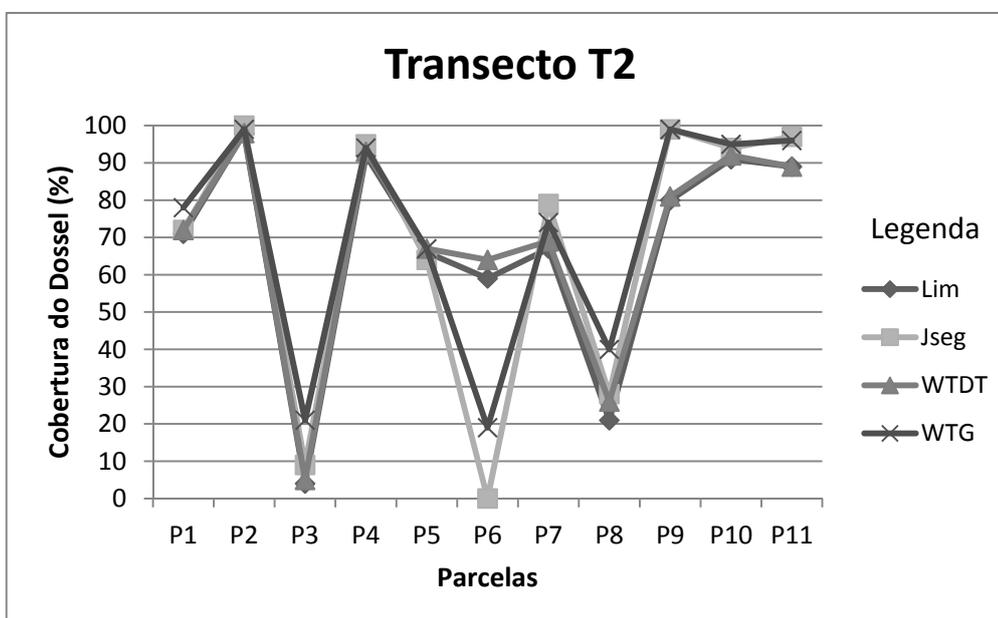
## **2.4. RESULTADOS e DISCUSSÃO**

De maneira geral, os métodos de segmentação de imagens Limiarização, *Jseg*, *Watershed Transform Distance Transform* e *Watershed Transform Gradients*, aplicados em imagens da cobertura do dossel, conseguiram identificar diferenças significativas entre as coberturas do dossel dos transectos T1 e T2. Tendo o transecto T1 maior cobertura do dossel e transecto T2 menor cobertura do dossel (**Figuras 10 e 11**).

No entanto, cada um dos métodos de segmentação de imagens, em alguns casos, apresentou diferentes valores de porcentagem da cobertura do dossel para uma mesma imagem, ou seja, cada um dos métodos de segmentação de imagens obteve desempenho diferente em separar pixels que representam a cobertura do dossel de pixels que representam o céu, em imagens da cobertura do dossel (**Figuras 10 e 11**).



**Figura 10:** Imagem com as porcentagens da cobertura do dossel obtidas com os métodos de segmentação de imagens: Limiarização (**Lim**), **Jseg**, *Watershed Transform Distance Transform* (**WTDT**) e *Watershed Transform Gradients* (**WTG**), para o transecto T1.



**Figura 11:** Imagem com as porcentagens da cobertura do dossel obtidas com os métodos de segmentação de imagens: Limiarização (**Lim**), **Jseg**, *Watershed Transform Distance Transform* (**WTDT**) e *Watershed Transform Gradients* (**WTG**), para o transecto T2.

O **Quadro 1** mostra em detalhes os valores de percentagem da cobertura do dossel, calculados pelos métodos de segmentação de imagens: Limiarização, Jseg, *Watershed Transform Distance Transform* e *Watershed Transform Gradients* para cada parcela do transecto T1.

Todos os valores de percentagem da cobertura do dossel obtidos para o transecto T1, por todos os métodos de segmentação de imagens, revelaram que o transecto T1 possui valores de percentagem da cobertura do dossel entre 55 % e 100 %. Isto mostra que os valores de percentagem da cobertura do dossel variaram em uma estreita faixa de amplitude, indicando uma alta cobertura do dossel (**Quadro 1**).

**Quadro 1:** Quadro com as percentagens da cobertura do dossel obtidas com os métodos de segmentação: Limiarização (**Lim**), Jseg (**Jseg**), *Watershed Transform Distance Transform* (**WTDT**) e *Watershed Transform Gradients* (**WTG**), para o transecto T1.

Transecto T1/ Parcelas	Métodos de Segmentação			
	<b>Lim</b> (%)	<b>Jseg</b> (%)	<b>WTDT</b> (%)	<b>WTG</b> (%)
P1	93	98	94	98
P2	92	97	92	97
P3	89	99	89	97
P4	87	95	88	91
P5	99	100	99	99
P6	68	68	69	72
P7	80	95	81	94
P8	93	99	93	98
P9	55	81	59	75
P10	88	98	88	96
P11	68	80	69	81

O **Quadro 2** revela todos os valores de percentagem da cobertura do dossel, obtidos pelos métodos de segmentação de imagens: Limiarização, Jseg, *Watershed Transform Distance Transform* e *Watershed Transform Gradients* para cada parcela do transecto T2.

O transecto T2 obteve com todos os métodos de segmentação, valores de percentagem da cobertura do dossel que variaram entre 0 % a 100 %, ou seja, indicando uma baixa cobertura do dossel, com a presença de clareiras naturais (**Quadro 2**).

**Quadro 2:** Quadro com as percentagens da cobertura do dossel obtidas com os métodos de segmentação: Limiarização (**Lim**), Jseg (**Jseg**), *Watershed Transform Distance Transform* (**WTDT**) e *Watershed Transform Gradients* (**WTG**), para o transecto T2.

Transecto T2/ Parcelas	Métodos de Segmentação			
	<b>Lim</b> (%)	<b>Jseg</b> (%)	<b>WTDT</b> (%)	<b>WTG</b> (%)
P1	71	72	72	78
P2	98	100	98	99
P3	4	9	5	21
P4	92	95	93	94
P5	66	64	67	67
P6	59	0	64	19
P7	67	79	69	74
P8	21	28	26	40
P9	80	99	81	99
P10	91	94	92	95
P11	89	97	89	96

O método Limiarização obteve, nas parcelas P6, P9 e P11 do transecto T1, os menores valores de porcentagem da cobertura do dossel; isto ocorreu devido à presença de clareiras naturais antigas (verificadas em campo) (**Quadro 1**). O transecto T2 possui três clareiras naturais nas parcelas P3, P6 e P8 (verificadas em campo) (**Quadro 2**), no entanto, na parcela P6, o método falhou em calcular uma porcentagem da cobertura do dossel de 59 % onde a imagem é inteiramente céu com 0 % de porcentagem da cobertura do dossel (**Quadro 2**).

O método de segmentação de imagens Jseg também conseguiu observar uma maior cobertura do dossel para o transecto T1 em relação ao transecto T2, sendo o único método a obter 0 % de porcentagem da cobertura do dossel, onde a imagem realmente mostrava apenas céu, parcela P6 do transecto T2 (**Quadro 2**).

O método de segmentação de imagens *Watershed Transform Distance Transform* se comportou de maneira semelhante ao método Limiarização, averiguando características semelhantes da cobertura do dossel, porém algumas partes da cobertura do dossel por estarem mais iluminadas pelo ângulo de incidência da radiação solar da manhã (horário de captura das imagens da cobertura do dossel), ao invés de serem rotuladas com pixels pretos (cobertura do dossel), foram rotuladas com pixels brancos (abertura do dossel), diminuindo a porcentagem da cobertura do dossel.

O método de segmentação de imagens *Watershed Transform Gradients*, assim como todos os outros métodos testados, conseguiu identificar o transecto T1 como tendo uma maior cobertura do dossel em relação ao transecto T2, com menor cobertura do dossel. Em sua análise da cobertura do dossel, o método de segmentação de imagens *Watershed Transform Gradients* se assemelhou ao método Jseg, mas na parcela P6 do transecto T2 foi calculado uma porcentagem de cobertura do dossel de 19 %, onde foi observada uma porcentagem da cobertura do dossel de 0 % (**Quadro 2**).

## 2.5. CONCLUSÃO

A comparação dos métodos de segmentação de imagens: Limiarização, Jseg, *Watershed Transform Distance Transform* e *Watershed Transform Gradients*, mostrou que todos tiveram erros e acertos em diferenciar pixels representantes do céu e do dossel em imagens da cobertura do dossel, no entanto foi o método de segmentação Jseg que melhor caracterizou a cobertura do dossel.

## 2.6. REFERÊNCIAS

ARMELIN, R. S.; MANTOVANI, W. 2001. Definições de clareira natural e suas implicações no estudo da dinâmica sucessional em florestas. **Rodriguesia**, 52(81): 5-15, p.1-12. Disponível em: [http://rodriguesia.jbrj.gov.br/FASCICULOS/Rodrig52\\_81/1-soares.pdf](http://rodriguesia.jbrj.gov.br/FASCICULOS/Rodrig52_81/1-soares.pdf). Acessado em: 25 de setembro 2009.

BROKAW, N. V. L. Treefalls: frequency, time, and consequences. In: LEIGHT, E. G. Jr.; RAND, A. S.; WINDSOR, D. M. *The Ecology of a Tropical Forest: Seasonal Rhythms and Long-Term Changes*, Washington, D.C: Smithsonian Press, pp.101-108, 1982.

BROWN, N.; JENNINGS, S.; WHEELER, P.; NABE-NIELSEN, J. An improved method for the rapid assessment of forest understorey light environments. **Jour. of Appl. Ecol**, 37: 1044-1053, 2000.

BEUCHER, S.; MEYER, F. The morphological Approach to segmentation: The watershed transformation, In: DOUGHERTY, E. R. **Mathematical Morphology in Image Processing**. New York: Marcel Dekker Inc, Chapter 12, pp. 433-482, 1992.

CAVANI, F. A.; SOUSA, R. V.; PORTO, A. J. V.; TRONCO, M. L. Segmentação e classificação de imagens de laranjeiras utilizando Jseg e perceptron multicamadas. *Pesquisa e Tecnologia – Minerva*, 3(2): 189-197, 2006.

DENG, Y.; MANJUNATH, B. S. Unsupervised segmentation of color-texture regions in images and video. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 23(8): pp. 800-810, 2001.

DENSLOW, J. S.; HARTSHORN, G. S. Treefall Gap Environments and Forest Dynamic Process. In: MCDADE, L. A.; BAWA, K. S.; HESPENHEIDE, H. A.; HARTSHORN, G. S. *LA SELVA – Ecology and Natural History of a Neotropical Rain Forest*. Chicago: The University of Chicago Press, pp.120 – 128, 1994.

DURIGAN, G.; FRANCO, G. A. D. C.; SAITO, M.; BAITELLO, J. B. Estrutura e diversidade do componente arbóreo da floresta na Estação Ecológica dos Caetetus, Gália, SP. **Revista brasil. Bot.**, São Paulo, v.23, n.3, pp. 361-373, 2000.

GONZALEZ. R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de Imagens Digitais**. São Paulo, Brasil: Ed. Edgard Blucher LTDA, 2000.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R.; EDDINS, S. **Digital image processing using MATLAB**. Person Education, Inc. New Jersey, 2004.

GOODENOUGH, A. E.; GOODENOUGH, A. S. Development of a Rapid and Precise Method of Digital Image Analysis to Quantify Canopy Density and Structural Complexity, **Ecology**, 11 p., 2012.

MEIRA-NETO, J. A. A.; MARTINS, F. R.; SOUZA, A. L. Influência da cobertura e do solo na composição florística do sub-bosque em uma floresta estacional semidecidual em Viçosa, MG, Brasil. **Acta bot. bras.** v. 19, n. 3, p. 473-486, 2005.

PARENDES, L. A.; JONES, J. A. Role of light availability and dispersal in exotic planta invasion along roads and streams in the H.J. Andrews Experimental Forest, Oregon. **Conservation Biology**, v. 14, n. 1, p.64-75, 2000.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C. P. A.; PEDROSO, A. F.; CAMARGO, A. C.; RASSINI, J. B.; FILHO, J. R.; OLIVEIRA, G. P.; CORREA, L. A.; ARMELIN, M. J. A.; VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F. Microbacia hidrográfica do ribeirão Canchim: um modelo real de laboratório ambiental. **Boletim de Pesquisa**, EMBRAPA – Ministério da agricultura e do abastecimento, 133 p., 1999. Disponível em: <http://www.cppse.embrapa.br/080servicos/070publicacao gratuita/boletim-de-pesquisa-desenvolvimento/BOLETIM DE PESQUISA 5.pdf>.

SÃO PAULO MAIS VERDE. **Mapa da vegetação nativa do estado de São Paulo, período 2008 - 2009**. Revista FAPESP, 2012. Disponível em: [revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/.../08/mapa.pdf](http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/.../08/mapa.pdf)

SILVA, L. A.; SOARES, J. J. Levantamento fitossociológico em um fragmento de floresta estacional semidecídua, no município de São Carlos, SP. **Acta bot. bras.** v.16, n.2, p. 205-216. Disponível em: <http://www.scielo.br>. Acessado em: 4 de março de 2009, 2002.

SOARES, M. S. **Composição Florística e estrutural fitossociológica de uma floresta estacional semidecidual em Araras, SP.** 46f. 2007. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2007.

