

**DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA AMOSTRAL  
EM PLANTIOS DE *Eucalyptus* spp PELO USO  
DE GEOESTATÍSTICA**

**ADRIANA LEANDRA DE ASSIS**

**2005**

**ADRIANA LEANDRA DE ASSIS**

**DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA AMOSTRAL EM PLANTIOS DE  
*Eucalyptus* SPP PELO USO DE GEOESTATÍSTICA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Engenharia Florestal, área de concentração em Florestas de Produção, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. José Roberto Soares Scolforo

**LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2005**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Assis, Adriana Leandra de.

Definição da estratégia amostral em plantios de *Eucaliptus spp* pelo uso de geoestatística / Adriana Leandra de Assis. -- Lavras : UFLA, 2005.

ix, 118 p. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2005.

Orientador: José Roberto Soares Scolforo.

Bibliografia.

1. Inventário florestal. 2. Geoestatística. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 634.9285

**ADRIANA LEANDRA DE ASSIS**

**DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA AMOSTRAL EM PLANTIOS JOVENS  
DE *Eucalyptus* SPP PELO USO DE GEOESTATÍSTICA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Doutorado em Engenharia Florestal, área de concentração em Florestas de Produção, para obtenção do título de “Doutor”.

Aprovada em 25 de Fevereiro de 2005

Prof. Dr. José Márcio de Mello - Co-Orientador - UFLA

Prof. Dr. Antônio Donizette de Oliveira - UFLA

Prof. Dr. Ruben Delly Veiga - UFLA

Dr. Romualdo Maestri - Aracruz Celulose S.A.

Prof. Dr. José Roberto Soares Scolforo  
(Orientador)

**LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2005**

**À minha mãe, MARIA NEVES, e ao meu irmão LEO,  
as duas pessoas mais importantes da minha vida!!**

**DEDICO**

**"Mas é preciso ter força, é preciso ter raça  
É preciso ter gana sempre  
Quem traz no corpo a marca  
Maria, Maria, mistura a dor e a alegria!  
Mas é preciso ter manha, é preciso ter graça  
É preciso ter sonho sempre  
Quem traz na pele essa marca  
Possui a estranha mania de ter fé na vida..."  
(Milton Nascimento)**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda a força e pelo presente de cada dia!!

Ao Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras pela acolhida e por todas as oportunidades oferecidas ao longo de quase doze anos...

Ao Prof. José Roberto Scolforo por ser mais que um orientador, mas um exemplo de profissional e ser humano. E por tudo o que representa para o desenvolvimento da Ciência Florestal no Brasil.

Ao Prof. José Márcio de Mello pela ajuda imensurável, por me ajudar a levantar quando eu desanimava, e pela sua dedicação e empenho em sempre fazer o melhor trabalho.

Às famílias desses dois professores, que foram compreensivas e muitas vezes abriram mão da presença de seus pais / maridos para que se ocupassem com esse trabalho, o meu sincero agradecimento e respeito.

Aos professores Donizette e Delly, e ao Romualdo Maestri pelas valiosas contribuições ao participarem da banca de aprovação desse trabalho.

À Aracruz Celulose S/A pela confiança, pelo apoio financeiro e pela disponibilização integral dos dados, sem os quais este trabalho não poderia ser desenvolvido. E em especial àqueles que sempre me incentivaram a continuar: Fernando Bertolucci, Marcelo Ambrogi, Nascimento, Romualdo e Thais.

À minha família, presente mais do que nunca!!! Mamãe, Leo, Lu, Vó Nena, Tia Ló (Ovo), Tias Dora, Nenê, Dina, Fátima, Déia, Claret e Lucinha; Tios Tonho, Tião P. Zezé, Tião C., Danilo e Rondon; e primos: Liliane, Ana, Clauton, Cleiton, Gabi, João, Milene, Júlia, Kaká e Tutu: MUITO OBRIGADA!!

À Thais, minha irmã de coração, por ser sempre uma pessoa com quem se pode contar!! E aos amigos que conheci no Espírito Santo: Ana Paula,

Aurélio, Lane, Elias, Matheus, Rosana e Zilda, por fazerem parte dessa nova fase da minha vida.

Aos amigos de pós-graduação pela riqueza da convivência, e motivação ao longo desse caminho. Anderson, Bodinho, Cláudio, Dalmo, Edmilson, Ivonise, Letícia, Lílian, Samurai, Zélia e todos aqueles com quem dividi alegrias e apertos na UFLA. Em especial ao Alvinho, super companheiro de estudos e de incentivo 'madrugada adentro' na reta final dos nossos trabalhos.

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciências Florestais pelo auxílio nas diversas etapas do projeto: Chica, Donizette, Dulcinéia, Gláucia, Lílian, Rose, Rosinha, Soraya, Terezinha.... enfim, todos os que de alguma forma participaram ou se preocuparam com datas e prazos para que esse trabalho fosse concluído.

À 'torcida' de Carmo da Mata, sempre muito próxima apesar da distância física: Ilder, Marília, Marlene, Ione, Lédna, Romeu, Patrícia, Ique, Gislei, Marcela, Rogério e Rosarina.

Enfim, um agradecimento muito especial, onde é difícil citar nomes uma vez que talvez eu nem saiba o nome de quem me deu força aqui, por causa da distância. Mas quero agradecer de coração a todos aqueles que de alguma forma me representaram em Lavras quando eu me afastei da cidade, fazendo minhas matrículas, pagando taxas, entregando trabalhos, indo atrás de correções, documentações, ou até mesmo me enviando 'lembretes' a respeito do calendário letivo. Coloco aqui os nomes de Antônio Ferraz, Edmilson e Maria Zélia, e através deles agradeço a todos os meus 'colaboradores'!!!

" PORQUE, COMO O HOMEM SE IMAGINOU NA SUA ALMA,  
ASSIM ELE É. " (Provérbios 23,7a)

## RESUMO GERAL

ASSIS, Adriana Leandra de **Definição da estratégia amostral em plantios jovens de *eucalyptus* spp pelo uso de geoestatística.** 2005. 119p. Tese (Doutorado em Florestas de Produção) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>

O presente trabalho teve por objetivo geral avaliar o potencial do método geostatístico para definição de estratos e localização de parcelas permanentes em um povoamento de *Eucalyptus* spp. em idade jovem. Como objetivos específicos, procurou-se avaliar a estrutura de continuidade espacial de três características dendrométricas mensuradas anualmente durante três anos; avaliar o uso de técnicas de Geoestatística para a definição de estratos amostrais, considerando três variáveis dendrométricas; comparar a estratificação proporcionada pelo Interpolador Geoestatístico – Krigagem com a estratificação cadastral, no que se refere ao erro de amostragem; avaliar a viabilidade de seleção precoce das parcelas permanentes, a partir dos estratos definidos nos primeiros anos do povoamento, para cada variável dendrométrica considerada; e desenvolver critérios para definir a distribuição das parcelas pelo povoamento. Os dados utilizados neste estudo foram provenientes de inventários convencionais realizados numa área de 164,08ha de efetivo plantio de eucalipto, localizada no município de Aracruz, Espírito Santo, nos anos de 2003, 2004 e 2005. As variáveis dendrométricas avaliadas nas diferentes medições foram a Altura Média das Árvores Dominantes, a Área Basal e o Volume até 4cm de diâmetro com casca, por parcela. Os resultados mostraram que a krigagem foi eficiente para complementar a estratificação cadastral, com menores valores de Erro Padrão da Média e, conseqüentemente, melhor qualidade da estimativa. É, portanto, um método que tem potencial para uso na definição de estratos e localização de parcelas permanentes em plantios jovens de *Eucalyptus* spp. Todas as características dendrométricas avaliadas, Altura Dominante, Área Basal e Volume, mostraram estrutura de continuidade espacial aos 12, aos 24 e aos 36 meses de idade, sendo que o grau de continuidade espacial variou com a idade da floresta. A seleção de parcelas permanentes a partir dos 12 meses de idade é possível, desde que a krigagem seja baseada na Altura Dominante.

Palavras-chave: Inventário Florestal, Geoestatística

---

<sup>1</sup> Orientador: José Roberto Soares Scolforo - UFLA  
Co-orientador: José Márcio de Mello - UFLA

## ABSTRACT

ASSIS, Adriana Leandra de. **Use of geostatistics for defining sampling strategy of young plantations of eucalyptus spp.** 2005 119p. Thesis (Doctor's degree in Production Forest) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>2</sup>

This study evaluated the potential of the geostatistical method for defining stratus and localization of permanent plots in a young stand of *Eucalyptus* spp. The specific objectives were: to evaluate the structure of the spatial continuity of three dendrometric characteristics which were measured during three years; to evaluate the use of geostatistical methods to define sampling stratus considering three dendrometric variables; to compare the stratus generated by the geostatistical interpolation – kriging with the register generated stratus by analysing the sampling error; to evaluate the viability of the early selection of the permanent plots, using the stratus defined in the first years of the population, considering each dendrometric variable; and to develop criteria to determine the distribution of the plots in the population. The data used were collected in conventional forest inventories realized in 2003, 2004 and 2005 in a 164.08 ha *Eucalyptus* plantation located in Aracruz count, Espírito Santo. The dendrometric variables evaluated were the Mean Height of the Dominant Trees, the Basal Area and the Volume with bark up to 4cm in diameter. The results showed that the kriging was efficient to complement the register stratus, resulting in lower values of the mean standard error and, consequently, producing estimates with greater quality. Therefore, this method shows its potentially successful use in defining the stratus and the location of permanent plots in young plantations of *Eucalyptus* spp. All dendrometric variables analyzed, Dominant Height, Basal Area and Volume, presented spatial continuity structure at 12, 24 and 36 months of age. The scale of the spatial continuity varied according to the forest. The selection of the permanent plots, at 12 months of age, is possible, as long as the kriging be based on the Dominant Height.

---

<sup>2</sup> Adviser: José Roberto Soares Scolforo - UFLA  
Co-adviser: José Márcio de Mello - UFLA

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Inventário Florestal .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 O uso da Geoestatística .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3 - A krigagem como interpolador geoestatístico .....</b>	<b>25</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Localização .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2 Base de dados .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3 Análise exploratória dos dados .....</b>	<b>37</b>
<b>3.4 Estudo variográfico .....</b>	<b>38</b>
<b>3.5 Krigagem geoestatística.....</b>	<b>43</b>
<b>3.6 Formação dos estratos aos 12, aos 24 e aos 36 meses.....</b>	<b>43</b>
<b>3.7 Critérios para análise do efeito das diferentes composições dos estratos no erro de inventário.....</b>	<b>44</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>48</b>
<b>4.1 Análise exploratória dos dados.....</b>	<b>48</b>
<b>4.2 Avaliação da dependência espacial das características estudadas .....</b>	<b>53</b>
<b>4.3 Estratificação com base na krigagem.....</b>	<b>61</b>
<b>4.4 Estabilidade das parcelas dentro de cada estrato .....</b>	<b>69</b>
<b>4.5 Estabilidade das 17 parcelas permanentes nos estratos .....</b>	<b>72</b>
<b>4.6 Análise da qualidade das estimativas.....</b>	<b>75</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>86</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>92</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Considerando a escassez crescente dos recursos naturais, sejam eles renováveis ou não, e as dificuldades também crescentes para obtê-los, as grandes corporações que utilizam tais recursos exigem que seus profissionais sejam cada vez mais acertivos nas tomadas de decisão no que se refere ao seu aproveitamento. Para otimizar a utilização desses recursos é necessário conhecê-los e quantificá-los como bases fundamentais para um planejamento adequado de seu uso.

Na área florestal, a necessidade de informações confiáveis sobre a disponibilidade de madeira em pé, bem como o acompanhamento do crescimento dos plantios ao longo do ciclo, são crescentes. A obtenção de informações altamente precisas dentro de custos aceitáveis passa necessariamente pelo conhecimento e uso de técnicas adequadas de amostragem, elementos principais para que os resultados produzidos possam subsidiar as ações de manejo e planejamento florestal.

Nesse cenário, o monitoramento do crescimento dos povoamentos por meio de parcelas permanentes assume uma importância muito grande, uma vez que são as parcelas permanentes que fornecem a base para a construção dos modelos que representarão o crescimento da floresta e permitem a predição das produtividades ao longo do tempo. Enfim, toda a tomada de decisão no longo prazo, se baseia direta ou indiretamente nos números gerados a partir das parcelas permanentes. Por isso é fundamental que essas parcelas representem da melhor maneira possível, todos os diferentes comportamentos do povoamento em relação a padrões de desenvolvimento. Assim, a localização adequada dessas

unidades amostrais dentro dos povoamentos é imprescindível para garantir a representatividade da floresta e a qualidade das estimativas presentes e futuras.

Embora os procedimentos de análise e experimentação tenham evoluído muito nas últimas décadas, alguns conceitos básicos como os princípios da aleatoriedade e independência entre as amostras, ainda hoje são questionados. Segundo Pontes (2002), a independência entre as observações derivada do conceito de aleatoriedade (casualização) pode ser refutada por meio de medidas de autocorrelação que assinalam a dependência espacial e ou temporal das amostras. Mello (2004) mostrou por meio de simulações, em florestas de eucalipto que, mesmo aleatorizando as parcelas, a dependência espacial se manifesta e deve ser considerada nas análises, a fim de aumentar a qualidade das estimativas. Ainda que se utilizem técnicas de controle local (blocagem), as informações sobre o grau de dependência espacial entre as amostras continuam imprecisas, confirmando, então, a necessidade de uma análise mais acurada.

No que se refere ao controle local, as formas de controlar as variações locais normalmente utilizadas levam em conta apenas características físicas ou cadastrais da floresta, e geralmente não são suficientes para tratar a floresta como uma unidade contínua. Assim, acabam ficando limitadas à geração de informações dentro de uma unidade física (talhão), onde se assume uma homogeneidade de produtividade que nem sempre existe. Por outro lado, áreas homogêneas em termos de produtividade são tratadas separadamente, simplesmente por estarem divididas geograficamente em mais de um talhão.

Mediante o exposto, o presente trabalho teve por objetivo geral avaliar o potencial do método geoestatístico para definição de estratos e localização de parcelas permanentes em um povoamento de *Eucalyptus* spp. em idade jovem.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar a estrutura de continuidade espacial de três características dendrométricas mensuradas anualmente durante três anos.

- Avaliar o uso de técnicas de Geoestatística para a definição de estratos amostrais, considerando três variáveis dendrométricas.
- Comparar a estratificação proporcionada pelo Interpolador Geoestatístico – Krigagem com a estratificação cadastral, no que se refere ao erro de amostragem.
- Avaliar a viabilidade de seleção precoce das parcelas permanentes, a partir dos estratos definidos nos primeiros anos do povoamento, para cada variável dendrométrica considerada.
- Desenvolver critérios para definir a distribuição das parcelas pelo povoamento.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Inventário Florestal

Scolforo & Mello (2004) definem o Inventário Florestal como o uso da Teoria da Amostragem para a determinação ou estimativa de características quantitativas (volume, área basal ou densidade, por exemplo) ou qualitativas (como a qualidade do fuste, estado fitossanitário, etc) da floresta. Tão importante quanto definir a estratégia de amostragem e executar o Inventário Florestal de maneira apropriada, é analisá-lo de forma precisa. Os objetivos do Inventário, bem como seus produtos, dependem da utilização da área e influenciam diretamente na escolha do método de amostragem a ser adotado.

Existem diversas formas de se implementar uma amostragem. A escolha da metodologia adequada influencia diretamente a qualidade da informação gerada. Péllico Neto & Brena (1997) apresentam uma classificação diversificada da aplicação da amostragem, em uma dada população, dividida em três níveis: segundo a periodicidade, segundo a estrutura e segundo a abordagem da população.

#### 2.1.1 Segundo a periodicidade

- *Amostragem de uma ocasião*: seria o Inventário realizado uma única vez numa determinada área.
- *Amostragem em Múltiplas ocasiões*: trata-se de múltiplas abordagens da mesma população, ao longo do tempo. Também conhecida como ‘monitoramento da população’, essa repetição periódica da amostragem normalmente ocorre em espaços regulares de tempo.

### 2.1.2 Segundo a estrutura

- *Amostragem aleatória*: é aquela cujas unidades amostrais são sorteadas com um critério probabilístico aleatório. Divide-se por sua vez em dois grupos. Na *Amostragem Aleatória Irrestrita*, onde nenhuma restrição é imposta ao processo de seleção das unidades, ou seja, a seleção de cada unidade amostral é livre de qualquer escolha e totalmente independente da seleção das demais unidades amostrais. Na *Amostragem Aleatória Restrita*, a unidade mínima da amostragem depende de uma restrição prévia imposta à população a ser amostrada. A restrição se caracteriza pelos estágios hierárquicos do processo de seleção. Os autores citam como exemplos dessa estrutura, a amostragem em dois estágios, a amostragem estratificada, etc.
- *Amostragem Sistemática*: nesse caso, o processo probabilístico, segundo Péllico Netto & Brena (1997), caracteriza-se pela seleção aleatória da primeira unidade amostral e pela seleção automática e distribuição sistemática das demais unidades amostrais na população. Com isso, a distribuição das unidades amostrais é igualitária ou regular.

### 2.1.3 Segundo a abordagem da população

Aqui os citados autores diferenciam *Método de Amostragem*, *Processo de Amostragem* e *Sistema de Amostragem*.

- *Método de Amostragem* é a abordagem referente a uma única unidade amostral (tamanho, forma, critério de seleção dos indivíduos que participam de cada unidade, etc).
- *Processo de Amostragem* é a abordagem referente a um conjunto de unidades amostrais.

- *Sistema de Amostragem* é um conjunto de processos e/ou métodos de amostragem, normalmente estruturados de forma integrada, para uma determinada aplicação específica.

Péllico Netto & Brena (1997) acrescentam que os processos de amostragem estão estreitamente vinculados à periodicidade das medições. Apresentam os principais processos de amostragem para avaliações em uma ou em múltiplas ocasiões.

- Em uma ocasião:
  - Aleatório
    - Aleatório Irrestrito
      - Amostragem Inteiramento Aleatória
    - Aleatório Restrito
      - Amostragem Estratificada
      - Amostragem em Dois Estágios
      - Amostragem em Múltiplos Estágios
  - Sistemático
    - Único Estágio
    - Múltiplos Estágios
  - Misto
    - Amostragem em Grupos ou Conglomerados
    - Amostragem Sistemática com Múltiplos Inícios Aleatórios
- Em múltiplas ocasiões:
  - Amostras Independentes
  - Amostragem com Repetição Total
  - Amostragem Dupla
  - Amostragem com Repetição Parcial

## **2.2 O uso da geoestatística**

### **2.2.1 Aspectos gerais**

O termo Geoestatística etimologicamente designa o estudo estatístico de fenômenos naturais. Foi utilizado originalmente por Matheron, em 1963, que o definia como “a aplicação do formalismo de funções aleatórias no conhecimento e estimativa de fenômenos naturais”. Estes fenômenos, por sua vez, frequentemente estão associados a variações espaciais, como a distribuição tri-dimensional de teores ou às altitudes em um espaço bi-dimensional (Rodriguez, 2004).

A Geoestatística se refere originalmente à aplicação da Teoria das Variáveis Regionalizadas na resolução de problemas no campo da Geologia e Mineração. No entanto, essa teoria concebida por George Matheron entre 1957 e 1962, vem sendo aplicada com sucesso em outras áreas além da mineração, com destaque para a Cartografia, a Meteorologia, a Bélica, a Agrícola, e a Medicina (Oncologia).

Segundo Vieira (2000), até o início dos anos 60, as análises de dados eram efetuadas com base na hipótese de independência estatística, ou distribuição espacial aleatória. Este tipo de hipótese, porém, não pode ser assumido antes que se prove a inexistência de correlação entre os pontos amostrais.

De acordo com Isaaks & Srivastava (1989), a teoria fundamental da Geoestatística prega que, em média, espera-se que unidades amostrais próximas no espaço (ou no tempo) sejam mais similares entre si do que as que estiverem distantes. O grau com que as unidades amostrais são semelhantes entre si é dado pela autocorrelação espacial.

Segundo Rodriguez (2004), Matheron concebeu a Geoestatística a partir dos trabalhos de Krige e Sichel nas minas de ouro da África do Sul. As principais conclusões foram:

- As variâncias obtidas de uma malha regular são sistematicamente menores que as obtidas em uma malha irregular.
- A variância total das amostras de um depósito é igual à soma das variâncias das amostras nos painéis (blocos) mais a variância dos painéis no depósito.
- A variância total é a soma de uma variância aleatória (estatística) e uma espacial (dispersão).
- A média aritmética não deve ser utilizada para estimativas de reservas, devido à grande influência que sofre de valores elevados (distribuição log-normal). Assim, para efeitos de parametrização de reservas, deveria ser empregada a média geométrica.
- Num cálculo de reservas não se deveriam utilizar áreas de influências diferentes, devido à distorção causada por elas.
- Devido à existência de dois tipos de variâncias (aleatória e espacial), o número de amostras necessárias para a avaliação de reservas é sempre menor do que a solicitada pela estatística clássica.
- As amostras de uma dada variável não se dispõem aleatoriamente; até uma certa distância elas exercem influência sobre o ponto a ser amostrado.

A partir das observações citadas, pode se dizer que as formulações das técnicas geoestatísticas de variografia e krigagem se propõem a dois objetivos principais:

- Estruturar matematicamente as relações de variabilidade entre 2 pontos no espaço, ou seja, medir a zona de influência, o grau e o tipo de variabilidade restrito a um campo homogêneo;

- Estabelecer um modelo espacial de distribuição de uma Variável Regionalizada, com a medida da precisão de sua estimativa.

### **2.2.2 A teoria das variáveis regionalizadas**

Variáveis Regionalizadas são aquelas cujos valores se relacionam com a posição espacial (ou temporal) que ocupam. A Teoria das Variáveis Regionalizadas é uma função que varia de um lugar a outro no espaço, dando aparência de continuidade. Essa continuidade só é válida dentro de um determinado campo geométrico ou campo homogêneo, ou seja, ela está diretamente ligada à localização. Uma outra característica importante dessa continuidade é a anisotropia, ou seja, dentro de um mesmo campo geométrico, a continuidade está limitada por uma zona de influência igual para cada ponto dentro do campo, e os eixos dessa zona de influência não são necessariamente iguais em todas as direções (Rodriguez, 2004).

Matematicamente, uma variável regionalizada é definida por Rodriguez (2004) como uma função  $f(x)$  que assume um valor para todo um conjunto de pontos  $(x_i, x_j, x_k)$  no espaço tridimensional. O autor acrescenta que, raramente, essa função é suficientemente regular para permitir um estudo direto sobre ela. No entanto, para quase todos os fenômenos naturais, um comportamento característico ou estruturação da variabilidade espacial da variável regionalizada, em estudo, pode ser percebido em conjunto com o aspecto errático desta variável. Assim, pode-se dizer que uma variável regionalizada tem dois aspectos aparentemente contraditórios:

- Um aspecto errático que, intuitivamente, associa a variável regionalizada a uma variável aleatória;
- Um aspecto estruturado que pode permitir uma representação formal.

Para representar esses dois aspectos de uma variável regionalizada, errático e estruturado, foi desenvolvido o conceito de Funções Aleatórias. Dentro de um estudo Geoestatístico, não é necessário entender todas as leis de distribuição das Funções Aleatórias, uma vez que apenas os dois primeiros momentos são mais utilizados. Assim, se duas Funções Aleatórias têm os mesmos dois primeiros momentos, considera-se que ambas apresentam o mesmo modelo de distribuição.

O momento de primeira ordem da variável aleatória  $V(x_i)$  depende apenas da posição  $x_i$ , e será então a média dos eventos possíveis em  $x_i$ .

$$m(x_i) = E(V(x_i))$$

Conforme descrito por Rodriguez (2004), em Geoestatística consideram-se três momentos de segunda ordem: a variância, a covariância e o variograma. Esses três momentos indicam o grau com que as unidades amostrais são semelhantes entre si, ou seja, são medidas da auto-correlação espacial.

A variância, que também só depende da posição ( $x_i$ ), é o momento de segunda ordem centrado na média, ou seja:

$$\text{Var}(x_i) = E(V(x_i) - m(x_i))^2$$

A covariância entre duas funções aleatórias  $V(x_1)$  e  $V(x_2)$  é uma função das duas posições  $x_1$  e  $x_2$ , calculada da seguinte forma:

$$C(x_1, x_2) = E((V(x_1) - m(x_1)) * (V(x_2) - m(x_2)))$$

O variograma, definido como a variância do incremento ( $V(x_1) - V(x_2)$ ), é calculado como:

$$2\gamma(x_1, x_2) = E(V(x_1) - V(x_2))^2$$

A função  $\gamma(x_1, x_2)$  é então o semivariograma.

A princípio, os momentos de segunda ordem, covariância e variograma, dependem simultaneamente das posições  $x_1$  e  $x_2$ . Assim, seria necessário um número muito grande de pares  $[V(x_1) \text{ e } V(x_2)]$  para que se pudesse ter uma boa inferência estatística desses momentos. No entanto, observa-se que as leis de distribuição de Função Aleatória independem da posição  $x_i$  do evento, mas principalmente da distância  $h$  que separa dois eventos, o que é comum ocorrer em fenômenos naturais. Por isso, para se definir uma Função Aleatória é necessário assumir a Hipótese de Estacionaridade (ou Hipótese Intrínseca), isto é, admitir que a variância das diferenças entre dois pontos amostrais só depende desta diferença, sendo a mesma para toda a área avaliada.

