



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**QUANTIFICAÇÃO VOLUMÉTRICA EM UM POVOAMENTO DE  
*EUCALYPTUS* SP. COMO SUBSÍDIO AO MANEJO: UM ESTUDO NO  
PARQUE NACIONAL DE BRASÍLIA.**

**Estudante:** Leandro Marra de Oliveira, matrícula 08/53208.

**RG:** 2.430.204 – SSP-DF.

**CPF:** 024662621-69

**Linha de pesquisa:** Inventário Florestal

**Orientador:** Éder Pereira Miguel, Professor M. Sc.

**Co-orientador:** Christiane Horowitz, Analista Ambiental do ICMBIO.

Trabalho apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília como exigência parcial para a obtenção do título de Engenheiro Florestal.

**Brasília – DF, outubro de 2012.**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

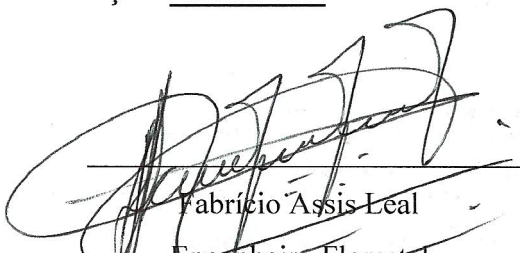
FACULDADE DE TECNOLOGIA


DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

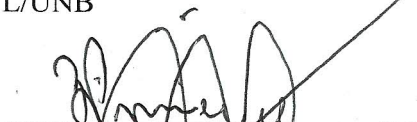
**QUANTIFICAÇÃO VOLUMÉTRICA EM UM POVOAMENTO DE  
EUCALYPTUS SP. COMO SUBSÍDIO AO MANEJO: UM ESTUDO NO  
PARQUE NACIONAL DE BRASÍLIA.**

**Estudante:** Leandro Marra de Oliveira, matrícula 08/53208.

**Menção:** SS

  
Fabrício Assis Leal  
Engenheiro Florestal  
Examinador Interno – EFL/UNB

  
Dr.<sup>a</sup>. Christiane Horowitz  
Analista Ambiental do ICMBio  
Co-Orientadora

  
Prof. Éder Pereira Miguel  
Professor M. Sc.  
Orientador

**Brasília – DF, outubro de 2012.**

## **AGRADECIMENTOS**

*À Deus, por sempre estar ao meu lado e iluminar meus passos, dando-me mais uma oportunidade de mostrar que sou capaz.*

*Aos meus pais, José Maria de Oliveira e Margareth Eni Marra de Oliveira, que por vezes deixaram de sonhar seus sonhos para que eu pudesse concretizar os meus.*

*À toda minha família, responsável por moldar minha índole e caráter, sempre me guardando e me guiando pelos caminhos da vida. Em especial meus irmãos Leonardo Marra de Oliveira e Aline Marra de Oliveira que sempre instigaram meu crescimento.*

*À minha amada Kamila Dias Alves, companheira de jornada que constantemente me faz olhar a frente e buscar sempre mais.*

*Aos meus amigos que em algum instante de minha vida se fizeram presentes, me ensinando a ser uma pessoa melhor a cada dia. Principalmente meu irmãozinho de vida Paulinho, que sempre se fez presente em minha vida.*

*À minha chefe e amiga Christiane Horowitz, pela destreza em me guiar profissionalmente.*

*Ao meu professor Éder Pereira Miguel, pela amizade e versatilidade em me orientar.*

*À todos os meus colegas de curso que, abrindo mão do conforto pessoal, permitiram que eu desse um grande passo rumo a um futuro promissor. Especialmente Fininho, Pnegão, Honoratoroots e Pugão pela valiosa ajuda na coleta dos dados do trabalho.*

*A todos os funcionários do Parque Nacional de Brasília responsáveis pela logística deste trabalho, principalmente Francisca, Antônio, Giógenes, Milson, Natalício, Galharido, Vilmar, Serginho, Edílson, João, Jorge, Otaciano, Pedro, Lucas, Janes, Eliondas e Diana.*

*Ao Parque Nacional de Brasília, representado pelo chefe da Unidade Amauri de Sena Motta, por permitir a realização deste trabalho e dar todo o suporte logístico necessário ao bom desenvolvimento das atividades.*

*Enfim, a todos que viabilizaram, direta ou indiretamente, a realização deste trabalho.*

## SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	6
ÍNDICE DE TABELAS .....	7
RESUMO .....	8
ABSTRACT .....	9
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. JUSTIFICATIVA.....	11
3. OBJETIVO.....	11
3.1 Objetivos específicos .....	11
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
4.1 Parque Nacional de Brasília .....	12
4.2 Problemática das espécies exóticas no Parque Nacional de Brasília .....	14
4.3 Hipsometria .....	17
4.4 Volumetria .....	18
4.5 Distribuição diamétrica .....	19
4.6 Cubagem rigorosa.....	20
4.7 Perfil ou forma da árvore e fator de forma .....	21
4.8 Equações hipsométricas e volumétricas.....	22
4.9 Inventário Florestal estratificado .....	23

<b>5. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
<b>5.1 Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>24</b>
<b>5.2 Inventário Florestal da população de <i>Eucalyptus</i> sp. ....</b>	<b>26</b>
<b>5.3 Coleta de dados no campo .....</b>	<b>28</b>
<b>5.4 Distribuição diamétrica .....</b>	<b>31</b>
<b>5.5 Cubagem rigorosa das árvores .....</b>	<b>31</b>
<b>5.6 Fator de forma .....</b>	<b>34</b>
<b>5.7 Processamento dos dados .....</b>	<b>35</b>
<b>5.7.1 Ajuste dos modelos .....</b>	<b>35</b>
<b>5.7.2 Medidas de ajuste e precisão .....</b>	<b>37</b>
<b>5.7.3 Estimativa do volume de madeira por estrato e total da área .....</b>	<b>39</b>
<b>5.7.4 Cálculos envolvidos no processamento do inventário estratificado .....</b>	<b>39</b>
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>6.1 Fator de forma .....</b>	<b>42</b>
<b>6.2 Distribuição diamétrica .....</b>	<b>42</b>
<b>6.3 Seleção do modelo hipsométrico .....</b>	<b>45</b>
<b>6.4 Seleção do modelo volumétrico .....</b>	<b>49</b>
<b>6.5 Processamento do inventário .....</b>	<b>53</b>
<b>7. CONCLUSÃO .....</b>	<b>56</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>58</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Localização do Parque Nacional de Brasília .....	12
<b>Figura 2</b> – Mapa de solos da Área 1 do Parque Nacional de Brasília.....	14
<b>Figura 3</b> – Mapa da vegetação da Área 1 do Parque Nacional de Brasília. Destaque para a área experimental, “Reflorestamento”, em azul marinho .....	25
<b>Figura 4</b> – Reflorestamento de <i>Eucalyptus</i> sp. dividido em quatro estratos (E-1, E-2, E-3 e E-4) com respectivas parcelas alocadas .....	27
<b>Figura 5</b> – Fita métrica de 50m, utilizada para demarcação das parcelas .....	28
<b>Figura 6</b> – GPS utilizado para coleta das coordenadas geográficas .....	29
<b>Figura 7</b> – Fita métrica comum, utilizada para mensuração do CAP das árvores.....	30
<b>Figura 8</b> – Hipsômetro Sunnto, utilizado para mensuração da altura das árvores.....	30
<b>Figura 9</b> – Corte de árvore selecionada para a cubagem rigorosa utilizando-se uma motosserra Sthil 381 com potência de 5.3 Cv e peso de 6kg .....	32
<b>Figura 10</b> – Vista em perspectiva de árvores cubadas .....	32
<b>Figura 11</b> – Cubagem rigorosa das árvores pelo método de Hohenadl 10 seções, mensurando-se os diâmetros das seções com uma Suta Diamétrica de 80cm .....	33
<b>Figura 12</b> – Histograma de distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados da população.....	43
<b>Figura 13</b> – Histograma de distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados por estrato .....	45
<b>Figura 14</b> – Gráficos de dispersão dos resíduos em função do DAP e HT, respectivamente, para cada modelo hipsométrico ajustado .....	47
<b>Figura 15</b> – Gráficos de dispersão dos resíduos, respectivo a cada modelo volumétrico ajustado, em função do DAP e HT .....	51

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Área (ha) e número de parcelas lançadas em cada estrato, e os totais.....	<b>27</b>
<b>Tabela 2</b> – Modelos hipsométricos a serem ajustados .....	<b>36</b>
<b>Tabela 3</b> – Modelos volumétricos a serem ajustados.....	<b>37</b>
<b>Tabela 4</b> – Distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados da população .....	<b>43</b>
<b>Tabela 5</b> – Distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados por estrato.....	<b>44</b>
<b>Tabela 6</b> – Modelos hipsométricos ajustados .....	<b>46</b>
<b>Tabela 7</b> – Erro padrão da estimativa absoluto e percentual e coeficiente de determinação ajustado, parâmetros de comparação entre os modelos hipsométricos ajustados.....	<b>48</b>
<b>Tabela 8</b> – Modelos volumétricos ajustados .....	<b>49</b>
<b>Tabela 9</b> – Parâmetros de comparação entre os modelos volumétricos ajustados: erro padrão da estimativa absoluto e percentual e coeficiente de determinação ajustado .....	<b>52</b>
<b>Tabela 10</b> – Volumetria por parcela e parâmetros estatísticos pertinentes .....	<b>53</b>
<b>Tabela 11</b> – Área total, dos estratos e das parcelas.....	<b>54</b>
<b>Tabela 12</b> – Processamento do inventário, parte 1 .....	<b>54</b>
<b>Tabela 13</b> – Processamento do inventário, parte 2 .....	<b>54</b>
<b>Tabela 14</b> – Valores de área média das parcelas, graus de liberdade, coeficiente de variação do estrato, T-student e desvio padrão médio .....	<b>54</b>
<b>Tabela 15</b> – Intensidade amostral total e, segundo a área ou variância (var), por estrato...	<b>55</b>
<b>Tabela 16</b> – Valores do erro do inventário, nas formas absoluta e relativa .....	<b>55</b>
<b>Tabela 17</b> – Intervalo de confiança e média da volumetria por parcela, hectare e população.....	<b>56</b>

## RESUMO

Este trabalho trata do inventário florestal que quantificou o estoque de madeira de um povoamento de *Eucalyptus* sp. no Parque Nacional de Brasília para nortear o manejo desta planta exótica na Unidade de Conservação. O povoamento florestal, de 70 ha, foi dividido em 4 estratos de 11, 20, 23 e 16 ha, onde foram lançadas, aleatoriamente, 8, 14, 13 e 13 parcelas, de 20m X 25m, respectivamente. Amostrando-se apenas indivíduos de Eucalipto com DAP igual ou superior a 5 cm, foram mensurados o DAP de todos e a Altura Total de apenas 8, em cada parcela. Pelo método de Hohenadl 10 seções, foram cubadas rigorosamente 5 árvores representativas de cada uma das 13 classes diamétricas, totalizando 65 indivíduos distribuídos nos diferentes estratos. Quatro modelos hipsométricos e seis modelos volumétricos foram ajustados aos dados coletados, selecionando-se os que apresentaram melhores gráficos de resíduos, erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$  e  $S_{yx\%}$ ) e coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ). Foram selecionados o modelo hipsométrico de Prodan e o modelo volumétrico de Schumacher e Hall. Após o ajuste dos modelos selecionados e estimativa das variáveis dependentes (Altura Total e Volume do fuste com casca), processou-se o inventário. A partir daí, foi gerado o intervalo de confiança para os volumes totais por parcela, hectare e população a um erro máximo admissível de 10% para um  $\alpha$  de 0,05. Em termos médios, o estoque madeireiro é de 5,43m<sup>3</sup> por parcela, 108,57m<sup>3</sup> por hectare e 7600,09m<sup>3</sup> para a população. Por fim, este trabalho reúne elementos que vislumbram um manejo adequado do *Eucalyptus* sp. no Parque Nacional de Brasília, visto que o ganho econômico advindo da exploração responsável deste estoque madeireiro pode vir a custear projetos de recuperação dos sítios ocupados e invadidos por esta planta exótica na Unidade de Conservação.