STOJANOVA, D.; PANOV, P.; GJORJIOSKI, V.; KOBLER, A.; DZEROSKI, S. Estimating vegetation height and canopy cover from remotely sensed data with machine learning. **Ecological Informatics**, vol. 5, 256-266, 2010.

SUGANUMA, M. S.; TOREZAN, J. M. D.; CAVALHEIRO, A. L.; VANZELA, A. L. L.; BENATO, T. Comparando metodologias para avaliar a cobertura do dossel e a luminosidade no sub-bosque de um reflorestamento e uma floresta madura. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.377-385, 2008.

TABARELLI, M. **Clareiras Naturais e a Dinâmica Sucessional de um Trecho de Floresta na Serra da Cantareira, SP.** 142 f. 1994. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

VIANA, V. M. Biologia e manejo de fragmentos florestais. In: VI Congresso Florestal Brasileiro, Campos do Jordão. **Anais...**, São Paulo, p. 113-8, 1990.

VIEIRA, D. L. M.; SCARIOT, A. Abertura de dossel: indicador do estado de conservação de fragmentos de florestas decíduais do Vale do Paranã - GO, In: **Anais: resumos dos trabalhos.** Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília, DF, 2001.

WANG, Z.; BOESCH, R.; GINZLER, C. Color and LIDAR data fusion: application to automatic forest boundary delineation in aerial images. **Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.** 36, 1/W51: 4 p., 2007.

YAMAMOTO, K. Estimation of the canopy-gap size using two photographs taken in different heights. **Ecological Research**. 15: 203-208, 2000.

## **CAPÍTULO 2**

**Comparação entre imagens da cobertura e da oclusão do dossel de um fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado no município de São Carlos/ SP**

### **3. Comparação entre imagens da cobertura e da oclusão do dossel de um fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado no município de São Carlos/ SP**

**RESUMO** - Este capítulo tem como objetivo comparar duas áreas em um fragmento de floresta estacional semidecídua para verificar o estado de conservação. Para comparação destas áreas foram aplicados dois métodos: imagem vertical (cobertura do dossel) e lente olho de peixe (oclusão do dossel). Foram obtidas 22 imagens com cada método ao longo de dois transectos no fragmento de floresta, um em área conservada e outro em área menos conservada (degradada) separadas por uma trilha. A câmera foi posicionada na vertical a 1,5 metros do solo em um dia ensolarado. As imagens foram processadas com os softwares MATLAB e *Gap Light Analyzer* - GLA. A comparação das duas áreas demonstrou uma alta distinção entre áreas mais e menos conservadas com os dois métodos. A cobertura do dossel demonstrou uma maior eficiência para determinar o grau de perturbação.

**Palavras-chave:** Cobertura do dossel, oclusão do dossel, estrutura do dossel, Mata semidecídua.

**ABSTRACT** - **Comparison between images of canopy cover and canopy closure a semideciduous forest fragment located in São Carlos /SP.** The aim of chapter was to compare two areas of a seasonal semideciduous forest fragment to verify the conservation status. To compare the areas was employed two methods: vertical image (canopy cover) and fisher eyes lens (canopy closure). Were obtained 22 images in each method along two transects in the forest, one of these in a well conserved and another in a bad conservation area (degraded) separated by a trail. The camera was positioned on vertical form at 1,5 m over the soil in a sunny day. The images were processed with MATLAB e *Gap Light Analyzer* - GLA program. The comparison of the two areas demonstrated a high distinction between more conservation and less conservation with the two methods. The canopy cover demonstrated more efficiency to determine perturbation grade.

**Key-words:** Canopy cover, canopy closure, canopy structure, semideciduous forest fragment.

### 3.1. INTRODUÇÃO

Os estudos sobre o estado de conservação de remanescentes florestais têm sido objeto de diversos estudos que utilizam: imagens digitais, análise fitossociológica com a proporção de espécies ou de indivíduos pertencentes a diferentes estágios sucessionais, quantificação de clareiras ou representação da projeção individual das árvores em um plano.

Análises através da tecnologia *Light Detection And Ranging* - LiDAR têm sido usadas de forma promissora para verificar a topografia do dossel (NILSSON, 1996; GIONGO et al., 2010; STOJANOVA et al., 2010), mas também com elevado custo.

As análises fitossociológicas com a classificação das espécies em classes sucessionais são eficientes, porém, necessitam de maiores estudos para classificação das espécies, além de serem demoradas e necessitarem de equipe especializada, o que eleva os custos e o tempo dos trabalhos.

A representação da projeção das copas das árvores em um plano horizontal (PEIXOTO et al., 1995) pode ser eficiente mas é também demorado, com problemas de sobreposição das copas e, em geral, de efeito localizado.

A análise por imagens digitais do dossel captadas na vertical tem sido usada para analisar a estrutura do dossel. Poucos trabalhos têm se preocupado com a análise do dossel, entre outros, verificamos a análise do dimensionamento de clareiras (YAMAMOTO, 2000; LIMA, 2005), da quantificação de luminosidade em determinado ponto do solo florestal utilizado em estudos de regeneração (MEIRANETO et al., 2005; SUGANUMA et al., 2008; PEIXOTO, E. de L., 2012), da abertura do dossel (NASCIMENTO et al., 2007) e da análise da estrutura do dossel (SOARES, 2007).

Mas quando o trabalho visa analisar a estrutura do dossel, devemos considerar dois aspectos: a oclusão do dossel (*canopy closure* ou *canopy openness*) e a cobertura do dossel ou densidade do dossel (*canopy cover* ou *canopy density*). A oclusão do dossel pode ser definida como a proporção coberta do céu pelo dossel, a partir de um determinado ponto, com imagens captadas com uma lente hemisférica (olho de peixe); Já a cobertura do dossel como a representação da proporção do céu coberto pela projeção vertical da cobertura arbórea em uma

superfície imaginária horizontal (JENNINGS et al., 1999; STOJANOVA et al., 2010) ou a fração do solo coberta pelas copas das árvores (KORHONEN et al., 2006).

A diferença é sutil, mas importante para definir melhor os objetivos e a metodologia de qualquer trabalho que visa analisar a estrutura do dossel. No primeiro caso, verifica-se, a partir de um ponto determinado, a possibilidade de entrada de luz direta (regime de luz) sobre este ponto. No segundo caso, objetiva-se verificar se há cobertura do dossel, na vertical, a partir de um ponto determinado. A **Figura 1** mostra a diferença entre os dois métodos de investigação do dossel. A oclusão do dossel sofre interferência da altura do dossel ao passo que a cobertura do dossel não (JENNINGS et al., 1999).



Fonte: Imagem baseada em Korhonen et al. (2006).

**Figura 1:** Mostra a diferença entre: (a) cobertura do dossel e (b) oclusão do dossel.

A avaliação do regime de luz no sub-bosque fornece importante informação sobre germinação e crescimento de plântulas, determinante para o habitat da fauna, associada ao nível do solo, ascende em importância para estudos de restauração e conservação de florestas tropicais (BROWN et al., 2000; GOODENOUGH; GOODENOUGH, 2012).

A análise da cobertura ou densidade do dossel em ecossistemas florestais é um dos aspectos mais importantes para estudos sobre a estrutura da floresta (BARNES et al., 1998). Apesar da importância desta análise, poucos trabalhos têm sido realizados em florestas tropicais para fins de comparação.

### 3.2. OBJETIVO

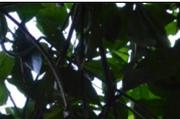
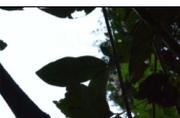
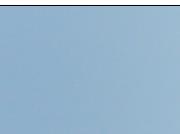
Este capítulo se propõe a comparar imagens da cobertura do dossel e da oclusão do dossel para análise da estrutura do dossel, em um fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado na fazenda Canchim – Centro de Pesquisa da Pecuária do Sudeste – CPPSE – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, município de São Carlos/ SP.

### 3.3. METODOLOGIA

Neste capítulo foram utilizadas imagens capturadas em duas áreas, área mais conservada, transecto T1 e área menos conservada (degradada), transecto T2, caracterizadas assim, devido a visitas em campo com especialista e, por este motivo, escolhidas para fins de comparação.

A primeira etapa constou com a aquisição das imagens da cobertura e da oclusão do dossel, capturadas de dez em dez metros, a uma altura de 1,5 metros em relação ao solo, percorrendo um total de 200 metros, com uma câmera digital Nikon D7000, no dia 09 de agosto de 2011, com a lente na vertical, totalizando 44 imagens (**Quadro 1**), sendo 11 imagens da cobertura do dossel e 11 imagens da oclusão do dossel para cada um dos transectos, T1 e T2. A distância entre os pontos deve ser maior que o diâmetro das copas (JENNINGS et al., 1999).

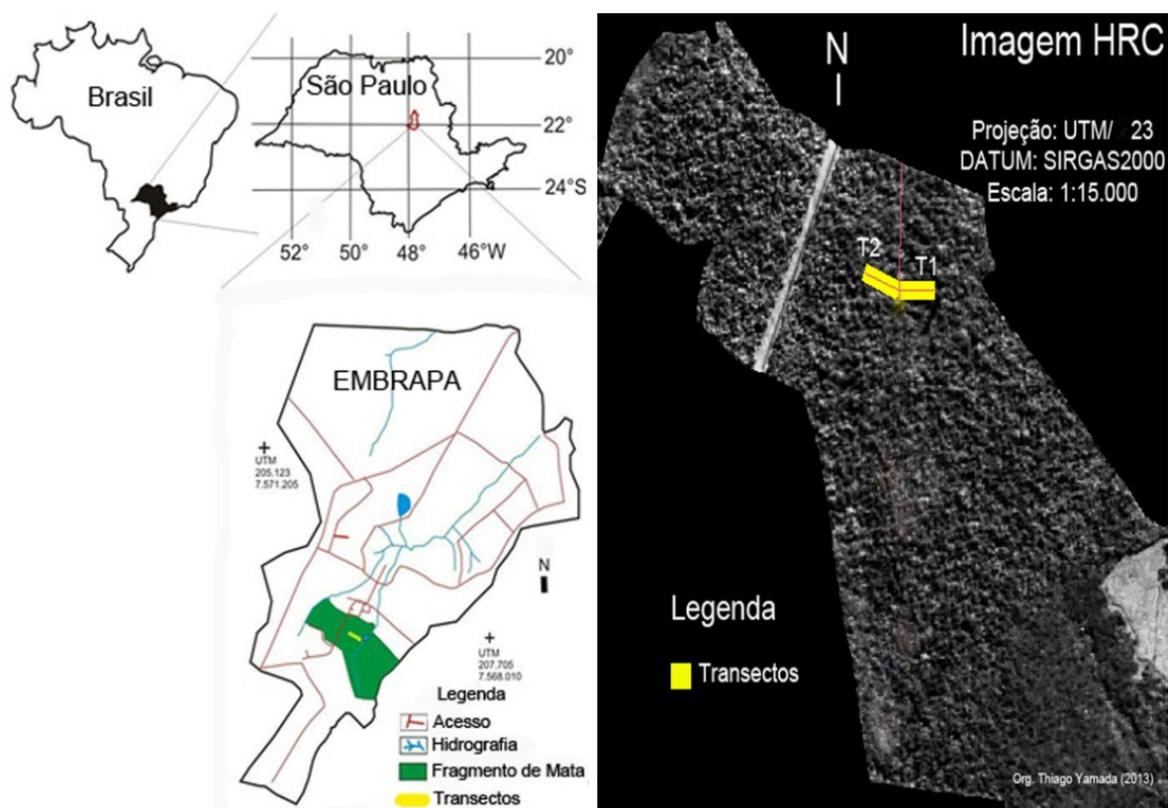
**Quadro 1:** Quadro com todas as imagens da cobertura do dossel e da oclusão do dossel, para os transecto T1 e T2.

Parcelas	Cobertura do Dossel		Oclusão do Dossel	
	Transecto T1	Transecto T2	Transecto T1	Transecto T2
P1				
P2				
P3				
P4				
P5				
P6				
P7				
P8				
P9				
P10				
P11				

Para captura das imagens da cobertura do dossel foram escolhidos os seguintes parâmetros na câmera: dimensão de 4928 x 3264 pixels, resolução de 300 dpi, representação RGB, distância focal de 18 mm, foco ajustado para infinito, velocidade e abertura do obturador determinados automaticamente e ISO – 6400.

Já para captura das imagens da oclusão do dossel, além de utilizar os mesmos parâmetros descritos acima para cobertura do dossel, foi acoplado à lente da câmera uma lente conversora olho de peixe 0,21x *Digital King Fish Eye Lens Optics Japan*.

A área apurada, para a captura das imagens digitais do dossel, foi o fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado na Fazenda Canchim – Centro de Pesquisa da Pecuária do Sudeste – CPPSE – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, município de São Carlos/ SP, que possui uma área total de 112 hectares (**Figura 2**).



Fonte: Primavesi (1999) e satélite CBERS-2B.

**Figura 2:** Localização dos transectos T1 e T2 no fragmento de Mata da Fazenda Canchim – EMBRAPA, São Paulo, Brasil.

Para análise da cobertura do dossel foi feito um pré-processamento, onde todas as 22 imagens capturadas da cobertura do dossel foram importadas para o ambiente computacional matemático MATLAB, para serem divididas em nove partes com as mesmas dimensões de 1643 x 1089 pixels.