A estacionaridade é admitida quando a lei de distribuição de uma Variável Aleatória é indiferente sob qualquer translação, lembrando que em Geoestatística bastam os dois primeiros momentos permanecerem inalterados para se admitir essa hipótese.

Uma vez assumida a hipótese de estacionaridade da covariância, as seguintes relações podem ser provadas:

$$C(x_1, x_2) = E((V(x_1) - m(x_1)) * (V(x_2) - m(x_2)))$$

Para  $x_1 = x_2$ , ou  $h = 0$ :

$$C(0) = E(V(x_i) - m(x_i))^2 = \text{Var}(x)$$

Para  $x_1 - x_2 = h$ :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E((V(x_i + h) - V(x_i))^2) = C(0) - C(h)$$

Na prática, as funções estruturais, covariância e variograma, são usadas somente para distâncias finitas, ou seja, espaços limitados pela vizinhança da informação disponível, ou o espaço de um campo homogêneo ao qual se pode afirmar que as duas variáveis  $V(x)$  e  $V(x + h)$  pertencem.

A modelagem de qualquer fenômeno natural implica na estimativa de um atributo para um ponto no espaço a partir de valores assumidos por esse atributo em pontos medidos dentro do mesmo espaço. A cada estimativa está associado um erro de estimativa que pode ser assim caracterizado:

$$RV(x) = Vr(x) - V^*(x)$$

RV é uma função aleatória que representa o erro em se atribuir a Função Aleatória  $V^*(x)$  como estimador da Variável Aleatória  $Vr(x)$ , que é a Função Aleatória, desconhecida, dos valores reais do atributo sendo modelado.

É praticamente impossível conhecer o histograma de RV, mas, para efeito prático assume-se que o erro tem uma Distribuição Normal, ou próxima da Normal, uma vez que essa é a distribuição mais comumente encontrada quando se estudam os erros de estimativa.

Como RV é uma Função Aleatória, basta conhecer seus dois primeiros momentos para inferir sobre a qualidade da estimativa. O primeiro momento “me” deve ser o mais próximo de zero possível, de forma a garantir o não enviesamento da estimativa;  $\gamma_e^2$ , também deve ser mínimo, e assim representará a variância da estimativa.

Ao se definir o estimador  $V^*$  de um atributo  $Vr$  constringido ao não enviesamento e a uma variância mínima da estimativa, deve-se procurar a função  $f(V(x_1), V(x_2), V(x_3), \dots, V(x_n))$ , considerando a condição:

$$E(Vr - V^*) = 0$$

É possível calcular a variância da estimativa  $\sigma_e^2$

$$\sigma_e^2 = E((Vr - V^*)^2) = E(Vr^2) - 2E(Vr V^*)$$

A função  $f$  que atende essa condição é a combinação linear:

$$V^* = \sum \lambda_i V(x_i)$$

Considere-se a estimativa da Variável Aleatória  $V_r$ , da célula  $K$  de um espaço homogêneo submetido à modelagem, pela Variável Aleatória  $V^*$ , sendo esta estimada pela combinação linear de  $n$  pontos conhecidos da Variável Aleatória  $V(x)$  de sua vizinhança.

Considerando que não existe enviesamento, pode-se escrever que:

$$E(V_r) = \frac{1}{K} \sum_K E(V(x_k)) = E(V^*) = \frac{1}{n} \sum_I E(V(x_i)) = m$$

$$E(V_r - V^*) = 0$$

A variância de estimativa pode ser escrita como:

$$\sigma_e^2 = E((V_r - V^*)^2) = E(V_r^2) - 2E(V_r V^*);$$

Onde:

$$E(V_r^2) = \frac{1}{K^2} \sum_K \sum_K E(V(x_{<V_K})) = \frac{1}{K^2} \sum_K \sum_K E(C(x_{< - x_K}) + m^2)$$

Da mesma forma:

$$E(V^{*2}) = \frac{1}{n^2} \sum_i \sum_i E(C(x_i - x_i) + m^2)$$

$$E(V_r V^*) = \frac{1}{Kn} \sum_K \sum_i E(C(x_K - x_i) + m^2)$$

Então:

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{K^2} \sum_K \sum_K E(C(x_{<V_K})) + \frac{1}{n^2} \sum_i \sum_i E(C(x_i - x_i)) - \frac{2}{Kn} \sum_K \sum_i E(C(x_K - x_i))$$

Finalmente:

$$\sigma_e^2 = C(K, K) + C(x, x) - 2C(K, x) \text{ ou}$$

$$\sigma_e^2 = 2\gamma(K, x) - \gamma(K, K) - \gamma(x, x)$$

Considerando a combinação linear:

$$\sigma_e^2 = 2 \sum \lambda_i \gamma(K, x_i) - \gamma(K, K) - \sum \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j)$$

A partir da fórmula acima, podem extrair seis importantes observações:

- A variância de estimativa da unidade K por unidades x, pode também ser chamada de variância de extensão, uma vez que induz à idéia do erro associado ao se estender o valor a K, a partir de x.
- Os domínios de K e x não são necessariamente contíguos, podendo ser inclusive interceptantes.
- O próprio variograma pode ser considerado como uma variância de estimativa elementar de V(x) estimado por:

$$V(x+h) : E\left[ (V(x) - V(x+h))^2 \right] = 2\gamma(h)$$

- Os quatro fatores essenciais e intuitivos para a mensuração da qualidade da estimativa de K, a partir de x, são função de:
  - Geometria do domínio K, conforme termo  $\gamma(K, K)$
  - Distância dos domínios K e x, conforme termo  $\gamma(K, x)$
  - Geometria do domínio x, conforme termo  $\gamma(x, x)$
  - Características estruturais: a função  $\gamma$  pode mudar conforme a estrutura do fenômeno.
- A fórmula apresentada permite o cálculo de qualquer variância de estimativa, por qualquer dos métodos clássicos de interpolação espacial.
- A variância da estimativa, conforme apresentada, está associada ao erro de uma combinação linear. Para o caso especial da geoestatística, determina-se o conjunto ótimo de ponderadores  $\lambda$  que minimizem a variância  $\sigma_e^2$ , sujeito à condição de não enviesamento (Best Linear Unbiased Estimator – BLUE). Essa variância de estimativa é chamada de variância de krigagem.

A qualidade da modelagem é medida pela Variância da Estimativa, que mede o erro cometido e é função da geometria dos pontos utilizados para a modelagem (geometria também chamada de suporte, bloco, ou grid). Existem, porém, outros problemas, como as flutuações de valores dos atributos dentro do espaço em estudo. Assim, para inferir sobre a qualidade da geometria, utiliza-se a Variância da Dispersão, que mede a variabilidade de um atributo associado a uma determinada célula, em torno de uma média.

Pode-se entender a Variância de Dispersão  $D^2 ( v / V )$  como o valor médio da Variância de Estimativa  $\sigma_e^2 ( v / V )$ , quando o volume  $v$  ocupa todas as posições possíveis dentro de  $V$ .

Nos trabalhos com interpolação e modelagem de sólidos, é comum se vivenciar dois fenômenos:

- Para um tamanho fixo de amostra, com o aumento do espaço aumenta a variabilidade, pois aumenta a distância média entre as células.
- Para um espaço de geometria definida, com o aumento do suporte da célula, diminui a variabilidade.

Daniel Krige realizou um trabalho em minas de ouro da África do Sul, encontrando algumas relações de aditividade para as variâncias:

$$D^2 (0, J) = D^2 (0, V) + D^2 (V, J)$$

Ou seja, a Variância de Dispersão de um ponto dentro da jazida é igual à soma da Variância de Dispersão do ponto dentro de um painel e da Variância de Dispersão do painel dentro da jazida.

Considerando a variância de Dispersão  $D^2$  como o valor médio de  $\sigma_e^2$ , tem-se:

$$D^2 (v/V) = \frac{1}{n} \sum \sigma_e^2 (v/V) = \frac{1}{n} \sum (2\gamma(v/V) - \gamma(v, V) - \gamma(V, V))$$

Se  $v$  é um ponto:

$$D^2(0/V) = \frac{1}{n} \sum (2\gamma(i/V) - \gamma(0,0) - \gamma(V,V)) =$$

$$D^2(0/V) = \frac{1}{n} \sum (2\gamma(1/V) + 2\gamma(2/V) + \dots + 2\gamma(n,V) - n\gamma(V,V)) =$$

$$D^2(0/V) = \frac{1}{n} \sum (2\gamma(i/V) - \gamma(V,V)) = \gamma(V,V)$$

Se  $v$  não é um ponto:

$$D^2(v/V) = \frac{1}{n} \sum (2\gamma(v_i/V) - \gamma(v_i, v_i) - \gamma(V,V)) =$$

$$D^2(v/V) = (2\gamma(v_1/V) - \gamma(v_1/v_1) - \gamma(V,V) + 2\gamma(v_2/V) - \gamma(v_2/v_2) - \gamma(V,V) + \dots + 2\gamma(v_n/V) - \gamma(v_n/v_n) - \gamma(V,V)) / n$$

$$D^2(v,V) = \frac{2 \sum (v_i/V) - n\gamma(v,v) - n\gamma(V,V)}{n} =$$

$$D^2(v,V) = \gamma(V/V) - \gamma(v/v)$$

Confirmando-se a tese de Krige.

$$D^2(0,J) = \gamma(J/J) - \gamma(0/0)$$

$$D^2(0,V) = \gamma(V/V) - \gamma(0/0)$$

$$D^2(0,J) - D^2(0,V) = \gamma(J/J) - \gamma(V/V)$$

$$D^2(0,J) - D^2(0,V) = D^2(V/J)$$

$$D^2(0,J) = D^2(0,V) + D^2(V/J)$$

Assim, pode-se concluir que a Variância da Dispersão não depende da geometria dos elementos de amostragem, como ocorre com a Variância de Estimativa. Juntamente com a Krigagem, essas duas variâncias são as principais operações da Geoestatística. As três operações utilizam intensamente o valor médio do semivariograma.

### **2.2.3 A análise estrutural - variografia**

Um variograma é, em geral, uma função crescente da distância ( $h$ ), uma vez que, em média, a diferença entre os valores observados de dois pontos tende a aumentar com o aumento da distância que os separa. Quanto mais rápido for o crescimento do variograma, menor será a influência de uma amostra sobre a zona vizinha.

Juntamente com o Covariograma e o Correlograma, o Semivariograma é um método utilizado para estimar a auto-correlação espacial. Tais métodos são usados para estimar a magnitude da correlação entre as unidades amostrais e sua similaridade (ou não) com a distância. De acordo com Ribeiro Junior (1995), o fato de o Semivariograma ser o método preferido para caracterizar a estrutura de continuidade espacial de variáveis regionalizadas se deve à sua característica de exigir hipóteses de estacionariedade menos restritivas (Hipótese Intrínseca).

Segundo Rodriguez (2004), existem basicamente três tipos de variograma:

- I – Variograma observado ou experimental: obtido a partir de amostras, é o único conhecido.
- II – Variograma teórico: também chamado de variograma ajustado, é aquele obtido a partir dos modelos de referência.
- III – Variograma verdadeiro: é o variograma real, sempre desconhecido.

O objetivo principal de uma análise estrutural ou variográfica é ajustar um variograma teórico sobre o variograma experimental, de forma a se modelar o variograma verdadeiro. Dentre os modelos teóricos que existem, destacam-se:

a) Modelos com patamar ou transitivos:

- Modelo esférico ou de Matheron: tem como principal característica um crescimento rápido na origem, com a seguinte forma geral:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ 1,5 \left( \frac{h}{a} \right) - 0,5 \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right] \text{ para } 0 < h \leq a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \text{ para } h > a$$

$$\gamma(0) = 0$$

- Modelo parabólico de Gauss: modelo raro de se encontrar em aplicações práticas, pois depende de um alto grau de conhecimento da variabilidade na origem aliada a uma alta regularidade da estrutura. Para efeitos práticos, utiliza-se como alcance o valor de 1,73a, uma vez que o patamar só é atingido assintoticamente. O modelo tem a seguinte forma

$$\text{geral: } \gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ 1 - e^{-\left( \frac{h}{a} \right)^2} \right] \text{ para } h > 0$$

$$\gamma(0) = 0$$

- Modelo exponencial de Formery: representa estruturas de alta continuidade refletida pelo crescimento lento e linear na origem. Quando esta alta continuidade ocorre, é preferível usar-se o modelo de Formery ao de Gauss, uma vez que este absorve melhor a variação devida a erros amostrais e de análise. Assim como o Modelo de Gauss, o modelo de Formery atinge o patamar de forma assintótica, e para efeitos práticos assume-se o valor para o alcance igual a 3a. A forma geral do

$$\text{variograma de Formery é: } \gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ 1 - e^{-\left( \frac{h}{a} \right)} \right] \text{ para } h > 0$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \text{ para } h \geq a$$

$$\gamma(0) = 0$$

b) Modelos sem patamar:

- Modelo Potencial: é um modelo sem patamar muito utilizado na prospecção geofísica. A sua forma geral é  $\gamma(h) = C_0 + w |h|^\theta$ , onde  $w$  é a inclinação na origem e  $\theta$  deve variar entre 0 e 2. Quando  $\theta = 1$ , tem-se o modelo linear. Outro caso particular deste modelo é a inclusão de um patamar conhecido como Modelo Potencial Transitivo.
- Modelo logarítmico ou de Wijs: trata-se de um modelo desenvolvido durante os primeiros trabalhos geoestatísticos que se refere a variáveis de distribuições log-normais. Sua forma é  $\gamma(h) = C_0 + 3\alpha \ln(h)$ , onde  $\alpha$  é uma constante conhecida como Dispersão Absoluta. Esse modelo não é aplicável para distâncias menores que  $h = 1$ .
- Efeito buraco: reflete estruturas com alternância de zonas de altos valores com zonas de baixos valores. Segundo Rodriguez (2004), existem vários modelos para representar esse comportamento na literatura.

O modelo do variograma teórico a ser escolhido vai depender, dentre outros fatores, do tipo de relação espacial esperado para as variáveis naturais. De acordo com Mc Bratney & Webster (1986), citados por Mello (2004), a seleção do melhor modelo se dá por meio de técnicas quantitativas como, por exemplo, o critério de Informação de Akaike, ou AIC – Akaike's Information Criterion (Akaike, 1983), e através das técnicas de validações cruzada e preditiva.

No que se refere à área florestal, Mello (2004) destaca os trabalhos de Osborne (1942) e Matérn (1960) que caracterizaram a continuidade espacial de volumes de madeira utilizando a função exponencial. Segundo o autor, Matérn (1960) avaliou o desempenho da amostragem sistemática com grade quadrada e

casual simples. Usou a função exponencial para obter correlação e assim verificou que a grade sistemática quadrada foi superior à amostragem casual simples no controle da variação do volume de madeira.

Em 1989, Samra et al. buscaram modelar o crescimento de altura para *Melia azedarach*, na Índia, utilizando técnicas Geoestatísticas. Cohen et al. (1990) e Wulder et al. (1996) utilizaram associações de técnicas geoestatísticas com técnicas de sensoriamento remoto, na caracterização da estrutura de copa de coníferas a partir de imagens de satélite e parâmetros biofísicos como índice de área foliar e área basal. Nesses estudos, foi possível mapear altura dominante e área basal na área estudada, utilizando-se técnicas de krigagem. Esses e uma série de outros estudos mostraram que as diversas variáveis dendrométricas apresentam comportamento de dependência espacial.

Mello (2004) ressalta que, até a década de 80, o ajuste do modelo espacial ao semivariograma experimental era, usualmente, feito de forma visual, sem nenhum procedimento matemático, método conhecido como ajuste “a sentimento”. Com o avanço dos recursos computacionais, outros métodos de ajuste têm se tornado viáveis, eliminando a subjetividade. Dentre os métodos já estudados, destacam-se o Método dos Mínimos Quadrados Ordinários, Ponderados e o Método da Máxima Verossimilhança.

O variograma experimental tem a seguinte expressão matemática:

$$2\gamma(h) = \frac{1}{n(h)} \sum [x(z_i) - x(z_{i+h})]^2$$

Onde:  $x(z_i)$  = valor da variável  $x$  no ponto  $z_i$

$x(z_{i+h})$  = valor da variável  $x$  no ponto  $(z_{i+h})$

$n(h)$  = número de pares de pontos distanciados de  $h$  (também conhecido como classe de distância ou passo do variograma).

O variograma mede a variação entre pares de pontos separados de uma distância  $h$ , e tem as seguintes propriedades:

- Simetria:  $\gamma(h) = \gamma(-h)$
- É sempre uma função positiva:  $\gamma(0) = 0 \quad \gamma(h) \geq 0$

Normalmente um variograma é composto por uma região ascendente (região Geoestatística) e uma região estacionária (região estatística). A região estatística é a região das variáveis aleatórias; a região Geoestatística é a região das funções aleatórias.

É comum se associar os valores do variograma ( $2\gamma(h)$ ) aos valores do semivariograma ( $\gamma(h)$ ), ou seja, quando se fala em ajuste de variogramas, na realidade se ajusta o semivariograma.

O semivariograma é o método estatístico que permite descrever quantitativamente a variação no espaço, ou correlação espacial, como função da distância entre unidades de amostra. De acordo com Duarte (2000), o semivariograma é o método geoestatístico para diagnosticar a presença da correlação entre as unidades amostradas. Segundo Yamamoto (2001), a semivariância é uma medida de variância das diferenças entre valores da variável regionalizada em pontos separados por uma distância  $h$ . Pontos mais próximos estão mais correlacionados e a variância é pequena. Ao aumentar a distância entre pares de pontos, o valor da variância tende a crescer.

A distribuição espacial de um fenômeno natural, enfocado sob qualquer uma de suas variáveis regionalizadas, é detectada principalmente pelo seu comportamento na origem, pelos fenômenos de transição, anisotropias e imbricamentos. Essas características serão brevemente descritas, a seguir.

a) **Comportamento na origem:** O comportamento na origem do variograma pode identificar como é a continuidade de uma regionalização. Independe da malha amostral e da direção. Existem basicamente quatro tipos de comportamento na origem:

- Comportamento parabólico na origem: denota uma alta continuidade espacial da variável regionalizada. Este comportamento é encontrado principalmente em variáveis de caráter geométrico, como cotas ou espessuras.
- Comportamento hiperbólico e contínuo na origem: indica uma continuidade média; pode ser observado em variáveis regionalizadas bem distribuídas e é a forma mais comum.
- Comportamento hiperbólico, mas descontínuo na origem, ou seja,  $\gamma(h) = C_0$  quando  $h \rightarrow 0$ . Reflete distribuições mais erráticas. O valor  $C_0$  é denominado “Efeito Pepita” e reflete também os erros de amostragem, de análise, ou seja, variações em pequena escala.
- Efeito pepita puro: variáveis que apresentam tal comportamento possuem uma estruturação totalmente aleatória. Na prática, é difícil de ocorrer, uma vez que é mais provável que a malha de amostragem não tenha sido suficiente.

**Comentário:** Se os subitens estão com letras, deixe os seguintes em ponto como a seguir

**Formatados:** Marcadores e numeração

b) **Fenômenos de transição:** apesar da hipótese teórica de que a função variograma cresce indefinidamente com a distância (h), freqüentemente ocorre que, a partir de uma certa distância, as amostras não têm mais influência umas sobre as outras, conforme ilustra a Figura 2.1. O valor “a” é denominado “alcance” da função (também chamado de range ou porteé) e corresponde à idéia de zona de influência de uma amostra.

Esse valor marca o ponto (distância) a partir do qual se inicia a zona de pura aleatoriedade, domínio da estatística convencional.

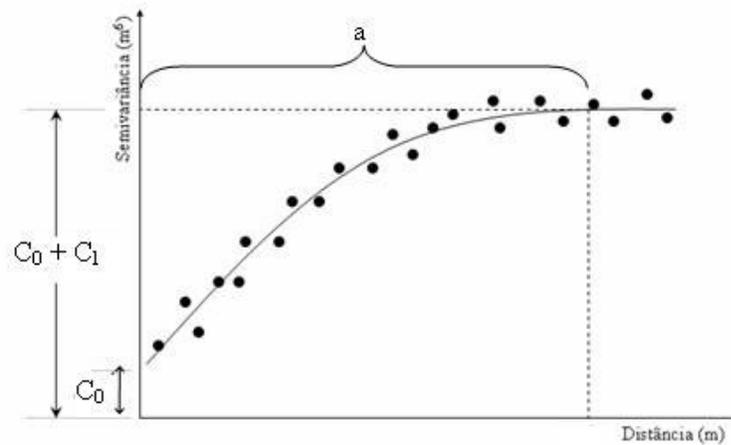


FIGURA 2.1 Semivariograma teórico em que “a” é o alcance da função,  $C_0 + C_1$  é o patamar, e  $C_0$  é o efeito pepita.

- c) **Anisotropias:** a função variograma depende da distância  $h$ , e essa distância pode ser considerada um vetor. Assim, o variograma deve ser construído segundo distintas direções no espaço, de modo a se estudar como se deforma a função variograma quando se muda a direção do vetor  $h$ . Essa deformação evidencia as eventuais anisotropias da variável em estudo. Quando há deformação do variograma, verifica-se que o fenômeno regionalizado em estudo é isotrópico. No entanto, as variáveis podem apresentar diferentes tipos de anisotropias ligadas a direções privilegiadas que, em geral, são interpretadas segundo critérios geológicos e / ou espaciais, podendo ser classificadas como *anisotropias geométricas* e *anisotropias zonais*

• **Anisotropias Geométricas:** uma anisotropia é dita geométrica quando variogramas construídos em diferentes direções apresentam a mesma variabilidade global (mesmo patamar), mas revelam alcances diferentes. Neste caso, define-se o fator de anisotropia entre os alcances/  $f = a_x / a_y$ .

• **Anisotropias Zonais:** a anisotropia zonal reflete diferentes variabilidades em diferentes direções, ou seja,  $C_{0x} + C_{ix}$  é diferente de  $C_{0y} + C_{iy}$ . Corrige-se essa anisotropia gerando, a partir de um variograma isotrópico, uma componente zonal.

$$\gamma(h) = \gamma(\text{isotrópico}) + \gamma(\text{zonal})$$

- d) **Deriva:** Fenômeno não estacionário em que o variograma apresenta uma tendência sempre crescente.
- e) **Estruturas imbricadas:** conflitos de estruturação provocados por associações da variável regionalizada de interesse com outras variáveis, que se refletem no variograma geral. Esse passa a representar uma soma de variogramas dessas várias estruturas. Cada uma dessas estruturas é definida como um imbricamento. Quando isso ocorre, é necessário decompor o variograma em estruturas imbricadas.

Segundo Vieira (2000), o efeito pepita ou *nugget* (representado normalmente por  $C_0$  ou  $\tau^2$ ) é a variação aleatória ou não estruturada do processo. A variação estruturada ( $C_1$  ou  $\sigma^2$ ) ou contribuição ou “sill parcial” representa o quanto da variação total ( $\tau^2 + \sigma^2$ ) pode ser explicada pela componente espacial. Segundo Miguel (2000), quanto menor o efeito pepita, melhor será a estimativa no processo de krigagem.

Conforme Aubry & Debouzie (2001), o efeito pepita é alto em estudos que envolvem variáveis ecológicas. O alcance (“a” ou  $\phi$ ) é outro parâmetro importante na variografia. Ele mostra a distância máxima a que uma variável

está correlacionada espacialmente. O alcance reflete o grau de homogeneização entre unidades de amostra, ou seja, quanto maior o alcance, maior será a homogeneidade entre estas (Miguel, 2000; Yamamoto, 2001).

Segundo Höck et al. (1998), o efeito pepita para o índice de sítio em plantio de *Pinus radiata* foi de 2,5 m<sup>2</sup>. O modelo ajustado foi linear. O patamar ( $\tau^2 + \sigma^2$ ) avaliado por inspeção do semivariograma foi de 7 m<sup>2</sup>. A contribuição  $\sigma^2$  foi de 4,5 m<sup>2</sup>. O alcance  $\phi$  foi de aproximadamente 15.000 metros. Da variação total ( $\tau^2 + \sigma^2$ ), 2,5 m<sup>2</sup> é aleatória e 4,5 m<sup>2</sup> pode ser explicada por uma componente espacial. Por este trabalho, parcelas distantes de até 15.000 metros são semelhantes, ou seja, até esta distância há uma homogeneidade acentuada entre as parcelas.

### **2.3 A Krigagem como interpolador geoestatístico**

Segundo Kanegae Júnior (2004), o entendimento da teoria dos interpoladores geoestatísticos passa pela distinção entre o conceito de estatística clássica e o conceito de estatística espacial. Um pressuposto básico da estatística clássica é que as variáveis são independentes, portanto não possuem continuidade espacial. Assim, toda variação é assumida como aleatória e as análises não consideram a posição das unidades amostrais no espaço (ou no tempo). Já na estatística espacial, as análises são baseadas na Teoria das Variáveis Regionalizadas, onde a posição de cada unidade amostral tem participação relevante na análise dos dados. Por isso há a necessidade de se realizar um estudo variográfico para verificar se as amostras são ou não independentes.

De acordo com Rodriguez (2004), os métodos convencionais de interpolação para Variáveis Regionalizadas não consideram a variabilidade dessas variáveis. Nos métodos de Inverso da Potência da Distância, por

exemplo, não há como saber, calcular ou mesmo fazer inferências sobre a potência mais correta a ser usada, ou qual a distância de influência a ser observada. Com isso, os resultados são freqüentemente “melhorados” por fatores experimentais, quando se percebe que o valor estimado difere do valor real. A Geoestatística parte do princípio que a essência de qualquer estimativa não é apenas reproduzir um número pontual, mas também fornecer indicativos de como o valor real pode variar em relação ao valor estimado. Nesse contexto, o método da krigagem foi desenvolvido para suprir a necessidade de uma medida da acuracidade das estimativas, assegurando o menor erro possível.

