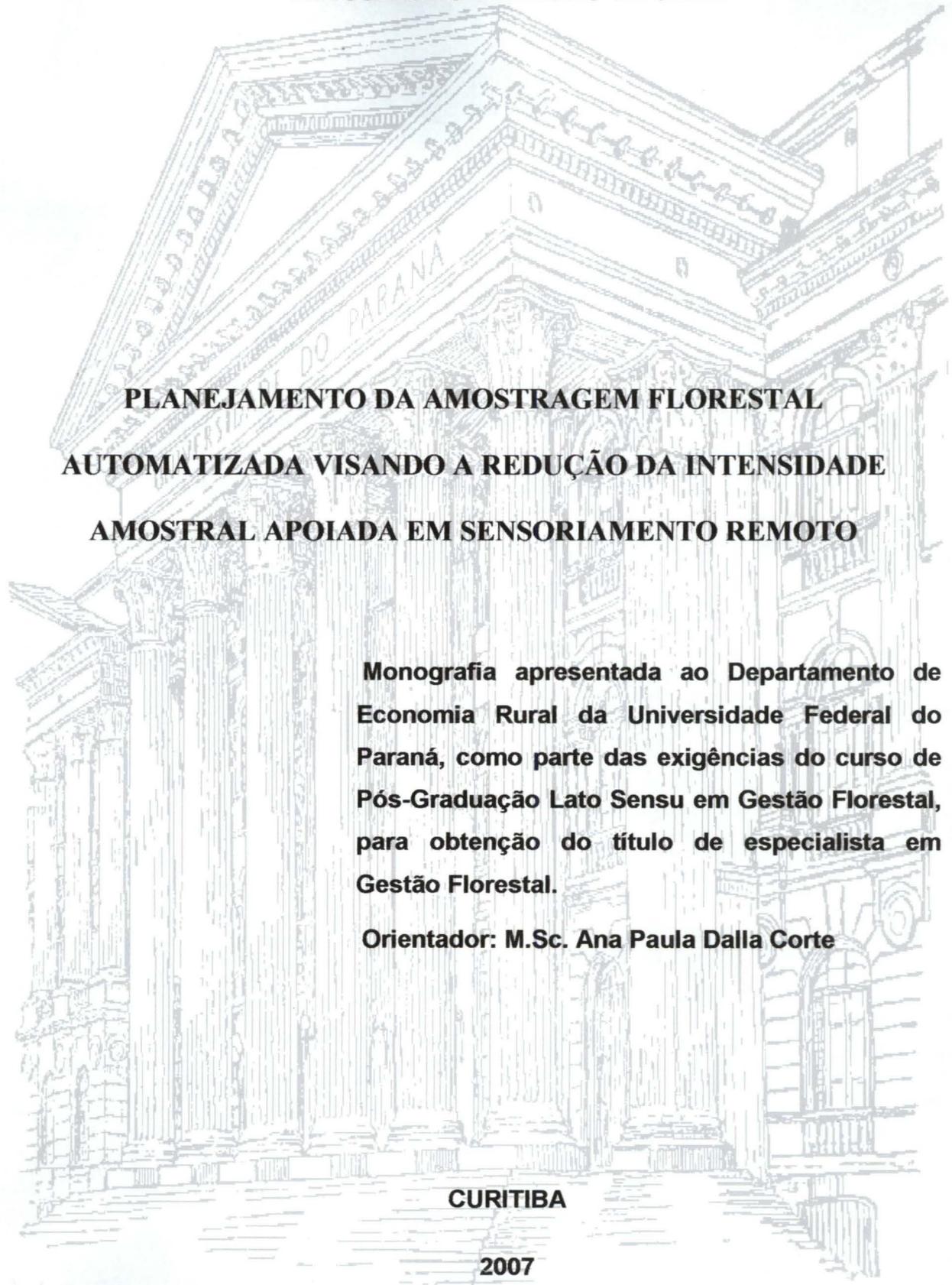


**ALESSANDRO VENANCIO DA SILVA**



**PLANEJAMENTO DA AMOSTRAGEM FLORESTAL  
AUTOMATIZADA VISANDO A REDUÇÃO DA INTENSIDADE  
AMOSTRAL APOIADA EM SENSORIAMENTO REMOTO**

**Monografia apresentada ao Departamento de Economia Rural da Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gestão Florestal, para obtenção do título de especialista em Gestão Florestal.**

**Orientador: M.Sc. Ana Paula Dalla Corte**

**CURITIBA**

**2007**

*À memória de meu pai, pelo empenho e esforço que me permitiu, um dia, escrever este trabalho.*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b>	
2.1. Objetivos Gerais .....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	
3.1. Área em estudo.....	4
3.2. Inventário Florestal .....	9
3.2. Interpolação de dados .....	11
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b>	
4.1. Materiais utilizados .....	12
4.2. Metodologia .....	12
<b>5. RESULTADOS</b> .....	20
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	25
<b>7. RECOMENDAÇÕES</b> .....	27
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	28

**LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1.	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA OBJETO DE ESTUDO.....	4
FIGURA 2.	BALANÇO HÍDRICO NO MUNICÍPIO DE CAPÃO BONITO.....	6
FIGURA 3.	DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS DE EFETIVO PLANTIO NAS CLASSIFICAÇÕES DO SOLO.....	7
FIGURA 4.	ESQUEMA ILUSTRATIVO DA DISTRIBUIÇÃO DAS PARCELAS NO IFC.....	10
FIGURA 5.	DISPOSIÇÃO ESPACIAL DAS PARCELAS NO IFC.....	14
FIGURA 6.	DISPOSIÇÃO ESPACIAL DAS PARCELAS NO IPC.....	16
FIGURA 7.	DISPOSIÇÃO ESPACIAL DAS PARCELAS ESCOLHIDAS .....	18
FIGURA 8.	CLASSIFICAÇÃO E AGRUPAMENTO DA COBERTURA VEGETAL .....	20
FIGURA 9.	CLASSIFICAÇÃO E AGRUPAMENTO DA COBERTURA APÓS REORGANIZAÇÃO DAS PARCELAS .....	21
FIGURA 10.	CLASSIFICAÇÃO E AGRUPAMENTO DAS PARCELAS DE IPC .....	22
FIGURA 11.	CLASSIFICAÇÃO E AGRUPAMENTO DAS PARCELAS DE IFC.....	23

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1.	ÁREAS DO USO ATUAL DO SOLO .....	5
TABELA 2.	INTENSIDADE AMOSTRAL UTILIZADA NO IFC .....	9
TABELA 3.	CARACTERÍSTICAS VOLUMÉTRICAS - IFC .....	15
TABELA 4.	CARACTERÍSTICAS VOLUMÉTRICAS - IPC .....	17
TABELA 5.	CARACTERÍSTICAS VOLUMÉTRICAS DAS PARCELAS ESCOLHIDAS .....	19
TABELA 6.	CLASSES DE PRODUTIVIDADE VOLUMÉTRICAS....	20
TABELA 7.	REPRESENTAÇÃO PERCENTUAL DE ÁREAS CLASSIFICADAS EM ESTUDO .....	23
TABELA 8.	REPRESENTAÇÃO VOLUMÉTRICA DAS ÁREAS.....	24

## RESUMO

A demanda por produtos florestais tem aumentado sensivelmente nas últimas décadas, levando a silvicultura a buscar alternativas que pressupõem gestões sólidas e dinâmicas voltadas à alta produtividade, em especial nos gêneros de espécies exóticas como o *Eucalyptus*. A busca contínua por redução de custos e exploração da tecnologia para o setor florestal, demonstra o crescimento e expansão do setor, e paralelo a isso, a concorrência. Dessa forma, percebemos que há então uma necessidade de esforços e ações para a redução de custos em todos os âmbitos do empreendimento florestal. Com a visão da Agricultura de Precisão, o mapeamento da variabilidade espacial de certos fatores, notadamente a produtividade florestal a nível de “talhão” para fins de gerenciamento localizado, tornou-se uma necessidade.

**Palavras chave:** agricultura de precisão, NDVI, Inventário florestal, eucalyptus

## ABSTRACT

The demand for forest products has increased significantly in the last decades, having led forestry to search alternatives that estimate directed solid and dynamic managements to the high productivity, in special in the sorts of exotic species as the *Eucalyptus*. The continuous search for reduction of costs and exploration of the technology for the forest sector, demonstrate to the growth and expansion of the sector, and parallel to this, the competition. Of this form, we perceive that it has then a necessity of efforts and action for the reduction of costs in all the scopes of the forest enterprise. With the vision of the Agriculture of Precision, the mapping of the space variability of certain factors, especially the forest productivity the level of “stand” for ends of located management, became a necessity.