Optou-se por utilizar apenas as partes centrais das imagens, pois assim é possível representar a cobertura do dossel de um ponto específico, ponto de captura da imagem com precisão e baixo custo, além das partes centrais das imagens serem as que menos sofrem distorção na escala (SOARES, 2007; SUGANUMA et al., 2008; GOODENOUGH e GOODENOUGH, 2012). Segundo Avery e Burkhart, (1994) apud Jennings et al., (1999), na prática, ângulos são assumidos como vertical quando a inclinação tem menos de 3 graus.

Assim, passou-se para a etapa de processamento na qual apenas as partes centrais das imagens da cobertura do dossel passaram pelo algoritmo de segmentação de imagens Jseg, que analisa cor e textura para segmentação, muito utilizado em cenas naturais, além de ter sido o segmentador mais preciso dentre outros testados no capítulo 1.

A próxima etapa foi o reconhecimento de cada uma das regiões agrupadas, como sendo céu ou dossel. O reconhecimento foi realizado manualmente, identificando visualmente por comparação com as imagens da cobertura do dossel originais quais regiões nas imagens mapa eram céu ou dossel. As regiões rotuladas como sendo céu foram preenchidas com pixels brancos, já as regiões rotuladas como sendo cobertura do dossel, preenchidas com pixels pretos.

A última etapa realizada foi o cálculo da porcentagem da cobertura do dossel, para cada uma das 22 imagens da cobertura do dossel pertencentes aos transecto T1 e T2, através da soma das regiões rotuladas com pixels pretos (cobertura do dossel) divididos por cem.

Para cálculo da porcentagem da oclusão do dossel, as 22 imagens da oclusão do dossel foram importadas para o software *Gap Light Analyzer* – GLA, onde as imagens foram registradas para o norte, os parâmetros de plano de cor e *threshold* foram determinados, obtendo assim a porcentagem de oclusão do dossel.

Em ambos os métodos foram utilizados os resultados das áreas escuras, ou seja, que se referem à obstrução do céu por qualquer parte da vegetação como folhas, galhos, caule, entre outros.

A comparação entre imagens da cobertura do dossel e da oclusão do dossel para análise da estrutura do dossel foi realizada através dos cálculos das médias e desvios-padrão das porcentagens da cobertura e da oclusão do dossel, para os transectos T1 e T2.

### **3.4. RESULTADOS e DISCUSSÃO**

No transecto T1, os valores encontrados de porcentagem da cobertura do dossel variaram entre 68 % e 100 % e de oclusão entre 67,66 % e 83,70 % com médias de 91,81 % e 79,41 %, respectivamente, ou seja, as imagens da cobertura do dossel revelaram que o transecto T1 possui uma alta cobertura do dossel. Na parcela P5, obteve cobertura de 100% e oclusão de 83,44 %, ao passo que na parcela P6 a cobertura foi de 68 % e oclusão de 72,65 %. O que mostra uma grande diferença nas porcentagens obtidas pelos dois métodos.

O desvio padrão da cobertura do dossel foi de 10,57 e da oclusão do dossel de 5,20. Isso mostra que as porcentagens da oclusão do dossel variaram em um pequeno intervalo, sendo menos sensível a mudanças na estrutura do dossel. No entanto, as imagens da cobertura do dossel conseguiram representar com mais acuracidade as heterogeneidades da estrutura do dossel (transecto T1) (**Quadro 2**).

**Quadro 2:** Quadro com as porcentagens da cobertura e da oclusão do dossel para o transecto T1.

Parcelas	Cobertura do Dossel (%)	Oclusão do Dossel (%)
P1	98	83,70
P2	97	83,72
P3	99	81,57
P4	95	79,54
P5	100	83,44
P6	68	72,65
P7	95	79,06
P8	99	83,34
P9	81	67,66
P10	98	82,01
P11	80	76,91
<b>Média</b>	<b>91,81</b>	<b>79,41</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>10,57</b>	<b>4,74</b>

No transecto T2, os valores obtidos de porcentagem da cobertura do dossel variaram entre 0 % a 100 % e de oclusão entre 32,95 % e 88,67 % com médias de 67 % e 71,26 %, ou seja, as imagens da cobertura do dossel revelaram que o transecto T2 possui uma baixa cobertura do dossel. Na parcela P2, a cobertura do dossel foi de 100 % e oclusão do dossel de 85,80 % ao passo que na parcela P6 foram de 0 % de cobertura do dossel e 32,95 % de oclusão do dossel, evidenciando os efeitos de borda na imagem, mascarando a observação do teto da floresta neste local, como também na parcela P3 com cobertura do dossel de 9 % e oclusão do dossel de 47,84 %.

O desvio padrão da cobertura do dossel foi de 37,52 e da oclusão do dossel de 17,97. Isto revela novamente que as porcentagens da oclusão do dossel variaram em um pequeno intervalo, sendo menos sensível a mudanças na estrutura do dossel. No entanto, as imagens da cobertura do dossel conseguiram representar as heterogeneidades da estrutura do dossel (transecto T2) (**Quadro 3**).

**Quadro 3:** Quadro com as porcentagens da cobertura e da oclusão do dossel para o transecto T2.

Parcelas	Cobertura do Dossel (%)	Oclusão do Dossel (%)
P1	72	81,56
P2	100	85,80
P3	9	47,84
P4	95	88,67
P5	64	75,00
P6	0	32,95
P7	79	79,12
P8	28	55,55
P9	99	70,93
P10	94	84,93
P11	97	80,43
<b>Média</b>	<b>67</b>	<b>71,16</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>35,77</b>	<b>17,13</b>

Segundo (RICH, 1990; JENNINGS et al., 1999), “ a acuracidade da análise do dossel através da lente grande angular varia conforme o ângulo da lente e, diferentes programas para análise das imagens podem resultar diferentes valores”. Em geral, o problema está na diferenciação entre a cor do dossel e do céu devido ao brilho ou reflexão da luz solar sendo que os valores resultantes podem variar em função do valor do limiar entre as cores. Assim, repetições de imagens em um mesmo ponto podem resultar em diferentes valores de oclusão do dossel dependendo da lente e do programa utilizados (JENNINGS et al., 1999).

Já as imagens da cobertura do dossel revelaram valores de porcentagem da cobertura do dossel em um intervalo mais amplo, indicando sua maior sensibilidade às variações na estrutura do dossel.

### 3.6. CONCLUSÃO

Dentre as imagens digitais do dossel comparadas, as imagens da cobertura do dossel foram as que melhor caracterizaram a estrutura do dossel, indicando com maior precisão uma maior cobertura do dossel com maior integridade do dossel, para o transecto T1 (área mais conservada) e uma menor cobertura do dossel com menor integridade do dossel, para o transecto T2 (área menos conservada) (degradada).

### 3.7. REFERÊNCIAS

ALCALÁ, M. **Ecologia da população de *Pachystroma longifolium* (Ness) I. M. Johnst. em área fragmentada de um remanescente de mata atlântica.** 2010. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

BARNES, B.; ZAK, D.; DENTON, S.; SPURR, S. **Forest Ecology**, New York, 4<sup>th</sup> edição, 1998.

BROWN, N.; JENNINGS, S.; WHEELER, P.; NABE-NIELSEN, J. An improved method for the rapid assessment of forest understorey light environments. **Journal of Applied Ecology**, v. 37, n. 6, p. 1044–1053, 2000.

CAVANI, F. A.; SOUSA, R. V.; PORTO, A. J. V.; TRONCO, M. L. Segmentação e classificação de imagens de laranjeiras utilizando Jseg e perceptron multicamadas. **Minerva - Pesquisa e Tecnologia**, v. 3, n. 3, p. 189-197, 2006.

DENG, Y.; MANJUNATH, B. S. Unsupervised segmentation of color-texture regions in images and video. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 23, n.8, p. 800-810, 2001.

DURIGAN, G.; FRANCO, G. A. D. C.; SAITO, M.; BAITELLO, J. B. Estrutura e diversidade do componente arbóreo da floresta na Estação Ecológica dos Caetetus, Gália, SP. **Revista brasileira de Botânica**, v. 23, n. 4, p. 369-381, 2000.

GAP LIGHT ANALYZER - GLA. Version 2.0. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia e The Institute Of Ecosystem Studies: FRAZER, G. W.; CANHAM, C. D.; LERTZMAN, K. P. **Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation**, Millbrook, New York, 1999.

GIONGO, M.; KOEHLER, H. S.; MACHADO, S. A.; KIRCHNER, F. F.; MARCHETTI, M. Lidar: princípios e aplicações florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 231-244, 2010.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R.; EDDINS, S. **Digital image processing using MATLAB**. New Jersey: Person Education, 2004.

GOODENOUGH, A. E.; GOODENOUGH, A. S. Development of a Rapid and Precise Method of Digital Image Analysis to Quantify Canopy Density and Structural Complexity. **Ecology**, p. 11, 2012. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/isrn/ecology/2012/619842/>>. Acesso em: abr. 2012.

HORA, R. C.; PRIMAVESI, O.; SOARES, J. J. Contribuição das folhas de lianas na produção de serrapilheira em um fragmento de floresta estacional semidecidual em São Carlos, SP. **Revista Brasil. Bot.**, v. 31, n. 2, p. 277-285, 2008.

JENNINGS, S. B.; BROWN, N. B.; SHEIL, D. Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. **Forestry**, v. 1, p. 59-73, 1999.

KORHONEN, L.; KORHONEN, K. T.; RAUTIAINEN, M.; STENBERG, P. Estimation of Forest Canopy Cover: a Comparison of Field Measurement Techniques. **Silva Fennica**, v. 40, n. 4, p. 577-588, 2006.

LAURITO, S. F. **Estudo do potencial de regeneração de uma floresta estacional semidecídua, São Paulo, Brasil**. 2010. 71 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

LIMA, R. A. F. Estrutura e regeneração de clareiras em Florestas Pluviais Tropicais. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, n. 4, p. 651-670, 2005.

MEIRA-NETO, J. A. A.; MARTINS, F. R.; SOUZA, A. L. Influência da cobertura e do solo na composição florística do sub-bosque em uma floresta estacional semidecidual em Viçosa, MG, Brasil. **Acta bot. Brás**, v. 19, n. 3, p. 473-486, 2005.

NASCIMENTO, A. R. T.; FAGG, J. M. F.; FAGG, C. W. Canopy openness and lai estimates in two seasonally deciduous forests on limestone outcrops in Central Brazil using hemispherical photographs. **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p.167-176, 2007.

NILSSON, M. Estimating of tree height and stand volume using an Airborne LIDAR Sistem. **Remote Sensing of Environment**, v. 56, p. 1-7, 1996.

PEIXOTO, A. L.; ROSA, M. M. T.; JOELS, L. C. M. Diagramas de perfil e de cobertura de um trecho da floresta de tabuleiro na Reserva Florestal de Linhares (Espírito Santo, Brasil). **Acta Botânica Brasilica**, v. 9, n. 2, p. 177-193, 1995.

PEIXOTO, E. de L. **Caracterização e perspectivas do Parque Estadual do Rio Doce – MG: uma abordagem a partir de imagens de sensoriamento remoto e fotografias hemisféricas de dossel**. 2012. 105 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C. P. A.; PEDROSO, A. F.; CAMARGO, A. C.; RASSINI, J. B.; FILHO, J. R.; OLIVEIRA, G. P.; CORREA, L. A.; ARMELIN, M. J. A.; VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F. Microbacia hidrográfica do ribeirão Canchim: um modelo real de laboratório ambiental. **Boletim de Pesquisa, EMBRAPA – Ministério da Agricultura e do Abastecimento**, p. 133, 1999. Disponível em: <<http://www.cppse.embrapa>>. Acessado em: abril de 2012.

RICH, P. M. Characterizing plant canopies with hemispherical photographs. **Remote Sensing Reviews**, 5(1), 13-29. 1990.

SILVA, L. A.; SOARES, J. J. Análise sobre o estágio sucessional de um fragmento florestal e sobre suas populações. **Revista Árvore**, v. 26, n. 2, p. 229-236. 2002a.

SILVA, L. A.; SOARES, J. J. Levantamento fitossociológico em um fragmento de Floresta Estacional Semidecídua, no município de São Carlos, SP. **Acta bot. bras.**, v. 16, n. 2, p. 205-216, 2002b.

SILVA, L. A.; SOARES, J. J. Composição florística de um fragmento de Floresta Estacional Semidecídua no Município de São Carlos-SP. **Revista Árvore**, v. 27, n. 5, p. 647-656, 2003.

SOARES, M. S. **Composição Florística e estrutural fitossociológica de uma floresta estacional semidecidual em Araras, SP**. 2007. 46 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

STOJANOVA, D.; PANOV, P.; GJORGJIOSKI, V.; KOBLER, A.; DŽEROSKI, S. Estimating vegetation height and canopy cover from remotely sensed data with machine learning. **Ecological Informatics**, v. 5, p. 256–266, 2010.

SUGANUMA, M. S.; TOREZAN, J. M. D.; CAVALHEIRO, A. L.; VANZELA, A. L. L.; BENATO, T. Comparando metodologias para avaliar a cobertura do dossel e a luminosidade no sub-bosque de um reflorestamento e de uma floresta madura. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 377-385, 2008.

WANG, Z.; BOESCH, R.; GINZLER, C. Color and LIDAR data fusion: application to automatic forest boundary delineation in aerial images. **Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci**, v. 36, n. 1, p. 4, 2007.

YAMAMOTO, K. Estimation of the canopy-gap size using two photographs taken at different heights. **Ecological Research**, v. 15, p. 203-208, 2000.