**Palavras-chave:** Eucalipto, Inventário Florestal, Manejo de Espécie Exótica, Unidade de Conservação, Volumetria.



## ABSTRACT

This paper is about the forest inventory that quantified the stock of wood in an *Eucalyptus* stand located in the National Park of Brasilia to guide the management of this exotic species in the Conservation Unit. The forest stand of 70 hectares was divided into 4 (four) strata of 11, 20, 23 and 16 ha, where were thrown randomly 8, 14, 13 and 13 plots, measuring 20m X 25m, respectively. Sampling only individuals from *Eucalyptus* sp. with DBH equal or higher than 5 cm, were measured the DBH of all and the Total Height of only 8 of these, in each plot. By the method of Hohenadl 10 sections, 5 representative trees of each of the 13 diameter classes were cubed up rigorously, totaling 65 individuals distributed in different layers. Four hypsometric models and six volumetric models were fitted to the data collected, selecting those who had the best residuals plots, standard error of estimate ( $S_{yx}$  e  $S_{yx\%}$ ) and adjusted coefficient of determination ( $R^2$ ). The hypsometric model of Prodan and the volumetric model of Schumacher and Hall were selected. After the adjustments of the selected models and the estimation of the dependent variables (Total Height and bole's Volume with bark), the inventory was processed. From there, the confidence interval was generated for the total volumes per plot, hectare and population to a maximum permissible error of 10% and  $\alpha$  of 0,05. In average terms, the stock timber is 5.43 m<sup>3</sup> per plot, 108.57 m<sup>3</sup> per hectare and 7600.09 m<sup>3</sup> for the population. At the end, this work brings together elements that envision a proper management of *Eucalyptus* sp. in the National Park of Brasilia, since the economic gain arising from the responsible exploration of this timber stock might fund recovery projects of sites occupied and invaded by this exotic plant in the Conservation Unit.

**Keywords:** Conservation Unit, *Eucalyptus*, Forest Inventory, Management of Exotic Species. Volumetry.

## 1. INTRODUÇÃO

As Unidades de Conservação (UCs) são criadas com o intuito de compatibilizar o desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade ambiental e do equilíbrio ecológico, diminuindo a fragmentação florestal e resguardando o que de melhor existe em estado natural (PEIXOTO e COSTA Jr., 2004). Porém, devido à grande pressão antrópica, elas encontram-se entremeadas por empreendimentos humanos que põem em cheque sua função conservacionista, tornando-se necessário o emprego de medidas de manejo que revertam esse quadro.

Contudo, para que se realize um bom manejo é necessário conhecer a área para que se tracem ações compatíveis com os objetivos propostos. Para um bom conhecimento da área, por sua vez, é necessário a realização de um Inventário Florestal, técnica imprescindível ao bom conhecimento do potencial dos recursos florestais existentes em uma determinada área, principalmente quanto a sua disponibilidade em termos de quantidade e qualidade (SANQUETTA et al., 2009). Está técnica é amplamente utilizada no setor produtivo florestal, onde quanto maior o número de informações colhidas sobre a floresta melhor será executado o manejo de seus recursos, tornando a tomada de decisões mais segura e a produção mais rentável.

Os recursos florestais possuem as funções de produção e proteção, exigindo sempre do tomador de decisões a obtenção e a geração de informações precisas e fidedignas, com vistas à melhor forma de conservar ou manejar esses recursos, o que só é possível com a realização de um inventário florestal de qualidade (SANQUETTA et al., 2009), com representatividade amostral e validade estatística.

O conhecimento dos produtos florestais disponíveis de uma área é essencial para todo o planejamento exploratório, uma vez que se melhora o aproveitamento da matéria-prima, reduz-se o gradiente de resíduos gerados, traça-se um plano de corte adequado, melhora-se a logística de transporte e comercialização do sortimento no tempo, maximiza-se a eficiência do trabalho, reduz-se os custos envolvidos no processo, agrega-se valor ao produto final e, o principal para este trabalho, reduz-se a degradação ambiental inerente ao processo, confiando sustentabilidade, competitividade e rentabilidade ao empreendimento.

O Parque Nacional de Brasília depara-se com inúmeros problemas no manejo de seus recursos, dos quais a invasão de espécies exóticas apresenta-se como um dos mais expressivos (HOROWITZ, 2003).

Assim, a fim de subsidiar uma solução deste problema, empregou-se um inventário florestal para a estimativa do volume de madeira do *Eucalyptus* sp. em um reflorestamento no Parque Nacional de Brasília.

## **2. JUSTIFICATIVA**

Este trabalho surgiu da necessidade de se gerar dados acerca do estoque de madeira de um reflorestamento de *Eucalyptus* sp. no Parque Nacional de Brasília visando a futura e gradual recuperação da área nativa pela exploração de baixo impacto e erradicação desta espécie exótica na Unidade de Conservação.

## **3. OBJETIVO**

Quantificar o estoque madeireiro em povoamento de *Eucalyptus* sp. no Parque Nacional de Brasília como subsídio ao plano de manejo desta planta exótica na Unidade.

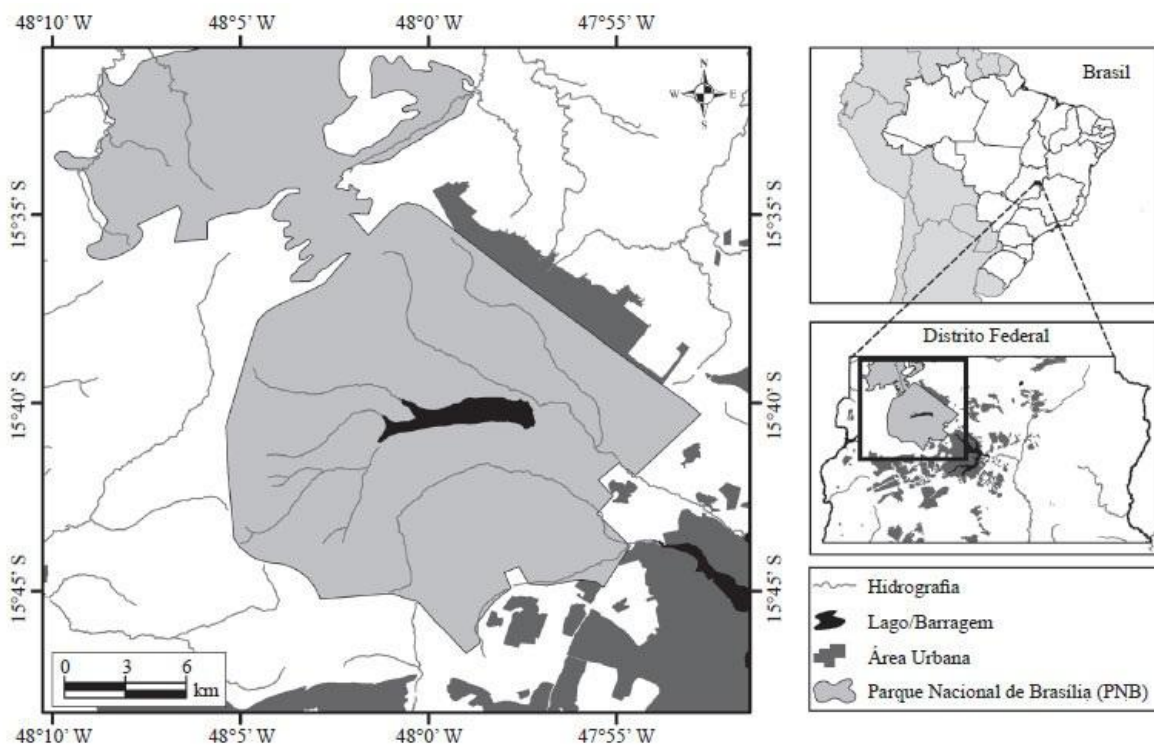
### **3.1 Objetivos Específicos**

- Descrever qualitativamente o reflorestamento;
- Explicar a estrutura diamétrica do povoamento;
- Gerar um fator de forma ajustado;
- Obter a volumetria do povoamento por parcela, hectare e população;
- Nortear o planejamento exploratório do estoque madeireiro do povoamento;

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Parque Nacional de Brasília

O Parque Nacional de Brasília, criado pelo Decreto Federal nº241 em 29 de novembro de 1961 (Área 1) e redefinido pela Lei Federal nº 11.285 de 08 de março de 2006 (incorporando a Área 2), possui cerca de 42.389 hectares (FARIAS, 2008). Localizado à Noroeste do Distrito Federal (Figura 1), confronta-se com as regiões administrativas de Brasília-DF, Brazlândia-DF e Sobradinho-DF, e ainda o município de Padre Bernardo-GO (ICMBIO, 2011). Está situado numa área de importantes nascentes, um divisor de águas entre as Bacias Tocantins/Araguaia e Paraná (HOROWITZ, 2003), praticamente dentro da bacia do Paranoá.



**Figura 1** – Localização do Parque Nacional de Brasília. *Fonte: MARTINS, 2011.*

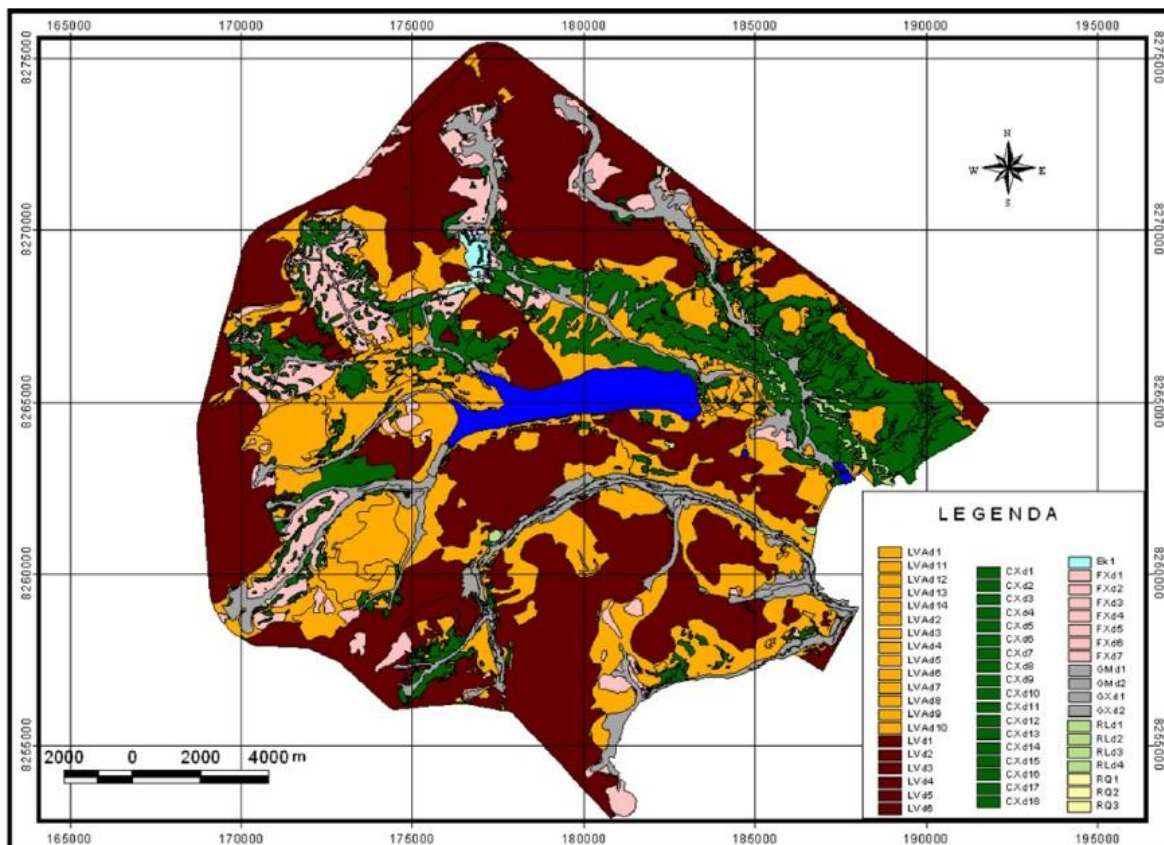
Protegendo uma amostra do Bioma Cerrado do Planalto Central, o Parque engloba as fitofisionomias mata de galeria pantanosa, mata de galeria não pantanosa, vereda, cerrado *stricto sensu*, cerradão, mata seca, campo sujo, campo limpo, campo rupestre,

campo úmido e campo de murundus (BRAGA NETTO, 2005). A grande maioria dos animais do Cerrado pode ser encontrada no Parque. Entre esses, destacam-se alguns ameaçados de extinção: lobo-guará – *Chrysocyon brachyurus*, tatu-canastra – *Priodontes maximus*, tatu-bola – *Tolyppeutes tricinctus*, tamanduá-bandeira - *Myrmecophaga tridactyla*, veado campeiro – *Ozotocerus bezooarticus*, jaguatirica - *Felis pardalis*, codorna buraqueira – *Taoniscus manus* e o pássaro papa-mosca-do-campo – *Culioivora candacuta* (HOROWITZ, 2003).