**Keywords:** agriculture of precision, NDVI, forest Inventory, eucalyptus

## **1. INTRODUÇÃO**

As ferramentas de geoprocessamento têm sido apontadas como possível técnica alternativa às atuais metodologias para a elaboração de mapas de produtividade, através dos instrumentos mecanizados de colheita. A produtividade da cultura pode ser estimada a partir de sua relação com o vigor da cultura, que por sua vez, pode ser determinada via sensoriamento remoto e pela sua relação com determinados índices de vegetação gerados a partir de imagens multiespectrais.

Segundo Silva et al. (1998), geoprocessamento é um conjunto de procedimentos computacionais que, operando sobre bases de dados geocodificados, executam análises, reformulações e síntese sobre os dados ambientais, tornando-se utilizáveis em um sistema de processamento automático. Novo (1992) definiu sensoriamento remoto como sendo a tecnologia da utilização conjunta de sensores remotos, equipamentos de processamento e transmissão de dados, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através de registro e análise das interações eletromagnéticas com elementos componentes do planeta Terra, em suas mais diferentes manifestações.

Desta forma, a difusão destas ferramentas possibilitou que, através do melhor gerenciamento mais específico das áreas florestais, aumentasse a competitividade das empresas detentoras destas tecnologias, tendo também resultados e respostas a diferentes análises de maneira mais rápida e precisa. Conforme Story e Congalton (1986) a maneira mais comum para expressar a precisão, tanto de imagens quanto de mapas, está na declaração da porcentagem da área de mapa que foi corretamente classificada quando comparada com dados de referência ou verdade de campo, denominada exatidão global. Esta declaração normalmente é derivada de uma contraparte da classificação correta gerada por amostragem dos dados classificados, e expressa na forma de matriz de erro, algumas vezes denominada de matriz de confusão ou tabela de contingência. Jensen (1986) sugeriu que a análise comparativa da precisão específica local, através da matriz de erro, pode fornecer métodos mais eficientes para comparar a precisão de mapeamentos de uso da terra que é uma simples comparação de precisão através de uma estimativa global.

A classificação digital pode ser empregada na agricultura, com vários objetivos, como: mapear a ocorrência de plantas daninhas, pragas e doenças; monitorar o estado nutricional das culturas entre outros (Everitt e Nixon, 1985). Os mapas temáticos podem ainda gerar dados digitais e índices de vegetação para estimar variáveis das culturas, como altura de plantas, área foliar e produtividade (Richardson *et al.*, 1990; Salvador *et al.*, 2004; Sharp *et al.*, 2004).

Culturas como a soja e o trigo são importantes *commodities* agrícolas e vêm sendo cultivadas por produtores cada vez mais tecnificados. A obtenção de dados dessas áreas usadas no apoio a tomadas de decisão, exigem um dinamismo que, ao menos no que concerne ao vigor da cultura, apenas o sensoriamento remoto pode conferir.

Ao mesmo tempo em que existem várias possibilidades de análises através destas ferramentas, existe ainda hoje certo bloqueio em seu uso no dia a dia por parte de empresas florestais tais como indisponibilidade ou dificuldade de acesso devido a recursos técnicos e/ou financeiros, porém atualmente existem várias boas iniciativas práticas e de baixo custo no mercado.

No planejamento do inventário florestal é um dos casos em que estas ferramentas podem trazer avanços. Para tanto é necessário que exista algum mapa da área em questão contendo os limites e as tipologias encontradas e que deverão ser amostradas. Desta forma, em muitos casos é necessária a confecção de um mapa contendo os estratos florestais através de imagens de satélite e, por este fato, torna-se importante avaliar a precisão obtida com a classificação digital dos temas abordados.

Nesse estudo, foram feitos levantamentos dos povoamentos florestais com o uso de ferramentas de inventário florestal e de técnicas de classificação digital supervisionada em seu método de máxima verossimilhança, no qual, segundo Pereira *et al.* (1995), o algoritmo de classificação consiste em um princípio estatístico paramétrico, considerando as classes envolvidas em uma função densidade de probabilidade gaussiana (krigagem). Em seguida foram estimadas as capacidades produtivas das áreas florestais e também as unidades de manejo visando estabelecer a acurácia a partir de dados reais levantados pelo inventário florestal.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar o potencial das classificações digitais através de imagens de satélite para a geração de estimativas de produtividade aplicados na área florestal bem como, na geração de unidades de manejo. Fez parte ainda do objetivo deste trabalho a avaliação do desempenho desta metodologia automatizada para a classificação dos povoamentos florestais e utilização de técnicas de geoprocessamento na condução de um inventário florestal. Não foi objetivo deste trabalho fazer inferências quanto ao nível de utilização da metodologia, em substituição aos métodos usuais de um inventário florestal.

### **2.1 Específico**

- Efetuar a classificação da imagem de satélite visando a detecção das classes de produtividade;
- Geração de estimativas de produtividade para as unidades de manejo florestal;
- Comparação do planejamento da amostragem aos métodos tradicionais;

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Área em estudo

##### 3.1.1 Meio Físico

O Município de Capão Bonito está situado na porção central do Sudoeste do Estado, na zona fisiográfica da Serra de Paranapiacaba, Bacia do Alto Paranapanema, Estado de São Paulo, e de coordenadas 24,03 S e 48,37 W a altitude de 702 m. A área objeto de estudo deste trabalho está localizada no Estado de São Paulo, Município de Capão Bonito-SP, distante 220 km da Cidade de São Paulo e a 280 km da Cidade de Curitiba, Estado do Paraná. Encontra-se a 675m de altitude, nas coordenadas geográficas de 23° 59' 55" de latitude S e 48° 13' 37" de longitude W-GR, em áreas de cultivo de eucalipto para celulose da empresa VOTORANTIM CELULOSE E PAPEL S.A. - Grupo Votorantim, conforme apresentado na Figura 1.

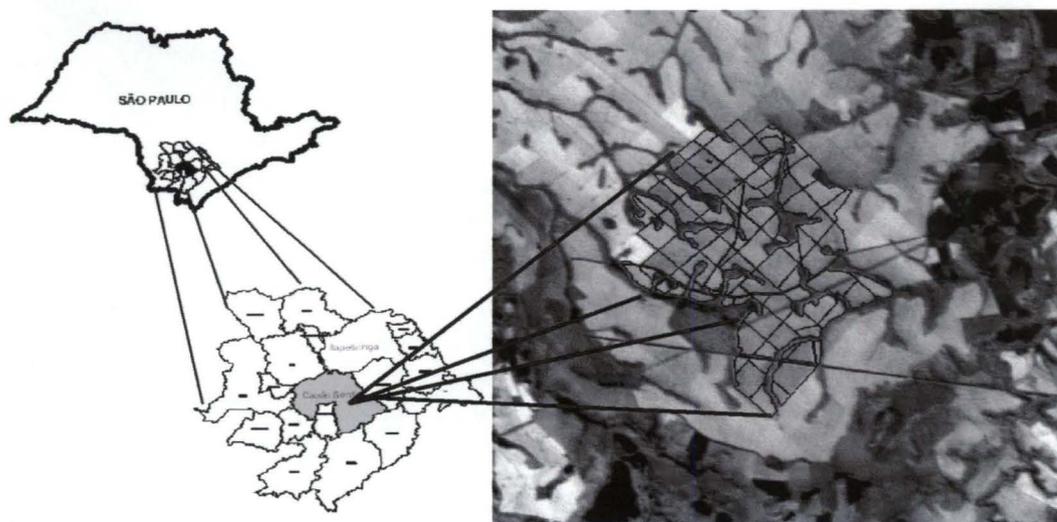


Figura 1 – Localização da Área de estudo

A região é muito próxima a várias áreas de conservação e parques, denominada como região caracteristicamente agrícola, onde se destacam a cultura de grãos como a soja, milho e feijão, ainda, a pecuária extensiva e extração do mineral de calcário, sendo a parte mais à montante coberta por matas naturais e enormes áreas reflorestadas que apresentam produtividade superior à média estadual.

A tabela 1 abaixo resume a quantificação das áreas da fazenda (em hectares) que serão desenvolvidos neste trabalho.

Tabela 1 - Áreas do uso atual do solo para a área de estudo.

<b>Uso Atual</b>	<b>Área (hectares)</b>	<b>% da Área</b>
Efetivo Plantio	1.160	77
Áreas de Preservação permanentes + Florestas nativas + Represas + Estradas, sedes, entre outros.	355	23
<b>TOTAL</b>	<b>1.515</b>	<b>100</b>

### 3.1.1 Clima

Com base na classificação de Köppen, atribui-se para a região os tipos climáticos Cfa e Cfb, ambos sem estiagem. O clima Cfa definido como mesotérmico úmido, com temperaturas superiores a 22°C no verão e acima de 30 mm de chuva no mês mais seco, sendo o índice pluviométrico entre 1.100 a 1.700 mm. O tipo Cfb, mesotérmico úmido, com a temperatura média do mês mais quente não atingindo a 22°C e precipitação de 1.100 a 2.000 mm, compondo clima de região serrana.