## **CAPÍTULO 3**

**Análise da estrutura do dossel utilizando perfil da vegetação, imagens da cobertura do dossel e imagem de satélite em um fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado em São Carlos/ SP**

#### **4. Análise da estrutura do dossel utilizando perfil da vegetação, imagens da cobertura do dossel e imagem de satélite em um fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado em São Carlos/ SP**

**RESUMO** – As florestas tropicais estacionais semidecíduas sofreram e estão sofrendo diferentes intensidades de interferências, naturais e antrópicas, retrocedendo, qualitativamente e quantitativamente, nos seus aspectos sucessionais. Para determinação do estado de conservação de florestas, diversas metodologias têm sido empregadas. Este capítulo tem como objetivo comparar três tipos de imagem para determinar a possibilidade de uso da imagem de satélite HRC para determinar áreas degradadas na floresta. O Desenho do perfil da vegetação, as imagens do dossel e a imagem de satélite foram empregados para comparar as diferenças no dossel. Os resultados permitiram verificar diferenças no dossel entre áreas com diferentes graus de degradação. Concluímos que o uso da imagem de satélite HRC é útil e fácil de conseguir ferramentas para determinar as diferenças no dossel.

**Palavras-chave:** Estrutura do dossel, imagem HRC, floresta semidecídua.

**ABSTRACT** – **Comparative analysis of vegetation profile, satellite image and canopy cover of a semidecidual forest fragment in São Carlos-SP to identified degraded areas.** The tropical semidecidual forests were submitted in the past and present at different intensity of natural and human interference with return qualitative e quantitative aspects at anterior stage of evolution. To determine the interference grade in forests, various methodologies were employed. The aims of this chapter were to compare three image types to determine the possibility of use HRC satellite image to determine the degraded areas of forest. Vegetation diagram profile, canopy images, and satellite image were employed to compare differences in the canopy. The results permitted verify canopy differences between areas with different grade of degradation. Was concluded that the use of satellite image is a useful and of easy achieve tools to determine the differences in the canopy.

**Key-words:** Canopy structure, HRC image, semideciduous forest fragment.

#### 4.1. INTRODUÇÃO

Caracterizar o estado de conservação dos fragmentos florestais é de extrema importância para a conservação da biodiversidade e manutenção dos serviços ambientais (BRANCALION et. al., 2012).

Maneiras tradicionais de caracterização do estado de conservação de fragmentos florestais como: perfil vertical que revela a densidade e a distribuição das espécies vegetais nos diferentes estratos, ou seja, sua estrutura, sendo possível inferir sobre os estágios sucessionais de uma mata (LOGHI et al., 2000); a representação da projeção das copas em um plano horizontal (PEIXOTO et al., 1995); e análises fitossociológicas (SILVA e SOARES, 2002a, 2002b, 2003; SOARES, 2007), são técnicas custosas, necessitam de especialistas, muitas vezes, difíceis de realizar para áreas de grande extensão e com diversas interferências humanas na coleta.

Atualmente, a disseminação de imagens de satélite em conjunto com a grande evolução das técnicas de processamento digital de imagens vem auxiliando na detecção de interferências naturais ou antrópicas em florestas (COUTERON et al., 2005; TRICHON et al., 2005; XIMENES e AMARAL, 2010).

Parâmetros estruturais de uma floresta podem ser analisados por imagens de satélite, através de diferentes métodos: índices de vegetação obtidos com a álgebra de bandas (MACIEL, 2002; ERVILHA, 2008); matriz de coocorrência dos níveis de cinza – GLCM é um método estatístico que examina a textura de uma imagem considerando a relação espacial dos pixels aos pares (TRICHON, 2005; SETTE, 2009); e Transformada Rápida de Fourier – FFT analisando a textura de imagens no domínio da frequência (COUTERON et al., 2005; TRICHON, 2005; XIMENES e AMARAL, 2010).

Diferente dos trabalhos citados anteriormente que correlacionam dados biométricos da vegetação (altura, diâmetro, densidade e biomassa) com imagens de satélite de alta resolução, este capítulo pretende correlacionar às médias das porcentagens da cobertura do dossel com a imagem HRC do satélite CBERS-2B. Para isto utilizou-se às médias das porcentagens da cobertura do dossel de cada transecto obtidas a partir de imagens verticais da cobertura do dossel com as estatísticas de textura da matriz de coocorrência, usando a entropia e a

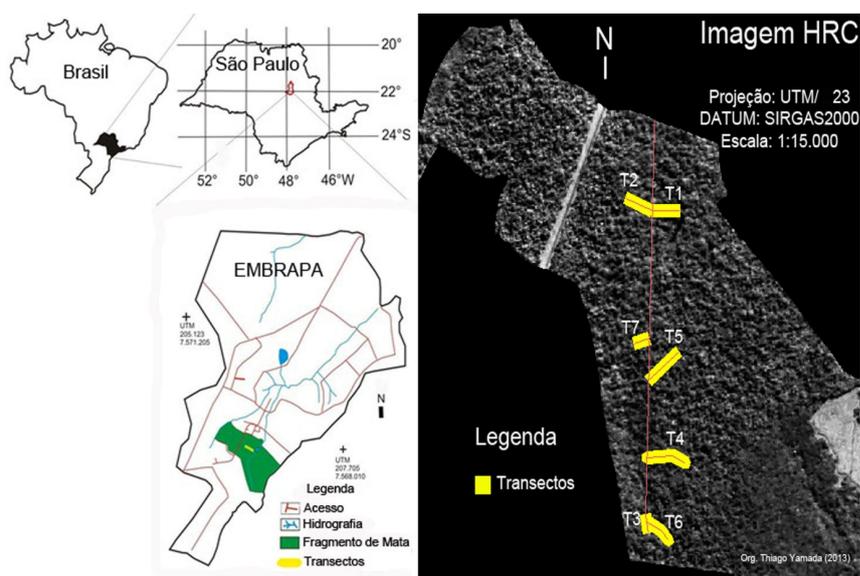
Transformada Rápida de Fourier de cada transecto, obtidas com a imagem HRC do satélite CBERS-2B.

## 4.2. OBJETIVO

Este capítulo tem como objetivo cruzar as informações obtidas com o perfil vertical, as imagens da cobertura do dossel e a imagem de satélite, a fim de verificar a potencialidade do uso da imagem pancromática *High Resolution Camera* - HRC do satélite CBERS-2B em analisar a estrutura do dossel de fragmento de floresta estacional semidecídua, pertencente à Fazenda Canchim - Centro de Pesquisa da Pecuária do Sudeste – CPPSE - EMBRAPA, São Carlos/ SP.

## 4.3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste capítulo, a mata escolhida foi o fragmento de floresta estacional semidecídua, localizado na Fazenda Canchim entre as coordenadas geográficas 21° 55' e 22° 00' Sul e 47° 48' e 47° 52' Oeste (PRIMAVESI et al., 1999) (**Figura 1**). O acesso ao interior da mata foi feito através de uma trilha que corta a mata na orientação norte – sul com, aproximadamente, 6 metros de largura em toda sua extensão.



Fonte: Primavesi (1999) e satélite CBERS-2B.

**Figura 1:** Localização dos transectos T1, T2, T3, T4, T5, T6, e T7 no fragmento de floresta estacional semidecídua, Fazenda Canchim – EMBRAPA, São Paulo, Brasil.

O fragmento de floresta estacional semidecídua da fazenda Canchim é uma Reserva Legal, apresentando uma área de, aproximadamente, 112 ha. Apresenta um dossel entre 7 a 25 m de altura, sem uma estratificação nítida (SILVA e SOARES, 2002a; HORA e SOARES, 2002). Neste, encontraram 109 espécies de lianas; este grande número está relacionado ao histórico de perturbação do fragmento (perturbação antrópica e dinâmica natural). Pode-se observar também, a ocorrência frequente de clareiras abertas pela queda de árvores.

O clima da região de São Carlos, conforme a classificação de Köppen é uma transição entre os tipos Cwai - Aw, entre um clima quente de inverno seco, e um tropical com verão úmido e inverno seco (MONTEIRO, 2000). A precipitação média anual é de 1,440 milímetros, com predomínio nos meses mais quentes. A temperatura média anual é de 26,82 graus Celsius. A reserva situa-se em topografia plana, levemente ondulada e com altitude média de 850 metros. O relevo, da região do Planalto de São Carlos, é suave ondulado (ROSS; MOROZ, 1997). O solo predominante é do tipo Latossolo Vermelho Distrófico típico, com estreita faixa no interior da mata de Latossolo Vermelho Distroférrico e a presença de Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, na região mais periférica da reserva (CALDERANO FILHO et al., 1998).

A Fazenda Canchim era uma fazenda de cultivo de café que foi transformada em fazenda dedicada à pesquisa agropecuária (gado e pastagem). O fragmento florestal é mantido sem exploração desde 1934, porém, no passado ocorreu o corte seletivo e uso do subdossel como local para cultivo inicial de mudas de café (PRIMAVESI et al., 1999).

Com o intuito de identificar uma área mais conservada e outra menos conservada, foram realizadas visitas à mata, caracterizando-as em função do número de clareiras, das espécies presentes e pela densidade de lianas. Nestas áreas foi alocado o transecto T1, em área mais conservada; o transecto T2, em área menos conservada (degradada) e; os outros cinco transectos T3, T4, T5, T6 e T7, alocados aleatoriamente dentro da mata.

Os transectos T1 e T2 foram previamente caracterizados para servirem de referência para os outros transectos, para fins de comparação. Os transectos T1 e T2 possuem 100 metros de comprimento por 5 metros de largura, cada. Nestes,

foram realizados os perfis verticais da vegetação, capturadas imagens verticais da cobertura do dossel a partir de 1,50 metros do solo, gerados os histogramas e as matrizes de coocorrência, geradas as imagens Transformada Rápida de Fourier - FFT, com base na imagem HRC do satélite CBERS-2B, disponibilizada pelo INPE. Já para os transectos T3, T4, T5, T6 e T7, foram gerados os mesmos dados obtidos para os transectos T1 e T2, com exceção do perfil vertical da vegetação.

Para medição e delimitação dos perfis verticais foram utilizadas uma trena e linha de nylon. Os transectos T1 e T2 foram divididos em parcelas de 10 x 5 metros, totalizando 20 parcelas, desenhados em papel milimetrado. As alturas das árvores foram medidas com telêmetro RANGING 120, com capacidade de medição de 2 a 30 metros, já os diâmetros, determinados a partir do perímetro dos troncos à altura de 1,30 m do solo (DAP).

Foram representados, nos perfis verticais, apenas os indivíduos que possuíam diâmetro à altura do peito - DAP maior que 10 centímetros, numa escala 1: 10, incluindo os indivíduos mortos. Para obter os perfis completos dos transectos T1 e T2, foram digitalizados e unidos os desenhos de cada uma das 20 parcelas. Assim, foi possível obter a média de alturas, o número de indivíduos mortos e o número de indivíduos arbóreos representantes do dossel para os transecto T1 e T2.

Para aquisição das imagens digitais da cobertura do dossel foi utilizada uma câmera digital Nikon D7000 com lente DX - AF-S Nikkor 18-105 mm 1: 3,5-5,6G ED. Foram capturadas um total de 79 imagens da cobertura do dossel, divididas em sete transectos: T1 (11 imagens), T2 (11 imagens), T3 (7 imagens), T4 (12 imagens), T5 (16 imagens), T6 (11 imagens) e T7 (7 imagens).

As imagens foram capturadas no decorrer dos transectos, de dez em dez metros, a 1,50 metros do solo, com a lente na vertical, com dimensão de 4928 x 3264 pixels, resolução de 300 dpi, representação RGB, foco ajustado para infinito, velocidade e abertura do obturador determinados automaticamente e ISO-6400. A distância entre os pontos de imagens deve ser maior que o diâmetro das copas (JENNINGS et al., 1999).

Para determinação das porcentagens de cobertura do dossel, primeiramente, as 79 imagens foram importadas para o MATLAB, em seguida, cada uma das imagens, foi dividida em nove partes iguais com as mesmas dimensões de 1643 x 1089 pixels.

Optou-se pela análise apenas das partes centrais das imagens da cobertura do dossel, ou seja, das nove partes apenas uma foi utilizada, devido à possibilidade de representação do dossel de um ponto específico (ponto da localização da câmera digital onde foi capturada a imagem) com precisão e baixo custo, além da parte central da imagem ser a que menos sofre distorção de escala (SOARES, 2007; SUGANUMA et al., 2008; GOODENOUGH e GOODENOUGH, 2012). Segundo Avery e Burkhart (1994) apud Jennings et al. (1999), na prática, ângulos são assumidos como vertical quando a inclinação é inferior a 3 graus.

Com apenas as partes centrais das imagens da cobertura do dossel, passou-se para etapa de diferenciação dos pixels representantes do céu (abertura) e do dossel (cobertura), através da segmentação de imagens da cobertura do dossel feita pelo algoritmo Jseg, que analisa os elementos cor e textura das imagens, muito utilizado na segmentação de cenas naturais, além de ter sido o segmentador mais preciso dentre os outros testados no capítulo 1.

A segmentação realiza uma análise na imagem e a subdivide em agrupamentos de interesse. O grau de subdivisão depende do objeto a ser estudado (GONZALEZ et al., 2004), neste caso os objetos de interesse são o céu e o dossel (folhas e ramos).