Este método foi desenvolvido por Matheron, na década de 60, e recebeu o nome de krigagem em homenagem ao Engenheiro de Minas sul-africano Daniel G. Krige, que primeiro desenvolveu e implementou esta fórmula de inferência, em 1951.

Segundo Esri (2001), a krigagem é um interpolador geoestatístico, ou seja, utiliza propriedades estatísticas e estimativas da configuração espacial dos pontos amostrados para a estimativa do ponto desejado. A técnica de krigagem baseia-se no estudo da variabilidade espacial da característica de interesse. De acordo com Journel & Huijbregts (1978), a técnica da krigagem é superior aos demais interpoladores por permitir calcular o erro associado a cada estimativa – variância da krigagem.

Rodriguez (2004) acrescenta que a variância da krigagem está associada ao erro de uma combinação linear e, para o caso especial da geoestatística, determina-se o conjunto ótimo de ponderadores que minimizem a variância, sujeito à condição de não-enviesamento. Por isso os estimadores de krigagem são conhecidos como estimadores “BLUE” (Best Linear Unbiased Estimator) de um atributo espacial desconhecido, bastando que a variável regionalizada em estudo apresente um momento de segunda ordem, variograma ou covariância.

A interpolação da krigagem é semelhante à regressão linear múltipla, com algumas diferenças no uso de matrizes. A estimativa do peso de cada ponto a ser estimado se dá através da inversão de uma matriz de covariância de todos os valores medidos vizinhos ao ponto estimado (Zimback, 2003).

Para entender o método, pode-se considerar um ponto  $K$  de um espaço em uma, duas ou três dimensões, cujo atributo real  $V(K)$  é desconhecido; e uma série de  $n$  amostras de atributos  $V(x_i)$  conhecidos, cujos ponderadores  $p_i$  serão utilizados para calcular o melhor estimador para  $V(K)$ . Assim:

$$V^* = \sum \lambda_i V(x_i)$$

Como a variância da estimativa é dada por:

$$\sigma_e^2 = 2 \sum \lambda_i \gamma(K, x_i) - \gamma(K, K) - \sum \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j)$$

ou

$$\sigma_e^2 = -2 \sum \lambda_i C(K, x_i) + C(K, K) - \sum \lambda_i \lambda_j C(x_i, x_j)$$

pode-se diferenciar  $\sigma_e^2$ , da variância de estimativa de  $\sigma_K^2$ , a variância de krigagem. Se o estimador de krigagem é um BLUE, então:

- Se  $\sigma_K^2$  é o melhor estimador linear, então é a menor das  $\sigma_e^2$
- Se  $\sigma_K^2$  é não enviesado,  $E(\sum \lambda_i V(x_i)) = E(V^*) = E(V(x_i))$ , então  $\sum \lambda_i = 1$

Para se minimizar uma função  $Q$  de combinação linear em  $\lambda_i$ , então, a primeira derivada em relação a  $\lambda_i$  é igual a zero. Se há uma restrição do tipo  $R = 0$ , então, pelo princípio de Lagrange a Função  $F = Q + 2\mu R$  pode ser minimizada, onde  $\mu$  é a nova incógnita, chamada de coeficiente de Lagrange.

Considerando a minimização de  $\sigma_e^2$ :

$$F = \sigma_e^2 + 2\mu(\sum \lambda_i - 1) \text{ ou } F = -2\sum \lambda_i C(\mathbf{K}, x_i) + C(\mathbf{K}, \mathbf{K}) + \sum \lambda_i \lambda_j C(x_i, x_j)$$

tem-se então as derivadas:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial \lambda} = -2C(\mathbf{K}, x_i) + 2\sum \lambda_i C(x_i, x_j) + 2\mu \\ \frac{\partial F}{\partial \mu} = \sum \lambda_i - 1 \end{cases}$$

Como este é um sistema de  $n + 1$  equações com  $n + 1$  incógnitas, pode ser escrito da forma usual:

$$\begin{cases} \sum \lambda_i C(x_i, x_j) + \mu = C(\mathbf{K}, x_i) & (i=1, \dots, n) \\ \sum \lambda_i = 1 \end{cases}$$

ou da forma matricial:  $[\mathbf{K}] \cdot [\lambda] = [\mathbf{M2}]$  ou  $[\lambda] = [\mathbf{K}]^{-1} \cdot [\mathbf{M2}]$

E a variância de krigagem,  $\sigma_k^2$ , pode ser escrita:

$\sigma_k^2 = C(\mathbf{K}, \mathbf{K}) - [\lambda]^t \cdot [\mathbf{M2}]$  sendo que  $[\lambda]^t$  é a matriz transposta de  $[\lambda]$ , a matriz de incógnitas  $[\lambda]$  e a matriz  $[\mathbf{M2}]$  são as duas matrizes coluna:

$$[\lambda] = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \lambda_\alpha \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} \quad [\mathbf{M2}] = \begin{bmatrix} C(\mathbf{K}, x_1) \\ C(\mathbf{K}, x_2) \\ C(\mathbf{K}, x_3) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ C(\mathbf{K}, x_\alpha) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ C(\mathbf{K}, x_n) \\ 1 \end{bmatrix}$$

E a matriz  $[\mathbf{K}]$ , dita matriz de krigagem, pode ser escrita como:

$$[K] = \begin{bmatrix} C(x_1x_1) & C(x_1x_2) & \cdots & C(x_1x_\alpha) & \cdots & C(x_1x_n) & 1 \\ C(x_2x_1) & C(x_2x_2) & \cdots & C(x_2x_\alpha) & \cdots & C(x_2x_n) & 1 \\ C(x_3x_1) & C(x_3x_2) & \cdots & C(x_3x_\alpha) & \cdots & C(x_3x_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C(x_\alpha x_1) & C(x_\alpha x_2) & \cdots & C(x_\alpha x_\alpha) & \cdots & C(x_\alpha x_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C(x_n x_1) & C(x_n x_2) & \cdots & C(x_n x_\alpha) & \cdots & C(x_n x_n) & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Note-se que a matriz  $[K]$  é simétrica, ou seja  $C(x_\alpha, x_\beta) = C(x_\beta, x_\alpha)$ .

A partir do sistema apresentado, podem-se abstrair sete propriedades importantes da krigagem ordinária.

- Existe apenas uma solução, se o modelo de covariância  $C(h)$  usado for estritamente positivo e não houver dois pontos amostrais coincidentes.
- O estimador de krigagem, sendo um estimador não enviesado, é também um interpolador exato, isto é, se o ponto a ser estimado coincidir com uma amostra, o estimador  $V^*$  será igual ao valor de  $x_\alpha$ , desde que o suporte de  $V$  seja o mesmo de  $x_\alpha$ .
- As expressões do sistema de krigagem são gerais para todos os suportes de  $x$  e de  $V$ , observando-se que os suportes amostrais podem ser interceptantes, desde que não sejam coincidentes.
- O sistema de krigagem e a variância de krigagem dependem somente do modelo estrutural ( $C(h)$  ou  $\gamma(h)$ ) e das geometrias relativas dos vários suportes  $x_\alpha$  e  $V$  e não dos valores individuais de  $V(x_\alpha)$ , ou seja, desde que se disponha da configuração espacial das amostras e da área a se estimar, pode-se prever a variância da krigagem.

- A matriz de krigagem [K] depende somente da geometria relativa dos suportes amostrais. Assim, para uma malha estritamente regular, é possível prever a influência da geometria da área a se estimar, no erro da krigagem.
- O sistema de krigagem e a variância de krigagem levam em consideração os quatro fatores essenciais e intuitivos para a definição da qualidade de uma estimativa:
  - Geometria do domínio K, conforme termo  $\gamma(K, K)$
  - Distância dos domínios K e x, conforme termo  $\gamma(K, x)$
  - Geometria do domínio x, conforme termo  $\gamma(x, x)$
  - Características estruturais: a função  $\gamma$  pode mudar conforme a estrutura do fenômeno.
- O sistema de krigagem e a variância de krigagem consideram a influência do efeito pepita.

Conforme descrito por Isaaks & Srivastava (1989), existem vários tipos de krigagem: simples, ordinária, universal, de blocos e outras. A descrição e o método de estimativa de cada uma podem ser obtidos em Isaaks & Srivastava (1989), Journel & Huijbregts (1978), Soares (2000), dentre outros.

O método de krigagem já foi utilizado na área florestal. Höck et al. (1998), Kanegae Junior (2004) utilizaram o método para definição do índice de sítio numa área com *Pinus radiata*. Segundo outros autores, a diferença média entre o valor conhecido do índice de sítio (altura dominante) e o estimado pela krigagem foi de 0,005 metros. Samra et al. (1989) mapearam a altura dominante de um plantio de *Melia azederach* a partir da krigagem. Eles verificaram que o erro de estimativa foi de mais ou menos 9%.

Kanegae Junior (2004) avaliou a estrutura de continuidade espacial de quatro características dendrométricas de 23 povoamentos clonais de *Eucalyptus sp* em 3 medições sucessivas, no Estado de São Paulo. Observou que mais de 70% dos projetos analisados apresentaram de média a forte dependência espacial para a variável volume e 80% para as variáveis área basal, altura dominante e índice de sítio. O alcance das variáveis apresentou variações de 300 a 3.000 metros, dependendo do projeto e idade de medição. Observou ainda que o percentual de projetos com forte dependência espacial decresce com a idade, tendendo ao patamar de média dependência espacial, em todas as variáveis analisadas. O grau de dependência espacial ao longo de sucessivas medições varia de projeto para projeto e de medição para medição, pode diminuir ou aumentar com o tempo, sugerindo que em cada projeto e medição, seja feita uma análise específica da dependência espacial da variável de interesse.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização

Este estudo foi realizado num povoamento clonal de eucalipto, de propriedade da Aracruz Celulose S/A, empresa cujas operações florestais estão presentes principalmente nos Estados do Espírito Santo, Bahia, Minas Gerais e Rio Grande do Sul.

A área utilizada para o estudo foi um projeto com 164,08 ha de efetivo plantio com clones de eucalipto, localizado no município de Aracruz, ES, selecionado dentre os plantios da empresa nessa região. Tais plantios têm como coordenadas geográficas limites os paralelos 19°35'S e 20°15'S de latitude e os meridianos 40°00'W e 40°20'W de longitude.

Nessa região, o clima varia, pela Classificação de Koppen, entre Aw e Am. Ambos correspondem ao tipo Clima Tropical Úmido; o primeiro tem como característica a presença de invernos secos e verões chuvosos; o segundo tem como característica a ausência de uma estação seca pronunciada (Embrapa, 2000).

O relevo predominante na região de estudo se caracteriza por chapadões terciários levemente inclinados em direção ao litoral, com altitude variando entre 30 e 100m. De acordo com os macro levantamentos de solos que existem nas áreas do Espírito Santo envolvendo a região de estudos, predominam os grandes grupos de solos: Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, coeso, relevo plano e suave ondulado (platôs litorâneos) e o Podzólico Vermelho-Amarelo abrupto, relevo plano e suave ondulado (platôs litorâneos), além de Podzol (Brasil, 1978, citado por Embrapa, 2000).

O projeto selecionado para este estudo foi plantado em março de 2002. Assim como os demais projetos da empresa, é composto por um mosaico de materiais genéticos, nesse caso, todos clones. Entre os talhões, encontram-se áreas de vegetação nativa. O espaçamento de plantio em todo o projeto foi de 3 x 3m<sup>2</sup>, equivalente a uma densidade populacional de 1111 plantas / ha. Todo o projeto encontra-se atualmente sob o regime de reforma, ou seja, um projeto oriundo de mudas plantadas em áreas que já estavam ocupadas com florestas de eucalipto no ciclo anterior.

## **3.2 Base de dados**

### **3.2.1 Base cadastral**

A área utilizada neste estudo, num total de 164,08ha de efetivo plantio de eucalipto, encontra-se mapeada conforme os padrões da empresa. As coordenadas UTM de cada polígono de plantio foram extraídas do banco de dados.

Além das informações oriundas dos mapas propriamente ditos, foram utilizadas informações cadastrais referentes aos materiais genéticos plantados, data de plantio, espaçamento e regime de manejo.

### **3.2.2 Dados de Inventário Florestal**

Os dados utilizados neste estudo foram provenientes de inventários convencionais realizados numa área localizada no município de Aracruz, Espírito Santo, nos anos de 2003, 2004 e 2005, conforme descrição a seguir.

- Em 2003, quando o projeto completou 12 meses, foram instaladas 48 parcelas temporárias circulares de 360m<sup>2</sup>, sistematicamente distribuídas em todos os talhões da área. Nessa ocasião, foram medidas as

Circunferências a 1,3m do solo (CAP) de todos os indivíduos vivos e as alturas totais de 50% destes, além das alturas das árvores dominantes. As demais alturas foram obtidas por meio de modelo hipsométrico ajustado por parcela.

- Em 2004, portanto aos 2 anos de idade, todo o projeto foi novamente inventariado, instalando-se 50 parcelas temporárias circulares de 360m<sup>2</sup>, tomando-se novamente as respectivas coordenadas geográficas nos centros das parcelas. Foram medidas todas as Circunferências a 1,3m do solo (CAP) dos indivíduos vivos e as alturas das árvores dominantes. As demais alturas foram obtidas por meio de uma equação hipsométrica genérica.
- Em 2005, tanto as parcelas temporárias de 2003, quanto as de 2004, foram localizadas no campo a partir de suas coordenadas geográficas, e remeidas seguindo os mesmos critérios da medição de 2004.

Neste trabalho, as variáveis avaliadas nas diferentes medições foram a Altura Média das Árvores Dominantes, a Área Basal e o Volume até 4cm de diâmetro com casca, por parcela.

É importante ressaltar que, embora as medições de 2003 e 2004 tenham sido lastreadas em parcelas temporárias, o número e a localização dessas parcelas nos talhões mostrou-se bastante semelhante, uma vez que a intensidade amostral dos dois inventários foi praticamente a mesma, conforme se observa na Tabela 3.1. A metodologia de caminhamento dentro de cada talhão para instalação das parcelas também foi a mesma. A Tabela 3.1 mostra as áreas de cada talhão, com os respectivos números de parcelas em cada medição. A Figura 3.1 mostra o mapa da área estudada, com as parcelas medidas nas duas ocasiões. As bases de dados para avaliar a estrutura de continuidade espacial no tempo

foram tratadas separadamente: medição 2003/medição 2005 e medição 2004/medição 2005.

TABELA 3.1 Talhões do projeto estudado, com os respectivos números de parcela em cada medição realizada.

TALHÃO	ÁREA	MATERIAL GENÉTICO	NÚMERO DE PARCELAS	
			2003	2004
01	20,09	Clone A	4	5
02	24,25	Clone B	5	5
03	4,34	Clone E	3	3
04	6,21	Clone A	3	3
05	6,18	Clone C	3	3
06	5,51	Clone D	3	3
07	10,92	Clone A	3	3
08	12,29	Clone A	3	3
09	9,07	Clone B	3	3
10A	19,68	Clone A	4	4
10B	0,56	Clone A	3	3
11	13,50	Clone F	3	3
12	28,32	Clone D	6	6
13	3,16	Clone F	3	3
<b>TOTAL</b>	<b>164,08</b>	-	<b>49</b>	<b>50</b>

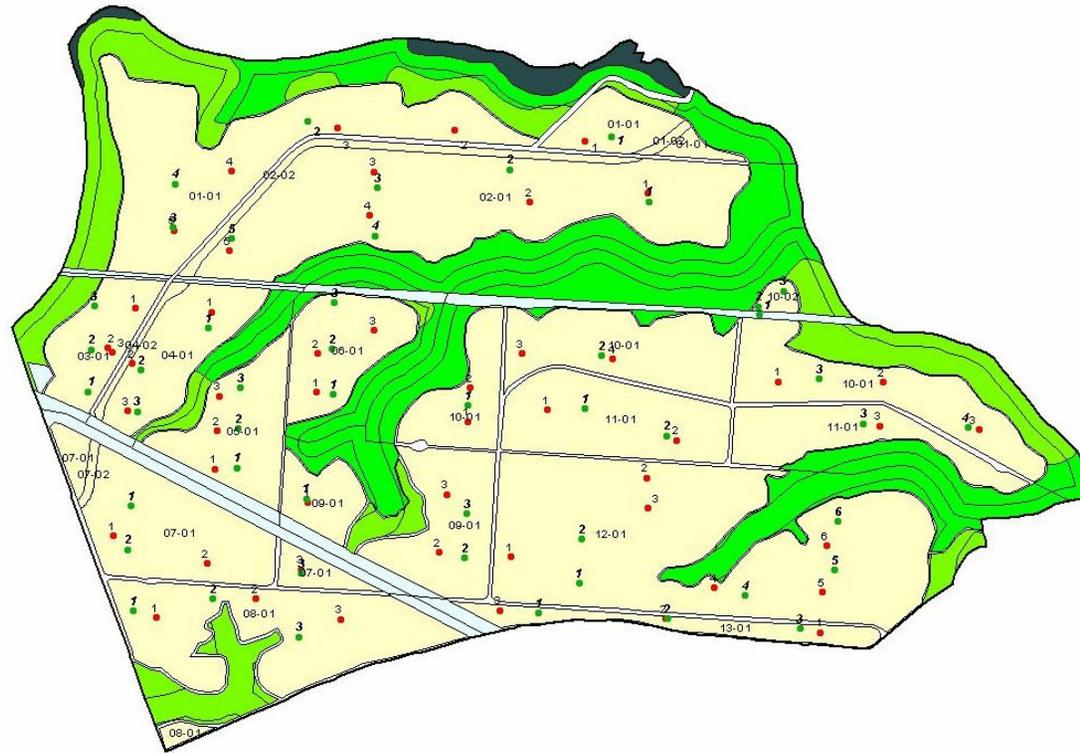


FIGURA 3.1 Mapa da área de estudo com as parcelas de inventário plotadas; os pontos verdes indicam as parcelas instaladas em 2003 e os pontos vermelhos, as parcelas instaladas em 2004.

### **3.3 Análise exploratória dos dados**

Com o objetivo de entender o comportamento geral dos dados quanto à forma, dispersão e tendência, fez-se uma análise exploratória para cada variável dendrométrica estudada, em cada uma das quatro medições. Embora essa análise não considere a dependência espacial dos dados, ela permite a identificação de dados atípicos que afetam a qualidade das análises geoestatísticas. Essa análise se constituiu basicamente no cálculo das principais medidas de posição e de dispersão para cada uma das variáveis avaliadas, em cada medição. Também se verificou a estrutura de Distribuição Normal dos Dados que, embora não seja pré-requisito para o uso da Geoestatística, é pré-requisito para o emprego do método da Máxima Verossimilhança para ajuste dos modelos de semivariograma.

Na análise gráfica foram utilizados gráficos de dispersão das variáveis estudadas em relação à latitude e à longitude, com o objetivo de verificar a presença de tendências nos dados. A distribuição normal foi avaliada por meio de histogramas confeccionados para todas as medições e gráficos de box-plot. Sargent (1996) destaca que as avaliações gráficas, embora subjetivas, são bastante úteis porque podem ser aplicadas sobre dados correlacionados, sobre qualquer distribuição estatística, ou mesmo para um número limitado de observações que são os três principais fatores que limitam o uso de testes estatísticos objetivos.

### 3.4 Estudo variográfico

Após a análise exploratória dos dados, foi feito o estudo variográfico a fim de verificar a estrutura de dependência espacial entre as parcelas e a estrutura espacial temporal, para as três variáveis estudadas. O estudo variográfico inicia-se com a construção do semivariograma experimental ou empírico, que relaciona a semivariância em cada distância. De acordo com Journel & Huijbregts (1978), a função variograma denominada de  $2\gamma(h)$  é a esperança matemática do quadrado da diferença entre pares de pontos separados por uma distância ( $h$ ):

$$2\gamma(x, h) = E[Z(x) - Z(x+h)]^2$$

A metade da função variograma é denominada de função semivariograma. O estimador da semivariância é igual à média aritmética das diferenças ao quadrado entre pares de valores experimentais, em todos os pontos separados pela distância  $h$ :

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

onde  $\hat{\gamma}(h)$  é a semivariância estimada entre pares de pontos, na mesma distância  $h$ ;  $N(h)$  é o número de pares de pontos separados por um vetor  $h$ ;  $Z(x_i)$  é o valor da variável regionalizada no ponto  $x$ ;  $Z(x_i+h)$  é o valor no ponto  $x_i+h$ . Com esta função, foi possível gerar o semivariograma experimental. Através do conjunto de dados ajustaram-se os modelos da função semivariograma. Posteriormente, plotou-se a curva do modelo ajustado ao semivariograma experimental. O modelo ajustado reuniu toda a informação da estrutura de continuidade através dos seus parâmetros. A partir deste ajuste foram obtidos os parâmetros do

modelo de semivariograma, efeito pepita ( $\tau^2$ ), contribuição ( $\sigma^2$ ) e alcance ( $\phi$ ). Com os parâmetros do modelo espacial para cada característica avaliada, determinou-se o grau de dependência espacial (DE). O grau de dependência espacial é uma relação percentual entre a variação estruturada  $\sigma^2$  em relação ao patamar ( $\tau^2 + \sigma^2$ ), ou seja  $DE = \frac{\sigma^2}{\tau^2 + \sigma^2} * 100$ . De acordo com Mello (2004), essa expressão foi relatada em trabalho desenvolvido por Biondi et al. (1994), estudando o comportamento espacial do DAP e da área basal em floresta natural de *Pinus ponderosa*.

### 3.4.1 Modelos avaliados

Existem vários modelos de ajuste aplicáveis a diferentes fenômenos com continuidade espacial. Estes modelos, chamados de modelos autorizados, devem fornecer soluções estáveis para o estimador linear – krigagem. Isto significa que a matriz de covariância utilizada na krigagem possa ser invertida. Esta condição limita o conjunto de funções usadas no estudo variográfico. Na Tabela 3.2 são apresentados os modelos utilizados neste estudo, mencionados por Isaaks & Srivastava (1989).

TABELA 3.2 Modelos de funções semivariogramas utilizados para geração dos parâmetros espaciais, sendo  $\tau^2$  o efeito pepita,  $\sigma^2$  a variação estruturada,  $h$  são os “lags” de distância e  $\phi$  é o alcance.

Nome	Modelo matemático
Exponencial	$\gamma(h) = \begin{cases} 0, &  h  = 0 \\ \tau^2 + \sigma^2 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{ h }{\phi}\right) \right], &  h  \neq 0 \end{cases}$
Esférico	$\gamma(h) = \begin{cases} 0, &  h  = 0 \\ \tau^2 + \sigma^2 \left[ 1,5 \left(\frac{ h }{\phi}\right) - 0,5 \left(\frac{ h }{\phi}\right)^3 \right], & 0 \leq  h  \leq \phi \\ \tau^2 + \sigma^2, &  h  > \phi \end{cases}$

### 3.4.2 Ajuste dos modelos

O método utilizado para o ajuste dos modelos de semivariograma foi o Método da Máxima Verossimilhança que, segundo Cressie (1993), é uma técnica bastante empregada por apresentar propriedades assintóticas interessantes, como por exemplo, eficiência e consistência.

A propriedade da eficiência indica que, quando a  $\sigma^2$  for pequena, a distribuição do estimador  $\hat{\theta}$  será altamente concentrada, e  $\hat{\theta}$  será muito próximo do  $\theta$  verdadeiro. Já a consistência dos modelos garante que, para qualquer tamanho de amostra, os intervalos do parâmetro  $\hat{\theta}$  contêm o valor verdadeiro de  $\theta$ .

O foco do método da Máxima Verossimilhança é obter, a partir de uma amostra, o estimador “mais verossímil” dos parâmetros de um determinado modelo probabilístico. Esse método ajusta o modelo a partir dos dados originais,

enquanto o método dos Quadrados Mínimos se baseia nos pontos do semivariograma experimental ou empírico.

Mello (2004) avaliou quatro métodos de ajuste aplicados a dois modelos de função de semivariância, a partir das técnicas de validação cruzada e preditiva e do Critério de Akaike (AIC). O melhor desempenho de acordo com os três critérios de avaliação utilizados foi observado para o Modelo Exponencial ajustado pelo método da Máxima Verossimilhança. Em seu estudo, o autor sugere o uso do Critério de AIC e da validação cruzada para a seleção de modelos da função de semivariância.

Considerando um conjunto de observações de volume  $(z_1, \dots, z_n)$ , esses volumes podem ser explicados pela soma de três componentes:

$$z_i = \mu(x_i) + S(x_i) + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, n$$

onde  $\mu(x_i)$  é uma componente completamente determinística;  $S(x_i)$  é uma componente aleatória entendida como um processo estocástico gaussiano autocorrelacionado. É esta componente que confere a continuidade espacial aleatória à variável  $Z$ , isto é,  $S(x)$  é a componente que caracteriza a correlação espacial. Para representar essa correlação espacial entre dois pontos, nesse trabalho foram testados os modelos apresentados na Tabela 4.2.

A componente  $\varepsilon_i$  é a parte totalmente aleatória do modelo, sendo  $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$  independentes, identicamente distribuídos, com média zero e variância  $\tau^2$ , denominada nugget ou efeito pepita (Diggle & Ribeiro Júnior, 2000).