O Município de Capão Bonito (24,03 S e 48,37 W, altitude de 702 m) possui a temperatura média de 20,1°C e a precipitação média de 101 mm/mês. A máxima temperatura é em fevereiro (23,7°C) e a mínima em junho (16°C). A umidade relativa mínima anual é de aproximadamente 60% e a umidade relativa máxima anual em torno de 95%. Em janeiro e agosto, tem-se o maior e o menor valor de precipitação, respectivamente 114 mm e 40 mm.

Há ocorrência de déficit hídrico apenas em abril, sendo que nos outros meses, ocorre excedente hídrico (Figura 2).

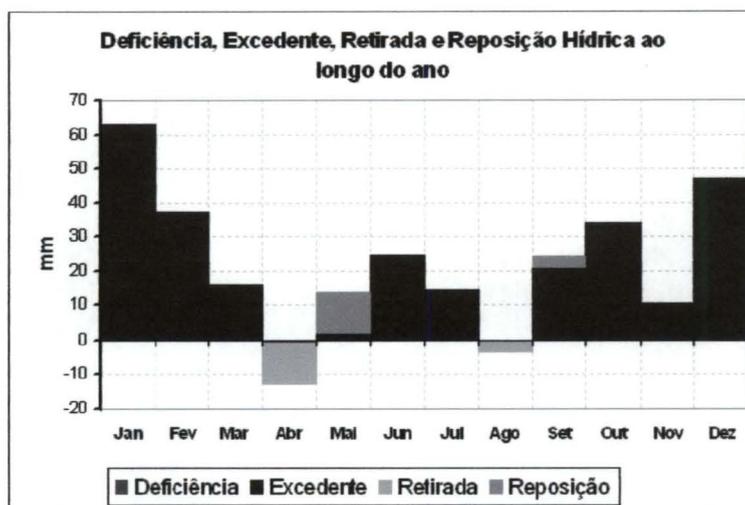


Figura 2 - Balanço hídrico do Município de Capão Bonito nos meses, do período de 1978 a 1990 (ESALQ, 1999)

### 3.1.3 Relevo e Geologia

A região é composta por terrenos com formas de relevo, predominantemente, representados pelos morros baixos com topos convexos, com altitudes variando entre 700 e 800m e declividades entre 20 e 30%, com entalhamento de vales variando entre 20 e 40m e dimensão interfluvial entre 250 e 750 m.

Na Bacia do Alto Paranapanema, onde está inserido o Município de Capão Bonito, não existem grandes fontes de degradação ambiental, mesmo considerando as contribuições dos municípios e indústrias. Deve-se destacar, no entanto, a presença de erosões, que é generalizada na bacia e ocorre em cerca de 80% dos municípios, principalmente à montante da represa de Chavantes, ao longo do Rio Itararé.

A área de objeto de estudo apresenta relevo suavemente ondulado, com altitude oscilando entre 640 a 710 metros. Solos pertencentes, no geral, ao grupo latossolo vermelho. Segundo os dados obtidos da própria empresa, os solos tem 3 classificações conforme mostra a figura 3.

Pode-se mencionar ainda que 92,7% da área de efetivo plantio encontram-se na classe de solo LATOSSOLO vermelho distrófico típico, álico a moderado, textura muito argilosa com relevo plano a suavemente ondulado.

Destes, 6,4% encontram-se LATOSSOLO vermelho distrófico típico, álico a moderado, textura argilosa com relevo plano a suavemente ondulado e 0,9% encontram-se na classe LATOSSOLO vermelho distrófico típico, álico a moderado, textura argilosa com relevo suavemente ondulado a ondulado, conforme gráfico da figura 3.

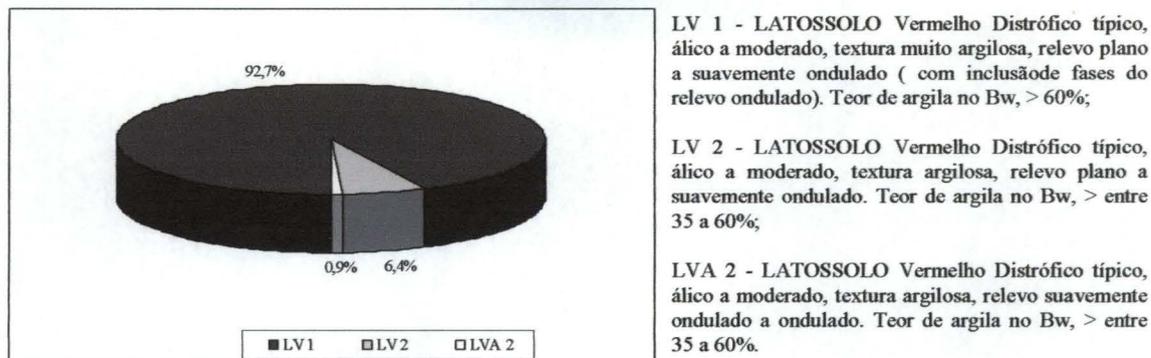


Figura 3 – Distribuição das áreas de efetivo plantio nas classes de tipo de solo.

### 3.1.4 Rios

A reserva explorável de água subterrânea na Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema foi estimada em 74,84 m<sup>3</sup>/s. A relação entre essa disponibilidade potencial de água subterrânea e o seu consumo atual, é da ordem de 5,6433 m<sup>3</sup>/s, indicando uma taxa de utilização estimada em 7,54 %, que demonstra um aproveitamento atual bem pouco significativo.

Conforme já reconhecido por muitos autores, a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento é de aceitação universal. Este critério é comumente usado porque constitui um sistema natural bem delimitado no espaço, composto por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso d'água e seus afluentes, onde as interações, pelo menos físicas, são integradas e, assim, mais facilmente interpretadas. Seu uso deve ser bastante criterioso, uma vez que a complexidade aumenta quando torna-se o espaço das funções urbanas ou do campo, pela diversificação de produtores e consumidores, pelo aumento das relações intrínsecas e pela sua dependência de fontes externas, criando uma malha que, comumente, transcende o território da bacia.

De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos, a região abrangida pelo Município de Capão Bonito, correspondente à Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema.

E constituída por fanerófitos com gemas foliares protegidas da seca por escamas (catáfilos ou pêlos), tendo folhas adultas esclerófilas ou membranáceas decíduais. Em tal tipo de vegetação, a porcentagem das árvores caducifólias, no conjunto florestal e não das espécies que perdem as folhas individualmente, é de 20 a 50%. Nas áreas tropicais, é composta por mesofanerófitos que revestem, em geral, solos areníticos distróficos. Já nas áreas subtropicais, é composta por macrofanerófitos, pois revestem solos basálticos eutróficos.

Uma lista de espécies arbustivo-arbóreas nativas da região realizada por biólogos e encomendada por empresa do setor na região apresentou 413 espécies e morfoespécies. A região de Capão Bonito possui influências de diferentes ecossistemas florestais, apresentando diversos elementos fisiográficos (influência de altitudes da Serra de Paranapiacaba, do clima pluvial tropical da Mata Atlântica do Vale do Ribeira, com espécies que se estendem desde o litoral; e das florestas de interior, com seu clima estacional) que contribuem para a formação de uma vegetação ecotonal, acarretando uma biodiversidade diferenciada.

Como exemplo, pode-se citar a comum ocorrência de gêneros típicos de altas altitudes, (*Symplocos*, *Ilex* e *Piptocarpha*) em conjunto com elementos de cerrado (*Caryocar brasiliense* e *Dalbergia myscobium*) e o elemento central da Floresta Ombrófila Mista, o pinheiro-do-paraná ou *Araucaria angustifolia*.

### 3.1.5 Vegetação

A região de Capão Bonito está próxima aos maiores fragmentos de Mata Atlântica do Estado de São Paulo. Na região há muitas Unidades de Conservação Ambiental: Estações Ecológicas de Angatuba, Itaberá, Itapeva, Paranapanema e Xitué, Floresta Nacional de Capão Bonito, Área de Proteção Ambiental Botucatu, Parques Estaduais Carlos Botelho, Intervales e PETAR, além de algumas áreas indígenas disseminadas pela região.

O tipo de vegetação predominante é a Floresta Estacional Semidecidual Montana, conforme classificação do IBGE (1991), embora hajam elementos de campos de altitude dispersos por todas as áreas e de Cerrado, estes concentrados na região de Itapetininga. O conceito ecológico do tipo de vegetação predominante está condicionado pela dupla estacionalidade climática: uma tropical, com época de intensas chuvas de verão seguidas por estiagens acentuadas; e outra subtropical, sem período seco, mas com seca fisiológica provocada pelo intenso frio de inverno, com temperaturas médias inferiores a 15°C. É uma formação Montana, pois está situada acima dos 16° de latitude Sul entre os 400 e 1500 m de altitude.