Para o funcionamento do algoritmo Jseg, foram digitados os seguintes parâmetros em ambiente MS-DOS: o nome da imagem de entrada, o tipo de mídia de entrada, imagem de saída com limite, tamanho da imagem, imagem mapa com as regiões semelhantes agrupadas, limite de quantização de cor (quanto maior o valor menor o número de cores quantizadas na imagem), número de escalas (quando maior mais separação) e região de união dos limites.

Como saída, esse algoritmo produz duas imagens: uma segmentada com a imagem original no fundo e uma imagem mapa em níveis de cinza com as regiões agrupadas, utilizada para calcular as porcentagens da cobertura do dossel.

Assim, foram calculadas as porcentagens da cobertura do dossel para cada um dos sete transectos (T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7), os quais foram comparados pela média e desvio padrão.

As imagens de satélite utilizadas neste capítulo foram adquiridas nos sites: do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, link: [www.dgi.inpe.br/CDSR/](http://www.dgi.inpe.br/CDSR/), imagem do dia 25 de agosto de 2008 e da *National Aeronautics and Space*

*Administration* - NASA, link: <http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>, imagens do dia 27 de setembro de 1988.

Do site do INPE foi adquirido o arquivo da banda espectral pancromática 0,50 - 0,80  $\mu\text{m}$  da câmera pancromática *High Resolution Camera* - HRC, com resolução espacial de 2,7 metros, pertencente ao satélite CBERS-2B.

Já do site da NASA foram baixadas as bandas espectrais 0,52 – 0,60  $\mu\text{m}$  (2), 0,63 – 0,69  $\mu\text{m}$  (3) e 0,76 – 0,90  $\mu\text{m}$  (4) com resolução espacial de 30 metros, da câmera imageadora *Thematic Mapper* - TM, do satélite LandSat-5.

A diferença nas bandas espectrais, além da resolução espacial, está no fato das bandas espectrais do satélite LandSat-5 serem ortorretificadas e registradas, ou seja, com um sistema de coordenadas geográficas associado, cuja finalidade foi servir de base para o registro da banda pancromática HRC do satélite CBERS-2B.

Para isso, primeiramente as bandas 2, 3, 4 do satélite LandSat-5 foram importadas para o software Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas - SPRING, onde montou-se uma imagem falsa cor 2(B) 3(R) 4(G), facilitando assim, uma melhor identificação dos objetos presentes nas imagens que, posteriormente, servirão como pontos de controle para o registro da banda pancromática HRC do satélite CBERS-2B.

A banda pancromática HRC do satélite CBERS-2B também foi importada para o mesmo projeto no SPRING, com os mesmos padrões cartográficos para, em seguida, ser registrada. Para o registro, foi utilizado o método tela (imagem - imagem) que consiste em identificar os mesmos objetos que estão presentes tanto nas imagens como no terreno, chamados de pontos de controle (cruzamentos de estradas, pontes, construções, rios, feições naturais, entre outros).

Após a identificação dos pontos de controle, com o mouse, foram transferidas as coordenadas geográficas das bandas base (imagens do satélite LandSat-5) para a banda pancromática HRC do satélite CBERS-2B. Esta transferência foi realizada com um clique sobre um ponto de controle na banda base e um clique no mesmo ponto de controle da banda a ser registrada. O registro foi realizado com um erro menor que 0,5 pixel. Este processo cria um vínculo entre coordenadas da imagem e coordenadas do sistema de referência geográfica, através de transformações polinomiais.

Com isso, todas as bandas espectrais importadas para o SPRING passaram a utilizar o mesmo sistema de referência geográfica: sistema de projeção *Universal Transverse Mercator* – UTM, zona 23 e modelo da terra SIRGAS2000.

Com a banda pancromática HRC do satélite CBERS-2B registrada, o próximo passo foi importar para o SPRING as coordenadas geográficas dos sete transectos (T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7). Estas coordenadas foram obtidas com um GPS, *Garmin E-TREX Vista HCX*, configurado com a mesma projeção e modelo da terra utilizado no projeto do SPRING.

Importadas as coordenadas planas dos transectos, cada transecto passou a ser representado por uma linha (vetor) com diferentes comprimentos, T1 (100 metros), T2 (100 metros), T3 (60 metros), T4 (150 metros), T5 (150 metros), T6 (100 metros) e T7 (60 metros). Os comprimentos foram diferentes devido à dificuldade de deslocamento dentro da mata.

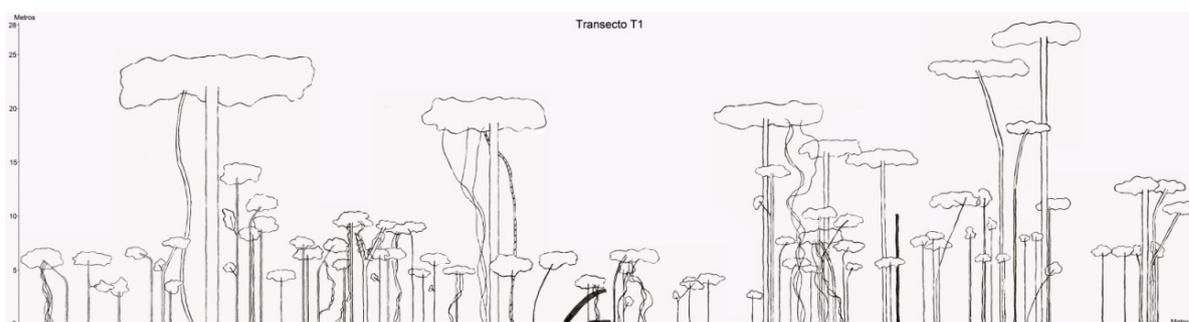
Com os transectos sendo representados por linhas, com a ferramenta mapa de distância, foi criada uma máscara de quinze metros de largura no entorno de cada linha, em seguida cada uma das sete máscaras foi utilizada para delimitar o recorte da imagem pancromática HRC, que contém o conjunto de pixels de cada transecto, ou seja, cada um dos sete transectos possui agora uma matriz de pixels com a mesma localização geográfica de captura das imagens da cobertura do dossel.

De posse das imagens HRC de cada um dos sete transectos, estas foram importadas para o ambiente computacional MATLAB, onde foram gerados os histogramas, realizada análises de textura com a matriz de coocorrência de níveis de cinza - GLCM, calculando os atributos: homogeneidade (autocorrelação espacial), energia (uniformidade) e contraste (variância), com a entropia (incerteza/aleatoriedade) e com a Transformada Rápida de Fourier - FFT uma transformação de domínios, do espacial para o domínio da frequência, sem perdas de informação. Para geração de todas as informações citadas acima foram utilizadas funções já implementadas no MATLAB.

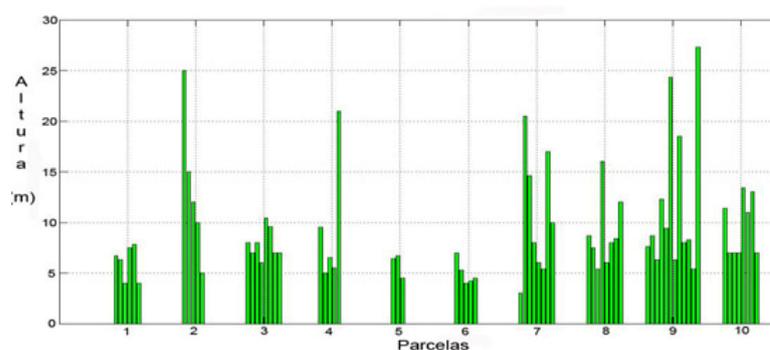
As médias de porcentagem da cobertura do dossel foram correlacionadas com dados obtidos com a imagem HRC do satélite CBERS-2B, matriz de coocorrência dos níveis de cinza, entropia e a soma dos picos de frequência da Transformada Rápida de Fourier – FFT.

#### 4.4. RESULTADOS e DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com o perfil vertical mostram que o transecto T1 possui média de alturas de 9,31 metros, número de indivíduos mortos igual a 2 e 70 indivíduos representantes do dossel (**Figura 2 e 3**), o que corresponde a 1400 indivíduos por hectare.

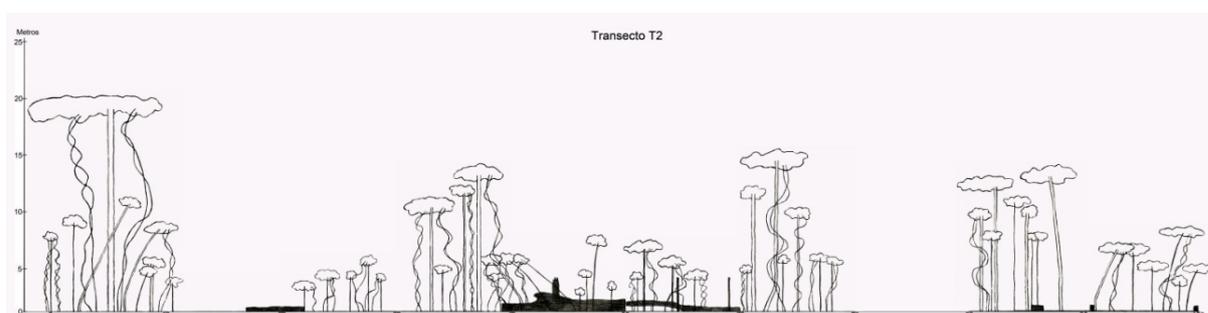


**Figura 2:** Imagem do perfil vertical do transecto T1 representando uma área conservada.

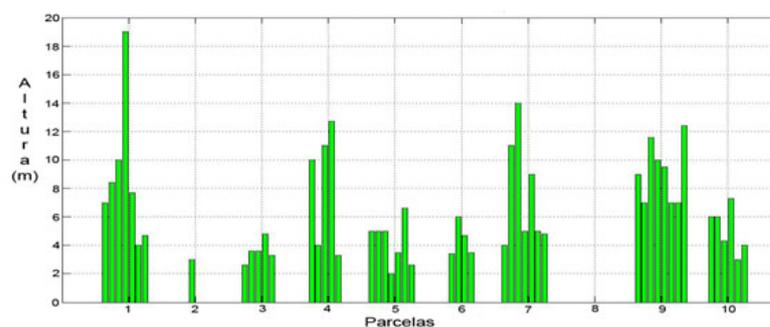


**Figura 3:** Imagem com as alturas versus parcelas dos indivíduos arbóreos representantes do dossel do transecto T1.

Já o transecto T2 apresentou média de alturas de 6,53 metros, número de indivíduos mortos igual a 10 e 50 indivíduos representantes do dossel (**Figura 4 e 5**) o que corresponde a 1000 indivíduos por hectare.



**Figura 4:** Imagem do perfil vertical do transecto T2 representando uma área menos conservada (degradada).



**Figura 5:** Imagem com as alturas versus parcelas dos indivíduos arbóreos representantes do dossel do transecto T2.

As imagens do perfil vertical dos transectos T1 e T2 revelam que eles possuem estruturas do dossel bem distintas, com diferentes médias de alturas, números de indivíduos mortos e números totais de indivíduos representantes do dossel.

O transecto T1 tem uma maior cobertura do dossel, com maior número de indivíduos arbóreos que compõe a estrutura do dossel, com um menor número de indivíduos mortos, indicando menor número de clareiras naturais, ou seja, com maior integridade do dossel. Já o transecto T2, possui uma menor cobertura do dossel, com muitos indivíduos mortos, indicando um grande número de clareiras naturais, ou seja, com menor integridade do dossel.

Com as imagens da cobertura do dossel foram calculadas as porcentagens da cobertura do dossel obtidas para as parcelas de cada transecto: T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7. Para cada um dos sete transectos foram calculadas as médias de porcentagem da cobertura do dossel e desvios padrão, a fim de avaliar a integridade do dossel. Altas médias de porcentagem da cobertura do dossel com baixo desvio padrão revelam uma maior integridade do dossel, já baixas médias de porcentagem da cobertura do dossel com alto desvio padrão, mostram uma menor integridade do dossel (**Quadro 1**).

**Quadro 1:** Porcentagens da cobertura do dossel obtidas para cada parcela e as médias e desvios padrão para cada transecto.