O Parque tem a especificidade de proteger a bacia dos córregos formadores da represa de Santa Maria, responsável pelo fornecimento de 25% da água que abastece Brasília (FERREIRA, 2003).

O clima da região é marcado por duas estações bem definidas, uma quente e chuvosa, de outubro a abril, e outra fria e seca, de maio a setembro. Segundo a classificação de Köppen, a região está submetida aos climas: Cwa, tropical de altitude com temperatura do mês mais frio igual a 18 °C e média do mês mais quente superior a 22 °C (cotas altimétrica de 1000 a 1200 metros), de outubro à abril; e Cwb, tropical de altitude com temperatura do mês mais frio inferior a 18 °C e média do mês mais quente inferior a 22 °C (cotas altimétricas acima de 1.200 metros), de maio a setembro. A precipitação fica entre 1500 e 1750 mm anuais.

A Área 1 tem topografia predominantemente plana e ligeiramente ondulada e, conforme Figura 2, tem como principais grupos de solos os Latossolos Vermelho-Escuro e Vermelho-Amarelo (cerca de 38%), os Cambissolos (cerca de 22%) e os Solos Hidromórficos, os demais grupos, como os Podzólicos hidromórficos, aparecem em trechos isolados (FERREIRA, 2003).



**Figura 2** – Mapa de solos da Área 1 do Parque Nacional de Brasília. *Fonte: FARIAS, 2008.*

A Área 2 é uma região escarpada com encostas acentuadas cobertas por uma vegetação natural composta por fragmentos de florestas de galeria circundadas naturalmente pelo cerrado *stricto sensu* (DE PAULA et al. 2009).

O Parque, além da função básica de preservar ecossistemas naturais do Cerrado e suas riquezas bióticas e abióticas (principalmente a água), possibilita a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação ambiental, recreação e contato com a natureza (ICMBIO, 2011).

#### **4.2 Problemática das espécies exóticas no Parque Nacional de Brasília**

A fragmentação florestal, gerada pelo crescimento das cidades e expansão das fronteiras agrícolas e marcada pela presença de espécies exóticas, promove o isolamento de

populações e o declínio da variabilidade genética, prejudicando várias espécies vegetais e animais, levando-as muitas vezes à extinção.

A grande maioria das UC's brasileiras encontra-se ameaçadas por diversos empreendimentos que, ou datam de antes de sua criação, ou foram instalados posteriormente (PEIXOTO e COSTA Jr., 2004). O Parque Nacional de Brasília (PNB), por exemplo, além de ilhado pelo crescimento desordenado da urbanização circundante, detém espécies exóticas que antecedem sua criação, presentes em antigas fazendas, e posteriores, devido a invasão biológica.

Espécies exóticas são organismos que se encontram fora da sua área natural de distribuição quando, por dispersão acidental ou intencional, colonizam novas áreas, se naturalizando e alterando o funcionamento dos ecossistemas nativos (MMA/SBF, 2006). Inicia-se o processo de invasão biológica cujos estágios são marcados pela introdução, estabilização, dispersão, colonização e dominância. As espécies exóticas interagem negativamente com as nativas por competição interespecífica. Em circunstâncias cujos sinergismos desfavorecem as nativas, chegam a alterar as características e o funcionamento dos processos ecológicos, levando à quebra da resiliência de ecossistemas naturais, à redução de populações de espécies nativas e à extinções locais (PIVELLO, 2008).

A presença de espécies exóticas em Unidades de Conservação de proteção Integral (UCPI) fere os objetivos de sua criação ao impedirem uma proteção plena do habitat. Por isso, instituíram-se, no âmbito federal, dispositivos legais que proíbem a presença destas espécies nestas áreas, em específico: o Decreto-Lei nº 84.017/79, que regulamenta os Parques Nacionais e Reservas Equivalentes; a Lei nº 9.985/00, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e a Lei nº 9.605/98 que trata dos Crimes Ambientais. Alinhados ao ordenamento maior, os planos de manejo das Unidades de Conservação estabelecem programas com normas e atividades que visam a prevenção e o controle dessas espécies.

Em função da amplitude dos impactos, cuja dimensão pode ser irreversível, as espécies exóticas invasoras constituem a segunda maior causa de perda da biodiversidade no mundo, atrás apenas da causada pela perda de habitats por intervenção humana (GISP, 2005; PRIMACK e RODRIGUES 2001).

De acordo com Carvalho (2005), as espécies exóticas invasoras estão presentes em pelo menos 103 Unidades de Conservação federais e estaduais de Proteção Integral do Brasil, o que representa aproximadamente 21,5% das UCs existentes (RYLANDS e BRANDOM, 2005). Os líderes do ranking de invasões são Pinus, Capim-brachiaria, Capim-gordura, Eucalipto, Lírio-do-brejo, Jaca e Uva-do-japão, presentes em 35, 15, 13, 13, 10, 8 e 8 UCs, respectivamente. Também figuram na lista animais como Cães, Búfalos, Caramujo-gigante-africano e Javali, encontrados respectivamente em 15, 6, 5 e 4 UCs.

Segundo análise de Pivello (2005), praticamente todas as UC's do Cerrado encontram-se invadidas por espécies exóticas.

No Parque Nacional de Brasília, estudos registram 120 espécies exóticas à flora do Cerrado (MMA/ICMBIO, 2009). Dentre estas, 24 são identificadas como espécies-problemas por se enquadrarem nas classificações: Exótica Persistente com risco potencial de invasão médio/alto; Exótica Invasora em estágio inicial de dispersão/colonização e Exótica Invasora em estágio médio/avançado de dispersão/colonização (HOROWITZ, 2007).

No rol das espécies-problemas, o Eucalipto classifica-se como uma espécie invasora em estágio inicial de dispersão e colonização (HOROWITZ, 2007).

O *Eucalyptus* sp., originário da Austrália, foi introduzida no Parque no final da década de 50 em decorrência de experimentos conduzidos pelo antigo Serviço Florestal Brasileiro – executor do convênio com a NOVACAP – com o objetivo de produzir mudas para a arborização da futura capital (HOROWITZ, 2003). Remanescem no Parque aproximadamente 100 hectares de eucalipto, distribuídos em três maciços florestais localizados na trilha do Cristal Água (3 ha), nas proximidades do Portão 3 (70 ha) e na margem do ribeirão Torto (27 ha).

Segundo o Plano de Manejo da Unidade (IBAMA/FUNATURA, 1998), o maciço próximo ao Portão 3 é um bosque extenso de *Eucalyptus* cf. *saligna* em estágio adulto que substitui um cerrado denso. A área apresenta baixa regeneração do cerrado natural, sugerindo uma quebra no fluxo natural reprodução-dispersão além de influenciar o estabelecimento e competição intra e interespecífica das espécies endêmicas.



Das ações de manejo voltadas ao eucalipto propostas pelo PNB, citam-se:

- O corte e o anelamento dos indivíduos isolados situados no interior do Parque por colonização espontânea, principalmente (MMA/ICMBIO, 2009).
- A proposição de projetos que visam avaliar a regeneração espontânea da vegetação nativa no interior dos talhões de *Eucalyptus* sp, visando a recuperação da área pela erradicação desta espécie exótica e favorecimento da regeneração natural (MMA/ICMBIO, 2009).
- Proposição do estudo da viabilidade de exploração do estoque florestal madeireiro de *Eucalyptus* sp., em especial o do Portão 3 por ser o mais expressivo, a partir da ponderação do ganho econômico e passivo ambiental inerentes ao processo (MMA/ICMBIO, 2009). Ou seja, ponderar os impactos positivos e negativos das ações de exploração do estoque florestal madeireiro sobre a regeneração natural espontânea da vegetação nativa. Para tanto, há a necessidade de, primeiramente, quantificar o estoque de madeira neste talhão de *Eucalyptus* sp.

Assim, além da importância ecológica, a retirada de determinadas espécies exóticas em UC's têm caráter estratégico, pois a exploração comercial de seus produtos pode promover a geração de recursos financeiros aplicáveis às práticas conservacionistas da Unidade, fazendo com que ela atinja seus objetivos de criação. Como exemplo disso temos a Reserva Biológica União, do Rio de Janeiro, que traçou um plano de recuperação de áreas baseado na extração e comercialização responsável de Eucalipto, a fim de erradicar esta espécie exótica da área e levantar fundos para custear a recuperação ambiental da Unidade (ICMBIO, 2007).

### **4.3 Hipsometria**

Hipsometria é o processo de medição da altura das árvores, podendo ser obtida de forma direta, indireta ou estimada. Na direta, o mensurador tem contato direto com as árvores, utilizando-se de trenas ou varas graduadas para a mensuração; já nas indiretas o mensurador utiliza-se de hipsômetros para mensurar, a distância, a altura das árvores. Na estimada, a partir da construção de uma curva altura-diâmetro (relação hipsométrica) com

os dados das árvores cuja altura e diâmetro foram medidos direta ou indiretamente no campo, realiza-se o ajuste gráfico ou matemático à curva na forma de equações para a estimativa da altura das demais árvores.

Hipsômetros são instrumentos de medição indireta de altura baseados em princípios geométricos e trigonométricos (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2003), mais comumente utilizados no meio florestal.

Nos inventários florestais, deve-se especificar que tipo de altura está sendo medida, já que há uma denominação de altura para cada parte da árvore (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2003), como a altura total, que considera a árvore em sua totalidade, e a altura comercial, que desconsidera parte de seu fuste.

A relação hipsométrica é influenciada por fatores biológicos (como espécie e idade) e de manejo (como sítio, densidade, posição sociológica, trato silvicultural, etc.), o que confere baixa correlação entre altura e diâmetro da árvore. Desta maneira, torna-se necessário o ajuste de vários modelos por área amostral para que se aumente a precisão da estimativa.

A variável altura serve essencialmente para o cálculo do volume e para o cálculo de incrementos em altura e em volume. Nos métodos estimativos, a altura também entra como uma segunda variável independente nas tabelas de volume, funções de afilamento e em algumas outras relações dendrométricas (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2003).

#### **4.4 Volumetria**

A estimativa do volume é uma das principais finalidades dos inventários florestais, principalmente quando estes têm fins comerciais (SANQUETTA et al., 2009). Nestes, o volume do fuste é o mais almejado por ter maior valor agregado, porém, pode-se também estimar a volumetria da copa e raiz das árvores.

Saber a volumetria do povoamento florestal torna a administração da produção florestal mais segura, dando flexibilidade à oferta dos produtos no mercado e confiança quanto à seleção de planos de manejo mais adequados à destinação final do produto.

O volume da árvore também pode ser determinado analiticamente através da cubagem rigorosa, por se tratar de um sólido irregular (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2003).

Vários são os modelos de equações de volume propostos pela literatura com o intuito de descrever o fuste vegetal de maneira ótima, e dessa forma, gerar maior confiabilidade nas estimativas de volume.

Para CLUTTER et al., (1983) as equações de volume formam a base para o planejamento e execução de inventários florestais e estes por sua vez são essenciais para a implementação de planos de manejo sustentado de recursos florestais.

#### **4.5 Distribuição diamétrica**

A variável diâmetro, obtida por medição direta das árvores, é bem correlacionada com outras variáveis, tais como o volume, a qualidade de produção e os custos de exploração (BARTOSZECK et al., 2004).

O processo de classificação dos indivíduos de uma população segundo os valores de seus diâmetros através de formulações matemáticas é denominado distribuição diamétrica.

Segundo Pires O'Brien e O'Brien (1995), a avaliação deste fator, definido pelo número de árvores por unidade de área e por intervalo de classe de diâmetro, pode explicar parte da estrutura de uma floresta.