### 3.2 Inventário Florestal

O Inventário Florestal é a base para o planejamento do uso dos recursos florestais, através dele é possível a caracterização de uma determinada área e o conhecimento quantitativo e qualitativo das espécies que a compõe. Os objetivos do Inventário são estabelecidos de acordo com a utilização da área, que pode ser área de recreação, reserva florestal, área de manutenção da vida silvestre, áreas de reflorestamento comercial, entre outros. No caso das florestas com fins madeireiros por exemplo, o inventário florestal visa principalmente a determinação ou a estimativa de variáveis como peso, área basal, volume, qualidade do fuste, estado fitossanitário, classe de copa e potencial de crescimento da espécie florestal.

Em todas as atividades empresariais florestais, mesmo se considerando uma empresa na área de conservação da natureza, que também necessita de um processo de gestão, é de suma importância conhecer os potenciais que as florestas apresentam. Por isso, nos dias atuais e cada vez mais o inventário florestal é sempre muito utilizado.

A amostragem no inventário florestal é a seleção de uma parte (amostra) de um todo (população), coletando na parte selecionada dados e informações de relativo interesse, com o objetivo de tirar conclusões (inferência) sobre o todo. A amostragem utiliza conceitos ou a teoria estatística para estimar as incertezas (erros) de uma população que apresenta uma distribuição normal (teorema do limite central). Em plantios florestais de médias e grandes empresas do setor, geralmente o investimento na realização de inventários florestais é muito alto e principalmente por essas razões econômicas não podemos realizar um censo ou medição a 100%. Tal investimento com amostragem pode acontecer de diferentes maneiras sendo a intensidade amostral normal quando se deseja monitorar o crescimento da floresta no inventário florestal Contínuo ou IFC. Na tabela 2, o exemplo dado para a intensidade amostral adotada pela empresa.

Tabela 2 - Intensidade amostral utilizada no IFC por classe de área.

Nº Parcela	Classe (ha)
1	0,00 a 15,00
2	15,01 a 25,00
etc.	Continua acrescentando 1 parc. a cada 10 ha

Fonte: Votorantim Celulose e Papel - VCP

Utiliza-se de uma intensidade amostral mais rigorosa quando os talhões estiverem prestes a entrar em processo de corte raso. Essa prática servirá para minimizar o erro das estimativas sendo denominado então de inventário pré-corte ou IPC. No inventário pré-corte, a intensidade amostral é de 1 parcela para cada 5 hectares.

De uma forma geral, o inventário florestal deve fornecer as informações básicas da situação presente e lastrear as decisões do planejamento das atividades futuras (FERREIRA, 1985).

A escolha do tipo de parcela é fundamental em vários aspectos, entre estes, a precisão, a natureza das informações requeridas e o custo relativo das mesmas. A maioria dos trabalhos publicados tem demonstrado a dependência entre a variância da média de parcelas e o tamanho das mesmas.

Essa dependência se reflete no decréscimo da variância em função do aumento do tamanho da parcela. Igualmente, observou-se que o mesmo ocorria para os coeficientes de variação. Trabalhos conduzidos em inventários florestais levaram a busca suficientemente de práticas tendo em vista à necessidade de adequar a metodologia de trabalho com as condições de campo, que deve ser simples, de fácil execução e exequível ao nível de aparelhamento.

Para este estudo, considerando que o espaçamento médio padrão que é de 3 metros na entrelinha e 2 metros na linha, optou-se pela parcela retangular(aproximadamente 21m x 19m) que já é utilizado de forma rotineira na empresa. Dessa forma, a parcela instalada em campo tinha área média de 400 m<sup>2</sup>.

A Figura 4 abaixo ilustra o mapa utilizado na empresa para a alocação das parcelas de forma sistemática.

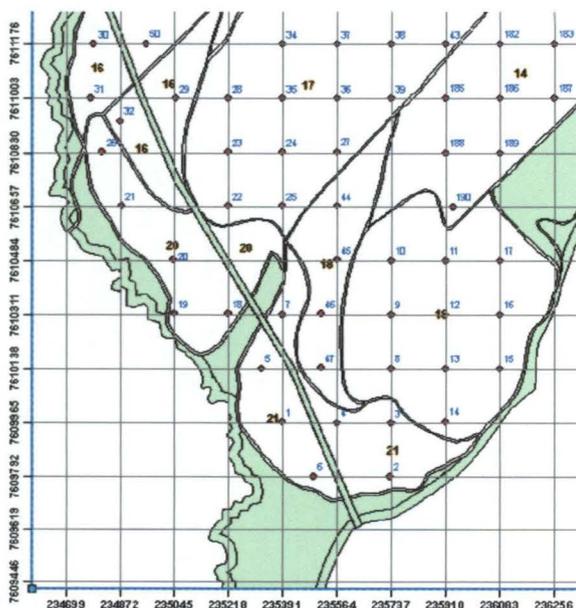


Figura 4 – Esquema ilustrativo da distribuição das parcelas do inventário florestal.

### **3.3 Interpolação de dados**

*Kriging*, também muitas vezes traduzido como *Krigagem*, é um método de regressão estatística usada em geoestatística para aproximar ou interpolar dados. Na comunidade estatística, também é conhecido como “Processo Gaussiano de Regressão”.

*Geoestatística* é um ramo da matemática que une o conceito de variáveis aleatórias com o conceito de variáveis regionalizadas, gerando um novo conceito de funções aleatórias, que são posteriormente processadas por aplicativos computacionais.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Materiais Utilizados**

O material cartográfico utilizado no trabalho foi a imagem do satélite CBERS2 do mês de agosto de 2006. As imagens disponíveis são gratuitas quando solicitadas na América do Sul e podem ser adquiridas diretamente do *site* do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) necessitando apenas o cadastramento nesse instituto. O processamento e a análise foram feitos em microcomputadores, empregando o software de sistema de informações geográficas denominado Esri-ArcGIS. Pontos de Controle foram obtidos por GPS (*Global Positioning System*) com correção diferencial. As parcelas de inventário foram planejadas e exploradas para a realização do trabalho.

### **4.2 Metodologia**

Para a quantificação do volume da floresta em estudo foi utilizada a metodologia de medição direta, ou seja, foram utilizados os resultados oriundos de amostras coletadas em campo estabelecidas pelo inventário florestal. Para a sistemática de amostragem foi eleita a metodologia sistemática para a instalação de parcelas temporárias pré-corte com intensidade amostral de 1 parcela a cada 5 hectares e o inventário contínuo com intensidade amostral de 1 amostra a cada 10 hectares. A estratificação e classificação dos povoamentos foram realizadas com base na idade média de sete anos da floresta e o volume, sendo aqui utilizado a unidade de m<sup>3</sup>/ha, apoiado na imagem de satélite acima descrita. Para cada tipo de sistema de amostragem foi elaborado um mapa temático interpolado pelo processo de krigagem (que leva em consideração a continuidade espacial da variável no processo de estimação da mesma) no software ArcGIS demonstrando assim as variações volumétricas dos sistemas.

#### **4.2.1 Massa Foliar (MF)**

O objetivo principal desta atividade foi o de estabelecer uma relação entre a análise de agrupamento da massa foliar com o volume da floresta utilizando-se da cobertura vegetal das copas coletadas pelas imagens espectrais normalizadas pelo NDVI (*Índice de Vegetação por Diferença Normalizada*) e comparando-as com os atuais volumes levantados pelo inventário florestal pré-corte.

Os resultados dessa comparação gerariam informações aos sistemas tradicionais de planejamento de amostragem das parcelas de inventário florestal contínuo e pré-corte.

#### 4.2.2 Mapeamento

Em um primeiro momento realizou-se a coleta das coordenadas geodésicas de vértices de alguns talhões, com o objetivo de recuperar seus contornos sobre as imagens orbitais. Uma vez conhecidos os posicionamentos dos talhões, foi possível a extração de dados das imagens transformadas, incluindo o contorno da fazenda/projeto em questão, minimizando a contaminação de bordadura e posterior georreferenciamento das imagens.

Foi utilizado um aparelho *Global Positional System* - GPS, da marca Trimble, do tipo diferencial, que permite uma precisão de até 1,40 metros. Este GPS funciona através de um coletor de dados que geram informações *rover* e são corrigidos diferencialmente por torre fixa, nesse caso a torre do município de São Paulo. Os talhões apresentavam, na sua maioria, formatos geométricos bem definidos. Através de um *software* específico do instrumento, os dados puderam ser transferidos do GPS para um microcomputador e deste para arquivos *backup's* ao final do levantamento em campo. Este mesmo "*software*" permitiu a visualização espacial da média dos pontos coletados. Após o trabalho de campo, os arquivos foram abertos em software específico para a edição e quantificação do mapa, para posterior localização nas imagens.