Dota-se o modelo definido na equação  $z_i = \mu(x_i) + S(x_i) + \varepsilon_i$  com uma distribuição Multivariada Normal que pode ser representada da forma  $Z \sim MVN(F\beta, \sigma^2 \Sigma + \tau^2 I)$ . Assim, a função de verossimilhança a ser maximizada assume a seguinte forma:

$$L(\beta, \theta) = -\frac{1}{2} \left\{ \log |K| + (Z - F\beta)^t [K]^{-1} (Z - F\beta) \right\}$$

A maximização dessa equação é obtida por procedimentos numéricos iterativos, em que a matriz de covariância é atualizada e invertida a cada iteração (Diggle & Ribeiro Júnior, 2000).

### **3.4.3 Seleção de modelos**

Para avaliar o desempenho de cada modelo de semivariograma na estimativa das variáveis estudadas (altura dominante, área basal e volume), foi utilizado o critério de AIC (Critério de Informação de Akaike) gerado para cada modelo, dentro do respectivo ajuste. O AIC foi obtido por meio da Função de Máxima Verossimilhança. O critério de AIC foi desenvolvido a partir da distância ou informação de Kulback & Leibler (1951). Trata-se de uma medida de discrepância entre as linhas do modelo verdadeiro (desconhecido) e o modelo aproximado. Akaike (1983) relacionou a distância de Kulback e Leibler com o Log de Máxima Verossimilhança, surgindo assim o AIC, que é dado pela expressão  $AIC = -2\log(L) + 2K$ , onde  $\log(L)$  é o log da Verossimilhança Maximizada do modelo candidato e  $K$  é o número de parâmetros desse modelo. O critério de seleção pelo AIC foi baseado no trabalho de Burnhan & Anderson (2002), em que os autores propuseram uma alternativa para a comparação de modelos, baseada na diferença de AIC ( $\Delta_i$ ). A diferença de AIC foi obtida pela expressão:  $\Delta_i = AIC_i - AIC_{\min}$ , onde  $AIC_i$  é o valor de AIC para o modelo (i) e  $AIC_{\min}$  é o valor do AIC para o modelo suporte, ou seja, o modelo que apresentou menor AIC para um dado conjunto de dados. Para valores de  $\Delta_i$  maiores que dois, o modelo (i) difere significativamente da curva do modelo suporte.

### 3.5 Krigagem geoestatística

A estimativa de pontos não avaliados  $[\hat{z}(x_0)]$  foi efetuada a partir da krigagem pontual (Vieira, 2000) através da seguinte expressão:

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i)$$

onde  $\hat{z}(x_0)$  é a estimativa no ponto não amostrado  $(x_0)$ ,  $\lambda_i$  é o peso que cada valor avaliado recebe, conforme a estrutura de dependência espacial do modelo, e  $z(x_i)$  é o valor do ponto amostrado. Os pesos foram obtidos a partir da resolução do sistema de equações de krigagem na forma matricial:

$$[\lambda] = [C]^{-1} \cdot [b]$$

onde  $[C]^{-1}$  é o inverso da matriz de semivariância entre pontos amostrados e  $[b]$  é o vetor de semivariâncias entre os pontos amostrados e o ponto a ser estimado.

A krigagem da área de estudo foi feita considerando-se três estratos ou classes de produtividade para as três variáveis estudadas. Utilizou-se o programa R, através do pacote geoR (2004), para efetuar o estudo variográfico e a krigagem.

No Anexo A são apresentadas as rotinas utilizadas no geoR para obter as análises geoestatísticas efetuadas neste estudo.

### 3.6 Formação dos estratos aos 12, aos 24 e aos 36 meses

Após a krigagem da área de estudo, utilizando-se os dados das medições de 2003, 2004 e das duas medições de 2005 (remedições das parcelas de 2003 e de 2004), foram feitas comparações entre as estratificações obtidas em cada uma dessas ocasiões. O objetivo dessas comparações foi avaliar a estabilidade dos estratos estabelecidos no primeiro ano, para que se possa selecionar as parcelas a

serem remeidas anualmente já a partir dessa medição. A área de estudo foi dividida em três estratos, considerando cada uma das variáveis estudadas (Área Basal, Altura Dominante e Volume com Casca). Em seguida, foi feita uma análise da área representada por cada estrato em cada uma das medições e da estabilidade das parcelas dentro dos estratos, de uma medição para as subseqüentes. Avaliaram-se a proporção de parcelas amostrando cada estrato, e a proporção de parcelas que variaram de estratos ao longo do tempo.

### **3.7 Critérios para análise do efeito das diferentes composições dos estratos no erro de inventário**

Um dos grandes benefícios de uma estratificação adequada é a possibilidade do ganho de precisão para uma determinada intensidade amostral, quando comparada a outras estratégias de amostragem com a mesma intensidade. Ou, sob um outro ponto de vista, a possibilidade de redução da intensidade amostral permanecendo dentro de um determinado valor de erro considerado aceitável.

Para avaliar o comportamento dos dados estudados em relação à variabilidade e aos erros de inventário, foram consideradas seis diferentes situações:

- **Situação 1:** considerando que toda a área corresponde a um único estrato dentro do critério de estratificação cadastral já adotado pela empresa, foram calculados a Média, o Coeficiente de Variação e o Erro Padrão da Média para toda a área, aplicando-se a Amostragem Casual Simples para todas as parcelas de cada medição. Essa situação foi considerada como uma super-amostragem da área (1 parcela a cada 3,3 ha), servindo, portanto, como referencial na comparação com as demais situações descritas.

- **Situação 2:** resultados do estrato considerando-se a metodologia para amostras estratificadas aplicada aos estratos obtidos pela krigagem. Nesse caso, a Média, a Variância e o Erro Padrão da Média foram calculados conforme Amostragem Casual Estratificada.
- **Situação 3:** resultado médio proveniente dos cálculos de inventário para cada talhão. Foram calculados os resultados médios da área, a partir dos resultados obtidos para cada talhão, tratados como Amostragem Casual Simples. Os cálculos de Média, Coeficiente de Variação e Erro Padrão da Média das variáveis Altura Dominante, Área Basal e Volume foram realizados para as medições aos 12, 24 e 36 meses.
- **Situação 4:** resultados de média e variância espacial a partir da krigagem geoestatística. Conforme descrito em Cressie (1993), a média espacial e a variância da média espacial foram calculadas respectivamente pelas expressões:

$$\hat{\mu} = (f^t K^{-1} f)^{-1} * (f^t K^{-1} z) \quad \text{e} \quad \widehat{\text{VAR}}(\hat{\mu}) = (f^t K^{-1} f)^{-1}$$

onde:  $f$  = vetor de 1's (média constante)

$K$  = matriz de covariância

$z$  = vetor de dados observados

- **Situação 5:** sorteio de 17 parcelas na área, considerando-se o número de parcelas recomendadas por talhão em cada uma das medições, segundo a metodologia em vigor na empresa. Como o número de parcelas existente em cada talhão era sempre maior que o número de parcelas necessárias, aumentando a possibilidade de combinações entre as parcelas de talhões diferentes, foram feitos 100 sorteios de combinações de parcelas dos diferentes talhões, sempre respeitando o número de parcelas recomendado para cada talhão, mostrado na Tabela 4.3. Os sorteios foram feitos com base nas parcelas instaladas em 2003 e em 2004. Cada combinação de parcelas sorteada foi tratada conforme os

critérios de Amostragem Casual Simples. Foram calculados a média, o Coeficiente de Variação e o erro padrão da média, considerando-se as três variáveis em estudo: Altura Dominante, Área Basal e Volume com Casca. Para as medições realizadas em 2005, não foram feitos novos sorteios, considerando-se que seriam remedições das parcelas instaladas em 2003 e 2004. Por isso, os mesmos sorteios realizados para as parcelas de 2003 e 2004 foram aplicados aos dados obtidos nas medições de 2005.

TABELA 3.3 Número de parcelas medidas por talhão, de acordo com critério de amostragem por estrato (cadastral) em vigor na Aracruz Celulose

TALHÃO	ÁREA	NÚMERO DE PARCELAS	
		2003	2004
01	20,09	2	2
02	24,25	2	2
03	4,34	1	1
04	6,21	1	1
05	6,18	1	1
06	5,51	1	1
07	10,92	1	1
08	12,29	1	1
09	9,07	1	1
10A	19,68	2	2
10B	0,56	0	0
11	13,50	1	1
12	28,32	2	2
13	3,16	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>164,08</b>	<b>17</b>	<b>17</b>

- **Situação 6:** resultados do estrato considerando-se a metodologia para amostras estratificadas aplicada ao estrato cadastral. Seguindo a metodologia utilizada pela empresa, foram selecionadas 17 parcelas, variando-se, porém, o critério de seleção. Este critério refere-se à média aritmética das parcelas para cada característica dendrométrica avaliada.

As 17 parcelas foram selecionadas aos 12 e as 24 meses de idade, de acordo com o número de parcelas por talhão recomendado na Tabela 3.3. As parcelas selecionadas em função de cada uma das variáveis dendrométricas foram analisadas conforme Amostragem Casual Simples e também como Amostragem Casual Estratificada, considerando-se a estratificação a partir da krigagem com base nas três características dendrométricas estudadas – Altura Dominante, Área Basal e Volume com Casca. Ou seja, as parcelas selecionadas foram plotadas nos estratos de krigagem estabelecidos para as três características dendrométricas. A partir dos novos mapas de krigagem gerados para as remedições aos 36 meses, avaliou-se a estabilidade das parcelas nos estratos definidos nas medições anteriores.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Análise exploratória dos dados**

As Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram os quatro principais gráficos que devem ser observados numa análise exploratória de dados na medição realizada aos 12 meses de idade, para as variáveis Altura Dominante, Área Basal e Volume, respectivamente.

Nas letras (a) e (b), aparecem os gráficos que mostram o comportamento dessas variáveis em relação aos sentidos Leste-Oeste e Norte-Sul, respectivamente. Observa-se, nas três figuras, a inexistência de tendência dos valores de Altura Dominante, Área Basal e Volume nas duas direções, nessa medição. Trata-se de uma condição importante no estudos geoestatísticos, tornando plausível se admitir a pressuposição da Hipótese Intrínseca para a variável em questão. É importante ressaltar que, na presença de tendência não há estacionaridade, portanto, nessa situação não se devem aplicar técnicas geoestatísticas.

Os histogramas da letra (c) das três figuras em análise mostraram que os dados têm distribuição aproximadamente normal. É importante ressaltar que a Geoestatística não exige que os dados tenham distribuição normal para ser utilizada. No entanto, a normalidade atribui às inferências outras propriedades estatísticas ótimas, como a Máxima Verossimilhança. Com isso, as variáveis trabalhadas apresentaram condições ideais para aplicação de técnicas

geoestatísticas que dependem de um modelo estabelecido previamente. O gráfico “box-plot” (d) permitiu verificar a presença de possíveis “outliers” ou dados discrepantes, que podem afetar significativamente o comportamento do semivariograma, principalmente em sua porção inicial (Diggle & Ribeiro Júnior, 2000). Conforme se observa nas três figuras, a base de dados não apresentou nenhum “outlier” para as variáveis consideradas.

Os gráficos da medição realizada aos 24 meses, bem como aqueles referentes às amostras das duas coletas de dados realizadas na área em 2005, exibiram comportamento semelhante ao da medição realizada aos 12 meses e são apresentados no Anexo B.

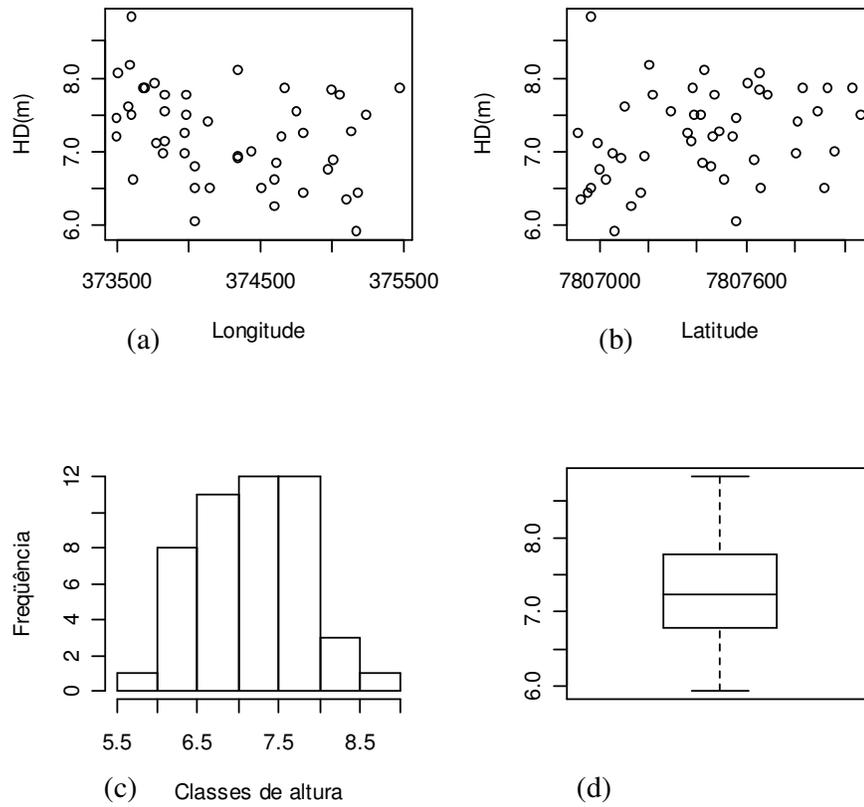


FIGURA 4.1 Análise exploratória dos dados de altura dominante (HD) nas parcelas medidas em 2003, sendo (a) relação da altura dominante com a longitude; (b) relação da altura dominante com a latitude; (c) histograma de frequência e (d) gráfico de Box Plot

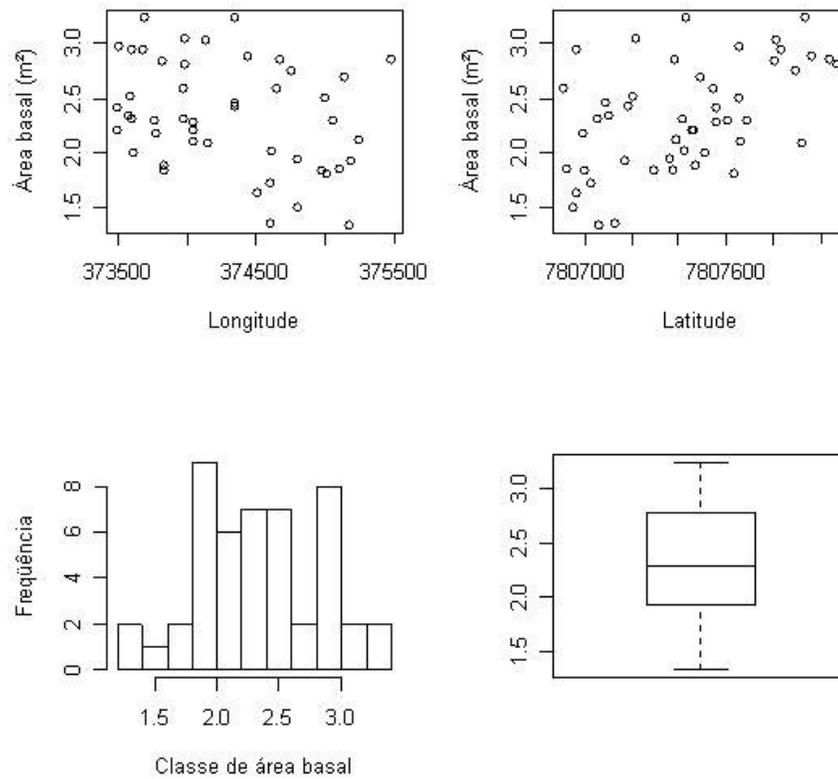


FIGURA 4.2 Análise exploratória dos dados de Área Basal (AB) nas parcelas medidas em 2003, sendo (a) relação da área basal com a longitude; (b) relação da área basal com a latitude; (c) histograma de frequência e (d) gráfico de Box Plot

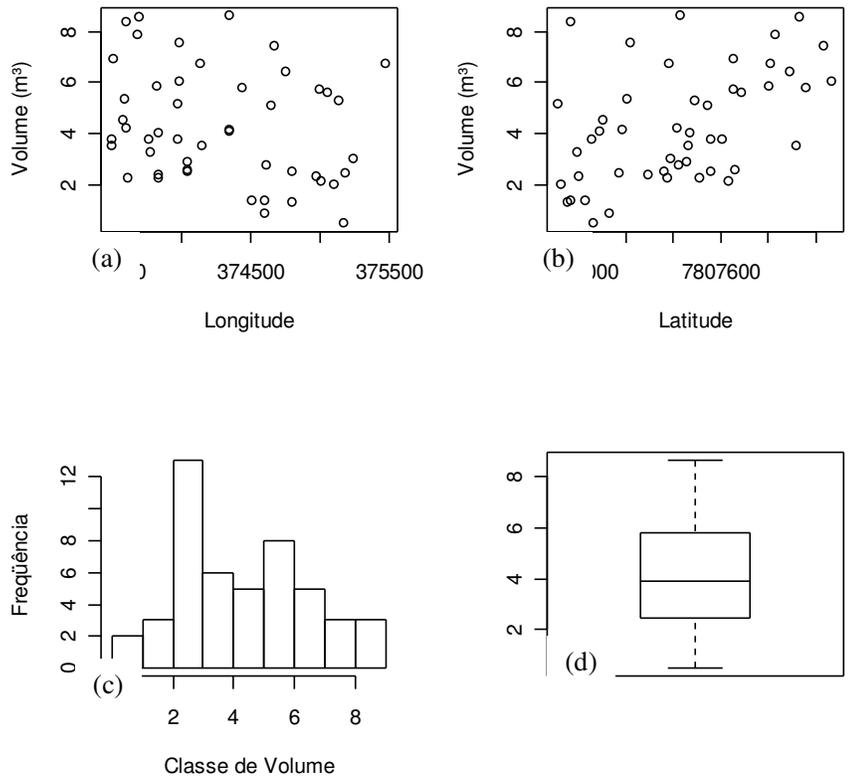


FIGURA 4.3 Análise exploratória dos dados de Volume com casca (VCC) nas parcelas medidas em 2003, sendo (a) relação da área basal com a longitude; (b) relação da área basal com a latitude; (c) histograma de frequência e (d) gráfico de Box Plot

## 4.2 Avaliação da dependência espacial das características estudadas

A Tabela 4.1 mostra os parâmetros dos modelos de semivariogramas avaliados neste trabalho: efeito pepita ( $\tau^2$ ), contribuição ( $\sigma^2$ ), alcance ( $\phi$ ), Critério de Informação de Akaike (AIC) e Grau de Dependência Espacial (DE) para cada uma das 4 situações avaliadas. Os modelos de semivariogramas avaliados foram comparados através do AIC. Conforme o trabalho de Burnhan & Anderson (2002), se a diferença entre os valores de AIC for superior a 2, as curvas proporcionadas pelos modelos diferirão estatisticamente. Com base nessas informações, no presente estudo, a maioria das curvas dos modelos exponencial e esférico não diferenciou entre si, exceto para a medição 2005/2004 para Área Basal em que o modelo esférico foi superior ao modelo exponencial. Assim sendo, nas situações de igualdade entre os modelos, optou-se por trabalhar com o modelo exponencial, devido à menor complexidade matemática da função de correlação usada no sistema de matriz da krigagem. Desta forma, as discussões dos parâmetros serão efetuadas com base nos parâmetros do modelo exponencial para todas as características e idades avaliadas, exceto para a Área Basal na medição 2005/2004. Mello (2004) também selecionou o modelo exponencial para modelar a estrutura espacial do Volume com Casca aos 7 anos de idade.

Avaliando o grau de Dependência Espacial conforme apresentado por Biondi et al. (1994), todas as características avaliadas em todas as idades apresentaram-se estruturadas espacialmente, ou seja, as semivariâncias podem ser modeladas por um modelo autorizado (Isaaks & Srivastava, 1989). Para Altura Dominante, Área Basal e Volume, o comportamento da Dependência Espacial foi semelhante ao encontrado por Mello (2004) e Samra et al. (1989).

Conforme a classificação de Biondi et al. (1994), o grau de Dependência Espacial (DE) > 75% é considerado alto e entre 35 e 75%, médio. Para a Altura Dominante, o grau de Dependência Espacial foi alto para as situações em que a

floresta estava com mais de 24 meses de idade. O volume apresentou o mesmo comportamento, enquanto a Área Basal diminuiu os valores de Dependência Espacial para idades superiores a 24 meses. O alcance também é um parâmetro que reflete o grau de continuidade espacial. A Altura Dominante foi a característica que obteve o valor do alcance ( $\phi$ ) aumentando entre as medições, exceto 2003/2005. Este aumento foi responsável pela diferenciação das curvas, à medida em que a floresta aumentou de idade.

Estes resultados evidenciaram que o grau de continuidade espacial das características avaliadas variou com a idade da floresta, conforme ilustra a Figura 4.4. Nos gráficos apresentados nessa Figura, é possível verificar o comportamento da continuidade espacial das três características avaliadas. De maneira geral, as curvas revelaram um comportamento semelhante em cada medição, sendo que a curva de Altura Dominante foi a que mais se diferenciou em relação às demais, à medida em que a floresta foi se desenvolvendo. Já as curvas de Área Basal e Volume apresentaram comportamentos semelhantes em todas as medições. O cerne dessa questão é que a estrutura de continuidade espacial se manteve para as três características, até a floresta estar com 3 anos de idade, mostrando, portanto, que assumir independência estatística para qualquer análise que envolve estas três características é desperdiçar informações contidas no grau de correlação entre as unidades amostrais.

TABELA 4.1 Parâmetros estimados para os modelos testados e os respectivos valores de Critério de Informação de Akaike (AIC) e Dependência Espacial (DE) para as medições realizadas em 2003, 2004 e para as remedições dessas duas situações em 2005. Os parâmetros das equações selecionadas em cada situação aparecem em negrito.

VAR	MEDIÇÃO	EXPONENCIAL					ESFÉRICO				
		$\tau^2$ ( <sup>1</sup> )	$\sigma^2$ ( <sup>1</sup> )	$\phi$ (m)	DE (%)	AIC	$\tau^2$ ( <sup>1</sup> )	$\sigma^2$ ( <sup>1</sup> )	$\phi$ (m)	DE (%)	AIC
HD (m)	2003	<b>0,1598</b>	<b>0,250</b>	<b>384,00 (1152)</b>	<b>61,0</b>	<b>89,420</b>	0,1700	0,200	612,0	54,1	90,00
	2004	<b>0,0226</b>	<b>2,127</b>	<b>122,00 (366)</b>	<b>99,0</b>	<b>180,35</b>	0,5500	1,900	533,0	77,6	180,0
	2005/2003	<b>0,4500</b>	<b>2,190</b>	<b>191,00 (573)</b>	<b>82,9</b>	<b>181,10</b>	0,7600	1,830	477,0	70,6	181,0
	2005/2004	<b>0,0000</b>	<b>2,460</b>	<b>208,00 (624)</b>	<b>100,0</b>	<b>176,00</b>	0,5000	1,990	589,0	79,9	174,0
AB (m <sup>2</sup> )	2003	<b>0,0624</b>	<b>0,205</b>	<b>427,00 (1281)</b>	<b>76,7</b>	<b>60,600</b>	0,0600	0,170	651,0	73,9	58,70
	2004	<b>0,3000</b>	<b>0,886</b>	<b>102,50 (307,5)</b>	<b>74,7</b>	<b>154,00</b>	0,7400	0,450	589,0	37,8	154,5
	2005/2003	<b>0,7000</b>	<b>1,590</b>	<b>101,00 (303)</b>	<b>69,4</b>	<b>181,00</b>	0,7000	1,560	255,0	69,0	181,2
	2005/2004	0,2300	2,420	54,60 (163,8)	91,3	197,20	<b>0,7000</b>	<b>1,920</b>	<b>146,0</b>	<b>73,3</b>	<b>194,8</b>
VCC (m <sup>3</sup> )	2003	<b>1,4500</b>	<b>3,710</b>	<b>350,00 (1050)</b>	<b>71,9</b>	<b>208,06</b>	1,5100	3,343	641,7	68,9	206,9
	2004	<b>24,220</b>	<b>108,54</b>	<b>108,99 (326,9)</b>	<b>81,7</b>	<b>390,26</b>	19,710	110,4	212,4	84,8	390,3
	2005/2003	<b>50,000</b>	<b>247,10</b>	<b>109,00 (327)</b>	<b>83,2</b>	<b>388,00</b>	50,000	272,2	427,0	84,4	388,0
	2005/2004	<b>0,0000</b>	<b>436,90</b>	<b>95,50 (186,5)</b>	<b>100,0</b>	<b>448,80</b>	50,000	375,7	199,0	88,3	447,0

(<sup>1</sup>) unidade da característica dendrométrica ao quadrado

Os parâmetros do modelo selecionado para cada uma das situações variaram de uma medição para outra. Este ponto é fundamental quando se pensa em estratificar a floresta com base na continuidade espacial, mostrando, assim, que o efeito da competição entre plantas exerceu influência na estrutura de continuidade espacial. Isso indica que as análises estatísticas devem considerar a componente espacial no processo de inferência realizado nas idades avaliadas nesse estudo.