A estrutura diamétrica de uma floresta permite caracterizar o estoque de madeira disponível antes de uma exploração, além de fornecer informações que auxiliam na tomada de decisões sobre a necessidade de reposição florestal (SCOLFORO et al., 1998; PULZ et al., 1999).

Portanto, a distribuição diamétrica é um fator de relevante importância para o planejamento e controle das atividades florestais, determinação da produção e do crescimento das árvores, além de possibilitar o conhecimento de produções futuras do povoamento (NETTO, 2008).

## 4.6 Cubagem rigorosa

A cubagem é um procedimento de obtenção de volume da árvore medindo-se sucessivos diâmetros ao longo de seu fuste, dividindo-o em seções (MIGUEL, 2009), onde o somatório dos volumes de cada seção gera o volume total da árvore (BELCHIOR, 1996) que, evidentemente, será mais acurado quando se usar seções de menor comprimento.

Este procedimento deve ser realizado por classes de diâmetro e de altura, dentro de tratamentos silviculturais semelhantes, almejando indivíduos com formas semelhantes e constantes para se padronizar os volumes encontrados (GOMES, 1957). Daí a necessidade em se ajustar modelos a cada inventário realizado.

A derrubada de árvores para fins de cubagem é sempre efetuada fora das unidades amostrais, em áreas isoladas, onde se buscam as árvores representativas do povoamento, geralmente segundo as classes diamétricas levantadas no inventário das parcelas (SANQUETTA et al., 2009).

A cubagem pode ser realizada pelos métodos absolutos e relativos. No absoluto, o comprimento da seção não tem relação com o comprimento total da árvore. Já no relativo, o comprimento da seção representa um percentual do comprimento total da árvore, permitindo comparação dos volumes individuais de árvores distintas, porém com a mesma forma.

Para que a cubagem rigorosa cumpra as premissas representativas das quais lhe são exigidas, é necessário cubar indivíduos em qualidade e quantidade representativas, ou seja, indivíduos cujas características expressem bem toda variabilidade do povoamento e em número suficiente para conferir validade estatística à amostragem da população.

### *Método relativo de Hohenadl, 10 seções*

Este método de cubagem visa obter o volume da árvore pelo somatório dos volumes das seções, cujo comprimento é determinado em relação à altura total da árvore, a partir do produto deste e da área seccional central das mesmas.

Neste método, conforme Queiroz *et al.* (2006), é medido o di (diâmetro) no centro de cada seção ao longo do tronco nas alturas (m) correspondentes a 5%; 15%; 25%; 35%; 45%; 55%; 65%; 75%; 85%; 95%; da altura total da árvore.

Segundo Queiroz *et al.* (2006), para dez seções, a fórmula de Hohenadl é dada por:

$$V = \frac{h}{10} (g_{0,05} + g_{0,15} + g_{0,25} + g_{0,35} + g_{0,45} + g_{0,55} + g_{0,65} + g_{0,75} + g_{0,85} + g_{0,95})$$

Onde:

V = volume do fuste com casca da árvore cubada (m<sup>3</sup>);

$g_{0,i}$  = área seccional (m<sup>2</sup>) calculada mediante expressão:  $g_{0,i} = \frac{\pi \cdot d_i^2}{40000}$ , na qual  $d_i$  é o diâmetro tomado a 5%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% da altura (h) do fuste da árvore.

#### 4.7 Perfil ou forma da árvore e fator de forma

O entendimento da forma do fuste proporciona uma maior precisão na quantificação de seu volume, visto que sua influência na estimativa do volume das árvores é significativa.

O fuste das árvores apresenta-se de diversas formas, variando em razão do ambiente, espécie, idade, manejo e aptidões genéticas (FINGER, 1992).

A partir da cubagem, obtém-se o fator de forma da árvore, número que explica a variação na forma do fuste (redução do diâmetro com a altura), essencial na determinação volumétrica, juntamente com o diâmetro e a altura.

Segundo Finger (1992), o crescimento em altura é o parâmetro que mais influencia o fator de forma.

O fator de forma é definido como uma constante que deve ser multiplicada pelo produto da área da seção transversal (g) com a altura total/comercial (h) da árvore para se ter o volume do fuste de uma árvore em pé (SILVA, 1977).

O fator de forma é uma razão entre volumes utilizado para corrigir o volume do cilindro para o volume do fuste da árvore (SCOLFARO *et al.*, 1998), devendo ser

multiplicado pelo volume do cilindro para, então, se obter o volume real do fuste da árvore (FINGER, 1992).

À medida que o fator de forma se aproxima de 1, mais cilíndrica é a árvore (SANQUETTA et al., 2009).

O fator de forma pode ser artificial, quando se relaciona o volume rigoroso com o volume de um cilindro à 1,30m de altura, e natural, quando se relaciona o volume rigoroso com o volume de um cilindro à 10% da altura da árvore (SANQUETTA et al., 2009).

O fator de forma é uma opção antiga, simples e de fácil aplicação, devendo ser utilizada em situações onde não se tenha nenhuma informação, ou ainda necessite de rapidez do trabalho de inventário, capaz de fornecer estimativas confiáveis se controlados alguns parâmetros da floresta, tais como idade, espaçamento e sítio (FRANCO et al., 1997).

#### **4.8 Equações hipsométricas e volumétricas**

A estimativa da altura e volume é amplamente difundida no meio florestal e, visto que a medição direta destas variáveis é onerosa e demanda muito tempo, seu emprego torna o inventário florestal mais prático e econômico (CARVALHO, 2010). Assim, em escala comercial, são realizados inventários por amostragem, nos quais partes da população são medidas e o resultado extrapolado para o restante da floresta por meio de equações ajustadas.

O uso de equações hipsométricas e volumétricas ajustadas nas estimativas dos parâmetros de um povoamento florestal gera dados muitas vezes tão precisos quanto se realizasse a medição direta de todas as árvores da parcela (OLIVEIRA et al., 2005; COUTO e BASTOS, 1987; MACHADO et al., 1994).

O volume é uma das informações mais importantes quando se deseja conhecer o potencial produtivo madeireiro de uma floresta. Já a altura serve basicamente para ser incorporada às equações volumétricas como variável independente e para o cálculo de incrementos em altura e em volume (MACHADO E FIGUEIREDO FILHO, 2003). Desta forma, as equações podem ser divididas, segundo Scolforo e Melo (2006), em:

- Simples = apenas uma variável independente, o diâmetro; pouco correlacionado com a altura; hipsométrico;
- Dupla entrada = duas variáveis independentes, o diâmetro e a altura, com baixa correlação entre eles; volumétrico;
- Tripla entrada = três variáveis independentes, o diâmetro, a altura e o fator de forma.

Geralmente as equações de dupla entrada são mais utilizadas, porém sugere-se testar vários modelos para que, por meio de análises estatísticas, seja identificada a melhor para cada caso.

Para obtenção de uma equação eficiente, é necessário fazer o ajuste do modelo através da regressão, ou seja, encontrar seus coeficientes, e posteriormente testá-lo para verificar o quanto a relação entre as variáveis é explicada pela equação e qual o erro cometido ao usá-la (SANQUETTA et al., 2009).

#### **4.9 Inventário Florestal estratificado**

A estratificação de uma população florestal visa eliminar as fontes de variação para que se consiga, com uma menor intensidade amostral e, por conseguinte, com menores custo e tempo, uma estimativa mais precisa da variável de interesse (SANQUETTA et al., 2009). Além disso, a redução da intensidade amostral significa uma menor intervenção na área, o que é desejável em áreas cujo viés seja conservacionista.

O número de estratos a serem adotados depende da conveniência administrativa, do custo do levantamento e da variabilidade da característica (SCOLFORO e MELO, 2006).

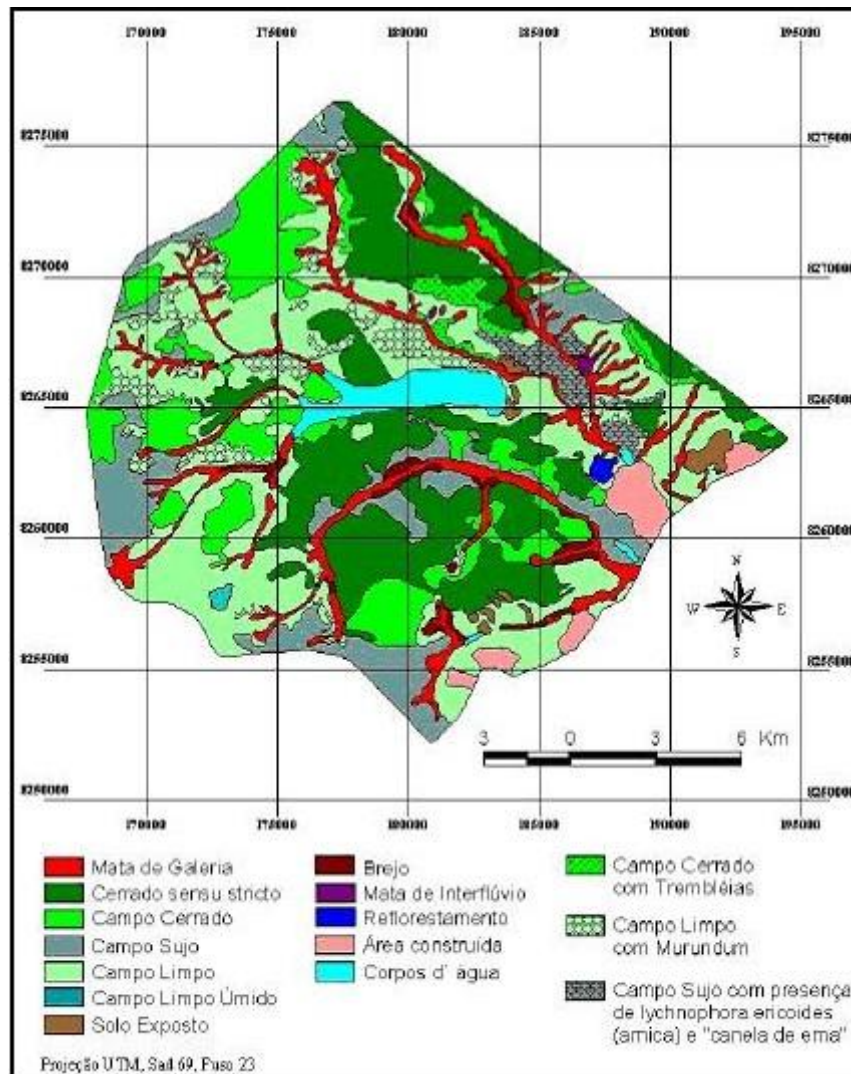
## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Caracterização da área de estudo

Para atender a este estudo foi selecionada uma área do Parque Nacional de Brasília com presença indesejada de espécie exótica que represente uma forte ameaça à conservação, sendo, portanto, alvo de planos de erradicação.

Desta maneira, realizou-se o estudo em um reflorestamento (Figura 3) de *Eucalyptus* sp. no Parque Nacional de Brasília, Distrito Federal, com área medindo aproximadamente 70 hectares, localizado próximo ao portão número três desta UC, delimitado pelos paralelos 15°41'32,64"S e 15°41'58.56"S de latitude sul, e entre os meridianos 47°55'36.48"O e 47°54'57.6"O de longitude oeste.





**Figura 3** – Mapa da vegetação da Área 1 do Parque Nacional de Brasília. Destaque para a área experimental, “Reflorestamento”, em azul marinho. *Fonte: FERREIRA, 2003.*

O plantio de eucalipto não possui qualquer tratamento silvicultural desde sua implantação, se expandindo em algumas fronteiras – por disseminação natural de sementes, e se retraindo em outras.

É possível observar que na área do reflorestamento ocorreram muitos cortes indiscriminados de árvores. Muitas cepas sofreram rebrota e muitas árvores têm mais de um fuste. O plantio provavelmente deve ter sido instalado sem qualquer planejamento silvicultural, pois o espaçamento é heterogêneo. As árvores apresentam-se repletas de galhos lenhosos.