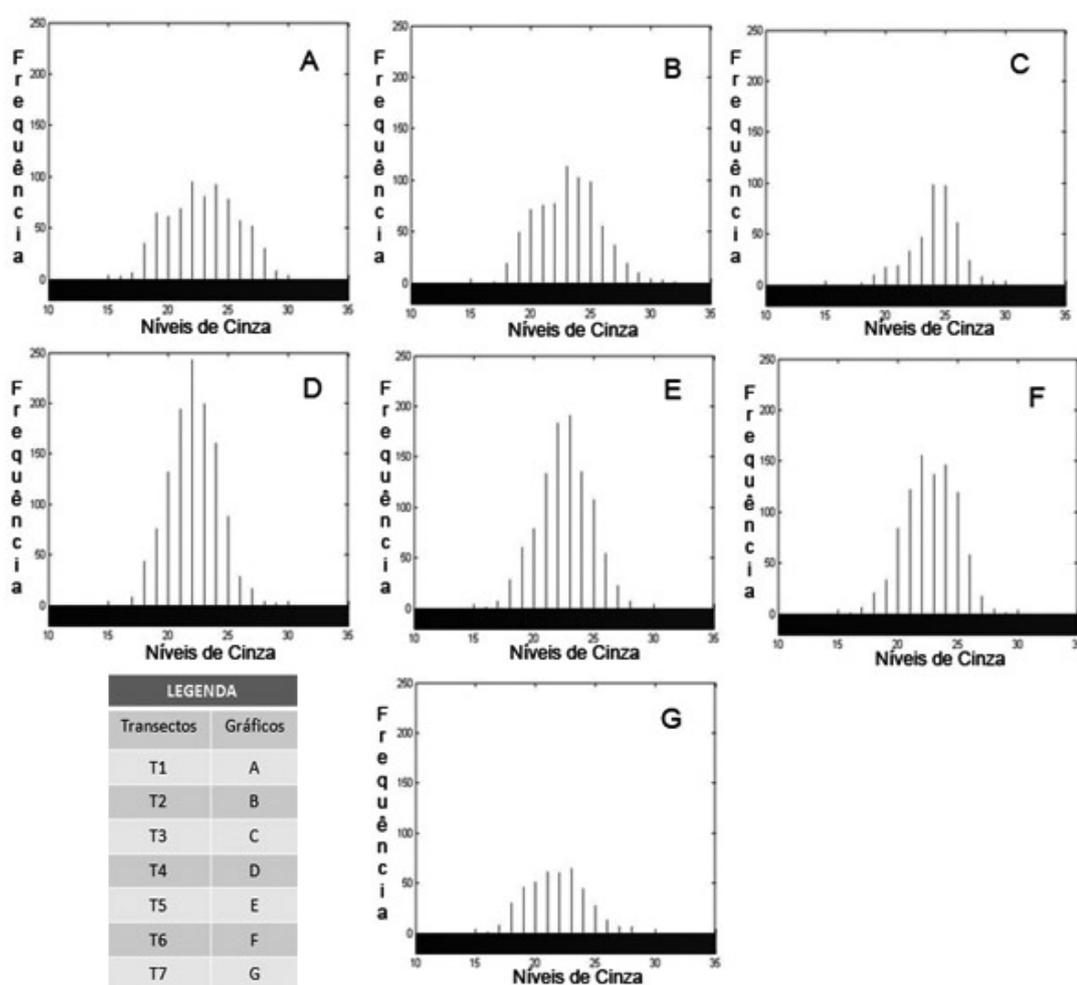
<b>Parcelas/Transectos</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>
P1	98	72	28	91	98	34	95
P2	97	100	94	66	80	80	85
P3	99	9	94	94	95	75	86
P4	95	95	88	88	65	77	51
P5	100	64	79	86	82	91	98
P6	68	0	80	87	36	92	61
P7	95	79	97	82	97	75	34
P8	99	28		88	1	35	
P9	81	99		75	97	84	
P10	98	94		89	88	88	
P11	80	97		85	84	68	
P12				64	97		
P13					50		
P14					55		
P15					89		
P16					25		
<b>Média</b>	<b>91,81</b>	<b>67</b>	<b>80</b>	<b>82,91</b>	<b>71,18</b>	<b>72,63</b>	<b>72,85</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>10,57</b>	<b>37,52</b>	<b>22,20</b>	<b>9,19</b>	<b>28,82</b>	<b>19,28</b>	<b>22,58</b>

A comparação entre as médias de porcentagem da cobertura do dossel dos transectos foi feita tendo como referência os transectos T1 e T2, previamente escolhidos com ajuda de especialista, o transecto T1, maior cobertura do dossel (área mais conservada, com maior integridade do dossel) e o transecto T2, menor cobertura do dossel (área menos conservada, com menor integridade do dossel) (degradada). Assim, os transectos T3, T4, T5, T6 e T7 também foram caracterizados como tendo maior ou menor integridade do dossel.

Tanto o transecto T1, assim como o transecto T4, possuem cobertura do dossel acima da média 91,81 % e 82,91 %, respectivamente, com desvios padrão abaixo da média 10,57 e 9,19, respectivamente, revelando maior integridade do

dossel. Já o transecto T3 possui uma cobertura do dossel de 80 % e desvio padrão de 22,20, tanto cobertura do dossel quanto desvio padrão acima da média, revelando ter maior integridade do dossel. Os transectos T2, T5 e T7 possuem cobertura do dossel abaixo da média com 67 %, 71,18 % e 72,85 % e desvios padrão acima da média com 37,52, 28,82 e 22,58, respectivamente, tendo menor integridade do dossel. O transecto T6 tem cobertura do dossel de 72,63 % e desvio padrão de 19,28, ambos abaixo da média, revelando menor integridade do dossel.

As imagens HRC do satélite CBERS-2B, referentes a cada um dos sete transectos, tiveram seus respectivos histogramas gerados (**Figura 6**).



**Figura 6:** Imagem com os gráficos (histograma) de todos os sete transectos.

Analisando todos os histogramas, nota-se que todos tiveram níveis de cinza variando com intensidades entre 14 a 32 com intensidade média de 23, pequeno intervalo, ou seja, mostrando que a imagem pancromática do sensor HRC/ CBERS-2B é de baixo contraste para a vegetação.

Os histogramas dos transectos T1 e T2, referências de uma área com maior integridade do dossel e outra com menor integridade do dossel, respectivamente, tiveram comportamentos diferentes. No histograma do transecto T1, a intensidade que teve a maior frequência foi a 22, intensidade abaixo da média e forma semelhante à simétrica, já para o histograma T2, a maior frequência foi da intensidade 23, igual à média e forma semelhante à assimétrica.

Analisando os histogramas segundo a forma (distribuição dos níveis de cinza), o transecto T1 se mostra simétrico, com tendência a homogeneidade da distribuição dos níveis de cinza, com maior integridade do dossel. Os transectos T2, T6 e T7 se mostraram assimétricos, com altas frequências distribuídas acima da média, com menor integridade do dossel. Já os transectos T3, T4 e T5, mostraram-se simétricos, mas com distribuição heterogênea das frequências dos níveis de cinza, com maior integridade do dossel.

Além dos histogramas, foi analisada a textura das imagens de cada transecto, através do cálculo da entropia e do cálculo da matriz de coocorrência dos níveis de cinza – GLCM, que forneceu os atributos de textura: homogeneidade, energia e contraste (**Quadro 2**). Para a análise da matriz de coocorrência foram utilizados os parâmetros de direção, 45 graus frontal superior, e tamanho da janela 7 x 7, assim determinados através de diversos testes (combinações de direção e tamanho da janela) realizados com os transectos T1 e T2.

**Quadro 2:** Valores referentes aos atributos de textura para os sete transectos.

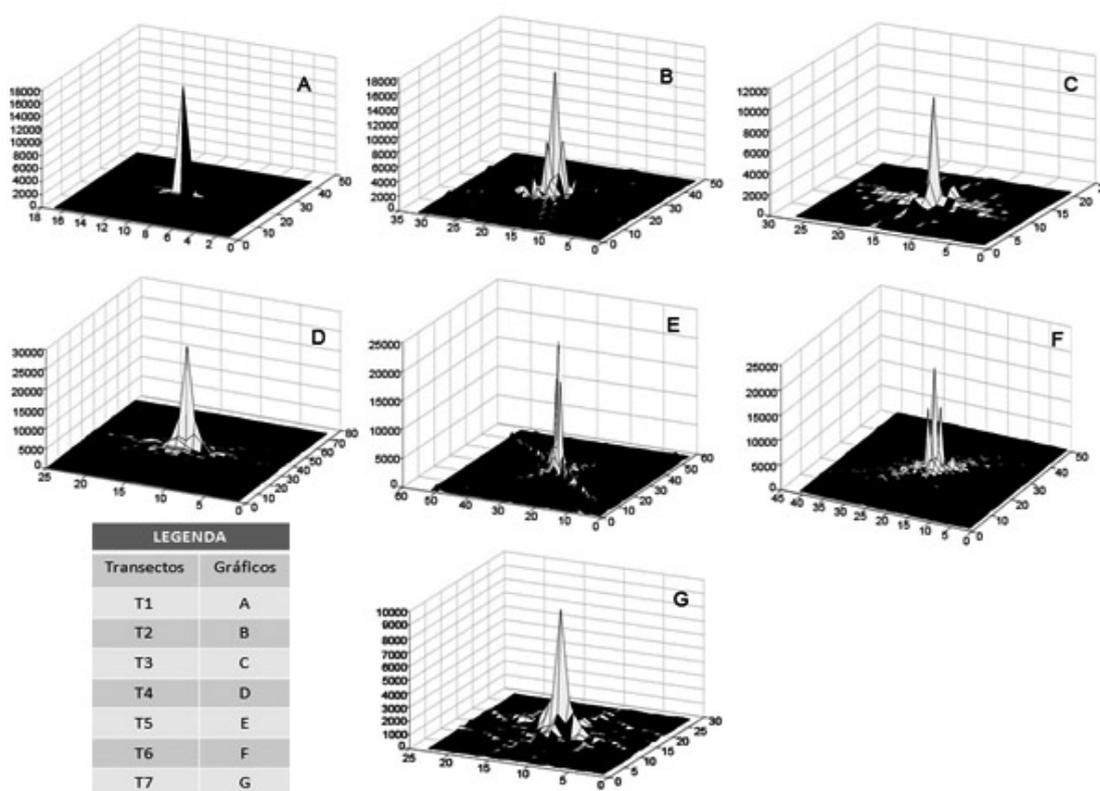
Atributos de Textura	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
<b>Homogeneidade</b>	0,9500	0,7029	0,8143	0,7353	0,9369	0,7415	0,7679
<b>Energia</b>	0,8163	0,2672	0,4539	0,3448	0,4136	0,2516	0,3406
<b>Contraste</b>	0,1000	0,5941	0,3714	0,5294	0,1262	0,5171	0,4643
<b>Entropia</b>	3,5117	2,6265	3,0387	2,8974	1,9950	2,3758	3,0590

O atributo de textura homogeneidade obtido com matriz de coocorrência revela o maior valor (0,9500) para o transecto T1 (maior integridade do dossel) e o menor valor (0,7029) para o transecto T2 (menor integridade do dossel), indicando que o transecto T1 possui uma maior autocorrelação espacial, sem mudanças abruptas. Os valores de energia revelam a uniformidade das imagens com o maior

valor (0,8163) para o transecto T1 (maior integridade do dossel) e o menor valor (0,2672) para o transecto T6 (menor integridade do dossel). Os valores de contraste, diferença de intensidade de um pixel e seus vizinhos, mostram o maior valor (0,5941) para o transecto T2 (menor integridade do dossel) e o menor valor (0,1000) para o transecto T1 (maior integridade do dossel),

A entropia calcula a aleatoriedade dos níveis de cinza em uma imagem, o transecto T1 obteve o maior valor (3,5117), indicando um dossel mais íntegro com diferentes respostas espectrais de diferentes componentes do dossel. O menor valor foi (1,9950) referente ao transecto T5, indicando um dossel menos íntegro com a presença de padrões.

Também, foram gerados os gráficos 3D da Transformada Rápida de Fourier – FFT, para cada um dos sete transectos, com as baixas frequências no centro e as altas frequências na borda (**Figura 7**).



**Figura 7:** Imagem com os gráficos 3D da Transformada Rápida de Fourier, amplitude versus frequência, para cada um dos sete transecto.

A imagem com os gráficos da Transformada Rápida de Fourier - FFT mostra que o transecto T1 possui um dossel mais homogêneo, sem mudanças abruptas nos

níveis de cinza, evidenciado por um pico, indicando um dossel com maior integridade; já o transecto T2 possui um dossel mais heterogêneo, com mudanças abruptas nos níveis de cinza, evidenciado por mais picos, indicando um dossel com menor integridade. Assim como os transectos T5 e T6, com dossel mais heterogêneo, representado por mais picos, com menor integridade do dossel. Já os transectos T3, T4 e T7 se comportaram de maneira semelhante, com um dossel homogêneo, com apenas um pico, indicando um dossel mais íntegro.

Para o cruzamento dos dados das imagens da cobertura do dossel com os dados da imagem HRC do satélite CBERS-2B, para os transectos T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7, foi realizada a correlação, utilizando o coeficiente de correlação 2D disponível no MATLAB, das médias de porcentagem da cobertura do dossel com os atributos de textura: homogeneidade, energia e contraste (obtidos com a matriz de coocorrência); com a entropia; e com a soma dos picos das Transformadas Rápidas de Fourier – FFT de cada transecto. Os valores obtidos com o coeficiente de correlação estão organizados no **Quadro 3**.

**Quadro 3:** Valores de correlação entre: a média da porcentagem da cobertura do dossel (Cob), a homogeneidade (Hom), a entropia (Ent), a energia (Ene), a soma dos picos da FFT (FFT) e o contraste (Con), para todos os sete transectos.

	Hom	Ent	Ene	FFT	Con
Cob	<b>0,4837</b>	<b>0,7469</b>	<b>0,8320</b>	<b>- 0,4684</b>	<b>- 0,4837</b>

Os valores de correlação revelam que a cobertura do dossel possui uma significativa correlação com a energia (83,20 %) e com a entropia (74,69 %), uma moderada correlação com a homogeneidade (48,37 %) e uma correlação moderada, mas negativa, com a Transformada Rápida de Fourier - FFT (- 46,84 %) e com o contraste (- 48,37 %).

Os atributos de textura energia e entropia, calculados a partir da imagem de satélite HRC, foram os que mostraram ter uma alta correlação com a média de porcentagem da cobertura do dossel, obtidas com as imagens da cobertura do dossel.