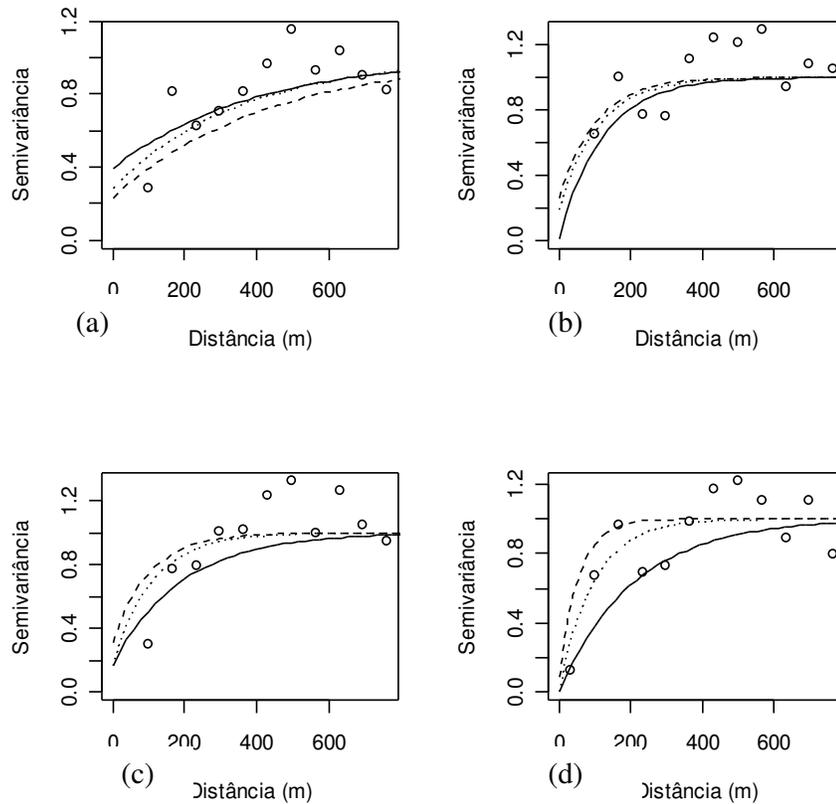


FIGURA 4.4 Gráficos de semivariâncias escalonadas para medições de 2003 (a), 2004 (b) e respectivas remeidições em 2005 (c e d), sendo \_\_\_\_\_ Altura Dominante (HD), ----- Área Basal (AB) e ..... Volume com casca (VCC)

Kanegae Júnior (2004) avaliou a dependência espacial de uma série de projetos de *Eucalyptus* spp. e encontrou valores de dependência espacial variando de 0 a 100%, para quatro características dendrométricas (volume, área basal, altura dominante e índice de sítio), sugerindo, pois, que cada caso num empreendimento florestal deve ser avaliado e que, nos casos onde a dependência

espacial for baixa ou inexistente, deve-se continuar empregando os estimadores da estatística clássica. O autor acrescenta que a maioria dos projetos sem estrutura de dependência espacial encontra-se em regiões montanhosas, onde a estrutura do relevo desfavorece a relação espacial entre as unidades amostrais. A partir desses resultados, o autor afirma que a relação espacial depende de uma gama de fatores que se interagem para proporcionar a estrutura de continuidade espacial.

Segundo Pitter & Ribeiro Júnior (1999), existe uma relação de ortogonalidade entre o efeito pepita ( $\tau^2$ ) e o alcance ( $\phi$ ). Quanto menor o efeito pepita, maior o alcance, o que confere maior continuidade espacial / temporal ao fenômeno estudado. No presente estudo, essa ortogonalidade foi verificada a partir da medição de 2003 para a medição 2005 / 2003, e a partir da medição de 2004 para a medição 2005 / 2004, exceto para a variável volume, onde tanto o efeito pepita quanto o alcance diminuíram.

Para todas as características dendrométricas avaliadas houve uma redução da continuidade espacial das medições realizadas em 2003 e 2004, em relação às suas respectivas remedições realizadas em 2005. Esse enfraquecimento da continuidade espacial não pode ser visto no cálculo da Dependência Espacial (DE), uma vez que esse índice é uma combinação das variâncias envolvidas no processo. No início, a continuidade espacial é alta, pois não está havendo forte competição entre as plantas. Ou seja, o padrão de crescimento é semelhante, conferindo maior continuidade espacial. À medida em que aumenta a competição entre plantas, o efeito sítio começa a atuar no processo de crescimento da floresta. Este efeito provoca uma “fragmentação” no crescimento da floresta, quebrando, assim, a estrutura de continuidade espacial. Para a Altura Dominante esse comportamento é menos expressivo do que para a Área Basal e o Volume.

Para a variável Área Basal, o efeito pepita ( $\tau^2$ ) aumentou de uma medição para a outra, enquanto o alcance ( $\phi$ ) diminuiu, exibindo o mesmo comportamento observado por Kanegae Júnior (2004). Mas é importante observar que, embora a componente aleatória (efeito pepita) tenha aumentado, a variação estruturada (contribuição) também aumentou, indicando que a componente espacial manteve forte influência na explicação da variação total. Considerando que o alcance reflete diretamente o grau de continuidade espacial da variável regionalizada, quanto maior o seu valor, maior o grau de estruturação da variável em questão.

Assim, pelas informações da Tabela 4.1, a Altura dominante foi a variável que apresentou melhor performance de continuidade espacial ao longo do tempo para as medições realizadas.

A Figura 4.5 apresenta os semivariogramas ajustados para as quatro medições de Altura Dominante avaliadas neste estudo, mostrando a continuidade espacial dessa variável. Os gráficos com os semivariogramas selecionados para a Área Basal e o Volume encontram-se no Anexo C.

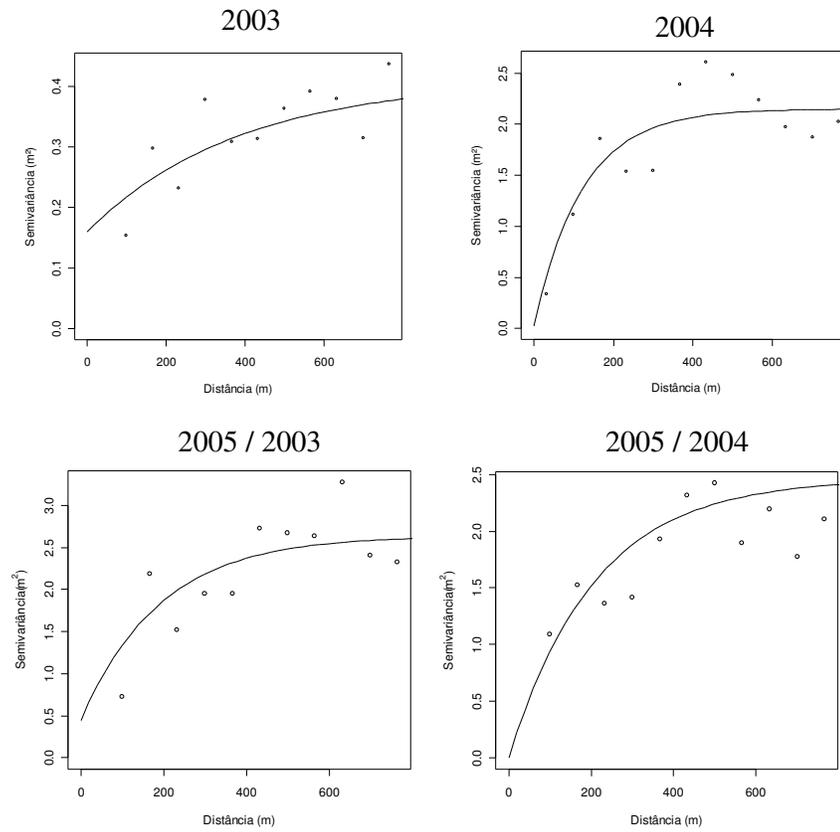


FIGURA 4.5 Modelo exponencial ajustado para os semivariogramas das medições de Altura Dominante realizadas em 2003 e 2004 e dados de 2005 referentes às parcelas instaladas em 2003. Para a remedição das parcelas instaladas em 2004, o gráfico representa o ajuste do modelo esférico.

### 4.3 Estratificação com base na krigagem

A Tabela 4.2 mostra os intervalos de Altura Dominante, Área Basal e Volume com Casca que compõem cada uma das três classes definidas pela krigagem, para cada idade de medição considerada. Estas classes estão representadas na forma de cores na Figura 4.6. Com base nessas classes foi possível avaliar a representatividade da superamostragem sobre a variabilidade da floresta. Elas também foram utilizadas para selecionar as parcelas que deverão ficar como permanentes.

TABELA 4.2 Intervalos de Altura Dominante (HD), Área Basal (AB) e Volume com Casca (VCC), conforme a krigagem para as diferentes medições realizadas

HD (m)	ANO DE MEDIÇÃO							
	2003		2005/2003		2004		2005/ 2004	
	LI	LS	LI	LS	LI	LS	LI	LS
<b>CLASSE 3</b>	6,41	6,94	15,51	17,30	11,54	13,21	15,49	17,31
<b>CLASSE 2</b>	6,95	7,48	17,31	19,10	13,22	14,89	17,32	19,14
<b>CLASSE 1</b>	7,49	8,02	19,11	20,90	14,90	16,57	19,15	20,97
AB (m <sup>2</sup> )	2003		2005/2003		2004		2005/ 2004	
	LI	LS	LI	LS	LI	LS	LI	LS
	<b>CLASSE 3</b>	1,61	2,09	11,41	13,13	7,50	8,58	12,14
<b>CLASSE 2</b>	2,10	2,58	13,14	14,86	8,59	9,67	13,89	15,63
<b>CLASSE 1</b>	2,59	3,07	14,87	16,59	9,68	10,76	15,64	17,38
VCC (m <sup>3</sup> )	2003		2005/2003		2004		2005/ 2004	
	LI	LS	LI	LS	LI	LS	LI	LS
	<b>CLASSE 3</b>	1,53	3,60	84,62	106,00	39,60	51,95	82,63
<b>CLASSE 2</b>	3,61	5,60	106,01	127,39	51,96	64,31	106,86	131,08
<b>CLASSE 1</b>	5,61	7,60	127,40	148,78	64,32	76,67	131,09	155,31

No que se refere à área ocupada por cada estrato dentro do projeto, verificou-se na Tabela 4.3 que, de um modo geral, as tendências observadas aos 12 meses (2003) se confirmaram na medição realizada aos 24 meses (2004). Ou seja, houve um aumento das áreas da classe intermediária. Num primeiro instante, pode-se pensar em estabelecer uma amostragem que proporcione maior número de parcelas nessa classe. Assim, em termos médios, a amostragem da floresta representaria suficientemente bem a variabilidade existente.

É importante observar que a área total obtida pela soma das áreas de cada estrato é superior à área de efetivo plantio do projeto. A explicação para tal fato é que as áreas dos estratos são obtidas no processo de krigagem, a partir da multiplicação da área representada por cada pixel pelo número de pixels de cada classe. Como a superfície de krigagem é contínua, a soma das áreas dos estratos engloba também as áreas ocupadas por estradas, rede elétrica e outros usos que se encontram mescladas com os talhões.

Na Tabela 4.3, observou-se que, para as três características avaliadas, a proporção amostral em cada estrato se manteve equilibrada, mostrando, assim, a estabilidade da representatividade das amostras sobre a população. Essas tendências ficam mais evidentes nos gráficos apresentados na Figura 4.6. A característica Área Basal pode ser tomada como exemplo, pois nesta situação houve maior migração das áreas das classes extremas. Quando houve diminuição da área da classe, ocorreu aumento da proporção amostrada. Este resultado mostrou que a amostragem efetuada com base no mapa de krigagem, quando há estrutura de continuidade espacial, produziu uma situação bastante desejada em inventário, ou seja, o equilíbrio amostral (representatividade) entre as diferentes classes de produtividade. Isso mostra que esta é uma alternativa interessante para alocar as parcelas permanentes.

TABELA 4.3 Divisão da área (em hectares) e das parcelas nos diferentes estratos (Classes) a partir da krigagem com base nas variáveis Altura Dominante, Área Basal e Volume com casca, para as medições 2003/05 e 2004/05

MEDIÇÃO	CLASSE	Altura Dominante			Área Basal			Volume Com Casca		
		ÁREA (há)	Parc	ha / parcela	ÁREA (ha)	Parc	ha / parcela	ÁREA (ha)	Parc	ha / Parcela
2003	CLASSE 3	36,19	13	2,78	37,77	12	3,15	49,99	17	2,94
	CLASSE 2	104,53	26	4,02	86,39	23	3,76	92,27	19	4,86
	CLASSE 1	39,04	9	4,34	55,84	13	4,29	37,73	12	3,14
2005/2003	CLASSE 3	28,26	12	2,36	2,15	6	0,36	25,67	16	1,60
	CLASSE 2	116,73	24	4,86	147,71	28	5,28	146,87	25	5,87
	CLASSE 1	35,01	12	2,92	30,14	14	2,15	7,46	7	1,07
2004	CLASSE 3	18,88	11	1,72	27,01	13	2,08	41,46	19	2,18
	CLASSE 2	116,12	24	4,84	140,21	26	5,39	128,12	20	6,41
	CLASSE 1	44,99	15	3,00	12,77	11	1,16	10,42	11	0,95
2005/2004	CLASSE 3	31,58	11	2,87	9,51	13	0,73	17,94	10	1,79
	CLASSE 2	95,46	24	3,98	164,94	25	6,60	135,34	25	5,41
	CLASSE 1	52,95	15	3,53	5,54	12	0,46	26,71	15	1,78

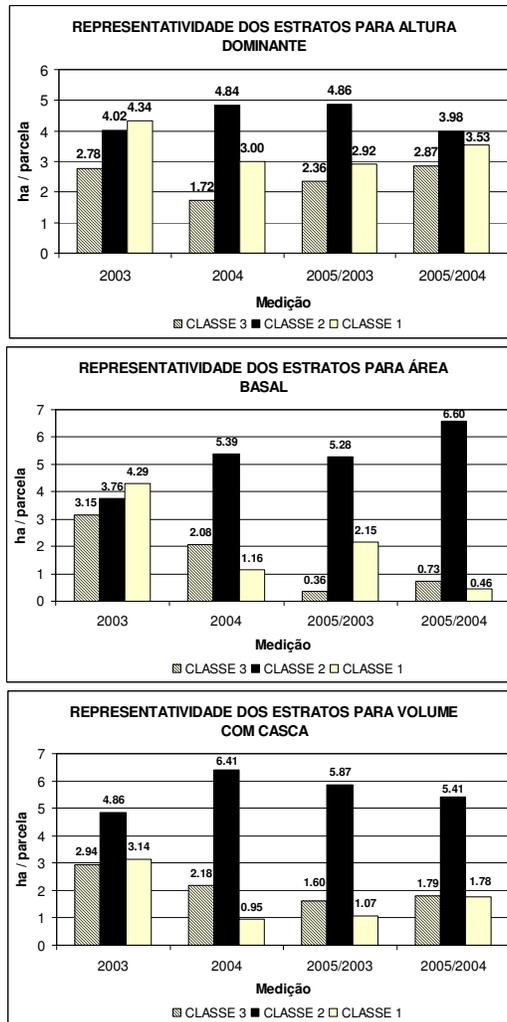


FIGURA 4.6 Representatividade de cada estrato, nas diferentes medições, para as três variáveis estudadas

Na Figura 4.7 observa-se a estratificação da área proporcionada pela krigagem realizada para as três características dendrométricas na medição de 2003 e na remedição das parcelas de 2003 realizada em 2005. Os valores mais

altos (Classe 1) aparecem em amarelo, os intermediários (Classe 2), em laranja e os menores valores (Classe 3), em vermelho.

A Figura 4.8 traz os mapas com os resultados da krigagem para Altura Dominante, Área Basal e Volume baseados nas parcelas instaladas aos 24 meses de idade e remeidas aos 36 meses. Novamente, os valores mais altos (Classe 1) aparecem em amarelo, os intermediários (Classe 2), em laranja e os menores valores (Classe 3), em vermelho. Conforme constatado na Tabela 5.3, os gráficos realçam o aumento de área na classe intermediária (laranja).

As três características avaliadas em 2003 apresentaram um mapa de krigagem com semelhança bastante considerável. Este resultado evidenciou a igualdade da estrutura espacial destas características aos 12 meses de idade, conforme detectado na figura 4.4 (a). Este mesmo resultado foi confirmado com as características avaliadas em 2004, onde o semivariograma escalonado mostrou que houve uma semelhança na estrutura de continuidade espacial das características avaliadas aos 24 meses de idade - Figura 5.4(b).

Pelos mapas de krigagem das três características em 2003, foi possível verificar três talhões com baixos valores de produtividade. Estes talhões se referem ao 6, 12 e 13 plantados com os materiais genéticos D e F (Tabela 3.1), que são diferentes do restante do povoamento. Conforme o cadastro, este clone compõe apenas 8% dos materiais genéticos plantados em Barra do Riacho (ES). Estas áreas persistiram até as medições de 2005, mas numa menor escala, sobretudo para área basal, mostrando que estes clones recuperaram em diâmetro e tiveram um comportamento relativamente estável para Altura Dominante, com baixos valores, o que contribuiu fortemente para que o volume também aparecesse com valores baixos nestes talhões.

Comparando as krigagens de 2003 com 2005/2003 e 2004 com 2005/2004, constatou-se que: o mapa da Altura Dominante foi semelhante nos 3 anos de avaliação; a Área Basal se recuperou acentuadamente dos 12 para os 24

meses e moderada de 24 para 36 meses e, para volume, não foi tão acentuada quanto para área basal e nem pouco quanto à Altura Dominante. Com as análises visuais dos mapas de krigagem, pode-se inferir que as parcelas permanentes poderiam ser estabelecidas aos 12 meses de idade, caso a krigagem fosse efetuada com base na Altura Dominante. Avaliando a Área Basal, as parcelas permanentes deveriam ser estabelecidas somente a partir da medição aos 24 meses.

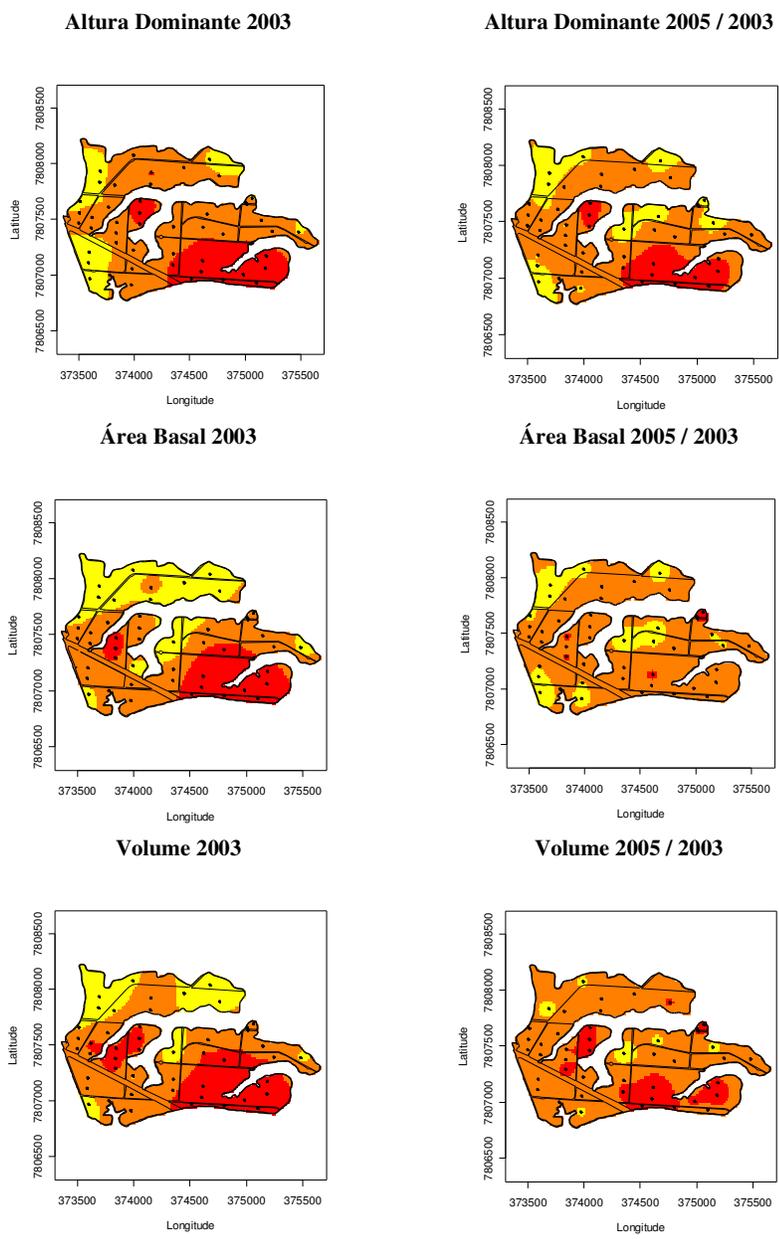
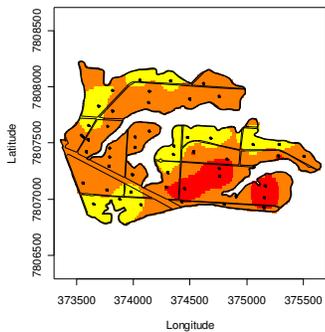
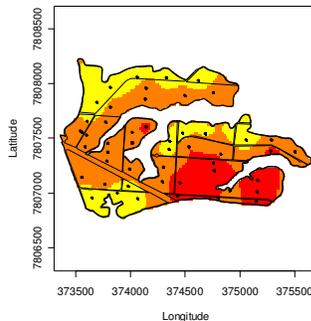


FIGURA 4.7 Mapas de krigagem das medições de 2003 e respectivas remeções em 2005 para as variáveis estudadas

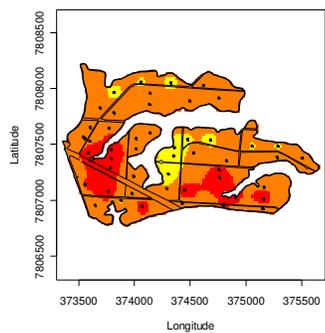
**Altura Dominante 2004**



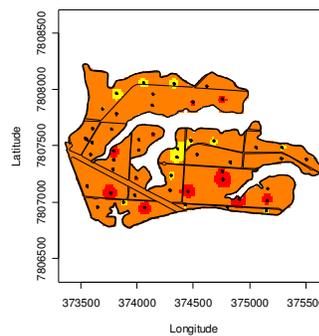
**Altura Dominante 2005 / 2004**



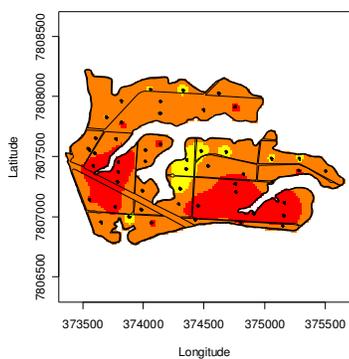
**Área Basal 2004**



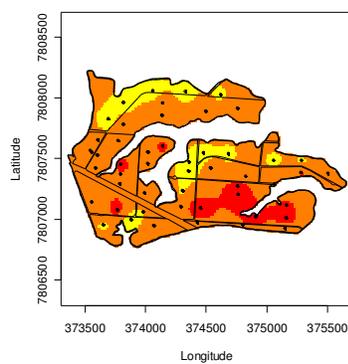
**Área Basal 2005 / 2004**



**Volume 2004**



**Volume 2005 / 2004**



**FIGURA 4.8** Mapas de krigagem das medições de 2004 e respectivas remedições em 2005 para as variáveis estudadas

#### **4.4 Estabilidade das parcelas dentro de cada estrato**

As Tabelas do Anexo D mostram a classificação das parcelas medidas aos 12 meses de idade e a classificação das suas remedições aos 36 meses, para as três características dendrométricas estudadas; bem como as mesmas classificações para as parcelas medidas aos 24 meses de idade, nos estratos da krigagem para as três características dendrométricas, com as respectivas remedições aos 36 meses. A partir delas foi possível gerar as tabelas 4.4 e 4.5 que contêm as informações resumidas referentes à estabilidade das parcelas entre as medições.

Comparando cada parcela instalada aos 12 ou aos 24 meses de idade com sua respectiva remedição realizada aos 36 meses, observou-se que as parcelas instaladas aos 24 meses foram mais estáveis com relação à estratificação (krigagem) do que as parcelas instaladas aos 12 meses de idade. Ou seja, o percentual de parcelas que não mudou de classe por ocasião da remedição foi menor na comparação entre as medições de 2003 e 2005 do que na comparação entre 2004 e 2005, para as três características avaliadas. A princípio, independente da variável, o estabelecimento de estratos na medição aos 12 meses pode levar a uma instabilidade das parcelas alocadas em cada estrato. Esta é uma situação não desejada para o estabelecimento de parcelas permanentes, as quais serão responsáveis pelo monitoramento do crescimento da floresta.

A altura dominante foi a característica dendrométrica mais estável, uma vez que 77% das parcelas classificadas aos 12 meses, permaneceram na mesma classe aos 36 meses (Tabela 4.4). Este percentual subiu para 85%, quando se efetuou a classificação aos 24 meses e remedição aos 36 meses (Tabela 4.5). Considerando a estratificação aos 12 meses, a característica Área Basal foi a mais instável na medição de 36 meses (39,6%), seguida do volume com uma instabilidade de 58,3%. Efetuando a estratificação aos 24 meses de idade, o

percentual de parcelas estáveis nos estratos, para área basal, subiu para 79%, enquanto o percentual do volume foi para 77%. Com o aumento do percentual de estabilidade para a classificação efetuada aos 24 meses, pode-se inferir que a estratificação realizada nesta idade proporciona uma condição melhor para se estabelecer as parcelas permanentes.