#### 4.2.3 Dados do Inventário Florestal Contínuo

Para a realização da análise do potencial das imagens na geração de zonas de manejo, com base nas parcelas existentes e volumes gerados, os mapas de produtividade bem como as imagens foram reclassificadas proporcionalmente em cinco classes, para facilitar a visualização das mesmas em campo e o maior entendimento das áreas analisadas. A classificação baseou-se na divisão proporcional e equitativa dos volumes (em m<sup>3</sup>/ha), como sendo o limiar entre as classes.

O projeto apresenta a quantidade de 120 parcelas sendo aproximadamente 1 parcela para cada 10 hectares. Estas parcelas estão dispostas conforme a figura 5.

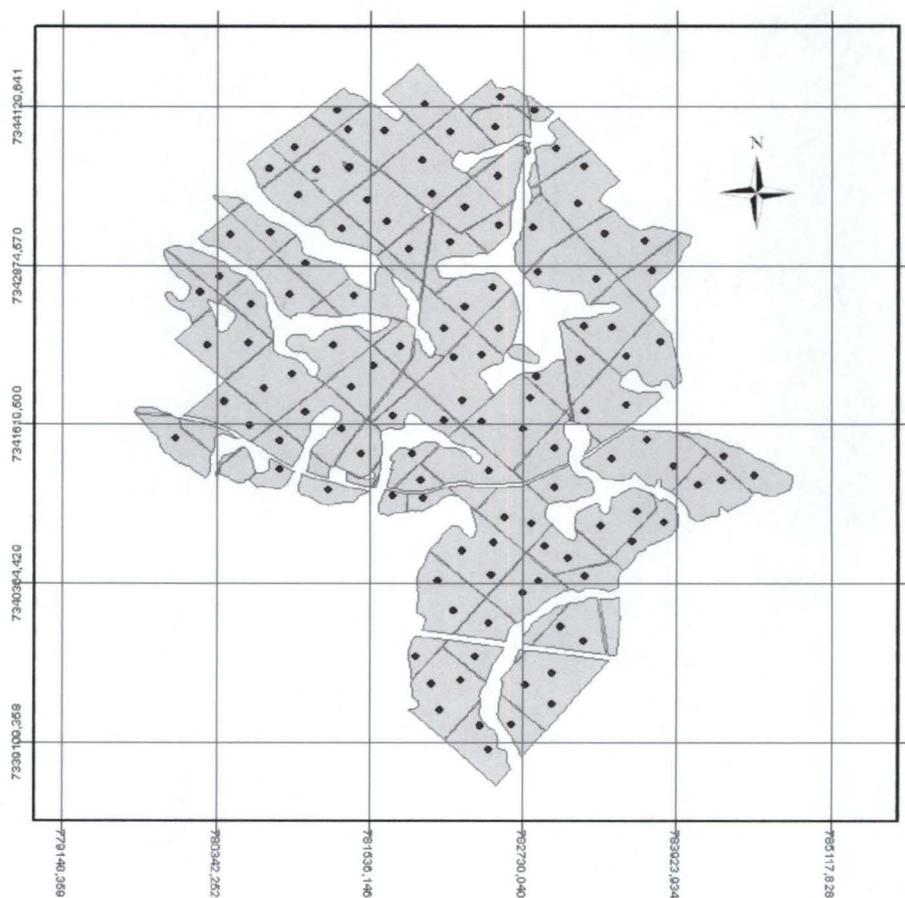


Figura 5 – Disposição espacial das parcelas do Inventário Florestal Contínuo (IFC)

Na tabela 3 estão apresentados os volumes médios para os talhões avaliados. A partir destes volumes dividiu-se então estes talhões em 5 classes volumétricas em função da amplitude resultante do inventário florestal.

Tabela 3 - Características volumétricas dos talhões com base nos dados do Inventário Florestal Contínuo.

Volume		Volume		Volume		Volume	
Talhão	(m <sup>3</sup> /ha)						
1	370,24	14	344,61	30A	303,54	44	400,85
2	380,52	15	400,09	30B	448,65	45	381,71
3	478,98	16	342,92	31	367,18	46	466,43
4	472,58	17	367,56	32	535,84	47	392,7
04A	419,73	18	399,85	33	438,98	48	434,02
5	560,61	19	418,05	33A	410,44	49	371,75
6	505,39	20	409,69	34	395,46	49A	412,72
7	533,73	21	413,91	35	521,45	50	407,32
8	354,72	22	495,57	35A	454,07	51	457,59
08A	438,6	23	491,21	36	492,35	52	470,68
9	468,57	24	537,68	37	468	53	403,6
10	308,4	25	552,25	38	483,22	54	424,71
10A	462,09	26	433,62	39	420,6	55	351,14
11	333,2	27	439,41	40	430,7	55A	305,58
11A	396,29	28	534,44	41	343,31	56	450,09
12	416,54	29	356,22	42	421,98	57	431,3
13	421,66	30	435,85	43	422,53		

#### 4.2.4 Dados do Inventário Florestal Pré-corte (IPC)

Como o inventário Pré-corte consiste no adensamento das parcelas de inventário contínuo, então nesse caso será a soma das parcelas de inventário contínuo denominadas parcelas permanentes somadas às parcelas estratégicas instaladas como parcelas pré-corte ou parcelas temporárias com o intuito de intensificar a amostragem florestal até que a floresta tenha a proporção de 1 parcela a cada 5 hectares.

Com a metodologia de pré-corte descrita acima considerou-se o acréscimo de mais 130 parcelas no projeto. Na tabela 4 estão apresentados os volumes médios por hectare para os talhões citados, porém com os dados do levantamento do inventário florestal pré-corte.

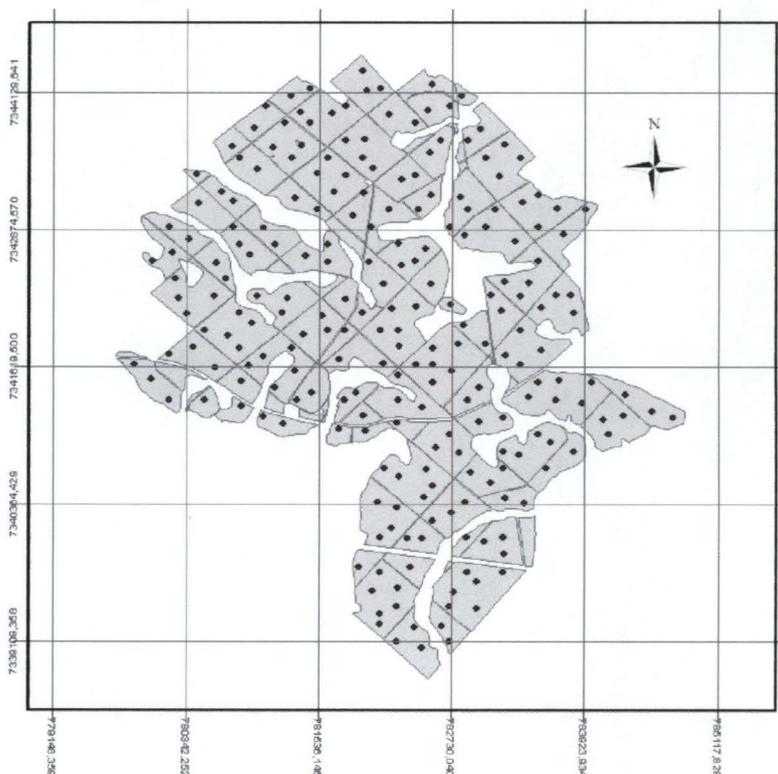


Figura 6 – Disposição espacial das parcelas do Inventário Florestal Pré-corte (IPC)

Tabela 4 - Características volumétricas dos talhões com base nos dados do Inventário Florestal Pré-Corte.

Volume		Volume		Volume		Volume	
Talhão	(m <sup>3</sup> /ha)						
1	389,53	14	370,63	30A	343,77	44	451,59
2	376,34	15	411,68	30B	438,73	45	367,41
3	459,25	16	379,96	31	351,41	46	443,21
4	485,36	17	365,57	32	532	47	339,82
04A	432,51	18	403,56	33	433,14	48	477,35
5	506,16	19	442,23	33A	430,22	49	376,84
6	495,25	20	413,05	34	360,2	49A	452,43
7	527,25	21	445,22	35	522,16	50	415,51
8	354,49	22	458,44	35A	451,92	51	415,34
08A	462,73	23	458,98	36	493,73	52	417,49
9	503,56	24	518,36	37	469,78	53	397,85
10	321,74	25	564,81	38	494,69	54	355,47
10A	498,83	26	438,76	39	395,92	55	354,51
11	336,5	27	414,94	40	420,51	55A	306,81
11A	418,01	28	523,58	41	359,99	56	487,46
12	456,67	29	395,6	42	440,63	57	449,3
13	445,92	30	466,39	43	424,65		

#### 4.2.5 Dados das imagens de satélite

A imagem CBERS2 do mês de agosto de 2006, obtida da site do INPE, apresenta a banda infravermelho espectral e por isso pode ser classificada pelo NDVI.