Maciel (2002) correlacionou dados biométricos de densidade das árvores, área basal, biomassa, volume e diversidade de espécies arbóreas de uma floresta

tropical primária com índices de vegetação e textura das imagens TM do satélite Landsat. Os resultados mostraram uma forte correlação entre as variáveis biométricas e as variáveis digitais, o que confirma a utilização de imagens de satélite na predição de parâmetros estruturais (volume e biomassa) de uma floresta primária.

Sette (2009), em sua dissertação, correlacionou dados biométricos da estrutura de uma floresta ombrófila densa, obtidos em campo (DAP, altura, volume e densidade), com dados de textura obtidos com a matriz de coocorrência de imagens de satélite de alta resolução. Seus resultados mostraram que os atributos de energia e de contraste obtidos com a matriz de coocorrência foram os que tiveram o melhor desempenho em prever os estágios sucessionais.

Ximenes e Amaral (2010), estudando a predição de parâmetros estruturais de floresta, através de imagens de satélite de alta resolução espacial, obtiveram uma alta correlação dos dados de textura da Transformada de Fourier com os parâmetros estruturais de florestas.

#### **4.6. CONCLUSÃO**

Todas as informações obtidas com a imagem de satélite HRC mostraram ter alta ou moderada correlação com a porcentagem da cobertura do dossel, mas foram os atributos de textura da imagem (energia e entropia) que obtiveram uma alta correlação com a porcentagem da cobertura do dossel.

Isso indica que a imagem pancromática HRC do satélite CBERS-2B possui potencial de uso para avaliação da estrutura do dossel.

#### 4.7. REFERÊNCIAS

BRANCALION, P. H. S.; VIANI; R. A. G. RODRIGUES, R. R.; CÉSAR, R. G. Estratégias para auxiliar na conservação de florestas tropicais secundárias inseridas em paisagens alteradas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, 7(3): 219-234, 2012.

COUTERON, P.; PELISSIER, R.; NICOLINI, E. A.; PAGET, D. Predicting tropical Forest stand structure parameters from Fourier transform of very high-resolution remotely sensed canopy images. Paper to be published in the “Methodological Insights” section of **Journal of Applied Ecology**, 2005.

ERVILHA, P. G. **Utilização de imagens do sensor HRC na estimativa do índice de área foliar, na área da flora Mário Xavier, Seropédica, RJ**, 2008, 36 f. Monografia (Engenheiro Florestal) - Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2008.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R.; EDDINS, S. **Digital image processing using MATLAB**. New Jersey: Person Education, 2004.

GOODENOUGH, A. E.; GOODENOUGH, A. S. Development of a Rapid and Precise Method of Digital Image Analysis to Quantify Canopy Density and Structural Complexity. **Ecology**, p. 11, 2012. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/isrn/ecology/2012/619842/>>. Acesso em: abr. 2012.

HARALICK, R. M. Statistical and structural approaches to texture. **Proceedings IEEE**, v. 67, n. 5, 786 – 804 p.,1979.

HORA, R. C.; SOARES, J. J. Estrutura fitossociológica da comunidade de lianas em uma floresta estacional semidecidual na Fazenda Canchim, São Carlos, SP. **Revista Brasil. Bot.**, v. 25, n.3, p.323-329, 2002.

JENNINGS, S. B.; BROWN, N. B.; SHEIL, D. Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. **Forestry**, v. 1, p. 59-73, 1999.

LONGHI, S. J.; ARAUJO, M. M.; KELLING, M. B.; HOPPE, J. M.; MULLER, I.; BORSOI, G. A. Aspectos fitossociológicos de fragmento de floresta estacional decidual, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n.2, p. 59-74, 2000.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A.; PEDROSO, A.; CAMARGO, A.; RASSINI, J.; ROCHA FILHO, J.; OLIVEIRA, G.; CORREA, L.; ARMELIN, M. J.; VIEIRA, S.; DECHEN, S. **Microbacia Hidrográfica do Ribeirão Canchim: Um modelo real de laboratório ambiental**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 1999.

MACIEL, M. N. M. **Estimativas de parâmetros estruturais de uma floresta primária na Amazônia oriental através de dados orbitais**, 2002. 159 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

MENDONÇA, F. P.; MAGNUSSON, W. E.; ZUANON, J. Relationships Between Habitat Characteristics and Fish Assemblages in Small Streams of Central Amazonia. **Copeia**, v. 2005, n. 4, p. 750-763, 2005.

MONTEIRO, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo**. CD-ROM, Versão 1.0. Rio Claro: UNESP, 2000.

SETTE, P. G. C. **Análise da Textura de imagem de alta resolução para classificação dos estágios sucessionais de Mata Atlântica no Sul da Bahia**. 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SILVA, L. A.; SOARES, J. J. Levantamento fitossociológico em um fragmento de floresta estacional semidecídua, no município de São Carlos, SP. **Acta Botânica Brasílica**. 16 (2): 205-216, 2002.

SOARES, M. S. **Composição Florística e estrutural fitossociológica de uma floresta estacional semidecidual em Araras, SP**. 2007. 46 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J.. "SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling" **Computers & Graphics**, 20: (3) 395-403, 1996.

TRICHON, V.; LAFITTE-OLANO, A.; GATELIER, S.; COUTERON, P.; BLANC, L.. Investigating the relationships between canopy texture and the structure and dynamics of a tropical rain forest - A high resolution remote sensing approach with aerial photographs and IKONOS data. POSTER presented to **the 4th international Canopy Conference**, Leipzig, Germany, 2005.

SUGANUMA, M. S.; TOREZAN, J. M. D.; CAVALHEIRO, A. L.; VANZELA, A. L. L.; BENATO, T. Comparando metodologias para avaliar a cobertura do dossel e a luminosidade no sub-bosque de um reflorestamento e de uma floresta madura. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 377-385, 2008.

XIMENES, A. C.; AMARAL, S. Predição de parâmetros estruturais de florestas tropicais a partir das técnicas de transformada de Fourier e delimitação manual de copas aplicadas em imagens de alta resolução espacial. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia. v. 11, n. 33, p. 202-207, 2010.

## **CAPÍTULO 4**

**Mapa rugosidade do dossel de fragmentos de mata a partir de técnicas de processamento digital de imagens**

## **5. Mapa rugosidade do dossel de fragmentos de mata a partir de técnicas de processamento digital de imagens**

**RESUMO** – Os trabalhos tradicionais de levantamento e monitoramento de fragmentos de mata são geralmente difíceis e custosos, levando-se em conta, principalmente, a dificuldade de encontrar profissionais capacitados em extrair informações estruturais da mata. Estas estão diretamente ligadas a seu estado de conservação. Atualmente, a grande disponibilização de imagens de satélite, aliada às técnicas de processamento digital de imagens, é possível analisar através da rugosidade do dossel o estado da floresta. Este capítulo tem como objetivo analisar a banda pancromática HRC para mapear a estrutura do dossel. Com esse processo foi possível determinar áreas com diferentes estruturas e criar um mapa do estado de conservação dos fragmentos de mata de estudo.

**Palavras-chave:** imagem pancromática HRC, rugosidade do dossel, mata semidecídua.

**ABSTRACT** – **Roughness canopy map of forest fragments from the digital image processing.** The works about analyze of structure and monitoring of forest fragment present difficulties, are expensive and difficult to encounter persons capable of extract structural information about him. Structural information was lied to the conservation status of forest. Actually, with the availability of free orbital images lied at digital processing of image techniques, it's possible to analyze through roughness the canopy forest status. This chapter aims analyze the panchromatic band HCR to mapping the canopy structure. With this process was possible to determine areas with different structure and construct a map of conservation stage of the forest studied.

**Key-words:** panchromatic HRC image, canopy roughness, semideciduous forest.

## 5.1. INTRODUÇÃO

As imagens de satélite com alta resolução espacial são utilizadas normalmente para a geração de mosaicos nacionais, cartas temáticas, cartas para planejamento local ou municipal, criação, manipulação, monitoramento de aplicações urbanas e de inteligência.

Ferreira et al. (2012) utilizaram a imagem HRC/ CBERS-2B para extrair parâmetros de direção das ondas utilizando, para isso, a Transformada Rápida de Fourier, com o intuito de difundir esta ferramenta para monitoramento das áreas costeiras de plataforma continental rasa, de exploração petrolífera, para viabilizar a análise de textura de imagens.

Atualmente, com a disseminação de imagens do sensor HRC do satélite CBERS-2B e com as diversas ferramentas computacionais disponíveis para processamento digital de imagens, é possível analisar a estrutura do dossel de florestas a baixo custo (XIMENES; AMARAL, 2010).

Uma das variáveis utilizadas na análise da estrutura do dossel é a sua rugosidade que pode ser entendida como o desvio padrão das medidas de altura dos indivíduos arbóreos representantes do dossel (PONZONI; RESENDE, 2004).

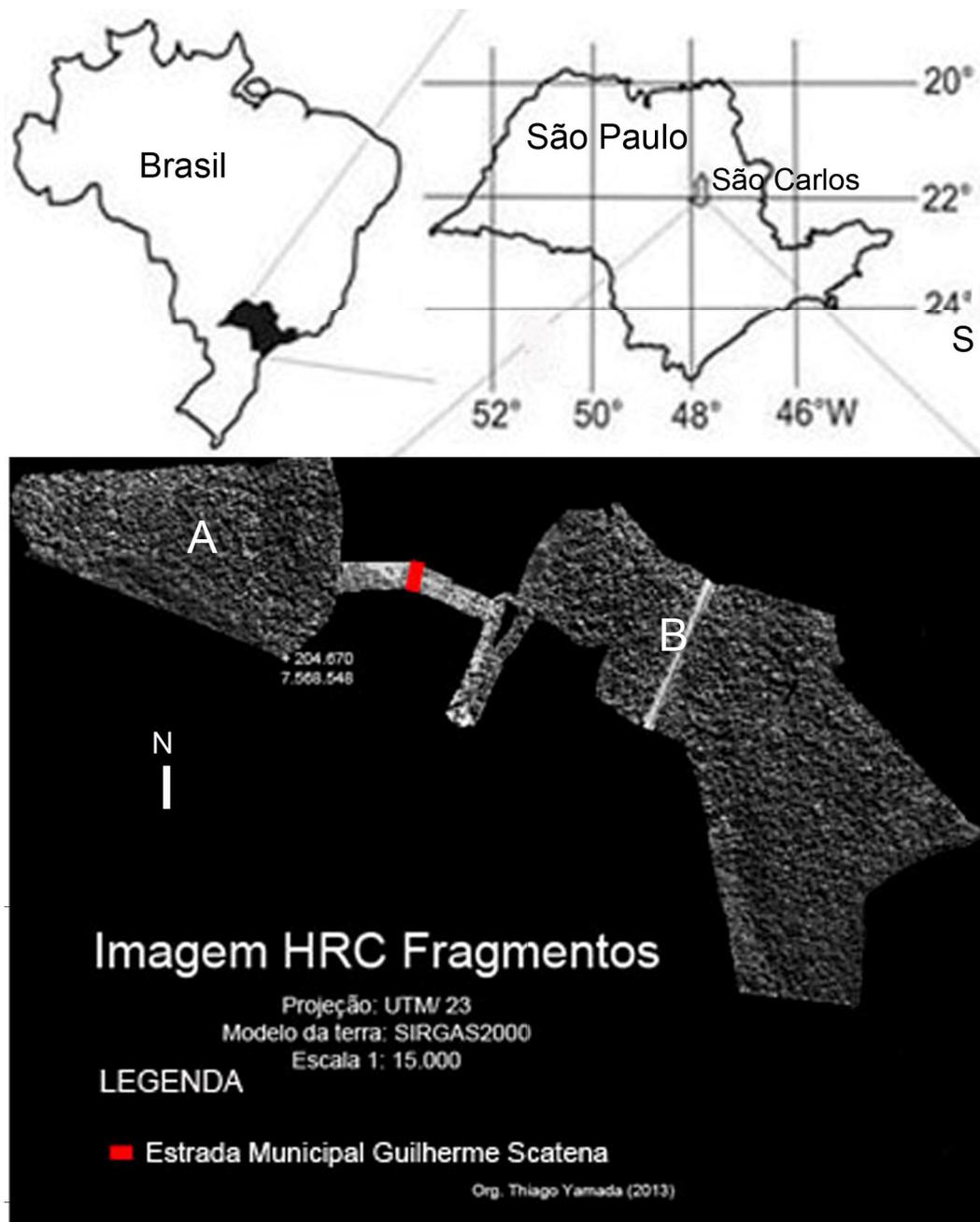
A rugosidade do dossel, em imagens de satélite, é representada por uma matriz de pixels, onde cada pixel possui um valor de nível de cinza (intensidade). Assim a rugosidade do dossel pode ser representada pelos valores de textura obtidos com a entropia local, que leva em consideração a variabilidade local dos valores de nível de cinza em uma imagem. Outras maneiras de se representar a rugosidade do dossel é através dos atributos: homogeneidade, energia, contraste, entre outros, obtidos com a matriz de coocorrência dos níveis de cinza – GLCM, já descritos no capítulo 3.

## 5.2. OBJETIVO

Este capítulo pretende gerar o mapa rugosidade do dossel a partir da imagem pancromática HRC do satélite CBERS-2B, utilizando a entropia local, para avaliar a estrutura do dossel, sua integridade, em toda extensão dos fragmentos de mata semidecídua das fazendas Canaã e Canchim – EMBRAPA.