TABELA 4.4 Número de parcelas estáveis nos estratos definidos pela krigagem realizada com a medição aos 12 meses (2003) e remedição aos 36 meses (2005), a partir das 48 parcelas estabelecidas no povoamento

<b>BASE DE ESTRATIFICAÇÃO</b>	<b>NÚMERO DE PARCELAS ESTÁVEIS</b>	<b>PERCENTUAL DE PARCELAS ESTÁVEIS</b>
<b>HD</b>	37	77,1
<b>AB</b>	19	39,6
<b>VCC</b>	28	58,3

TABELA 4.5 Número de parcelas estáveis nos estratos definidos pela krigagem realizada com a medição aos 24 meses (2004) e remedição aos 36 meses (2005), a partir das 50 parcelas estabelecidas no povoamento

<b>BASE DE ESTRATIFICAÇÃO</b>	<b>NÚMERO DE PARCELAS ESTÁVEIS</b>	<b>PERCENTUAL DE PARCELAS ESTÁVEIS</b>
<b>HD</b>	41	85,4
<b>AB</b>	38	79,2
<b>VCC</b>	37	77,1

Uma comparação entre as classificações de cada parcela, de acordo com os diferentes mapas de krigagem, evidencia que a já comprovada correlação entre as características dendrométricas estudadas se mantém na representatividade das parcelas dentro dos estratos. A Tabela 4.6 mostra o percentual de parcelas que obteve a mesma classificação em dois ou três mapas de krigagem. Por exemplo, observa-se que 43,75% das parcelas medidas aos 12 meses de idade obtiveram a mesma classificação nos três mapas de krigagem

confeccionados (com base na Altura Dominante, Área Basal e Volume com Casca). Nessa mesma idade de medição, assim como nas duas outras, se o mapa da Altura Dominante for desconsiderado, a proporção de parcelas colocadas na mesma classe apenas de acordo com as krigagens baseadas no Volume e na Área Basal, aumenta em até 37,5 pontos percentuais. Esse exemplo ocorreu na medição de 2003, quando 81,25% das parcelas mostraram a mesma classificação nas krigagens baseadas em Volume e Área Basal.

TABELA 4.6 Percentual de parcelas com a mesma classificação de acordo com a krigagem baseada em duas ou mais características dendrométricas

CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS	MEDIÇÃO			
	2003	2005 / 2003	2004	2005 / 2004
HD, AB e VCC	43,75	45,83	52,00	52,00
HD e AB	50,00	58,33	60,00	54,00
HD e VCC	56,25	77,08	58,00	76,00
AB e VCC	81,25	56,25	82,00	74,00

De acordo com as observações feitas no item 5.4 do presente estudo, a Altura Dominante foi a variável que propiciou a classificação mais estável das parcelas ao longo do tempo. Analisando-se a Tabela 5.6, tendo em mente essa informação, observa-se um comportamento interessante das interações entre a variável Altura Dominante e as outras duas variáveis estudadas. Até os 24 meses de idade, observa-se que o volume está mais diretamente relacionado à Área Basal do que à Altura Dominante, considerando-se que mais de 80% das parcelas tiveram exatamente a mesma classificação segundo esses dois critérios. Isso não significa que o volume não tenha relação com a Altura Dominante. Vale lembrar que mais de 50% das parcelas obtiveram classificações idênticas de acordo com as krigagens baseadas nessas duas variáveis. No entanto, aos 36 meses, os efeitos dos tratamentos silviculturais dados ao povoamento no início

do ciclo já não são tão evidentes e a capacidade produtiva dos sítios se faz mais clara. Isso explica o fato de o Volume passar a ter um comportamento (em termos de classificação), mais parecido com o comportamento da Altura Dominante, que é a variável utilizada para expressar a capacidade do sítio, do que com o comportamento da Área Basal.

Além disso, as informações de inventário que normalmente são mais importantes no início do ciclo, dizem respeito à variabilidade e ao padrão de desenvolvimento da floresta, e não ao volume propriamente dito. Mais uma vez, a Altura Dominante se sobressai como variável indicada para lastrear a estratificação aos 12 meses, tendo em vista que é ela a característica que melhor representa a variabilidade nessa idade, e é também ela que, no futuro, estará mais ligada à variável volume, garantindo que essa característica seja bem representada pelas parcelas instaladas no povoamento.

#### **4.5 Estabilidade das 17 parcelas permanentes nos estratos**

Considerando apenas as 17 parcelas médias selecionadas (pelos diferentes critérios), a Tabela 4.7 mostra o número de parcelas estáveis de uma medição para a subsequente. O Anexo E contém as tabelas que mostram as parcelas selecionadas como parcelas médias aos 12 e aos 24 meses de idade, com as respectivas classificações aos 12, 24 e aos 36 meses de idade, para todas as combinações possíveis entre as variáveis dendrométricas estudadas como critério de seleção de parcelas médias e critério-base para krigagem aos 12 e 24 meses.

Observou-se que a combinação mais estável, ou seja, a que apresentou maior número de parcelas que permaneceram na mesma classe nas duas medições foi a seleção de parcelas médias com base na Altura Dominante (aos 12 meses), aplicada sobre a estratificação proporcionada pela krigagem com base também na Altura Dominante. Para essa combinação, 14 das 17 parcelas

componentes da amostra permaneceram na mesma classe por ocasião da remedição das parcelas na área.

TABELA 4.7 Número de parcelas estáveis nos estratos definidos pela krigagem realizada com a medição aos 12 meses (2003) e remedição aos 36 meses (2005), a partir das 17 parcelas selecionadas como parcelas médias em relação às três características dendrométricas

<b>CRITÉRIO DE SELEÇÃO</b>	<b>BASE DE ESTRATIFICAÇÃO</b>		
	<b>HD</b>	<b>AB</b>	<b>VCC</b>
<b>HD</b>	14	07	10
<b>AB</b>	13	07	08
<b>VCC</b>	13	08	10

Na Tabela 4.7 observa-se que, se a estratificação por meio da krigagem for feita com base na Altura Dominante, as parcelas médias de cada talhão podem ser selecionadas tanto pela média das Alturas Dominantes quanto pelas médias da Área Basal ou do Volume com Casca. Mas a seleção das parcelas médias com base na Altura Dominante aos 12 meses e a estratificação por meio da krigagem com Altura Dominante foi a combinação mais estável. Nessa situação, apenas 3 das 17 parcelas selecionadas mudaram de classe de produtividade. Do ponto de vista da utilização de parcelas permanentes para acompanhamento do crescimento florestal, esse fato é extremamente relevante, uma vez que assegura a estabilidade das parcelas dentro de uma mesma classe de sítio.

Embora as variáveis Área Basal e Volume possam ser utilizadas como critério de seleção das parcelas médias, essas duas características dendrométricas se mostraram bastante instáveis para servirem de base para a krigagem aos 12 meses de idade, tendo em vista o grande número de parcelas que mudaram de classe na medição realizada aos 36 meses.

Comparando as medições realizadas aos 24 e 36 meses, cujas classificações são mostradas na Tabela 4.8, constata-se que 100% das parcelas classificadas com base na Altura Dominante aos 24 meses, e selecionadas em função da Altura Dominante, permaneceram na mesma classe por ocasião da medição realizada aos 36 meses.

TABELA 4.8 Número de parcelas estáveis nos estratos definidos pela krigagem realizada com a medição aos 24 meses (2004) e remedição aos 36 meses (2005), a partir das 17 parcelas selecionadas como parcelas médias em relação às três características dendrométricas

<b>CRITÉRIO DE SELEÇÃO</b>	<b>BASE DE ESTRATIFICAÇÃO</b>		
	<b>HD</b>	<b>AB</b>	<b>VCC</b>
<b>HD</b>	17	13	13
<b>AB</b>	15	13	14
<b>VCC</b>	11	08	11

Conforme se constata na Tabela 4.8, se for feita opção pela estratificação aos 24 meses de idade, e não aos 12, existirão ainda outras opções tanto para a krigagem quanto para o critério de seleção das parcelas médias. Se a seleção das parcelas permanentes for feita aos 24 meses de idade, será possível utilizar como base para a estratificação as krigagens lastreadas em qualquer uma das três características dendrométricas estudadas: Altura Dominante, Área Basal e Volume com Casca. É importante lembrar, porém, que o Volume com Casca não se mostrou uma variável estável, quando foi utilizado como critério de seleção das parcelas médias, para nenhuma das três krigagens estudadas.

Cabe destacar que, para realização da krigagem com Área Basal, pode-se medir apenas o DAP dos indivíduos nas parcelas, ou ainda utilizar Pontos de Bitterlich para se obter uma intensa rede amostral que viabilize bons modelos espaciais e, conseqüentemente, um mapa de krigagem de alta qualidade.

#### **4.6 Análise da qualidade das estimativas**

A Tabela 4.10 mostra os resultados das situações que envolvem toda a base de dados (Situações de 1 a 4). Nela se observa o comportamento da base de dados completa, ou seja, 49 parcelas medidas em 2003 e remeidas em 2005, e outras 50 parcelas instaladas em 2004 e remeidas em 2005, tratadas como um único estrato, usando Amostragem Casual Simples; os resultados médios da Amostragem Casual Simples por talhão (ACS\_TAL); os resultados das parcelas tratadas como Amostragem Casual Estratificada, tendo os estratos definidos pela krigagem em função da Altura Dominante, da Área Basal e do Volume com Casca; e ainda os resultados das médias e variâncias espaciais. Conforme esperado, observa-se nessa tabela que, para todas as medições e todas as variáveis estudadas o tratamento dos dados dentro do conceito de estratos controla melhor as variabilidades e, conseqüentemente, leva a menores valores de Erro Padrão da Média, seja qual for a característica dendrométrica utilizada como base para a estratificação. Ou seja, ainda que sejam mantidos os procedimentos de instalação de parcelas por talhão, aos 12 meses e a estratificação cadastral de acordo com a qual a área em questão compõe um único estrato homogêneo, a krigagem pode ser utilizada como base para uma pós-estratificação da área, gerando ganhos de precisão para as estimativas de Altura Dominante, Área Basal e Volume com Casca.

Quando se comparam as estratificações com base nas diferentes características dendrométricas e seus efeitos sobre o Erro Padrão da Média dessas mesmas variáveis observa-se que, para a realização de inventários a partir dos 24 meses de idade, a variável que propiciou as melhores estimativas quando utilizada como base para a krigagem, foi o Volume com Casca. Ou seja, quando a krigagem foi baseada no Volume com Casca, obteve-se o melhor conjunto de valores de Erro Padrão da Média para a Altura Dominante (HD), Área Basal (AB) e Volume com Casca (VCC), conforme mostra a Tabela 5.10.

Essa mesma tendência pôde ser observada por ocasião da remedição dessas parcelas aos 36 meses.

Em contrapartida, quando se analisam as parcelas instaladas aos 12 meses de idade e respectivas remedições aos 36 meses, observa-se um comportamento diferente em relação ao controle da variabilidade por meio da krigagem. Aos 12 meses, o Volume com Casca foi também a característica que apresentou resultados de Erro Padrão da Média mais estáveis para as três características dendrométricas estudadas. No entanto, por ocasião da remedição dessas parcelas aos 36 meses de idade, observou-se que a krigagem com base no volume gerou os piores resultados em termos de Erro Padrão da Média, ou seja, o volume foi a variável menos eficiente no controle da variabilidade da população estudada. Nesse contexto, se a opção for estratificar a floresta precocemente, aos 12 meses de idade, a característica dendrométrica mais indicada para embasar a krigagem e a estratificação passará a ser a Altura Dominante, uma vez que essa variável apresentou melhor desempenho para controlar a variabilidade da população aos 36 meses, quando as informações de volume e área basal têm mais importância.

TABELA 4.10 Resultados de Médias, Coeficientes de Variação e Erro Padrão da Média das variáveis Altura Dominante (HD), Área Basal (AB) e Volume com Casca (VCC), para o conjunto total de parcelas, tratado como Amostragem Casual Simples em um único estrato (ACS), Amostragem Casual Simples por talhão (ACS\_TAL), os cálculos das médias e variâncias espaciais (GEOEST) e o tratamento dos dados como Amostragem Casual Estratificada com base nas três características dendrométricas em estudo

MEDIÇÃO	AMOS TRAGEM	BASE KRIGAGEM	Média			Coeficiente de Variação			Erro Padrão da Média		
			HD	AB	VCC	HD	AB	VCC	HD	AB	VCC
2003	ACS	-	7,21	2,32	4,26	8,65	21,02	51,42	0,23	0,32	1,06
	ACS TAL	-	7,23	2,37	4,48	5,87	10,79	31,03	0,16	0,16	0,58
	GEOEST	-	7,31	2,46	4,84	-	-	-	0,22	0,21	0,80
	ACE	HD	7,32	2,38	4,51	3,39	11,65	21,13	0,09	0,18	0,45
	ACE	AB	7,25	2,37	4,46	4,49	6,44	17,58	0,12	0,10	0,37
	ACE	VCC	7,23	2,33	4,26	3,99	6,66	15,95	0,11	0,10	0,33
	2005_03	ACS	-	18,33	14,27	116,02	8,82	10,85	18,10	0,38	0,41
ACS TAL		-	18,42	14,52	119,05	4,07	5,14	8,00	0,17	0,19	0,88
GEOEST		-	18,50	14,37	114,00	-	-	-	0,42	0,28	2,23
ACE		HD	18,38	14,23	115,74	2,78	5,67	6,82	0,12	0,21	0,73
ACE		AB	17,91	14,18	112,52	4,80	4,01	6,89	0,20	0,15	0,73
ACE		VCC	18,41	14,46	117,75	5,23	6,63	11,26	0,22	0,25	1,22
2004	ACS	-	14,29	9,04	55,79	10,32	12,19	20,91	0,39	0,36	1,55
	ACS TAL	-	14,23	9,01	55,53	4,40	7,50	11,30	0,16	0,22	0,82
	GEOEST	-	14,37	9,09	56,36	-	-	-	0,31	0,20	3,44
	ACE	HD	14,32	8,93	55,13	2,89	6,03	7,71	0,11	0,18	0,57
	ACE	AB	14,04	8,99	54,37	6,45	4,16	8,72	0,24	0,12	0,64
	ACE	VCC	14,08	9,02	54,74	5,42	4,23	6,85	0,20	0,13	0,50

Continua...

Continuação...

MEDIÇÃO	AMOS TRAGEM	BASE KRIGAGEM	Média			Coeficiente de Variação			Erro Padrão da Média		
			HD	AB	VCC	HD	AB	VCC	HD	AB	VCC
2005_04	ACS	-	18,31	14,59	118,62	8,17	11,22	17,70	0,35	0,43	1,92
	ACS TAL	-	18,37	14,51	118,55	3,20	6,87	8,45	0,13	0,26	0,90
	GEOEST	-	18,62	14,62	120,03	-	-	-	0,46	0,25	3,97
	ACE	HDOM	18,39	14,60	119,11	1,73	5,60	6,38	0,07	0,21	0,69
	ACE	AB	18,15	14,60	117,18	6,53	8,12	9,41	0,28	0,31	1,01
	ACE	VCC	18,09	14,44	115,69	3,23	5,16	4,81	0,14	0,20	0,51

Considerando apenas as 17 parcelas selecionadas conforme o número sugerido pela metodologia da empresa, as principais considerações feitas para o conjunto total de parcelas se mantiveram. De um modo geral, a Amostragem Casual Estratificada apresentou menores erros do que a Amostragem Casual Simples, conforme se constata na Tabela 4.11; para a medição aos 12 meses de idade; na Tabela 4.12, para a medição aos 24 meses, ambas com as respectivas remedições aos 36 meses de idade. Além das médias das características dendrométricas, um outro critério para seleção utilizado foi o sorteio entre as possíveis combinações de parcelas dentro de cada talhão, naturalmente respeitando o número de parcelas recomendado por talhão. Os resultados médios dos 100 sorteios realizados para cada medição também são apresentados nas Tabelas 4.11 e 4.12.

Os resultados médios dos sorteios levaram a erros quase sempre maiores do que aqueles propiciados pelas estimativas estratificadas por qualquer variável e, eventualmente, os erros encontrados para essa situação superaram até mesmo os obtidos com Amostragem Casual Simples para os diferentes critérios de seleção de parcelas médias.

No caso da seleção das 17 parcelas, além da variação da característica dendrométrica utilizada como base para a krigagem, as três características foram também consideradas como possíveis critérios para seleção das parcelas médias de cada talhão. Assim, cada medição teve como resultado 12 combinações metodológicas diferentes: três critérios para seleção das parcelas médias combinados com quatro tratamentos estatísticos: Amostragem Casual Simples e Amostragem Casual Estratificada com base na Altura Dominante, Área Basal e Volume com Casca.

Para as parcelas instaladas aos 12 meses de idade, cujos resultados são apresentados na Tabela 4.11, nota-se que, na primeira medição, a melhor combinação de valores de Erro Padrão da Média foi encontrada quando se

utilizou a Altura Dominante como critério de seleção das parcelas médias, e as parcelas selecionadas foram processadas com base na Amostragem Casual Estratificada, utilizando-se o Volume como estratificador. No entanto, essa mesma combinação gerou os piores resultados por ocasião da remedição, justamente quando as informações de volume têm mais importância. Esse fato inviabiliza a recomendação do volume como estratificador, lembrando ainda que o volume foi a variável que apresentou maior instabilidade das parcelas ao longo do tempo.

TABELA 4.11 Valores de Média, Coeficiente de Variação e Erro Padrão da Média para as 17 parcelas médias quanto à Altura Dominante (HD), Área Basal (AB) e Volume com Casca (VCC), para as medições de 2003 e respectivas remedições de 2005, considerando ainda as três variáveis dendrométricas como base para a amostragem casual estratificada (ACE), além de toda a área para a Amostragem Casual Simples (ACS)

Ano Medição	Critério Seleção	Amos- tragem	Base Krigagem	Média			Coeficiente de Variação			Erro padrão da Média		
				HD	AB	VCC	HD	AB	VCC	HD	AB	VCC
2003	Sorteio	ACS	-	7,24	2,37	4,46	8,66	22,15	52,56	0,15	0,12	0,55
	HD	ACS	-	7,22	2,33	4,32	7,11	19,22	47,29	0,19	0,29	0,98
		ACE	HD	7,26	2,36	4,39	2,64	10,77	22,59	0,07	0,17	0,47
		ACE	AB	7,26	2,39	4,55	3,84	3,40	12,42	0,10	0,05	0,26
		ACE	VCC	7,26	2,34	4,32	3,11	3,42	10,03	0,08	0,05	0,21
	AB	ACS	-	7,24	2,31	4,26	7,40	20,46	51,08	0,20	0,31	1,05
		ACE	HD	7,25	2,36	4,36	2,68	11,44	26,75	0,07	0,18	0,56
		ACE	AB	7,26	2,34	4,37	3,48	4,08	12,75	0,09	0,06	0,27
		ACE	VCC	7,29	2,32	4,25	3,06	4,36	11,32	0,08	0,07	0,23
	VCC	ACS	-	7,22	2,31	4,21	7,72	20,94	51,04	0,21	0,32	1,05
		ACE	HD	7,21	2,35	4,25	2,86	11,38	24,87	0,08	0,17	0,51
		ACE	AB	7,24	2,34	4,32	4,19	4,20	13,85	0,11	0,06	0,29
		ACE	VCC	7,28	2,32	4,22	3,38	4,07	11,45	0,09	0,06	0,23
	2005	Sorteio	ACS	-	18,44	14,54	119,20	9,38	10,01	18,67	0,41	0,34
HD		ACS	-	18,34	14,04	114,03	7,99	11,87	17,62	0,34	0,44	1,88
		ACE	HD	18,25	14,00	112,77	2,67	6,22	7,77	0,11	0,23	0,82
		ACE	AB	18,05	14,23	113,69	4,43	4,20	7,00	0,19	0,16	0,75
		ACE	VCC	18,48	14,38	117,36	5,56	6,38	12,03	0,24	0,24	1,30

Continua...

Continuação...

Ano Medição	Critério Seleção	Amos- Tragem	Base Krigagem	Média			Coeficiente de Variação			Erro padrão da Média		
				HD	AB	VCC	HD	AB	VCC	HD	AB	VCC
2005	AB	ACS	-	18,14	14,03	112,95	9,76	12,02	19,30	0,41	0,45	2,05
		ACE	HD	18,22	14,14	113,93	3,18	5,35	6,93	0,14	0,20	0,74
		ACE	AB	17,88	14,10	111,56	5,68	3,55	7,92	0,24	0,13	0,84
		ACE	VCC	18,54	14,56	119,35	5,83	5,88	11,49	0,25	0,22	1,25
	VCC	ACS	-	18,19	13,96	112,40	9,70	12,48	19,73	0,41	0,47	2,09
		ACE	HD	18,18	13,94	111,88	2,99	6,36	8,01	0,13	0,24	0,85
		ACE	AB	17,96	14,15	112,10	6,13	3,07	8,03	0,26	0,12	0,85
		ACE	VCC	18,47	14,34	117,01	5,64	6,49	11,91	0,24	0,25	1,29

Ainda na Tabela 4.11, observa-se que as diferentes combinações entre Altura Dominante e Área Basal, enquanto critérios de seleção ou enquanto estratificadores, levaram a resultados bastante parecidos na medição realizada aos 36 meses. Assim, considerando que a Altura Dominante apresenta uma estabilidade de parcelas na mesma classe melhor que a Área Basal, é recomendável que a Altura Dominante seja a variável utilizada tanto para a estratificação quanto para o critério de seleção das parcelas médias. Dessa forma, a base de parcelas permanentes instaladas estaria representando adequadamente a floresta em questão, tanto do ponto de vista do acompanhamento do crescimento, quanto para a geração de informações confiáveis de inventário.

Se a estratificação da área for realizada aos 24 meses, conforme resultados mostrados na Tabela 4.12, se observará mais uma vez a superioridade do procedimento de Amostragem Casual Estratificada (ACE) em relação à Amostragem Casual Simples (ACS). Portanto, também se a seleção de parcela permanentes ocorrer aos 24 meses de idade, será recomendada a utilização da Amostragem Casual Estratificada, devendo-se avaliar ainda qual é a melhor maneira de estratificar e selecionar as parcelas médias de cada talhão.

Considerando os diferentes critérios para seleção das parcelas médias, observou-se que a variável Volume foi a que apresentou, de um modo geral, os maiores valores de Erro Padrão da Média, quando foi utilizada como critério de seleção das parcelas médias, tanto aos 24 quanto aos 36 meses de idade. A Área Basal mostrou melhores resultados aos 24 meses, mas a Altura Dominante foi a variável que proporcionou os menores erros aos 36 meses. Isso significa que, se a seleção das parcelas for feita aos 24 meses, a Altura Dominante será a variável mais indicada como critério para o estabelecimento das parcelas médias.

TABELA 4.12 Valores de Média, Coeficiente de Variação e Erro Padrão da Média para as 17 parcelas médias quanto à Altura Dominante (HD), Área Basal (AB) e Volume com Casca (VCC), para as medições de 2004 e respectivas remedições de 2005, considerando ainda as três variáveis dendrométricas como base para a amostragem casual estratificada (ACE), além de toda a área para a Amostragem Casual Simples (ACS)

Ano	Critério	Amos- Tragem	Base Krigagem	Média			Coeficiente de Variação			Erro Padrão da Média		
				HD	AB	VCC	HD	AB	VCC	HD	AB	VCC
2004	Sorteio	ACS	-	14,31	9,07	55,96	10,64	12,87	22,09	0,36	0,27	2,91
		HD	ACS	-	14,36	9,18	56,90	10,47	9,92	18,84	0,40	0,30
	ACE	HD	14,43	9,15	56,92	2,61	5,07	5,71	0,10	0,15	0,43	
		AB	13,96	9,02	54,17	6,79	3,90	8,40	0,25	0,12	0,62	
		VCC	14,00	9,07	54,67	6,24	2,83	6,45	0,23	0,09	0,48	
	AB	ACS	-	14,44	9,08	56,53	10,87	10,15	19,33	0,41	0,31	1,45
		ACE	HD	14,50	8,93	55,63	2,25	3,95	3,76	0,09	0,12	0,28
		ACE	AB	14,32	9,06	55,88	7,26	3,31	8,69	0,27	0,10	0,65
		ACE	VCC	14,05	8,89	53,70	6,49	3,05	7,05	0,24	0,09	0,52
	VCC	ACS	-	14,34	9,10	56,32	10,19	10,10	18,55	0,39	0,30	1,39
		ACE	HD	14,46	9,11	56,67	2,89	4,75	6,28	0,11	0,14	0,47
		ACE	AB	14,27	9,09	55,88	6,98	3,30	8,30	0,26	0,10	0,62
		ACE	VCC	14,09	9,01	54,62	5,95	4,40	7,77	0,22	0,13	0,57
	2005	Sorteio	ACS	-	18,36	14,64	119,45	8,35	11,77	18,62	0,36	0,40
HD			ACS	-	18,46	14,90	122,04	8,76	9,51	16,83	0,38	0,37
ACE		HD	18,56	14,91	122,67	1,73	3,40	3,62	0,07	0,13	0,40	
		AB	18,16	14,61	117,25	6,84	2,59	7,86	0,29	0,10	0,85	
		VCC	18,11	14,65	117,46	2,84	4,07	2,95	0,12	0,16	0,32	

Continua...