Com a utilização da cobertura da massa foliar foi possível fazer as devidas classificações e vetorizações desse material com o uso de sistema computacional e processo de kriging.

Pela intensificação da cobertura foliar, aqui denominadas como gradientes da cobertura vegetal, foram criadas cinco classes de intervalo, ou seja, foram subdivididos os gradientes em cinco classes e cores diferentes.

#### 4.2.6 Automatização do planejamento da amostragem

As áreas da imagem de satélite foram classificadas e agrupadas pelo software em cinco classes de intervalo e determinam os estratos subdivididos que são mostrados na figura 7.

Para cada classe de intervalo classificado e agrupado pela imagem de satélite, foram definidas aleatoriamente parcelas do IPC que poderiam ser reutilizadas para a automatização do planejamento, respeitando assim, a amostragem dentro de cada estrato e classe de intervalo. O critério para a escolha das parcelas para o reaproveitamento foi o da representatividade, ou seja, desde que não ficassem próximas ao limiar dos estratos, nem ao menos muito próximas entre si, e ainda ao menos uma parcela por talhão. Assim, definiu-se como instalação aleatória de parcelas. Nessa escolha aleatória de parcelas foram reutilizadas a quantidade de 129 parcelas no total. Após a escolha das parcelas a serem reutilizadas, esses dados foram reorganizados para comparações futuras.

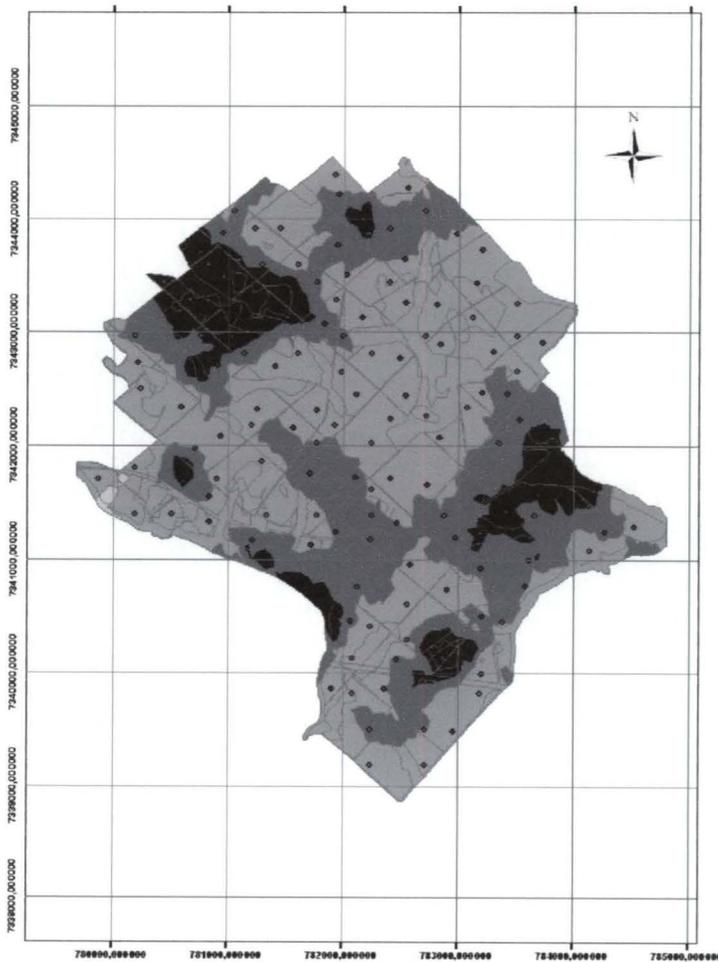


Figura 7 - Disposição das parcelas que foram escolhidas aleatoriamente após classificação da imagem.

Tabela 5 - Características volumétricas dos talhões em estudo com base nas parcelas escolhidas através da estratificação geradas pela imagem de satélite.

Volume		Volume		Volume		Volume	
Talhão	(m <sup>3</sup> /ha)	Talhão	(m <sup>3</sup> /ha)	Talhão	(m <sup>3</sup> /ha)	Talhão	(m <sup>3</sup> /ha)
<b>1</b>	390,43	<b>14</b>	364,82	<b>30A</b>	343,77	<b>44</b>	485,16
<b>2</b>	368,57	<b>15</b>	443,06	<b>30B</b>	431,20	<b>45</b>	356,36
<b>3</b>	478,98	<b>16</b>	367,55	<b>31</b>	332,63	<b>46</b>	433,21
<b>4</b>	395,03	<b>17</b>	345,12	<b>32</b>	544,74	<b>47</b>	269,61
<b>04A</b>	419,73	<b>18</b>	409,71	<b>33</b>	410,61	<b>48</b>	454,20
<b>5</b>	531,21	<b>19</b>	437,41	<b>33A</b>	421,76	<b>49</b>	392,88
<b>6</b>	461,46	<b>20</b>	382,25	<b>34</b>	307,06	<b>49A</b>	444,18
<b>7</b>	518,13	<b>21</b>	463,32	<b>35</b>	506,92	<b>50</b>	420,93
<b>8</b>	366,91	<b>22</b>	448,72	<b>35A</b>	433,93	<b>51</b>	401,41
<b>08A</b>	438,60	<b>23</b>	464,50	<b>36</b>	492,35	<b>52</b>	426,88
<b>9</b>	528,99	<b>24</b>	537,68	<b>37</b>	464,62	<b>53</b>	370,23
<b>10</b>	302,59	<b>25</b>	564,35	<b>38</b>	487,78	<b>54</b>	358,93
<b>10A</b>	512,70	<b>26</b>	432,53	<b>39</b>	387,56	<b>55</b>	321,85
<b>11</b>	311,54	<b>27</b>	426,89	<b>40</b>	430,70	<b>55A</b>	306,81
<b>11A</b>	418,01	<b>28</b>	534,44	<b>41</b>	365,91	<b>56</b>	450,09
<b>12</b>	416,54	<b>29</b>	356,22	<b>42</b>	416,81	<b>57</b>	431,93
<b>13</b>	447,45	<b>30</b>	462,40	<b>43</b>	443,13		

## 5. RESULTADOS

Abaixo serão apresentados os resultados deste trabalho. Observou-se que os talhões amostrados apresentavam volume médio representativos entre 211 e 535 m<sup>3</sup>/há e a partir destes volumes foram divididos estes talhões em 5 classes volumétricas em função da amplitude resultante do inventário florestal sendo que as classes foram:

Tabela 6 – classes de produtividades volumétricas

<b>Classes de produtividade</b>	<b>Intervalos de Volume (m<sup>3</sup>/ha)</b>
1	300 a 354
2	354 a 408
3	408 a 462
4	462 a 516
5	516 a 570

Na figura 8 abaixo pode-se observar os resultados obtidos com a interpolação de dados apuradas das informações obtidas da normalização da imagem de satélite (NDVI), ou seja, a partir da cobertura vegetal da imagem de satélite. Refere-se à primeira estratificação obtida através da reflectância espectral da cobertura vegetal.

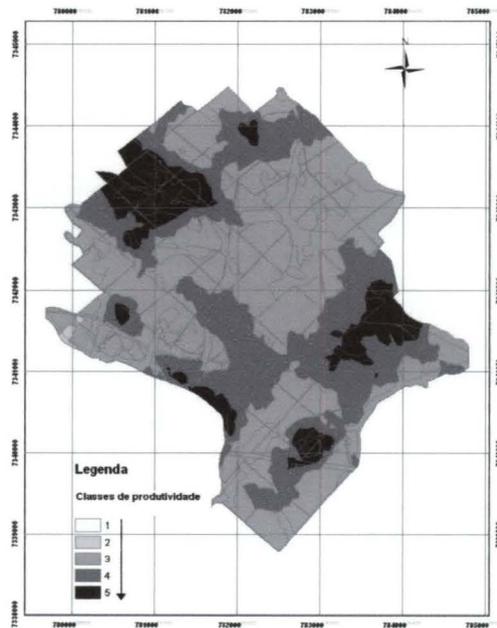


Figura 8 – Classificação e agrupamento da cobertura vegetal da imagem de satélite através da Krigagem.

Após a classificação da imagem inicial, houve a escolha de parcelas aleatoriamente respeitando os critérios apresentados anteriormente dentro dos estratos e que geraram uma nova classificação como mostra a figura abaixo.