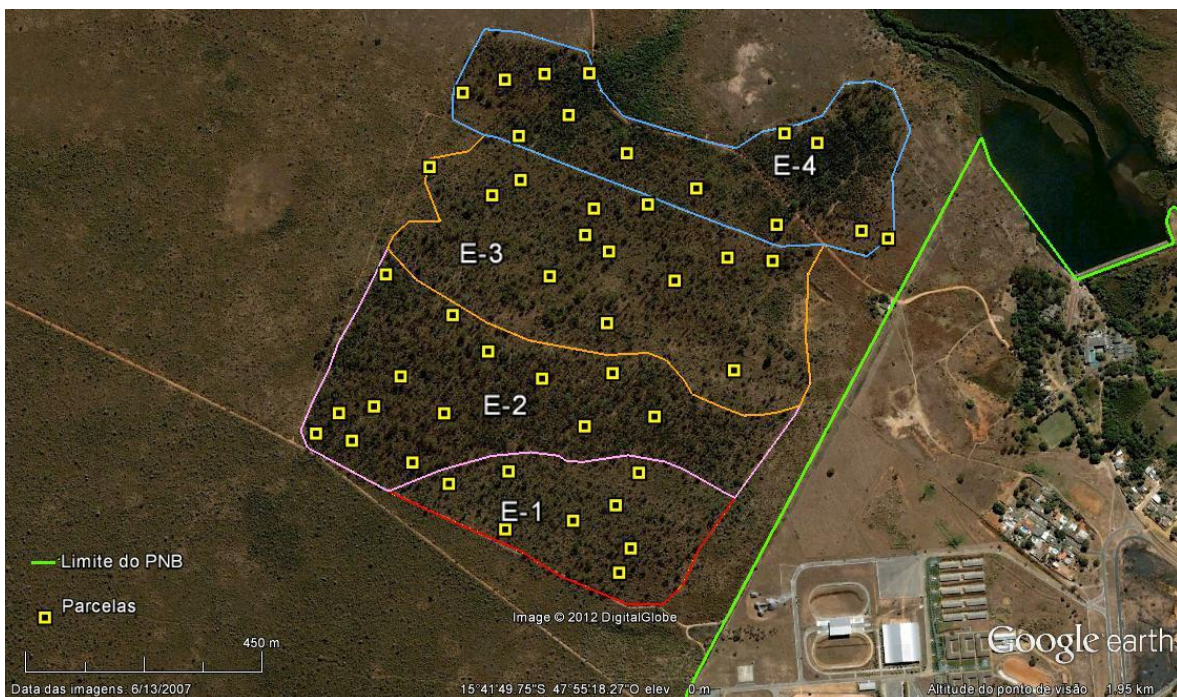
Há ainda forte presença de gramíneas exóticas compondo a vegetação rasteira, principalmente o *Melinis minutiflora* (capim-gordura), inibindo, por competição e sombreamento, a brotação do banco de sementes e o desenvolvimento das espécies nativas do cerrado pré-existente no local.

O solo da área estudada é do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo (vide Figura 2) e sua topografia é plana.

## **5.2 Inventário Florestal da população de *Eucalyptus* sp.**

Considerando-se que a área de estudo se insere em uma Unidade de Conservação cujas restrições ambientais e limitações logísticas e orçamentárias inviabilizariam a adoção de técnicas de obtenção de volume mais rigorosas a exemplo da enumeração completa, adotou-se, segundo a classificação de Péllico Netto e Brena (1997), um Inventário Florestal estratégico, de área restrita, temporário e detalhado, por amostragem estratificada aleatória e com nível de confiança de 95% para a estimativa do estoque madeireiro no menor tempo e com a menor intensidade amostral possível.

A estratificação (divisão da população em grupos homogêneos) adotou o parâmetro da densidade vegetacional analisada visualmente por meio de imagem de satélite gerada pelo Google Earth Pro (Figura 4) e ponderadas por incursões à campo.



**Figura 4** – Reflorestamento de *Eucalyptus* sp. dividido em quatro estratos (E-1, E-2, E-3 e E-4) com respectivas parcelas alocadas. *Fonte: Google Earth Pro.*

Desta forma, a área de 70 ha foi subdividida em 4 estratos (E-1, E-2, E-3 e E-4), cada estrato englobando parte contínua e homogênea da paisagem, subdivididos em parcelas de 20m X 25m (500m<sup>2</sup>) e posteriormente selecionadas aleatoriamente para a coleta dos dados de maneira que toda a variabilidade da floresta fosse amostrada.

A Tabela 1 apresenta a área de cada estrato bem como o número de parcelas amostradas no inventário piloto.

**Tabela 1** - Área (ha) e número de parcelas lançadas em cada estrato, e os totais.

<b>Estratos</b>	<b>Área (há)</b>	<b>Parcelas</b>
<b>E-1</b>	11	8
<b>E-2</b>	20	14
<b>E-3</b>	23	13
<b>E-4</b>	16	13
<b>Total</b>	70	48

### 5.3 Coleta de dados no campo

Para delimitar o polígono das parcelas foram esticadas 2 trenas de 50m cada (Figura 5), seus vértices demarcados com fita zebra e suas coordenadas geográficas centrais coletadas com um GPS Garmin etrex vista (Figura 6).



**Figura 5** – Fita métrica de 50m, utilizada para demarcação das parcelas.



**Figura 6** – GPS utilizado para coleta das coordenadas geográficas.

Em cada parcela foram amostrados apenas indivíduos de *Eucalyptus* sp. com CAP igual ou superior a 15,7cm (DAP  $\approx$  5cm). Árvores com bifurcação abaixo de 1,30 m de altura foram contabilizadas como 2 (dois) indivíduos. Já as com bifurcação acima, como apenas 1 (um). Árvores mortas ou em péssimo estado fitossanitário não foram amostradas.

Mensurou-se, com uma fita métrica comum (Figura 7), o CAP de todas as amostras da parcela e, com o hipsômetro Sunnto (Figura 8), a Altura Total das primeiras 8 destas.



**Figura 7** – Fita métrica comum, utilizada para mensuração do CAP das árvores.



**Figura 8** – Hipsômetro Sunnto, utilizado para mensuração da altura das árvores.

A suficiência amostral indicará o número de parcelas (n) necessárias para amostrar uma área com 95% de probabilidade de acerto e dentro de um erro máximo permissível de 10%, pela fórmula:

$$n = \frac{t^2 CV_{\%}^2}{(E_{\%})^2 + \frac{t^2 CV_{\%}^2}{N}}$$

Onde:

n = número de parcelas do inventário florestal piloto;

t = valor tabular da distribuição de t com (n - 1) graus de liberdade;

CV<sub>%</sub> = coeficiente de variação percentual;

E<sub>%</sub> = erro permissível na amostragem; e

N = número total de parcelas cabíveis na área;

#### **5.4 Distribuição diamétrica**

Assim, a fim de melhor descrever o povoamento, estipulou-se o valor de 5 cm para a amplitude de classe, calculando-se o número de classes de diâmetro pela razão entre a amplitude diamétrica – diferença entre o maior (limite superior) e o menor (limite inferior) diâmetro encontrado no povoamento – e a amplitude de classe pré-estabelecida. As árvores inventariadas foram, então, alocadas em suas correspondentes classes de diâmetro, a fim de se obter o valor de DAP central para cada classe, necessário à identificação de indivíduos representativos da amostra.

#### **5.5 Cubagem rigorosa das árvores**

A seleção das árvores se deu em função de sua representatividade em cada classe de diâmetro, preferindo-seubar árvores com o diâmetro mais próximo do valor central da classe.



**Figura 9** – Corte de árvore selecionada para a cubagem rigorosa utilizando-se uma motosserra Stihl 381 com potência de 5.3 Cv e peso de 6kg.



**Figura 10** – Vista em perspectiva de árvores cubadas.



Foram selecionadas 5 árvores em cada classe diamétrica, de forma que cada estrato contemplasse pelo menos 1 árvore cubada de cada classe.

Cada árvore teve sua altura total (h), diâmetro à altura do peito (DAP) e diâmetros seccionais ( $d_i$ ) medidos individualmente (Figura 11).



**Figura 11** – Cubagem rigorosa das árvores pelo método de Hohenadl 10 seções, mensurando-se os diâmetros das seções com uma Suta Diamétrica de 80cm.

Pela heterogeneidade do povoamento, adotou-se um método de cubagem que mensura o fuste de uma forma mais detalhada, a fim de se proporcionar uma boa precisão na estimativa do volume. Dessa forma, o volume real do fuste com casca de cada árvore cubada foi determinado pelo método relativo de Hohenadl para 10 seções, por este definir o comprimento das seções relativo à altura total da árvore, reduzir o comprimento relativo das seções pelo aumento do número de seções e garantir que todas as árvores tivessem a mesma quantidade de medições, o que aumenta a precisão do volume obtido.

## 5.6 Fator de forma

Para o desenvolvimento do fator de forma, calcula-se, a princípio, a área da seção transversal da árvore:

$$g = \frac{\pi * DAP^2}{40000}$$

Que multiplicada pela altura (h) da árvore, originará o volume do cilindro:

$$V_{\text{Cilindro}} = g * h$$

Assim, como o fator de forma (f) da árvore é calculado através do quociente entre o volume obtido pela cubagem e o volume do cilindro, tem-se:

$$f = \frac{V_{\text{Cubagem}}}{V_{\text{Cilindro}}}$$

Para cada árvore cubada foi calculado um fator de forma. Posteriormente, foi estimado um fator de forma médio entre as mesmas, sendo este, o fator de forma médio do povoamento, o que poderá ser utilizado para levantamentos rápidos de volume do fuste com casca em outras áreas que apresentarem características semelhantes, pela fórmula:

$$V = g * h * f$$

Onde o volume individual do fuste com casca de cada árvore (V) pode ser estimado multiplicando seus valores de área transversal (g), altura (h) e fator de forma médio do povoamento (f).

## 5.7 Processamento dos dados

### 5.7.1 Ajuste dos modelos

A seleção do melhor modelo foi baseada na seguinte sequência de importância das estatísticas de ajuste e de precisão, proposta por Drapper & Smith (1981) e explicada por Cerdeira (2012):

1º - Análise gráfica da dispersão dos resíduos em relação ao DAP e aos valores reais, indicando graficamente o quanto os valores estimados divergem dos valores observados;

2º - Erro padrão da estimativa (absoluto e relativo), indicando o quanto os valores estimados divergem dos observados. Quanto mais próximo de 0, melhor;

3º - Coeficiente de determinação ajustado, indicando o quanto as variáveis independentes do modelo explicam as dependentes analisadas. Quanto mais próximo de 1, melhor.

Desta forma, através dos Softwares Microsoft Excel 2007 e Statgraphics, foi realizada a análise de regressão nos dados a fim de selecionar os modelos que melhor estimaram as respectivas variáveis, ou seja, os que apresentaram os melhores conjuntos de gráfico de dispersão dos resíduos, valor do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajust.) e erro padrão da estimativa [absolutos ( $S_{yx}$ ) e percentuais ( $S_{yx\%}$ )].

#### *Modelos hipsométricos*

Os modelos que serão ajustados para estimar a variável altura estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Modelos hipsométricos a serem ajustados.

Nome	Modelo matemático
Linha Reta	$h = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \varepsilon$
Trorey	$h = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$
Curtis	$Ln h = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{d} + \varepsilon$
Prodan	$h = \frac{d^2}{\beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2} + \varepsilon$

Onde:

d - diâmetro a altura do peito em cm;

Ln - logaritmo natural;

h - altura total em m;

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  - parâmetros dos modelos a serem estimados;

$\varepsilon$  - erro associado ao modelo;

### ***Modelos volumétricos***

Os volumes obtidos pela cubagem rigorosa foram utilizados para o ajuste de modelos volumétricos de simples ou dupla entrada (Tabela 3), com o intuito de selecionar o modelo que melhor se ajustasse aos dados, possibilitando estimar o volume individual do fuste com casca de cada árvore. A seguir, os modelos volumétricos testados:

**Tabela 3** – Modelos volumétricos a serem ajustados.

Nome	Modelo matemático
Takata	$V = \frac{DAP^2 * HT}{\beta_0 + \beta_1 * DAP} + \varepsilon$
Naslund	$V = \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 d h^2 + \beta_4 h^2 + \varepsilon$
Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \varepsilon$
Spurr (log)	$\text{Ln}V = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(d^2 h) + \varepsilon$
Schumacher e Hall	$V = \beta_0 * DAP^{\beta_1} * HT^{\beta_2} + \varepsilon$
Schumacher e Hall (log)	$\text{Ln}V = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}DAP + \beta_2 \text{Ln}HT + \varepsilon$

Onde:

V - volume em m<sup>3</sup>;

d - diâmetro a altura do peito em cm;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  e  $\beta_4$  - parâmetros do modelo de regressão;

Ln - logaritmo natural;

$\varepsilon$  - erro associado ao modelo;

HT ou h - altura total.