												Continuação...
2005	AB	ACS	-	18,33	14,77	120,30	9,19	9,70	17,58	0,39	0,37	1,92
		ACE	HD	18,37	14,65	119,34	2,24	3,06	4,26	0,10	0,12	0,46
		ACE	AB	18,30	14,49	117,10	6,59	2,82	8,75	0,28	0,11	0,94
		ACE	VCC	17,99	14,52	115,85	3,41	4,04	5,23	0,14	0,15	0,56
	VCC	ACS	-	18,30	14,71	119,46	9,13	9,51	17,04	0,39	0,36	1,86
		ACE	HD	18,40	14,72	120,04	2,01	3,40	3,88	0,09	0,13	0,42
		ACE	AB	18,46	14,70	119,81	7,50	3,18	9,45	0,32	0,12	1,03
		ACE	VCC	17,94	14,48	115,03	2,88	4,09	3,60	0,12	0,16	0,39

## 5 CONCLUSÕES

Com base no exposto nos itens anteriores, o presente trabalho permite concluir que:

- O uso da krigagem se mostrou eficiente para complementar a estratificação cadastral, propiciando menores valores de Erro Padrão da Média e, conseqüentemente, contribuindo para a melhoria da qualidade da estimativa. É, portanto, um método que tem potencial para uso na definição de estratos e localização de parcelas permanentes em plantios jovens de *Eucalyptus* spp.
- Todas as características dendrométricas avaliadas, Altura Dominante, Área Basal e Volume, mostraram estrutura de continuidade espacial aos 12, aos 24 e aos 36 meses de idade, sendo que o grau de continuidade espacial variou com a idade da floresta.
- A seleção de parcelas permanentes a partir dos 12 meses de idade é possível, desde que a krigagem seja baseada na Altura Dominante. Embora as variáveis Área Basal e Volume possam ser utilizadas como critério de seleção das parcelas médias, essas duas características dendrométricas se mostraram bastante instáveis para servirem de base para a krigagem aos 12 meses de idade.
- Para todas as medições e todas as variáveis estudadas o tratamento dos dados dentro do conceito de estratos controla melhor as variabilidades e, conseqüentemente, leva a menores valores de Erro Padrão da Média, seja qual for a característica dendrométrica utilizada como base para a estratificação. Ou seja, ainda que sejam mantidos os procedimentos de instalação de parcelas por talhão, aos 12 meses e a estratificação cadastral de acordo com a qual a área em questão compõe um único

estrato homogêneo, a krigagem pode ser utilizada como base para uma pós-estratificação da área, gerando ganhos de precisão para as estimativas de Altura Dominante, Área Basal e Volume com Casca.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUBRY, P.; DEBOUZIE, D. Estimation of the mean from a two-dimensional sample: The Geostatistical Model-Based Approach. **Ecology**, Washington, v. 82, n. 5, p. 1484-1494, May 2001.

AUBRY, P.; DEBOUZIE, D. Geostatistical estimation variance for the spatial mean in two-dimensional systematic sampling. **Ecology**, Washington, v. 81, n. 2, p. 543-553, Feb. 2000.

BICKFORD, C. A.; MAYER, C. E.; WARE, K. D. An efficient sampling design for forest inventory: The Northeastern Forest Resurvey. **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 61, n. 11, p. 826-833, Nov. 1963.

BIONDI, F.; MYERS, D. E.; AVERY, C. C. Geostatistically modelling stem size and increment in an old growth forest. **Canadian Journal of Forest Research - Revue Canadienne de Reserche Forestiere**, Ottawa, v. 24, n. 7, p. 1354-1368, July 1994.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 4, p. 1501-1511, July/Aug. 1994.

COCHRAN, W. G. **Técnicas de amostragem**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1965. 555 p.

COHEN, W. B.; SPIES, T. A.; BRADSHAW, G. A.; Semivariograms of digital of digital imagery of conifer canopy structure. **Remote Sensing of Environment**, v. 34, n. 3, p. 167-178, 1990.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: J. Wiley, 1993. 900 p.

CUNIA, T.; CHEVROU, R. B. Continuous forest inventory, partial replacement of samples multiple regression. **Forest Science**, Bethesda, v. 11, n. 4, p.480-502, Dec. 1965.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Levantamento generalizado e semidetalhado de solos da Aracruz Celulose S.A. no Estado do Espírito Santo e extremo sul da Bahia e sua aplicação aos plantios de eucalipto.** Rio de Janeiro: Embrapa, 2000. 111 p. (EMBRAPA-CNPS. Boletim de Pesquisa, 1).

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. **Using ArcGIS geostatistical analyst.** Redlands, 2001. 300 p.

FREESE, F. **Elementary forest sampling.** South. For. Exp. Stn. For. Serv., 1971. 91 p. (Agriculture Handbook, 232).

GUERRA, P. A. G. **Geoestatística operacional.** Brasília, DF, 1988. 145 p.

HÖCK, B. K.; PAYN, T. W.; SHIRLEY, J. Using a geographic information system and geostatistics to estimate site index of *Pinus radiata* for Kaingaroo forest. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 23, p. 264-277, 1993.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration.** 2. ed. New York: Ronald, 1972. 410 p.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An **introduction to applied geostatistics.** New York: Oxford University, 1989. 560 p.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics.** London: Academic, 1978. 600 p.

KANEGAE JUNIOR, H. **Avaliação de sistemas de inventários sucessivos e dos interpoladores espaciais como instrumento de estratificação de povoamentos clonais de *Eucalyptus sp.*** 2004. 131p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

LOETSCH, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory.** BLV verla-gsgesellschaft Munchen Basel Wien, 1964. 436 p.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geographic**, Worcester, v. 58, n. 8, p. 1246-1266, Aug. 1963.

MELLO, J. M. de. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal.** Piracicaba: ESALQ/USP, 2004. 110 p.

MIGUEL, S. M. **Variograms of real and simulated high resolution images for analysis of forest canopy structure**. 2000. 48 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – University College London, London.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. (Ed.). **Inventário florestal**. Curitiba, 1997. 316 p.

PONTES, J. M. **A Geoestatística: aplicações em experimentos de campo**. Lavras: UFLA, 2002. 82 p.

R Development Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2004. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 2006.

RIBEIRO, J. C. **Eficiência da amostragem com reposição parcial em relação aos outros procedimentos de inventários florestais sucessivos em duas ocasiões**. 1978. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. 1995. 99 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

RODRIGUEZ, P.C. **Curso de análise geoestatística**. Belo Horizonte, MG, 2004. 95 p.

SAMRA, J. S. GILL, H. S.; BHATIA, V. K. Spatial stochastic modelling of growth and forest resource evaluation. **Forest Science**, Bethesda, v. 35, n. 3, p. 663-676, Set. 1989.

SARGENT, R. G. Some subjective validation methods using graphical displays of data. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 1996, Syracuse. 1996. **Proceedings....** Syracuse, 1996. p. 345-351.

SCOLFORO, J. R. S. **Análise comparativa dos procedimentos de inventários florestais repetidos em povoamentos de Eucalyptus spp., nas regiões de Bom Despacho e de Coronel Fabriciano, Minas Gerais**. 1980. 113 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 344 p.

SOARES, A. G. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente**. Lisboa: ISTP, 2000. 186 p.

SUKHATME, P. V.; SUKHATME, B. V. **Sampling theory of surveys with applications**. 2.ed. Iowa: Iowa State University, 1970. 452 p.

WULDER, M.; LAVIGNE, M.; FRANKLIN, S.; High spatial resolution optical image texture for improved estimation of forest stand leaf area index. **Canadian Journal of Remote Sensing**, Ottawa, v. 22, n. 4, p. 441-449, 1996.

YAMAMOTO, J. K. **Avaliação e classificação de reservas minerais**. São Paulo: USP, 2001. 226 p.

ZIMBACK, C. R. L. **Geoestatística**. Botucatu: UNESP, 2003. 25 p.

## ANEXOS

<b>ANEXO A</b>		<b>Página</b>
	Rotinas de Cálculo Utilizadas no GeoR para as análises efetuadas neste estudo	93

## ##### ANÁLISE GEOESTATÍSTICA #####

### ### 1. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS ###

- `par(mfrow=c(2,2))`
- `plot(hd0503$coords[,1],hd0503$data,xlab="Longitude",ylab="Volume (m³)")`
- `plot(hd0503$coords[,2],hd0503$data,xlab="Latitude",ylab="Volume (m³)")`
- `hist(hd0503$data,main=NULL,xlab="Classe de Volume",ylab="Frequência")`
- `boxplot(hd0503$data)`

### ### 2. ANÁLISE VARIOGRÁFICA ###

#### # 2.1 Variograma empírico

- `binhd0503<-variog(hd0503,uvec=12,max.dist=800,pairs.min=20)`
- `plot(binhd0503)`

#### # 2.2 Ajuste do modelo de semivariograma

- `mlhd0503<-likfit(hd0503,ini=c(2.5,350),nugget=0.6)`
- `mlhd0503sph<-likfit(hd0503,ini=c(2.5,350),nugget=0.6,cov.model="sph")`
- `mlhd0503$AIC`

# o comando anterior permite verificar o valor de AIC para cada modelo #

- `plot(binvc2,xlab="Distância (m)",ylab=expression(paste("Semivariância(",m^6,"")))`
- `lines(mlhd0503)`

### ### 3. KRIGAGEM ###

- `kc<-krige.conv(vcc2,loc=loci,border=limite,krige=krige.control(obj= mlvcc2))`

- `image(kc,loc=loci,border=limite,val=kc$predict, col=heat.colors(3),xlab="Longitude",ylab="Latitude")`
- `points(vcc2$coords,pch=20)`
- `lines(t1a)`
- `min(kc$predict)`
- `max(kc$predict)`
- `sample(kc$predict[kc$predict<76.67])`

### 4. Comparação da continuidade espacial das 3 características em cada ano de medição ###

- `plot(binvcc1,sc=T,xlab="Distância (m)",ylab="Semivariância")`
- `lines(mlhd1,sc=T)`
- `lines(mlab1,sc=T,lty=2)`
- `lines(mlvcc1,sc=T,lty=3)`

<b>ANEXO B</b>		<b>Página</b>
FIGURA 1B	Análise exploratória dos dados de altura dominante (HD) nas parcelas medidas em 2004	96
FIGURA 2B	Análise exploratória dos dados de Área Basal (AB) nas parcelas medidas em 2004	97
FIGURA 3B	Análise exploratória dos dados de Volume com casca (VCC) nas parcelas medidas em 2004	98
FIGURA 4B	Análise exploratória dos dados de altura dominante (HD) nas parcelas instaladas em 2003 e remedidas em 2005	99
FIGURA 5B	Análise exploratória dos dados de Área Basal (AB) nas parcelas instaladas em 2003 e remedidas em 2005	100
FIGURA 6B	Análise exploratória dos dados de Volume com casca (VCC) nas parcelas instaladas em 2003 e remedidas em 2005	101
FIGURA 7B	Análise exploratória dos dados de altura dominante (HD) nas parcelas instaladas em 2004 e remedidas em 2005	102
FIGURA 8B	Análise exploratória dos dados de Área Basal (AB) nas parcelas instaladas em 2004 e remedidas em 2005	103
FIGURA 9B	Análise exploratória dos dados de Volume com casca (VCC) nas parcelas instaladas em 2004 e remedidas em 2005	104

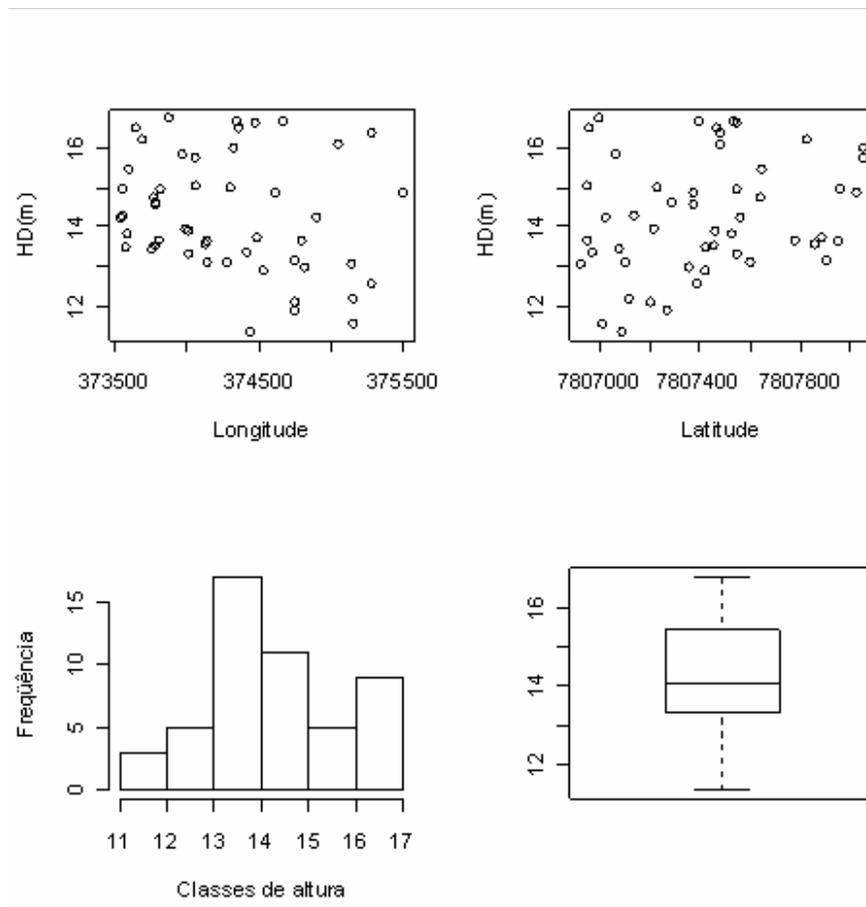


FIGURA 1B Análise exploratória dos dados de altura dominante (HD) nas parcelas medidas em 2004, sendo (a) relação da altura dominante com a longitude; (b) relação da altura dominante com a latitude; (c) histograma de frequência e (d) gráfico de Box Plot

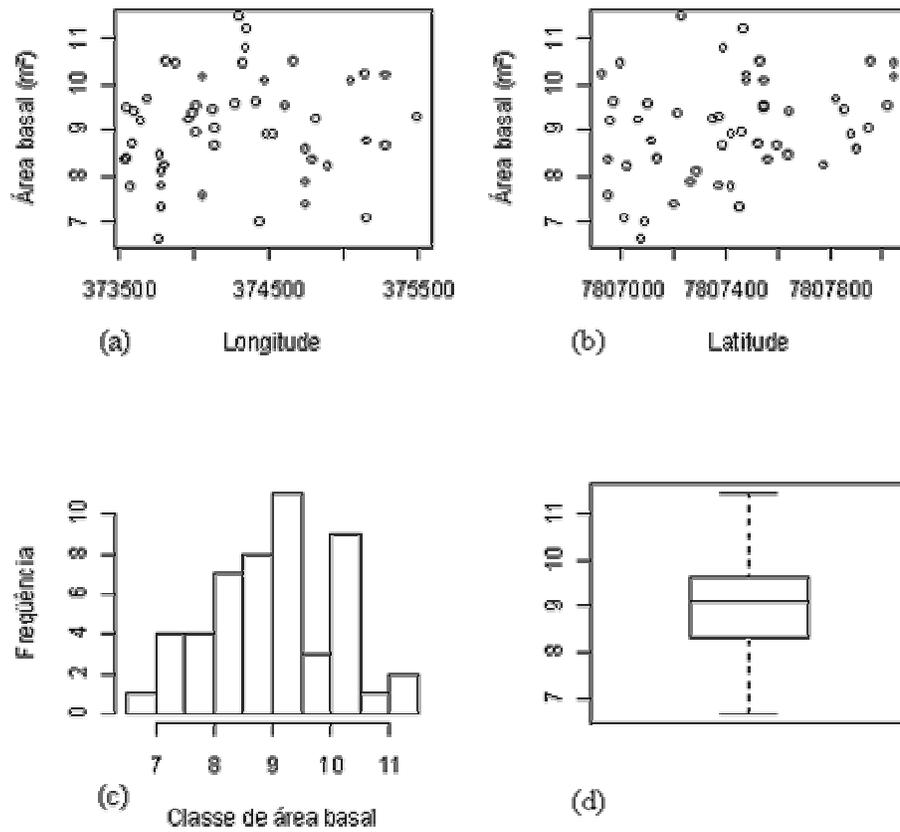


FIGURA 2B Análise exploratória dos dados de Área Basal (AB) nas parcelas medidas em 2004 sendo (a) relação da área basal com a longitude; (b) relação da área basal com a latitude; (c) histograma de frequência e (d) gráfico de Box Plot

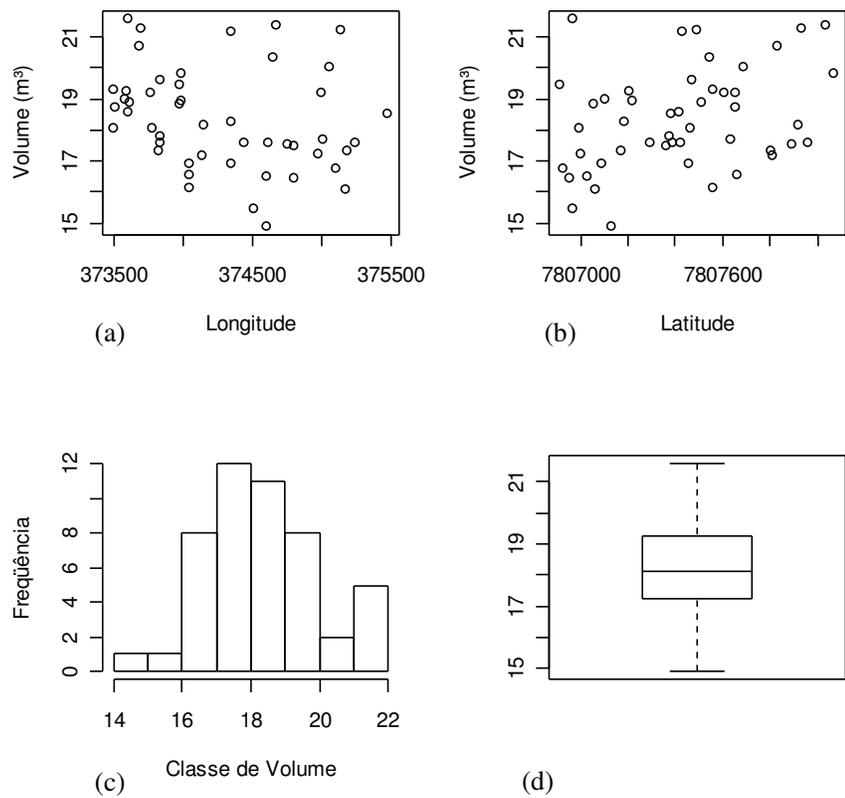


FIGURA 3B Análise exploratória dos dados de volume com casca (VCC) nas parcelas medidas em 2004, sendo (a) relação da altura dominante com a longitude; (b) relação da altura dominante com a latitude; (c) histograma de frequência e (d) gráfico de Box Plot

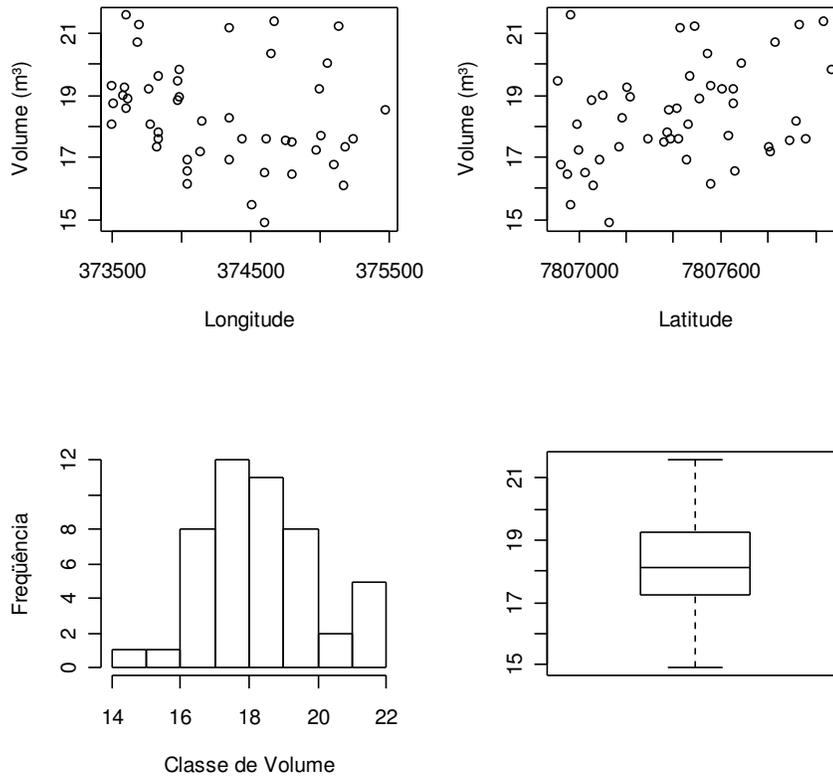


FIGURA 4B Análise exploratória dos dados de Altura Dominante (HD) nas parcelas instaladas em 2003 e remeidas em 2005 sendo (a) relação da altura dominante com a longitude; (b) relação da altura dominante com a latitude; (c) histograma de freqüência e (d) grafico de Box Plot

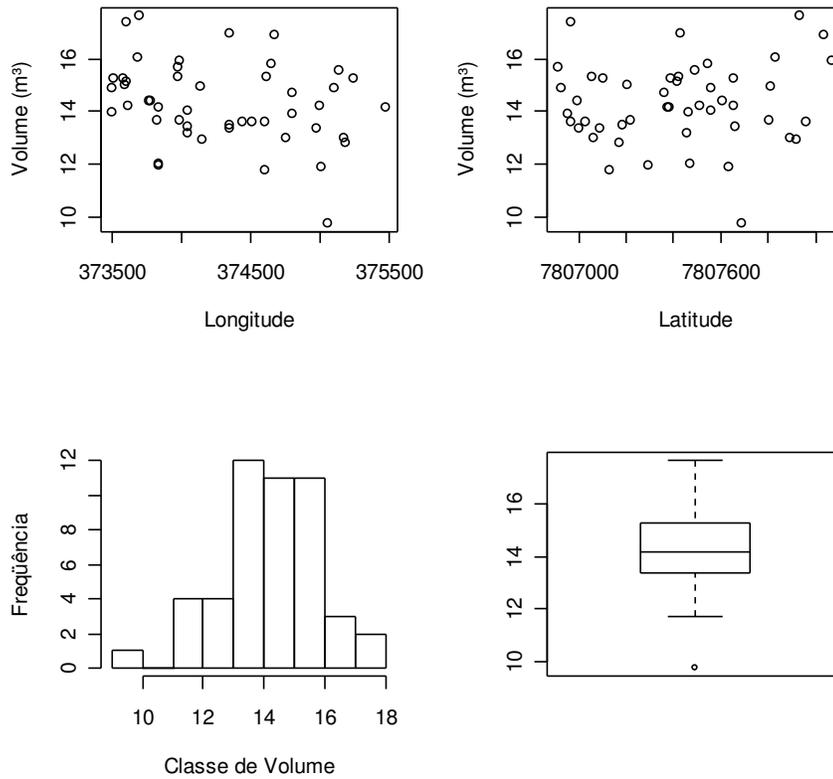


FIGURA 5B Análise exploratória dos dados de Área Basal (AB) nas parcelas instaladas em 2003 e remeidas em 2005, sendo (a) relação da altura dominante com a longitude; (b) relação da altura dominante com a latitude; (c) histograma de frequência e (d) gráfico de Box Plot

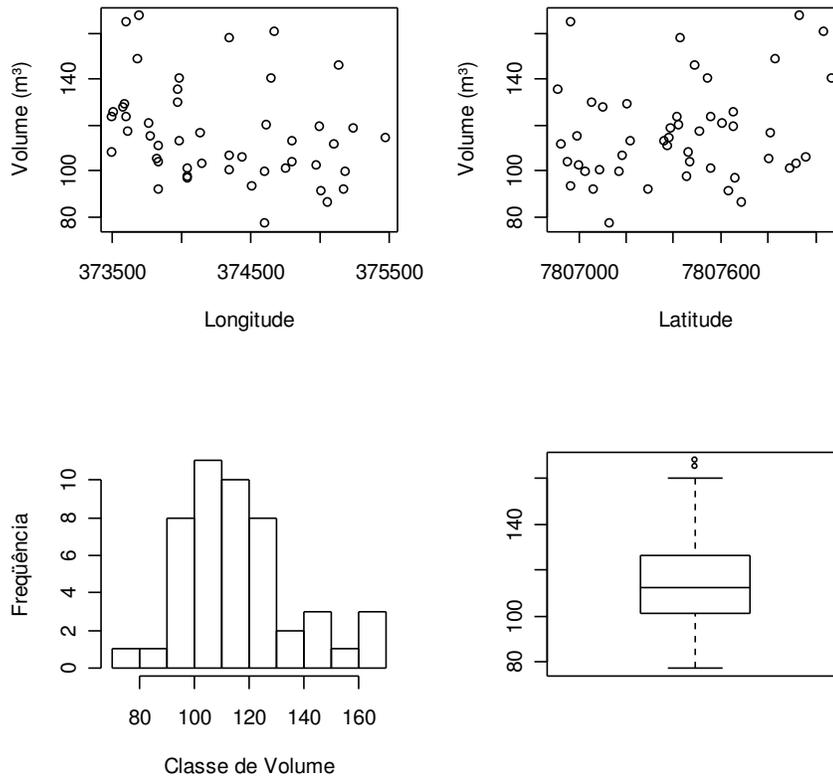


FIGURA 6B Análise exploratória dos dados de Volume com casca (VCC) nas parcelas instaladas em 2003 e remeidas em 2005, sendo (a) relação da altura dominante com a longitude; (b) relação da altura dominante com a latitude; (c) histograma de frequência e (d) grafico de Box Plot