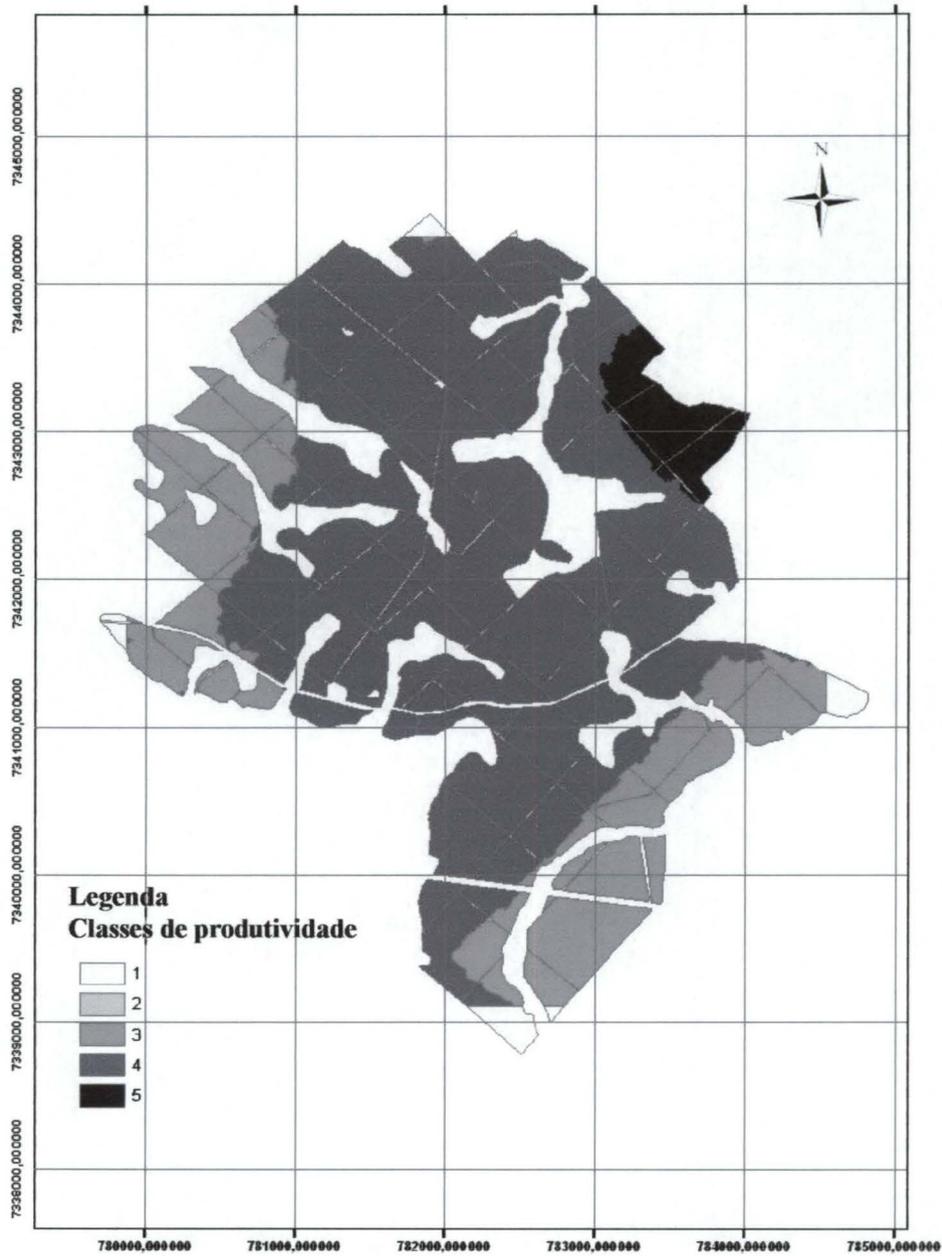


Figura 9 – Classificação e agrupamento da cobertura vegetal através do processo de Krigagem estratificados pela imagem de satélite e classes de intervalos após a escolha e reorganização das parcelas

Da mesma forma que o inventário florestal contínuo (IFC), foi realizado também uma interpolação dos dados que representam a tendência volumétrica espacial na área de estudo com base nestas parcelas como mostra na figura abaixo. Com a intensificação do número de parcelas, as informações coletadas e geradas pelo inventário pré-corte (IPC), obviamente o resultado tenderia a uma maior estabilidade e redução do erro amostral.

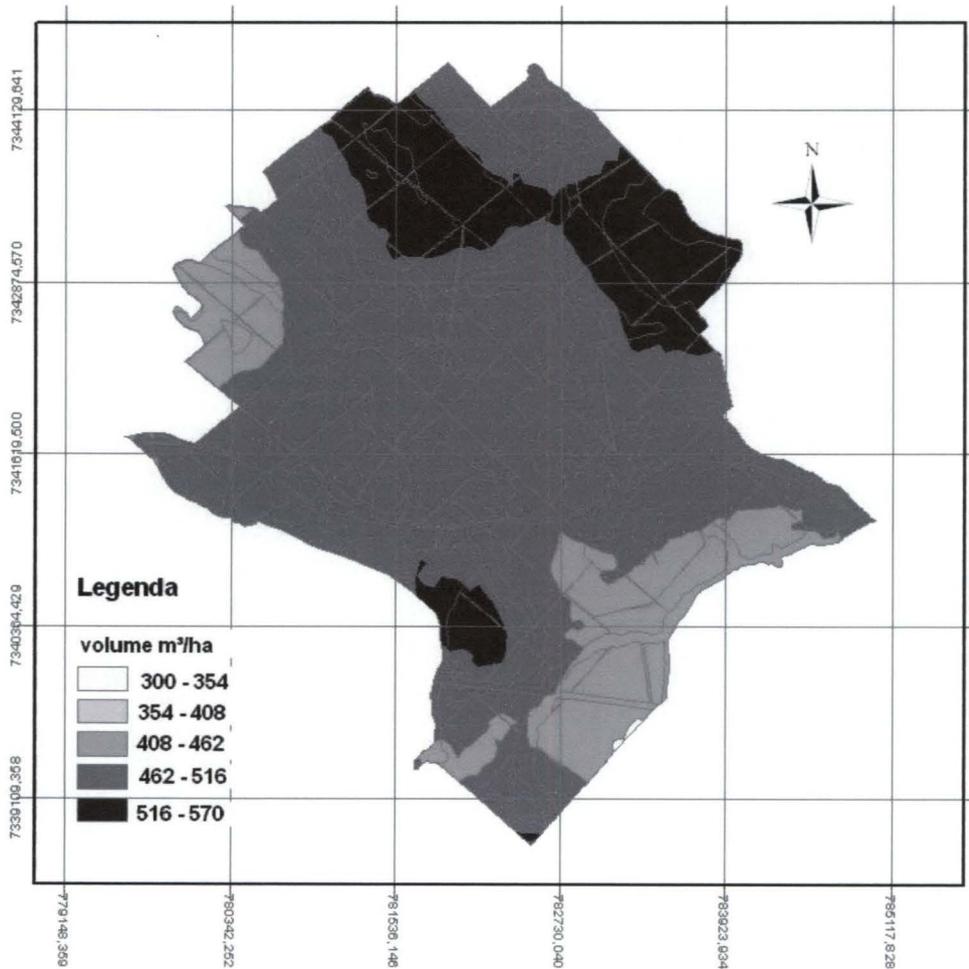


Figura 10 – Classificação e agrupamento dos volumes das parcelas IPC através do processo de Krigagem.

No processo de krigagem para o IFC, foi realizada a krigagem apenas para ilustração da interpolação e da margem gráfica de erros sobre as amostragens de IPC e da imagem reorganizada. Com este gráfico temos a visão geral e comparativa entre métodos de amostragem aqui descritos.

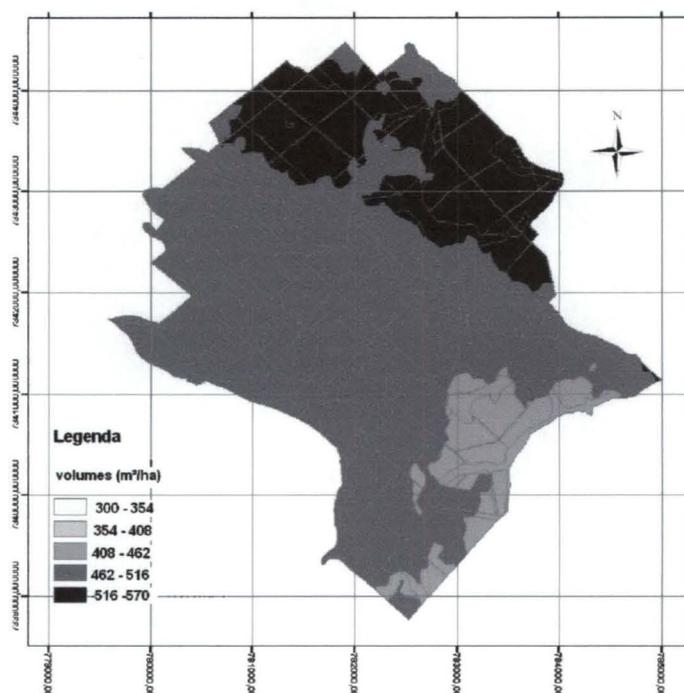


Figura 11 – Classificação e agrupamento dos volumes das parcelas IFC através do processo de Krigagem

Abaixo, na tabela 7, veremos uma tabela de demonstração de áreas com sua expressividade e representatividade percentual dentro das classes de produtividade.