### 5.7.2 Medidas de ajuste e precisão

Para o cálculo do erro padrão da estimativa absoluto ( $S_{yx}$ ) e percentual ( $S_{yx\%}$ ), que expressam o erro em se usar determinado modelo na estimativa da variável dependente, foram usadas as fórmulas (DRAPPER e SMITH, 1981):

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{(Y_i - Y_e)^2}{n - p}} \quad \& \quad S_{yx\%} = \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} * 100$$

Onde:

Syx = erro padrão da estimativa;

Syx % = erro padrão da estimativa em porcentagem;

Yi = di observado ou vi observado;

Ye = di estimado ou vi estimado;

$\bar{Y}$  = médio observado ou vi observado;

n = número de observações;

p = número de coeficientes do modelo matemático;

Para minimização do erro da discrepância logarítmica, que subestima o valor da variável estimada, foi calculado o anti-logaritmo utilizando o Fator de correção de Meyer (Fm), cuja fórmula é expressa da seguinte forma:

$$Fm = e^{0,5*Q.M.res.}$$

Onde:

e = base do logaritmo natural;

Q.M.res = quadrado médio dos resíduos.

Para o cálculo do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajust.}$ ), que indica o quanto a variável dependente é explicada pelas variáveis independentes do modelo, foi usada a fórmula (DRAPPER e SMITH, 1981):

$$R^2_{ajust.} = 1 \left[ \left( \frac{S.Q.res}{S.Q.total} \right) * \left( \frac{n-1}{n-p} \right) \right]$$

Onde:

$R^2_{ajust.}$  = coeficiente de determinação ajustado;

S.Q.res = soma de quadrados do resíduo;

S.Q.total = soma de quadrados total;

n = número de observações;

p = número de coeficientes do modelo matemático.

### 5.7.3 Estimativa do volume de madeira por estrato e total da área

Selecionados os melhores modelos hipsométricos e volumétricos, estimou-se as variáveis dependentes Altura Total e Volume do fuste com casca das árvores amostradas. Em seguida, foi possível processar o inventário extrapolando o volume para a população e gerar os intervalos de confiança para um erro máximo admissível de 10% e  $\alpha$  de 0,05, por parcela, por hectare e para a população.

### 5.7.4 Cálculos envolvidos no processamento do inventário estratificado

Por estar inserido em uma área de preservação ambiental e se tratar de um reflorestamento sem qualquer intervenção silvicultural, entremeado por Cerrado regenerante e com distribuição espacial aleatória de seus indivíduos, optou-se por processar o inventário florestal utilizando o princípio da amostragem estratificada, a fim de se aumentar sua precisão pela redução da intensidade amostral e, conseqüentemente, redução do tempo e intervenção dos trabalhos de campo.

Para tanto, processou-se o inventário florestal estratificado calculando-se os parâmetros da população pelas seguintes fórmulas propostas por PELLICO NETTO E BRENA (1997):

- Média por extrato:  $\bar{y}_j = \frac{\sum_{i=1}^L (Y_{ij})}{n_j}$
- Média estratificada:  $\bar{y}_{st} = \frac{\sum_{j=1}^L (N_j * \bar{y}_j)}{N} = \sum_{j=1}^L (W_j * \bar{y}_j)$

- Desvio Padrão por extrato:  $S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^L y_{ij}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^L y_{ij})^2}{n_j}}{n_j - 1}}$
- Desvio Padrão estratificado:  $S_{st} = \sum_{j=1}^L (W_j * S_j)$
- Variância por extrato:  $S_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^L (Y_{ij} * \bar{y}_j)^2}{n_j - 1}$
- Variância estratificada:  $S_{st}^2 = \sum_{j=1}^L (W_j * S_j^2)$
- Coeficiente de Variação:  $CV\% = \frac{S_{st}}{\bar{y}_j} * 100$
- Erro Padrão da média:  $S_{\bar{y}(st)} = \sqrt{\sum_{j=1}^L W_j^2 * \frac{S_j^2}{n_j} - \sum_{j=1}^L \frac{W_j * S_j^2}{N}}$ 
  - Absoluto:  $E_a = \pm t * S_{\bar{y}(st)}$
  - Relativo:  $E\% = \frac{E_a}{\bar{y}(st)} * 100$
- Intensidade Amostral:  $n = \frac{t^2 * CV\%^2}{(E\%)^2 + \frac{t^2 * CV\%^2}{N}}$ 
  - Em função do tamanho da amostral:  $I_{nj} = W_j * n$
  - Em função da variabilidade da floresta:  $I = \frac{W_j * S_j}{\sum_{j=1}^L W_j * S_j} * n$
- Intervalo de Confiança:
  - Para a média: IC  $[\bar{y} - E_a \leq \bar{Y} \leq \bar{y} + E_a]$
  - Para o total: IC  $[(N_j * \bar{y}_j) - (N * E_a) \leq X \leq (N_j * \bar{y}_j) + (N * E_a)]$ 
    - ✓ Parcela: IC<sub>i</sub>  $[\bar{y} - E_a \leq \bar{Y} \leq \bar{y} + E_a]$ 

$$IC_i [(N_j * \bar{y}_j) - (N * E_a) \leq Y \leq (N_j * \bar{y}_j) + (N * E_a)]$$
    - ✓ Hectare: IC<sub>ha</sub>  $[\frac{\bar{y} - E_a}{A_i} \leq \bar{Y} \leq \frac{\bar{y} + E_a}{A_i}]$ 

$$IC_{ha} [\frac{(N_j * \bar{y}_j) - (N * E_a)}{A_i} \leq Y \leq \frac{(N_j * \bar{y}_j) + (N * E_a)}{A_i}]$$
    - ✓ População: IC<sub>ha</sub>  $[\frac{(\bar{y} - E_a) * A_t}{A_i} \leq \bar{Y} \leq \frac{(\bar{y} + E_a) * A_t}{A_i}]$ 

$$IC_{ha} [\frac{[(N_j * \bar{y}_j) - (N * E_a)] * A}{A_i} \leq X \leq \frac{[(N_j * \bar{y}_j) + (N * E_a)] * A}{A_i}]$$



Onde:

L = número de estratos;

j = índice de estratos;

i = índice de parcelas;

st = estratificada;

A = área total da população;

$A_j$  = área do estrato;

$A_i$  = área da parcela;

Y = variável de interesse da população;

$y_j$  = variável de interesse por estrato;

$y_{ij}$  = variável de interesse por parcela e por estrato;

$\bar{Y}$  = média da população;

$\bar{y}_j$  = média por estrato;

$\bar{y}_{st}$  = média estratificada;

N = número de parcelas cabíveis na área, segundo a fórmula:  $N = \frac{A}{A_i}$ ;

$N_j$  = número de parcelas cabíveis nos estratos, segundo a fórmula:  $N_j = \frac{A_j}{A_i}$ ;

n = número total de parcelas amostradas na área;

$n_j$  = número de parcelas amostradas nos estratos;

n = Intensidade amostral;

$W_j$  = proporção do estrato na população, segundo a fórmula:  $W_j = \frac{N_j}{N} = \frac{A_j}{A}$ ;

$w_j$  = proporção do estrato na amostra total, segundo a fórmula:  $w_j = \frac{n_j}{n}$ ;

t = distribuição “t” de Student, encontrado nas tabelas de distribuição normal em função do número efetivo dos graus de liberdade e do nível de probabilidade admitido pelo inventário.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1 Fator de forma**

O fator de forma artificial médio do povoamento ( $f$ ) é de 0,42, valor este utilizável em áreas de características semelhantes para estimativas rápidas de volume do fuste.

Segundo Rolim *et al.* (2006), em meados de 1980 era comum se calcular o volume com casca pela fórmula do volume cilíndrico corrigido por um fator de forma igual a 0,7. Entretanto, quando se calcula o volume a partir de um fator de forma específico ou modelos volumétricos ajustados para o local de estudo, obtém-se melhor precisão.

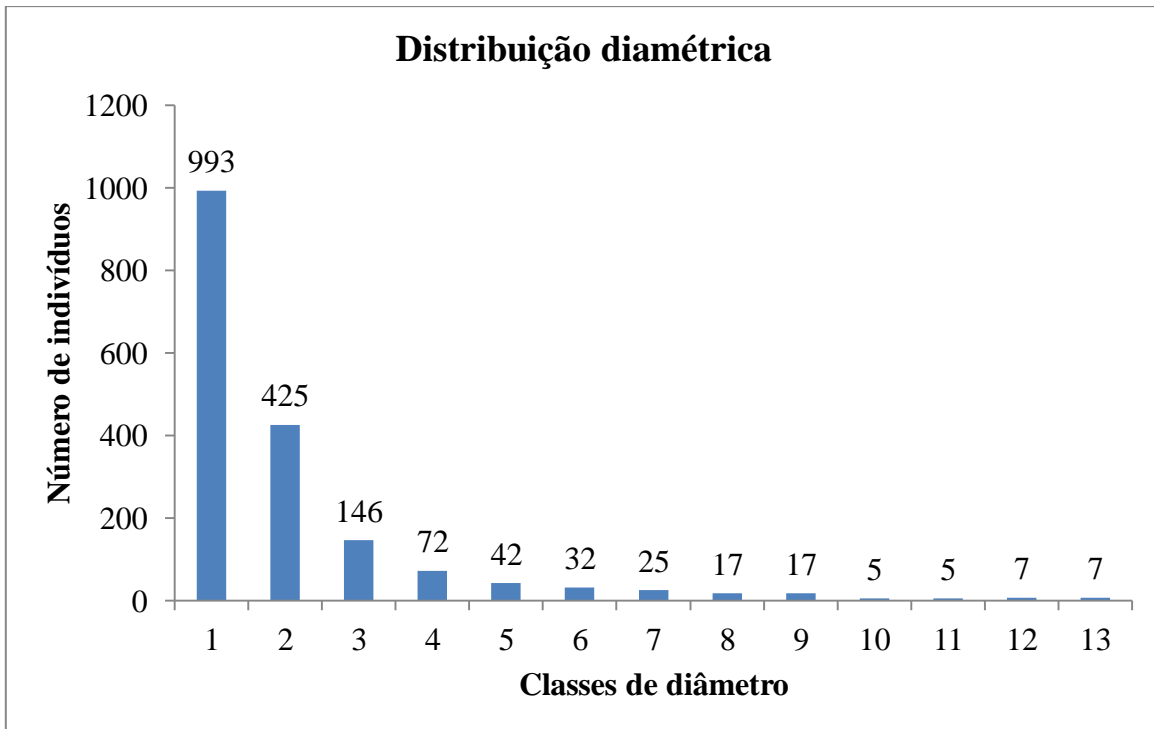
### **6.2 Distribuição diamétrica**

Neste estudo, classificou-se as 1793 árvores amostradas segundo seus valores de DAP coletados em campo, cujos limite inferior (DAP = 5cm) e superior (DAP = 70cm) combinados à amplitude diamétrica, previamente estipulada igual a 5 cm, possibilitaram a alocação dos indivíduos da população em 13 classes diamétricas diferentes, conforme ilustrado na tabelas e figuras a seguir:

**Tabela 4** – Distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados da população.

Classe	Amplitude (cm)	DAP Central (cm)	Nº de indivíduos
1	5_10	7,5	993
2	10_15	12,5	425
3	15_20	17,5	146
4	20_25	22,5	72
5	25_30	27,5	42
6	30_35	32,5	32
7	35_40	37,5	25
8	40_45	42,5	17
9	45_50	47,5	17
10	50_55	52,5	5
11	55_60	57,5	5
12	60_65	62,5	7
13	65_70	67,5	7
<b>Total de indivíduos amostrados</b>			<b>1793</b>

A partir da Tabela 4, construiu-se a curva de distribuição diamétrica da população a seguir:



**Figura 12** – Histograma de distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados da população.

Pela análise da tabela e gráfico apresentados e alinhado à literatura pertinente, pôde-se perceber que o comportamento dos indivíduos da população amostrada obedeceu ao modelo exponencial negativo ou “J” invertido de distribuição diamétrica, pois, na medida em que aumentou-se o tamanho da classe, diminuiu-se o número de indivíduos até atingir o seu menor índice na maior classe diamétrica (SCOLFORO et al., 1998). Isto significa que a população tem seus indivíduos distribuídos conforme encontrado em florestas naturais, o que corrobora a situação de abandono silvicultural na qual o povoamento se encontra.