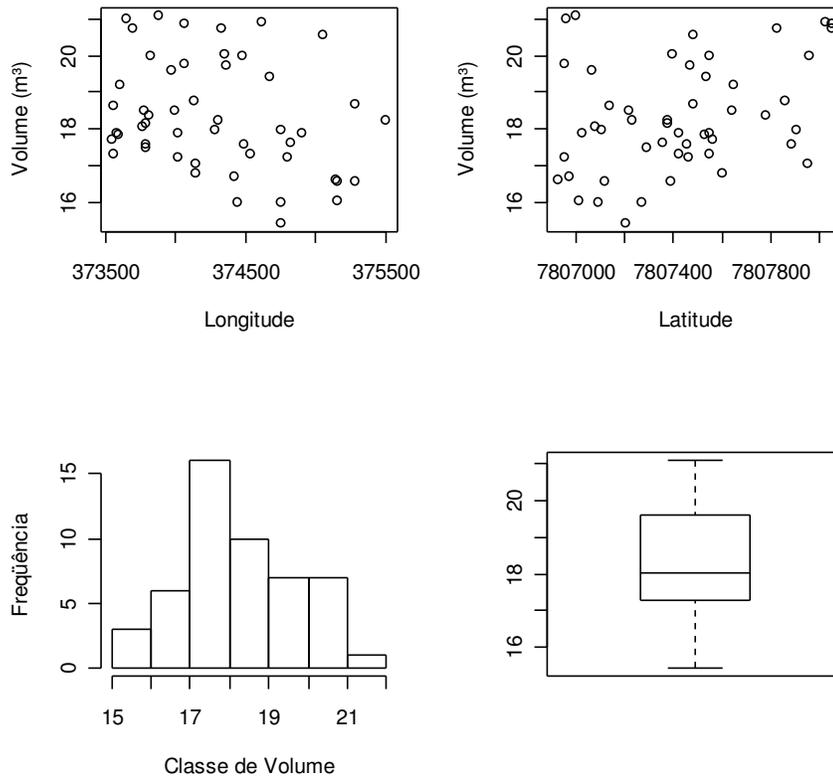


FIGURA 7B Análise exploratória dos dados de Altura Dominante (HD) nas parcelas instaladas em 2004 e remeidas em 2005, sendo (a) relação da altura dominante com a longitude; (b) relação da altura dominante com a latitude; (c) histograma de freqüência e (d) grafico de Box Plot

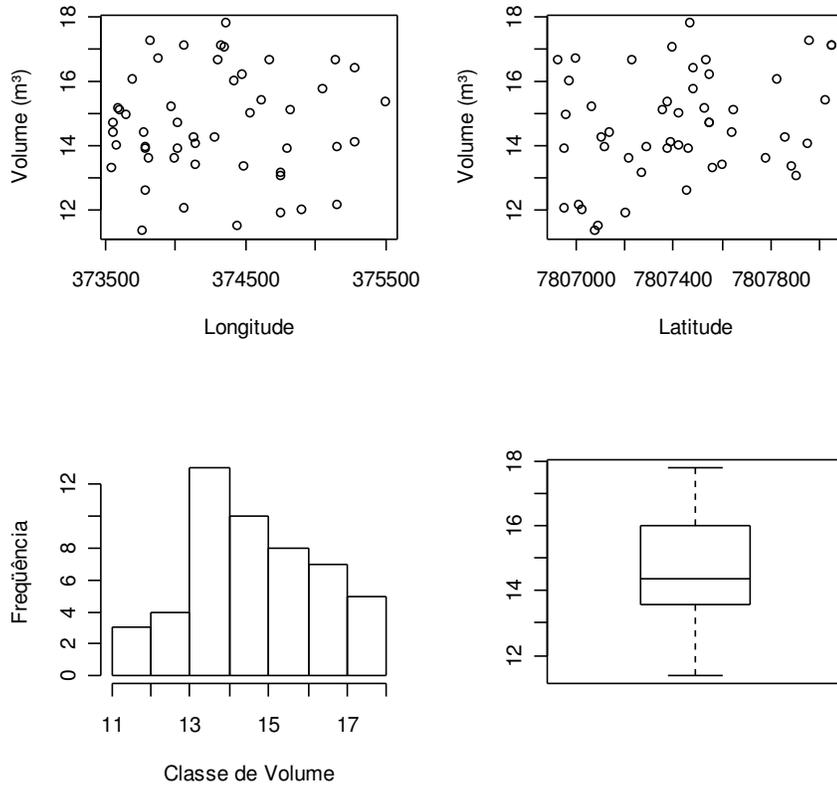


FIGURA 8B Análise exploratória dos dados de Área Basal (AB) nas parcelas instaladas em 2004 e remeidas em 2005, sendo (a) relação da altura dominante com a longitude; (b) relação da altura dominante com a latitude; (c) histograma de frequência e (d) gráfico de Box Plot

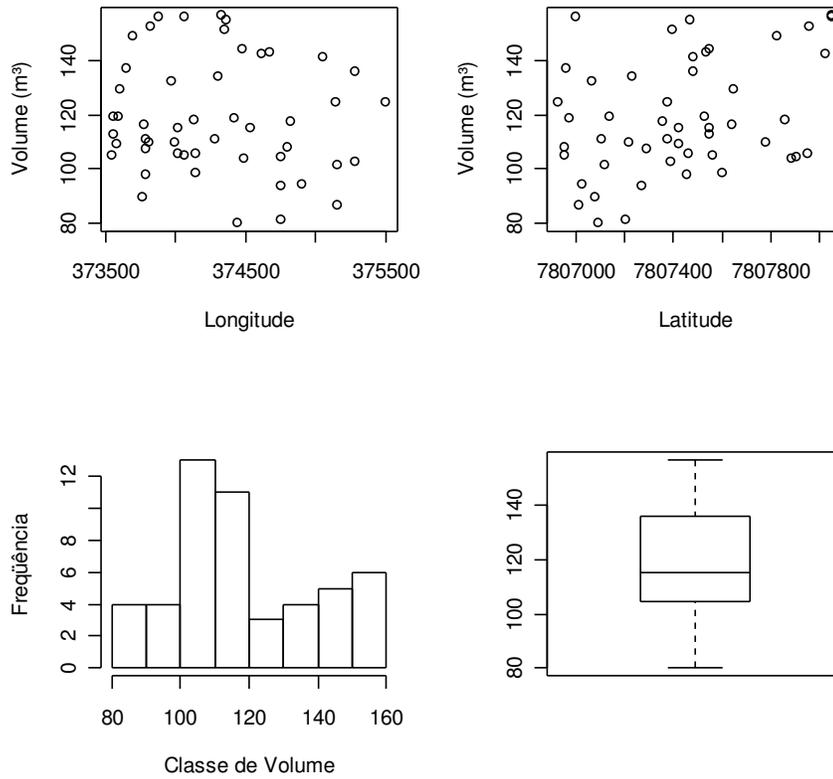


FIGURA 9B Análise exploratória dos dados de Volume com casca (VCC) nas parcelas instaladas em 2004 e remeidas em 2005, sendo (a) relação da altura dominante com a longitude; (b) relação da altura dominante com a latitude; (c) histograma de freqüência e (d) grafico de Box Plot

<b>ANEXO C</b>		<b>Página</b>
FIGURA 1C	Modelo exponencial ajustado para os semivariogramas das medições de Área Basal realizadas em 2003, 2004 e medição de 2005 referente às parcelas instaladas em 2003	106
FIGURA 2C	Modelo exponencial ajustado para os semivariogramas das medições de Volume com Casca realizadas em 2003, 2004 e medição de 2005 referente às parcelas instaladas em 2003. Para a remedição das parcelas instaladas em 2004, apresenta-se o Modelo Esférico	107

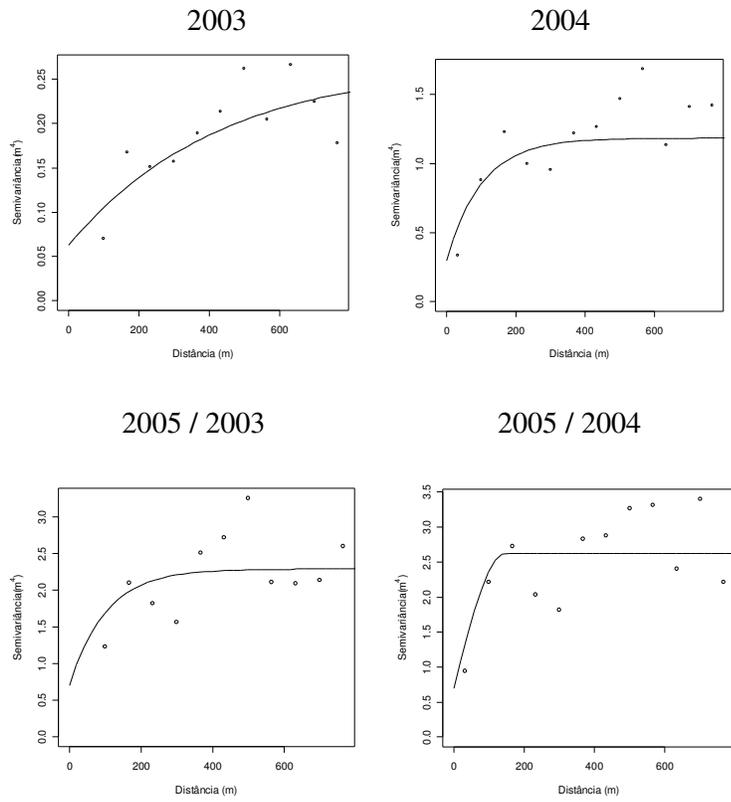


FIGURA 1C Modelo exponencial ajustado para os semivariogramas das medições de Área Basal realizadas em 2003, 2004 e medição de 2005 referente às parcelas instaladas em 2003

2003

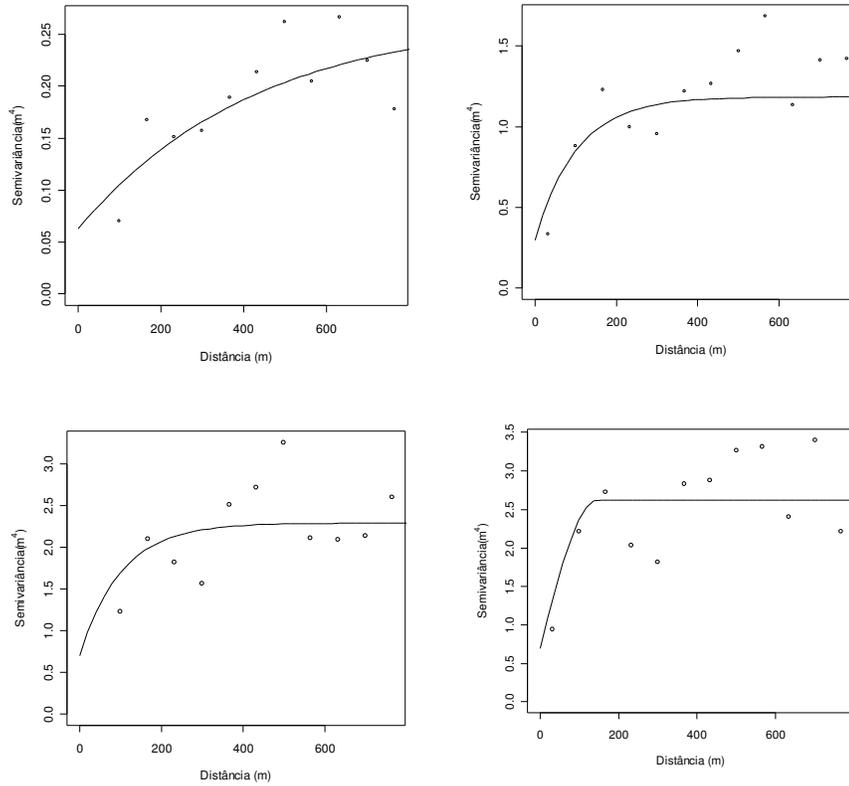


FIGURA 2C Modelo exponencial ajustado para os semivariogramas das medições de Volume Com Casca realizadas em 2003, 2004 e medição de 2005 referente às parcelas instaladas em 2003. Para a reedição das parcelas instaladas em 2004, apresenta-se o Modelo Esférico.

<b>ANEXO D</b>		<b>Página</b>
TABELA 1D	Classificação das parcelas medidas aos 12 meses quanto às variáveis Altura Dominante (HD), Área Basal (AB) e Volume (VCC) e respectivas remedições aos 36 meses	109
TABELA 2D	Classificação das parcelas medidas aos 24 meses quanto às variáveis Altura Dominante (HD), Área Basal (AB) e Volume (VCC) e respectivas remedições aos 36 meses	111

TABELA 1D Classificação das parcelas medidas aos 12 meses quanto às variáveis Altura Dominante (HD), Área Basal (AB) e Volume (VCC) e respectivas remedições aos 36 meses. A Classe (C1) indica o estrato mais produtivo e a (C3), o menos produtivo. As classes que não sofreram alterações entre medições para uma mesma variável, são destacadas em negrito.

Talhão	Parcela	HD		AB		VCC	
		2003	2005	2003	2005	2003	2005
<b>01</b>	0001	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	C1	C2
<b>01</b>	0002	C2	C1	<b>C1</b>	<b>C1</b>	C1	C2
<b>01</b>	0003	C3	C1	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
<b>01</b>	0004	C3	C1	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
<b>02</b>	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C1	C2	C1	C3
<b>02</b>	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C1	C2	C1	C2
<b>02</b>	0003	C3	C2	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>02</b>	0004	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C1	C2	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>02</b>	0005	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C1	C2	C1	C2
<b>03</b>	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C1	C2	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>03</b>	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C2	C2	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>03</b>	0003	C1	C2	C2	C1	C1	C2
<b>04</b>	0001	C1	C2	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>04</b>	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C3	C2
<b>04</b>	0003	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>05</b>	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>
<b>05</b>	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C3	C2	C3	C2
<b>05</b>	0003	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>
<b>06</b>	0001	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>
<b>06</b>	0002	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>
<b>06</b>	0003	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>
<b>07</b>	0001	<b>C1</b>	<b>C1</b>	C2	C1	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>07</b>	0002	<b>C1</b>	<b>C1</b>	C2	C1	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>07</b>	0003	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C2	C1	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>08</b>	0001	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	C1	C2
<b>08</b>	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>08</b>	0003	C2	C1	C2	C1	C2	C1
<b>09</b>	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C1	C2	C1	C2
<b>09</b>	0002	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C2	C3
<b>09</b>	0003	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C2	C2
<b>10A</b>	0001	C2	C1	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
<b>10A</b>	0002	C2	C1	C2	C1	C2	C1
<b>10A</b>	0003	C2	C1	C2	C1	C2	C1
<b>10A</b>	0004	C1	C2	C1	C2	C1	C2
<b>10B</b>	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C2	C3	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>10B</b>	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C2	C3	C2	C3

Continua...

Continuação...

Talhão	Parcela	HD		AB		VCC	
		2003	2005	2003	2005	2003	2005
<b>10B</b>	0003	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
<b>11</b>	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>
<b>11</b>	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>
<b>11</b>	0003	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>12</b>	0001	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>
<b>12</b>	0002	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>
<b>12</b>	0004	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>
<b>12</b>	0005	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>
<b>12</b>	0006	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>
<b>13</b>	0001	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>
<b>13</b>	0002	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>
<b>13</b>	0003	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>

TABELA 2D Classificação das parcelas medidas aos 24 meses quanto às variáveis Altura Dominante (HD), Área Basal (AB) e Volume (VCC) e respectivas remedições aos 36 meses. A Classe (C1) indica o estrato mais produtivo e a (C3), o menos produtivo. As classes que não sofreram alterações entre medições, para uma mesma variável, são destacadas em negrito.

Talhão	Parcela	HD		AB		VCC	
		2004	2005	2004	2005	2004	2005
<b>01</b>	0001	C2	C1	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C2	C1
<b>01</b>	0002	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
<b>01</b>	0003	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
<b>01</b>	0004	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	C2	C1
<b>01</b>	0005	<b>C1</b>	<b>C1</b>	C2	C1	<b>C1</b>	<b>C1</b>
<b>02</b>	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C2	C3	C3	C2
<b>02</b>	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C2	C3	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>02</b>	0003	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>02</b>	0004	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>02</b>	0005	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C2	C3	C3	C2
<b>03</b>	0001	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>03</b>	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>03</b>	0003	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>04</b>	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>04</b>	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>04</b>	0003	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C3	C2	C3	C2
<b>05</b>	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C3	C2	C3	C2
<b>05</b>	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	C3	C2
<b>05</b>	0003	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>
<b>06</b>	0001	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>06</b>	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>06</b>	0003	<b>C2</b>	<b>C3</b>	C2	C3	<b>C3</b>	<b>C3</b>
<b>07</b>	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C3	C2	C3	C2
<b>07</b>	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>
<b>07</b>	0003	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>
<b>08</b>	0001	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>
<b>08</b>	0002	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
<b>08</b>	0003	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	C3	C2
<b>09</b>	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C2	C3	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>09</b>	0002	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
<b>09</b>	0003	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
<b>10A</b>	0001	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
<b>10A</b>	0002	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
<b>10A</b>	0003	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
<b>10A</b>	0004	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
<b>10B</b>	0001	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
<b>10B</b>	0002	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>

Continua...

Continuação...

Talhão	Parcela	HD		AB		VCC	
		2004	2005	2004	2005	2004	2005
<b>10B</b>	0003	C2	C2	C2	C2	C2	C2
11	0001	C3	C3	C2	C2	C2	C2
11	0002	C3	C2	C2	C2	C2	C2
11	0003	C3	C3	C2	C2	C3	C3
12	0001	C3	C3	C3	C3	C3	C3
12	0002	C3	C3	C3	C3	C3	C3
12	0003	C3	C3	C3	C3	C3	C3
12	0004	C2	C2	C3	C3	C3	C3
12	0005	C3	C3	C3	C3	C3	C3
12	0006	C3	C3	C2	C2	C3	C3
13	0001	C3	C3	C2	C2	C2	C2
13	0002	C2	C3	C3	C2	C3	C2
13	0003	C3	C3	C2	C1	C2	C2

ANEXO E		<b>Página</b>
TABELA 1E	Classificação das 17 parcelas médias selecionadas quanto aos diferentes critérios, na medição de 2003 e respectivas classes na remedição de 2005, para as três bases de krigagem: Altura Dominante (HD), Área Basal (AB) e Volume com Casca (VCC)	114
TABELA 2E	Classificação das 17 parcelas médias selecionadas quanto aos diferentes critérios, na medição de 2004 e respectivas classes na remedição de 2005, para as três bases de krigagem: Altura Dominante (HD), Área Basal (AB) e Volume com Casca (VCC)	116

TABELA 1E Classificação das 17 parcelas médias selecionadas quanto aos diferentes critérios, na medição de 2003 e respectivas classes na remedição de 2005, para as três bases de krigagem: Altura Dominante (HD), Área Basal (AB) e Volume com Casca (VCC). As classificações que não mudaram de uma medição para a outra para uma mesma variável, aparecem em negrito.

Critério da Seleção de Parcelas	Talhão	Parcela	Base da krigagem					
			HD		AB		VCC	
			2003	2005	2003	2005	2003	2005
<b>HDOM</b>	01	0001	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	C1	C2
	01	0003	C3	C1	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
	02	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C1	C2	C1	C2
	02	0005	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C1	C2	C1	C2
	03	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
	04	0003	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
	05	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>
	06	0003	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>
	07	0002	<b>C1</b>	<b>C1</b>	C2	C1	<b>C2</b>	<b>C2</b>
	08	0003	C2	C1	C2	C1	C2	C1
	09	0003	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
	10	0004	C1	C2	C1	C2	C1	C2
	10	0003	<b>C1</b>	<b>C1</b>	C2	C3	C2	C3
	11	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C3	C2	C3	C2
	12	0001	<b>C3</b>	<b>C3</b>	C3	C2	<b>C3</b>	<b>C3</b>
	12	0006	<b>C3</b>	<b>C3</b>	C3	C2	<b>C3</b>	<b>C3</b>
	13	0002	<b>C3</b>	<b>C3</b>	C3	C2	<b>C3</b>	<b>C3</b>
<b>AB</b>	01	0001	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	C1	C2
	01	0003	C3	C1	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
	02	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C1	C2	C1	C3
	02	0005	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C1	C2	C1	C2
	03	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
	04	0001	C1	C2	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
	05	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C3	C2	C3	C2
	06	0001	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>
	07	0002	<b>C1</b>	<b>C1</b>	C2	C1	<b>C2</b>	<b>C2</b>
	08	0003	C2	C1	C2	C1	C2	C1
	09	0002	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C2	C3
	10	0004	C1	C2	C1	C2	C1	C2
10	0003	<b>C1</b>	<b>C1</b>	C2	C3	C2	C3	
11	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	C2	C1	C3	C2	

Continua...

Continuação...

Critério da Seleção de Parcelas	Talhão	Parcela	Base da krigagem					
			HD		AB		VCC	
			2003	2005	2003	2005	2003	2005
	12	0001	C3	C3	C3	C2	C3	C3
	12	0002	C3	C3	C3	C3	C3	C3
	13	0001	C3	C3	C3	C2	C3	C3
VCC	01	0001	C1	C1	C1	C1	C1	C2
	01	0003	C3	C1	C1	C1	C1	C1
	02	0002	C2	C2	C1	C2	C1	C2
	02	0005	C2	C2	C1	C2	C1	C2
	03	0002	C2	C2	C2	C2	C2	C2
	04	0001	C1	C2	C2	C2	C2	C2
	05	0001	C2	C2	C3	C3	C3	C3
	06	0003	C3	C3	C2	C2	C3	C3
	07	0002	C1	C1	C2	C1	C2	C2
	08	0003	C2	C1	C2	C1	C2	C1
	09	0003	C2	C2	C2	C2	C2	C2
	10	0004	C1	C2	C1	C2	C1	C2
	10	0003	C1	C1	C2	C3	C2	C3
	11	0001	C2	C2	C2	C1	C3	C2
	12	0001	C3	C3	C3	C2	C3	C3
	12	0002	C3	C3	C3	C3	C3	C3
	13	0001	C3	C3	C3	C2	C3	C3

TABELA 2E Classificação das 17 parcelas médias selecionadas quanto aos diferentes critérios, na medição de 2004 e respectivas classes na remedição de 2005, para as três bases de krigagem: Altura Dominante (HD), Área Basal (AB) e Volume com Casca (VCC). As classificações que não mudaram de uma medição para a outra, para uma mesma variável, aparecem em negrito.

Critério da Seleção De Parcelas	Talhão	Parcela	Base da krigagem					
			HD		AB		VCC	
			2004	2005	2004	2005	2004	2005
HDOM	01	0002	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
	01	0003	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
	02	0004	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
	02	0005	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>
	03	0003	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
	04	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
	05	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>
	06	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
	07	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>
	08	0001	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>
	09	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
	10	0001	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
	10	0003	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
	11	0001	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
12	0003	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	
12	0006	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	
13	0003	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	
AB	01	0003	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
	01	0005	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>
	02	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
	02	0003	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
	03	0001	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
	04	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
	05	0002	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>
	06	0001	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
	07	0001	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>
	08	0001	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>
	09	0002	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>
10	0001	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	
10	0004	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	<b>C1</b>	
11	0001	<b>C3</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	<b>C2</b>	

Continua...

Continuação...

Critério da Seleção	De Parcelas	Talhão	Parcela	Base da krigagem					
				HD		AB		VCC	
				2004	2005	2004	2005	2004	2005
AB	12	0002	C3	C3	C3	C3	C3	C3	
	12	0003	C3	C3	C3	C3	C3	C3	
	13	0003	C3	C3	C2	C1	C2	C2	
VCC	01	0004	C1	C1	C1	C1	C2	C1	
	01	0005	C1	C1	C2	C1	C1	C1	
	02	0001	C1	C2	C2	C3	C2	C2	
	02	0001	C1	C2	C1	C2	C1	C2	
	03	0001	C1	C2	C1	C2	C1	C2	
	04	0002	C2	C2	C2	C2	C2	C2	
	05	0003	C2	C2	C2	C3	C2	C2	
	06	0003	C2	C2	C2	C2	C2	C2	
	07	0001	C2	C2	C2	C2	C2	C2	
	08	0002	C2	C1	C3	C2	C3	C1	
	09	0002	C2	C2	C2	C3	C2	C2	
	10	0001	C2	C1	C3	C1	C3	C1	
	10	0001	C2	C1	C2	C2	C2	C1	
	11	0001	C3	C3	C2	C2	C2	C2	
	12	0002	C3	C3	C3	C3	C3	C3	
12	0003	C3	C3	C3	C3	C3	C3		
13	0003	C3	C3	C2	C1	C2	C2		