### 5.3. METODOLOGIA

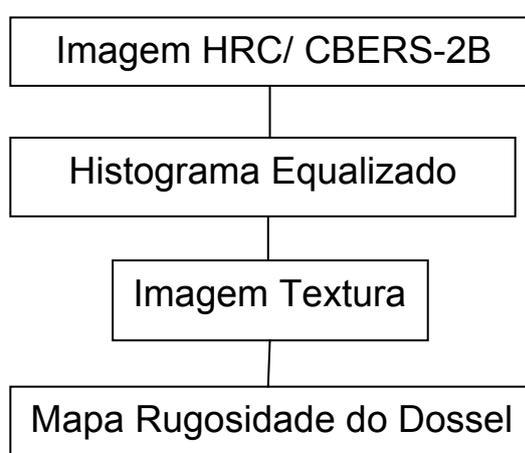
A área de estudo, localizada no município de São Carlos/ SP, é constituída por dois fragmentos de floresta estacional semidecídua, pertencentes a duas fazendas: fazenda Canaã e fazenda Canchim/ EMBRAPA (**Figura 1**).



**Figura 1:** Mostra a localização dos fragmentos de floresta estacional semidecídua, (A) fazenda Canaã e (B) fazenda Canchim, no município de São Carlos, São Paulo, Brasil.

Para o desenvolvimento deste capítulo foram utilizados os softwares: SPRING disponibilizado no link: [www.dpi.inpe.br/spring](http://www.dpi.inpe.br/spring) e o software MATLAB, além da banda pancromática (0,5 - 0,8  $\mu\text{m}$ ) do sensor *High Resolution Camera* - HRC do satélite *China Brazil Earth Resources Satellite* - CBERS-2B, disponibilizada no link: [www.dgi.inpe.br/CDSR/](http://www.dgi.inpe.br/CDSR/), pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, do dia 25 de agosto de 2008.

Abaixo segue uma imagem do diagrama com as etapas desenvolvidas neste capítulo para a geração do mapa rugosidade do dossel (**Figura 2**).



**Figura 2:** Diagrama metodológico com as etapas desenvolvidas neste capítulo.

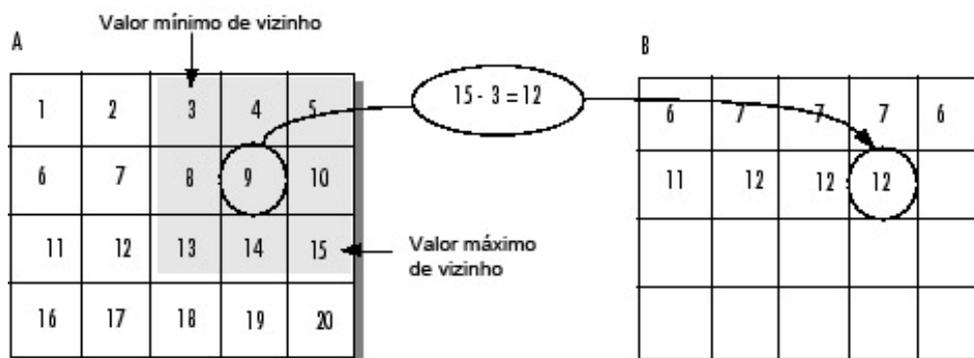
Com a imagem HRC registrada (capítulo 3), o primeiro passo foi criar uma máscara de recorte contendo os limites geográficos dos dois fragmentos de mata semidecídua, para separar os fragmentos das outras informações contidas na imagem.

O próximo passo constou com a equalização do histograma da imagem, realçando as diferenças dos níveis de cinza. A equalização do histograma de uma imagem modifica a distribuição dos níveis de cinza, com o intuito de torná-los o mais homogêneo possível, uma vez que imagens digitais possuem apenas valores discretos (DIAS, 2008; VAR DER HEIJDEN, 1994; HARALICK, 1992; PARKER, 1997; SOILE, 1999).

Em seguida foi calculada a entropia local, que fornece informações sobre a variabilidade local dos valores dos níveis de cinza da imagem. A entropia local foi

utilizada, pois no capítulo 3 o atributo da textura entropia obteve uma significativa correlação com as imagens da cobertura do dossel (capítulo 3).

A **Figura 3** mostra um exemplo de imagens ilustrativa do cálculo da textura por *rangefilt*.



Fonte: [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)

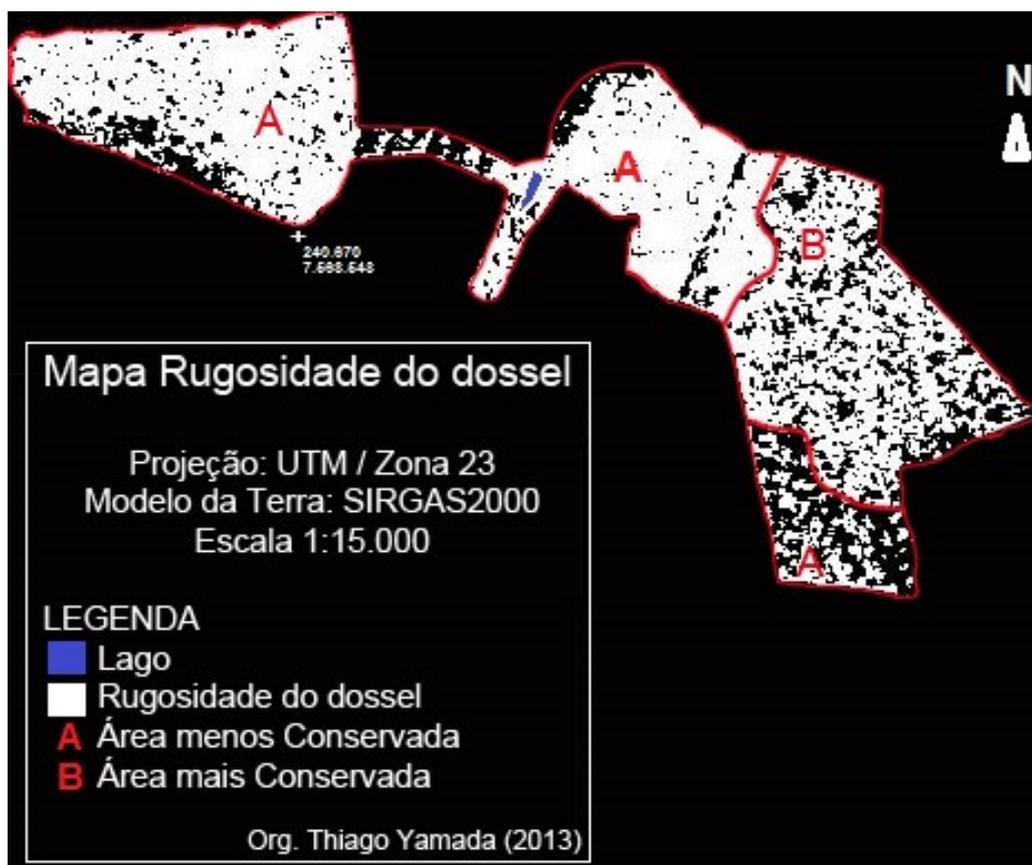
**Figura 3:** Mostra uma imagem ilustrativa do cálculo *rangefilt*, com grade 3 x 3, onde: (A) imagem de entrada e (B) imagem de saída.

No caso deste capítulo o cálculo da entropia local foi realizada com uma grade 7 x 7 que percorreu toda a imagem. Os valores da borda da imagem foram calculados por preenchimento simétrico, gerando a imagem textura em níveis de cinza.

O último passo foi à geração do mapa rugosidade do dossel. Para isso a imagem textura em níveis de cinza foi convertida em uma imagem binária (preto e branco). Esta transformação foi feita utilizando um limiar de 0,68, assim determinado através de testes comparando valores entre 0 e 1, com seus respectivos resultados observados nas áreas já caracterizadas (capítulos anteriores) como sendo mais conservada (maior integridade do dossel) e menos conservada (menor integridade do dossel) (degradada).

#### 5.4. RESULTADOS e DISCUSSÃO

Com análise da textura da imagem através do cálculo da entropia local foi possível gerar o mapa rugosidade do dossel para dois fragmentos de floresta estacional semidecídua (**Figura 4**).



**Figura 4:** Revela o mapa rugosidade do dossel dos fragmentos de floresta estacional semidecídua.

A rugosidade do dossel representada pela entropia local revelou que áreas com maior heterogeneidade nos níveis de cinza, portanto, com maior rugosidade do dossel, representam áreas com maior cobertura do dossel, ou seja, dossel mais íntegro (área mais conservada). Já áreas com maior homogeneidade dos níveis de cinza, portanto, com menor rugosidade do dossel, representam áreas com menor cobertura do dossel, isto é, dossel menos íntegro (área menos conservada) (degradada). Portanto, o mapa rugosidade do dossel gerado conseguiu mapear áreas com diferentes integridades do dossel (**Figura 4**), ou seja, em diferentes estágios sucessionais, para os dois fragmentos de mata semidecídua.

## 5.6. CONCLUSÃO

A imagem HRC do satélite CBERS-2B se mostrou promissora em indicar áreas com diferentes integridades do dossel, ou seja, com diferentes estados de conservação.

## 5.7. REFERÊNCIAS

DIAS, F. C. **Uso do software image J para análise quantitativa de imagens de microestruturas de materiais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologias Espaciais/ Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores), 145 p. – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

FERREIRA, A. T. S. F.; AMARO, V. E.; SANTOS, M. S. T.; SANTOS, A. L. S. Estimativas de parâmetros de ondas oceânicas através de sensores passivos de alta resolução. **Revista de Geologia**, v. 25, HIDROSEMA – UFRN, 20-36, 2012.

PARKER, J. R. **Algorithms for image processing and computer vision**. New York: John Wiley & Sons, 417p., 1997.

HARALICK, R. M.; SHAPIRO, L. G. **Computer and robot vision**. Boston: Addison Wesley, 672p., 1992.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens?. **Biota Neotropica**, V. 1, n.1/2, Campinas, SP, 2001.

PONZONI, F. J.; REZENDE, A. C. P. Caracterização espectral de estágios sucessionais de vegetação secundária arbórea em Altamira (PA), através de dados orbitais. **Revista Árvore**, v. 28, n.4, p.535-545, 2004.

SOILE, P. **Morphological image analysis: principles and applications**. New York: Springer, 1999.

VAN DER HEIJDEN, F. **Image based measurement systems**. New York: John Wiley & Sons, 1994.

XIMENES, A. C.; AMARAL, S. Predição de parâmetros estruturais de florestas tropicais a partir das técnicas de transformada de Fourier e delimitação manual de copas aplicadas em imagens de alta resolução espacial. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia. v. 11, n.33, p. 202-207, 2010.

## 6. CONCLUSÃO GERAL

No capítulo 1 foram comparados os desempenhos dos métodos de segmentação de imagens: Limiarização, Jseg, *Watershed Transform Distance Transform* e *Watershed Transform Gradients*, para diferenciar pixels representantes do céu e do dossel em imagens da cobertura do dossel. Nesta comparação, o método de segmentação de imagens Jseg foi o que melhor diferenciou pixels do céu dos pixels do dossel em imagens da cobertura do dossel.

O capítulo 2 teve como objetivo comparar imagens digitais do dossel: da cobertura do dossel e da oclusão do dossel. Para isso foram capturadas imagens em dois transectos pré-determinados: transecto T1 (em área mais conservada) e transecto T2 (em área menos conservada). Nesta comparação as imagens da cobertura do dossel foram as que melhor caracterizaram a estrutura do dossel.

O capítulo 3 teve como objetivo avaliar a utilização da imagem pancromática HRC do satélite CBERS-2B, para caracterizar a estrutura do dossel de um fragmento de floresta estacional semidecídua. Para isso foram correlacionadas as médias de porcentagem da cobertura do dossel de cada transecto obtidas com as imagens da cobertura do dossel, com alguns atributos de textura da imagem HRC do satélite CBERS-2B. A correlação revelou que os atributos: energia e entropia foram os que obtiveram alta correlação com as médias de porcentagem da cobertura do dossel. Isso mostra o potencial da imagem HRC do satélite CBERS-2B em ser utilizada para levantamentos que visam caracterizar áreas degradadas em florestas.

No capítulo 4 foi utilizada a entropia local obtida com a imagem HRC do satélite CBERS-2B, para mapear áreas mais e menos conservadas. Para isso foram selecionados dois fragmentos de floresta estacionais semidecíduas pertencentes: a fazenda Canaã e a fazenda Canchim. Como resultado foi gerado o mapa rugosidade do dossel para cada um dos dois fragmentos de mata semidecídua, que revelou áreas em diferentes estados de conservação, ou seja, que merecem diferentes tratamentos para a recuperação e conservação.

## 7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros que também visam avaliar a degradação em florestas através de imagens, seria interessante testar mais algoritmos segmentadores nas imagens da cobertura do dossel, visando aprimorar a separação de pixel representantes do céu de pixels representantes do dossel.

Outra recomendação com relação às imagens da cobertura do dossel seria automatizar o cálculo da porcentagem da cobertura do dossel, o que tornaria mais rápida e otimizada a caracterização da integridade do dossel em florestas estacionais semidecíduas.

Seria muito interessante também calibrar este modelo de avaliação da degradação em florestas através de imagens da cobertura do dossel e imagem de satélite para outras fitofisionomias.

Com relação à utilização da imagem HRC do satélite CBERS-2B, seria interessante comparar as informações obtidas, com outras, imagens de outros satélites, com diferentes resoluções.