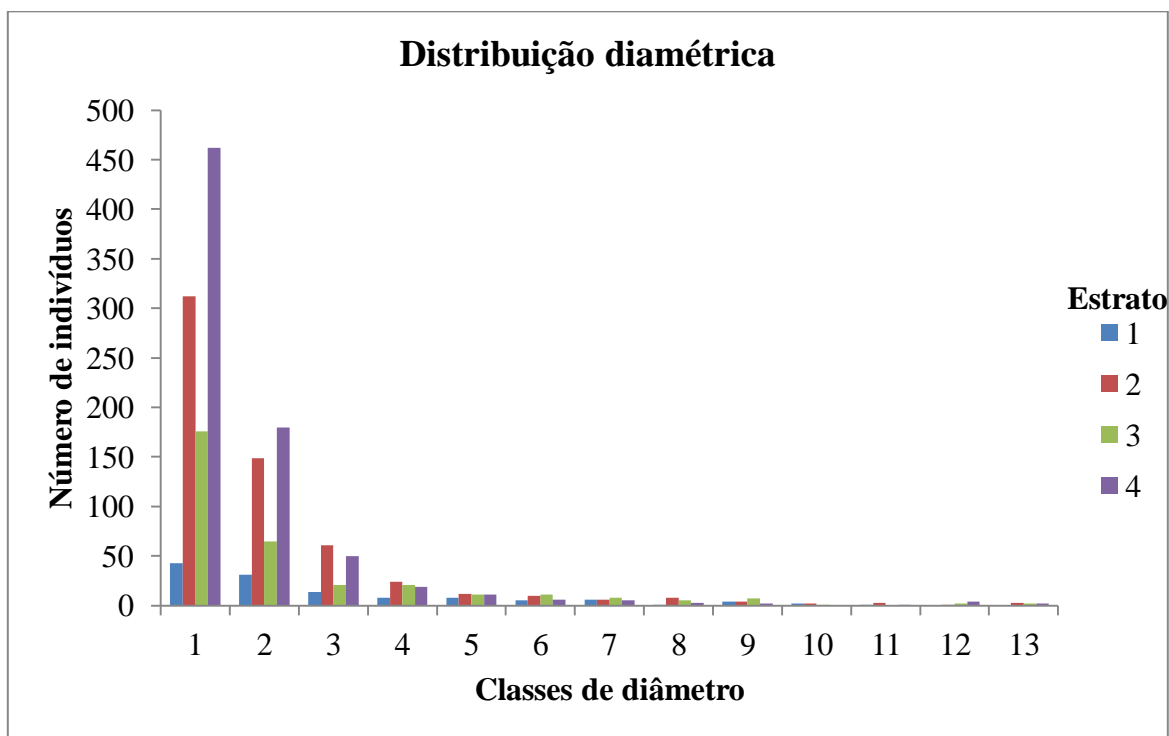
Baseado em observações de campo e relatos de usuários da área em questão (funcionários da UC, vizinhos à UC, etc.), esta maior concentração de indivíduos nas primeiras classes bem como a ligeira redução no histograma das classes 10 e 11 podem estar relacionadas à suscetibilidade destas áreas à intervenção exploratória humana bem como à situação de abandono silvicultural em que se encontra o povoamento. Os cortes de árvores das classes finais permitem o aparecimento de outras novas nas classes iniciais, por regeneração das cepas ou pela abertura de clareiras, corroborando o comportamento gráfico desta população.

Em seguida, distribuiu-se os indivíduos amostrados nas classes diamétricas por estrato, conforme expresso na Tabela 5 a seguir:

**Tabela 5** – Distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados por estrato.

Classes de diâmetro	Estratos				Total geral
	1	2	3	4	
1	43	312	176	462	993
2	31	149	65	180	425
3	14	61	21	50	146
4	8	24	21	19	72
5	8	12	11	11	42
6	5	10	11	6	32
7	6	6	8	5	25
8	1	8	5	3	17
9	4	4	7	2	17
10	2	2	1	0	5
11	1	3	0	1	5
12	0	1	2	4	7
13	0	3	2	2	7
<b>Total geral</b>	<b>123</b>	<b>595</b>	<b>330</b>	<b>745</b>	<b>1793</b>

Esta tabela deu origem ao histograma de distribuição diamétrica da população por estrato (Figura 13), o que permite comparar a composição dos estratos.



**Figura 13** – Histograma de distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados por estrato.

Correlacionando-se estes histogramas com a imagem de satélite da área (Figura 4), pôde-se observar que a densidade vegetacional é maior em áreas com maiores proporções de classes de diâmetro inferiores, ou seja, nos estratos mais adensados, 2 e 4, há o predomínio de indivíduos nas classes de diâmetro inferiores e, nos estratos mais espaçados, 1 e 3, prevalecem indivíduos de classes diamétricas superiores.

### 6.3 Seleção do modelo hipsométrico

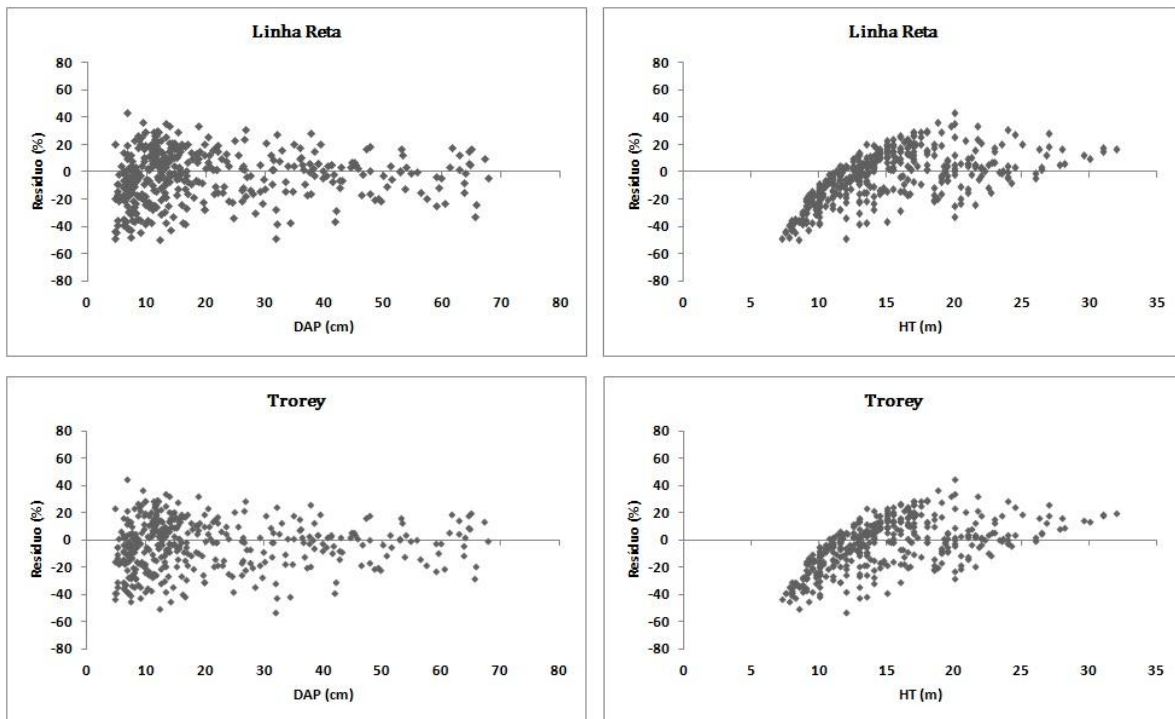
Após o ajuste para a obtenção dos parâmetros ajustados à população, os modelos hipsométricos podem ser expressos da seguinte forma:

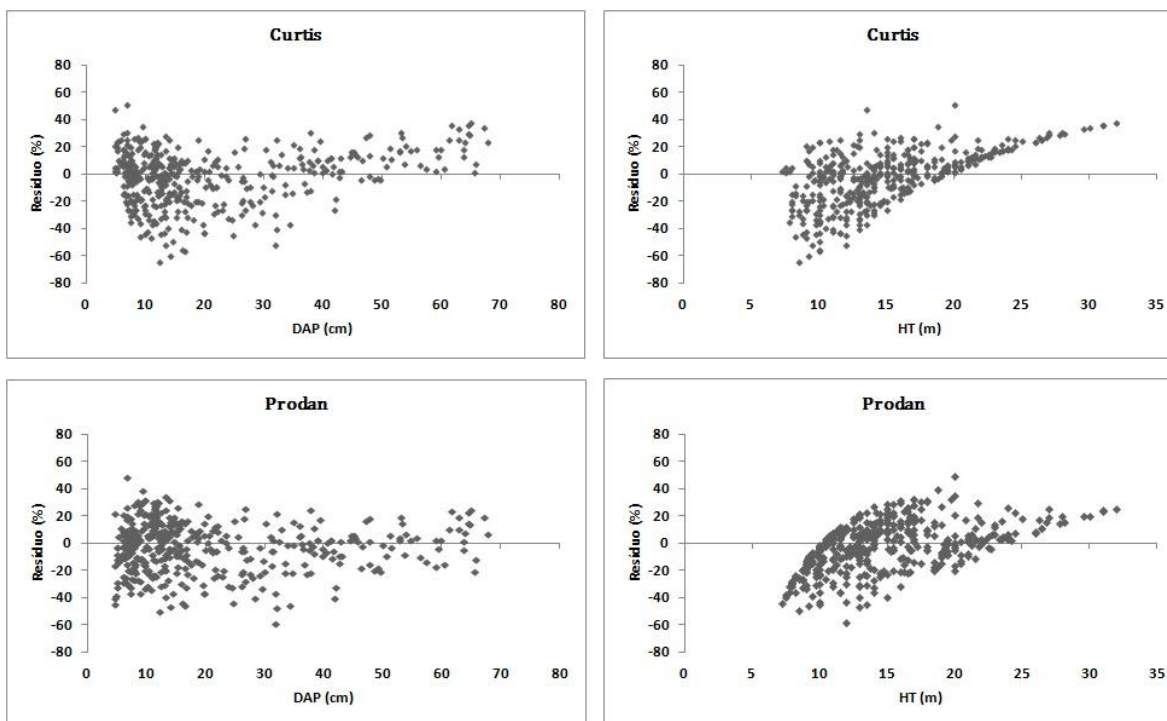
**Tabela 6** – Modelos hipsométricos ajustados.

Nome	Equação ajustada
Linha Reta	$h = 9,54068 + 0,26173 * d + \varepsilon$
Trorey	$h = 8,73864 + 0,34374 * d - 0,00132 * d^2 + \varepsilon$
Curtis	$\text{Ln } h = 3,06356 - 5,27610 * \frac{1}{d} + \varepsilon$
Prodan	$h = \frac{d^2}{-2,19838 + 0,771038 * d + 0,030299 * d^2} + \varepsilon$

Em seguida, geraram-se as estatísticas de ajuste e precisão para cada modelo selecionando-se o melhor modelo para a estimativa da altura da população a partir da sequência de importância dessas.

A primeira da sequência é a análise gráfica de dispersão dos resíduos em relação ao DAP e aos valores reais, conforme Figura 14 abaixo.





**Figura 14** – Gráficos de dispersão dos resíduos em função do DAP e HT, respectivamente, para cada modelo hipsométrico ajustado.

Nos gráficos em função do DAP dos modelos Linha reta, Trorey e Prodan, houve diferença gráfica sutil de um modelo para outro. Já o modelo Curtis subestimou a altura para os indivíduos de classes diamétricas superiores a 50 cm. Nos gráficos em função da variável de interesse HT, em todos os modelos, foram superestimados os indivíduos de menor altura e subestimados os indivíduos de maior altura, provavelmente pela situação de abandono silvicultural na qual se encontra a população amostrada.

A segunda e terceira estatística de ajuste e precisão da sequência de importância são o erro padrão da estimativa e o coeficiente de determinação ajustado, expressos na Tabela 7 abaixo.

**Tabela 7** – Erro padrão da estimativa absoluto e percentual e coeficiente de determinação ajustado, parâmetros de comparação entre os modelos hipsométricos ajustados.