Tabela 7 – Representatividade percentual das áreas classificadas em estudo.

Classes de Produtividade	Imagem reorganizada		IF Pré-Corte		IFC	
	ha	%	ha	%	ha	%
1	25,17	2,17	0,00	0,00	0,00	0,00
2	405,42	34,95	465,39	40,12	375,84	32,41
3	144,42	12,45	365,86	31,54	370,04	31,90
4	584,99	50,43	133,29	11,49	152,08	13,11
5	0,00	0,00	195,46	16,85	262,04	22,59

Numa outra tabela, como mostra a tabela 8, conseguiu-se os volumes médios em m<sup>3</sup>/ha obtidos das parcelas utilizadas em cada sistemática e multiplicamos pela área fixa do efetivo plantio. O resultado nos mostrará um resumo das variações do volume do total da floresta (em hectares) segundo informações obtidas com cada sistemática.

Tabela 8 – Volumes totais para cada sistemática de amostragem.

Área Efetivo Plantio	Imagem de Satélite					
	reorganizada		Inventário Pré-Corte		Inventário Contínuo	
	m <sup>3</sup> /ha médio	Vol. Total (m <sup>3</sup> /ha*área)	m <sup>3</sup> /ha médio	Vol. Total (m <sup>3</sup> /ha*área)	m <sup>3</sup> /ha médio	Vol. Total (m <sup>3</sup> /ha*área)
1.160	425,40	493.464	430,06	498.870	427,09	495.424

## 6. CONCLUSÕES

O objetivo deste estudo foi o de avaliar a sensibilidade de imagens orbitais transformadas, neste caso, em imagens-índice de vegetação para detectar alterações no volume de madeira em áreas de floresta reformada de *Eucalyptus sp.* Esta análise visou testar uma metodologia para futuros estudos em áreas de florestas, onde há o manejo e extração de espécies vegetais para fins comerciais. Ainda, para o monitoramento do volume de madeira em áreas de reflorestamento, de maneira mais rápida que os métodos tradicionais consorciado com o menor custo, pois na pesquisa deste trabalho observou-se que há uma redução significativa da quantidade de parcelas (de 250 parcelas reduziu-se para 129 parcelas) comparadas aos métodos tradicionais utilizados atualmente.

Finalmente, respondendo ao objetivo do trabalho, as imagens-índice não foram sensíveis à saída de madeira dos talhões, não sendo possível, através de análise de imagens ao longo do tempo, o monitoramento de alterações de volume, a partir de alterações nas quantidades da Massa Foliar. Lembrando que este resultado é válido para o caso de florestas de *Eucalyptus sp.*, nas condições aqui estudadas. Os resultados podem variar para outros tipos de vegetação, outros métodos de determinação das variáveis utilizadas de volume e ainda o período em função da data ou horário do levantamento da imagem e ainda pela ocorrência de interferências climáticas que podem ocasionar oscilações tanto na reflectância como no volume da massa foliar.

Ao utilizar o método da classificação digital, em uma hipótese teórica, pode-se esperar resultados estatisticamente iguais àqueles obtidos pelo método usual, conforme já citado anteriormente, com as vantagens de reduzir o número de parcelas amostradas, permitindo assim a medição simultânea de todas as variáveis mensuradas num levantamento de inventário florestal podendo até eliminar as atividades pertinentes ao ajuste de modelos volumétricos. Com certeza, estas vantagens ocasionam maior agilidade na execução de um inventário florestal além do que podem ocasionar redução de custos. A utilização de tais sistemas será válida somente se não prejudicar a qualidade das estimativas, ou desde que as variações estatísticas sejam consideradas como aceitáveis e dentro dos padrões de erro da empresa.

A eficácia da utilização destas ferramentas será viável enquanto houver a diminuição da quantidade de parcelas ou unidade amostral sem o prejuízo da qualidade no resultado final e ainda a aproximação do erro padrão e intervalo de confiança ao sistema tradicional. Embora este tipo de tecnologia adotada esteja disponível no mercado, dentre os fatores limitantes à sua aplicação em escala comercial está a resistência de muitas empresas e profissionais do setor florestal à abertura para novas tecnologias, especialmente devido à falta de conhecimento do potencial da ferramenta e ainda, à ampla difusão e domínio dos métodos tradicionais de inventário florestal. Porém, a eficácia da metodologia apresentada, não apenas em relação aos resultados obtidos, mas também ao número reduzido de pessoas e processos envolvidos na atividade para a obtenção das informações em um curto espaço de tempo, certamente despertará maiores interesses.

## **7. RECOMENDAÇÕES**

Ao final do trabalho, diante dos resultados alcançados, das conclusões e da experiência adquirida para esta área de estudo, foi possível detectar os pontos principais desta pesquisa e possíveis fatores relacionados e influentes.

No trabalho apresentado são fornecidas algumas sugestões para a continuação deste trabalho ou trabalhos futuros nesta mesma linha de pesquisa, considerando-se a mesma metodologia aqui empregada, porém com algumas variações e observando alguns fatores adicionais e ainda considerando mais informações na análise dos dados, tais como: espécie, idade, DAP, IMA, clima, diferentes tipos de solo e declividade no mesmo projeto.

Como neste estudo foi abordada a cobertura vegetal, é possível analisar também o reflexo de clareiras na floresta e resposta à sensibilidade dos sensores. O NDVI das espécies mais densas e verdes durante todo o ano e outras que variam conforme a estação climática do ano. Podem, ainda, apresentar maior variabilidade quando ocorrerem anomalias climáticas.

Embora, nessa linha de pesquisa tenha sido usada uma imagem de satélite considerada de baixa resolução (Cbbers), pode também haver o interesse de pesquisadores em analisar esses mesmos resultados numa imagem comprada e de melhor resolução do tipo LandSat, Quickbird, entre outros disponíveis para venda.

Com relação à redução de custos, sugere-se fazer um estudo da relação custo X benefício para avaliação da vantagem ou não para a empresa em adotar essa metodologia, pois percebe-se que as empresas de maior porte estão cada vez exigentes quanto a quantificação da produção florestal devido a questão orçamentária e produção fabril serem totalmente dependentes da variável volume. Sugere-se também fazer estudo específico sobre quantidade de amostras (parcelas) necessárias para a calibração entre o processo de análise de massa foliar vi NDVI e o método tradicional de inventário.

Utilizar mais índices de vegetação para avaliar qual fornece maior sensibilidade. Em outra situação, desconsiderar as idades dos plantios, relacionando volume e MF estimados de diferentes maneiras, visando avaliar quais das combinações a seguir forneceriam melhores resultados, com maior precisão:

- a) dados de volume com dados de MF, ambos estimados por classificação espectral;
- b) dados de volume com dados de MF estimados por inventário florestal;

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

CIGANA, C. **A redução de custos prometida pela agricultura de precisão.** (11/11/2003).

Figueiredo, D.C. **Sistema de obtenção de índice de vegetação para América do Sul por processamento digital de imagens NOAA/AVHRR.** São José dos Campos, INPE, 1990. 107p. (INPE 5068-TDL/407).

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing.** Englewood Cliffs: Prentice - Hall, 1986. 51 p.

NOVO, E. M. L. **Sensoriamento remoto, princípios e aplicações.** São Paulo: Blucher, 1992. 308 p.

PEREIRA, R. S.; MADRUGA, P. R. A.; HASENACK, H. **Geoprocessamento aplicado ao planejamento de uso de recursos naturais,** 1995. 40 p.

SCOLFORO, J. R. **Avaliação da produtividade florestal através da classificação do sítio.** ESALQ/FAEP, Lavras – MG. 1993.

SILVA, E. M. et al. **A pesquisa operacional: programação linear, simulação.** 3.ed. São Paulo: Atlas, 1998. 184 pag.

STORY, M.; CONGALTON, R. G. **Accuracy assessment: a user's perspective.** Photogrametric Engineering and Remote Sensing, v. 52, n. 3, p. 397-399, 1986.

**VII Jornada de atualização em agricultura de precisão – Piracicaba/SP 2007**

WRIGHT, J.W. **Mejoramiento genético de los árboles,** Roma, FAO, 436p, 1964