Nome	$S_{yx}(m^3)$	$S_{yx\%}$	$R^2$ ajust.
Linha Reta	2,60756	17,41577	0,71805
Trorey	2,58931	17,29383	0,72198
Curtis	3,06446	20,46735	0,62167
Prodan	2,07515	13,85979	0,70869

O modelo Prodan obteve o menor erro da estimativa, igual a 13,86%, e o modelo Curtis o maior, igual a 20,47%. Os erros foram, em geral, altos, provavelmente devido à alta variabilidade estrutural dos indivíduos amostrados, sendo assim, a de se considerar tais ajustes em função de tamanha heterogeneidade apresentada pelo povoamento por ausência de tratos silviculturais e pela própria condição que se encontra o povoamento.

O melhor valor do coeficiente de determinação ajustado foi obtido pelo modelo Trorey, igual a 0,72, e o pior pelo Curtis, igual a 0,62. Os  $R^2$  ajust. indicaram que as equações ajustadas explicaram com certa precisão as relações entre as variáveis dependentes e independentes do modelo.

Assim, desconsiderando a análise gráfica pela sutil diferença entre os modelos e seguindo os critérios de importância na seleção comparativa dos mesmos, elegeu-se o modelo hipsométrico Prodan como o que melhor se ajustou aos dados da população, com o menor erro padrão da estimativa, igual a 13,86%.

Este modelo também foi o que melhor se ajustou aos dados do Inventário Florestal estratificado da Floresta Estadual de Assis, realizado por Garosi (2008), cujo objetivo era estimar a volumetria e propor recomendações de manejo. Também para Gomes *et al.* (2003), o modelo Prodan foi o melhor na estimativa da altura de *Eucalyptus pelitta* e *Eucalyptus citriodora*. O modelo Prodan também foi o selecionado por Leal *et al.* (2011) em seu estudo a partir do inventário florestal de um povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. Ainda com relação ao modelo Prodan na estimativa de altura em povoamentos de *E. urophylla*, Miguel *et al.* (2010) corrobora o apresentado neste trabalho.



## 6.4 Seleção do modelo volumétrico

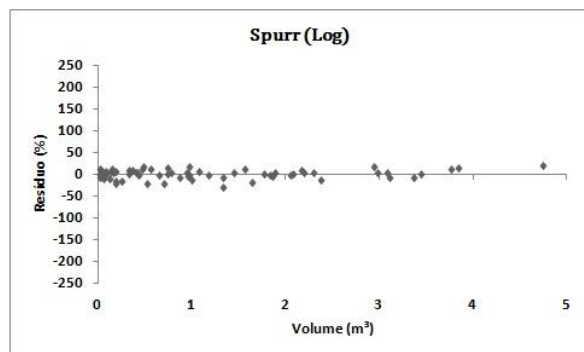
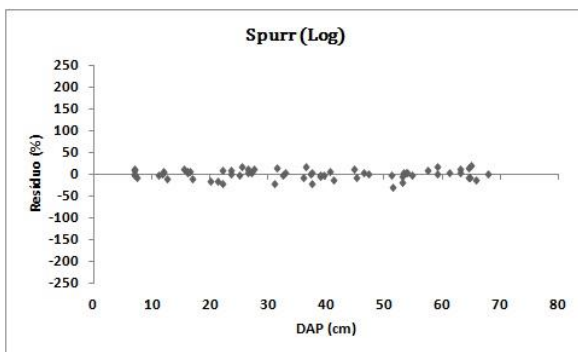
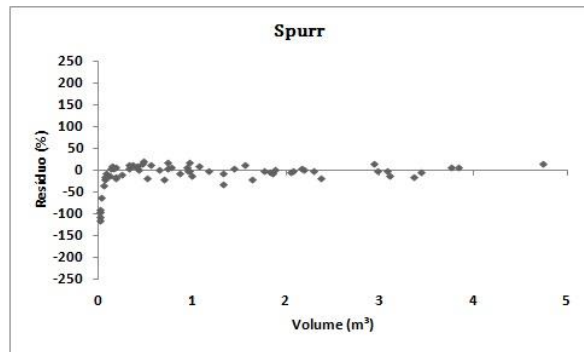
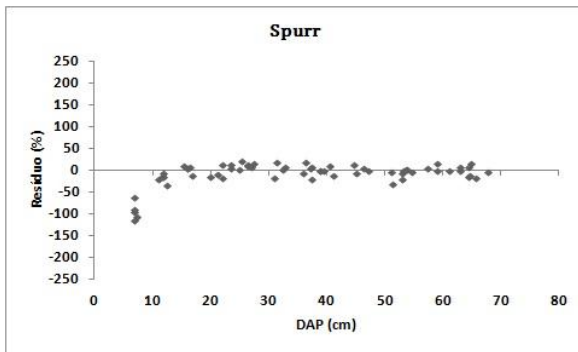
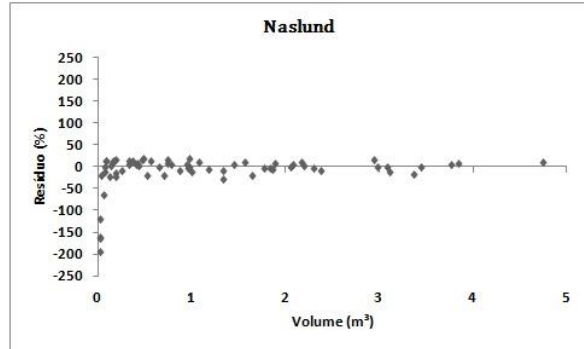
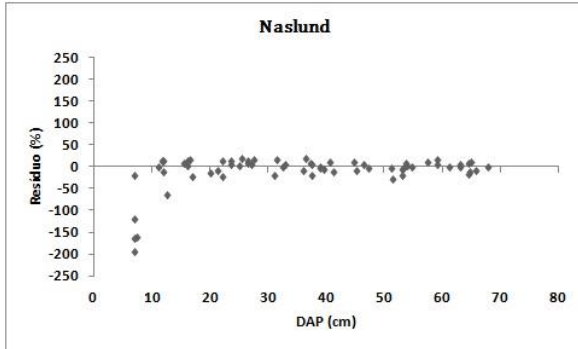
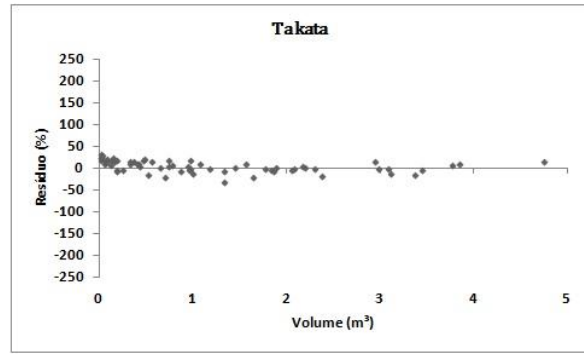
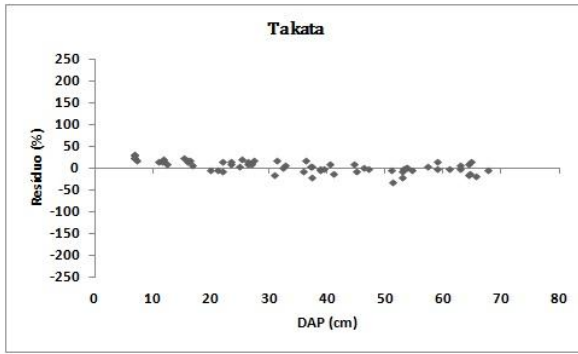
A seleção do melhor modelo volumétrico para a estimativa do volume da população foi feita mediante o ajuste dos mesmos aos dados, o que gerou seus parâmetros ajustados à população, conforme Tabela 8 abaixo.

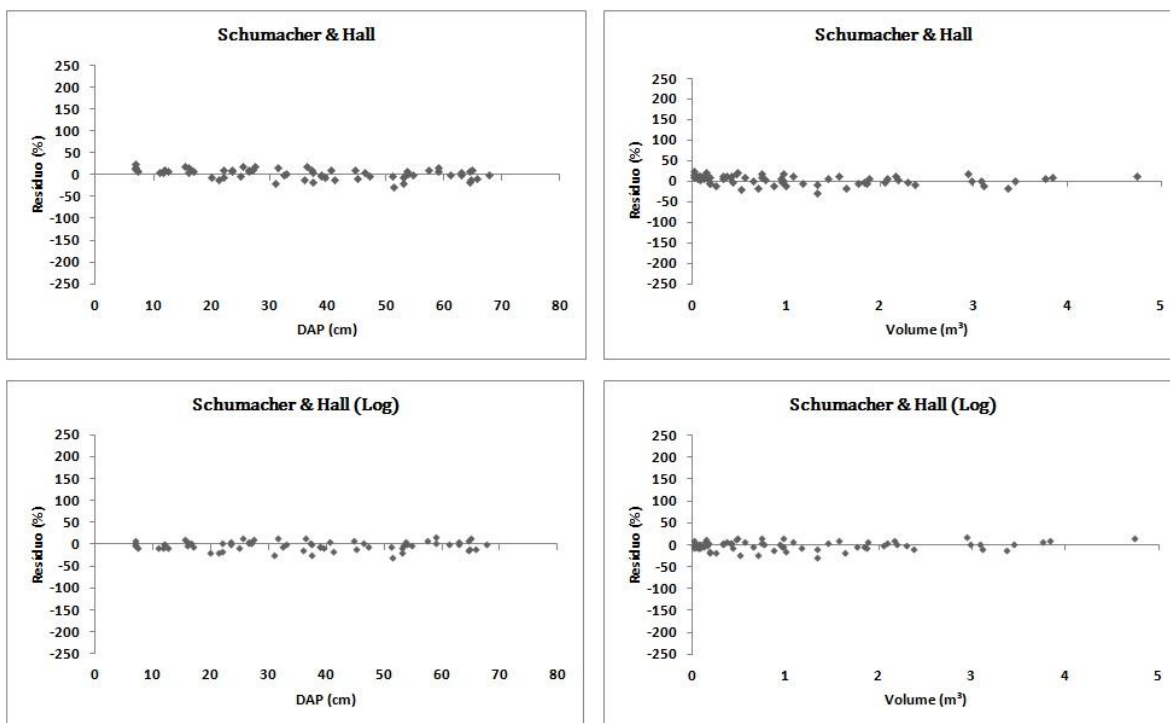
**Tabela 8** – Modelos volumétricos ajustados.

Nome	Equação ajustada
Takata	$V = \frac{d^2 * h}{30996,9 + 39,2959 * d} + \varepsilon$
Naslund	$V = 0,00001 * d^2 + 0,000019 * d^2 * h + 0,000032 * d * h^2 - 0,00061 * h^2 + \varepsilon$
Spurr	$V = 0,02856 + 0,00003 * d^2 * h + \varepsilon$
Spurr (Log)	$\text{Ln } V = -9,60058 + 0,92623 * \text{Ln}(d^2 * h) + \varepsilon$
Schumacher e Hall	$V = 0,000029 * d^{1,79255} * h^{1,26227} + \varepsilon$
Schumacher e Hall (Log)	$\text{Ln } V = -9,92448 + 1,76578 * \text{LnDAP} + 1,13625 * \text{LnHT} + \varepsilon$

Este ajuste também gerou as estatísticas de ajuste e precisão para cada modelo, o que subsidiou a seleção do melhor modelo, obedecendo a sequência de importância das mesmas.

A primeira é a análise gráfica de dispersão dos resíduos em relação ao DAP e aos valores reais (Figura 15).





**Figura 15** – Gráficos de dispersão dos resíduos, respectivo a cada modelo volumétrico ajustado, em função do DAP e HT.

De uma forma geral, ambos os gráficos de resíduos, tanto os em função do DAP quanto os em função da variável de interesse Volume, apresentaram situação ideal na dispersão quanto a normalidade e diferença sutil quanto a comparação visual, exceto os gráficos dos modelos Naslund e Spurr, que superestimaram os indivíduos pertencentes as classes diamétricas inferiores e os de pouca volumetria.

Ainda na sequência de importância, a segunda e terceira estatística de ajuste e precisão são o erro padrão da estimativa e o coeficiente de determinação ajustado, dispostos na Tabela 9.

**Tabela 9** – Parâmetros de comparação entre os modelos volumétricos ajustados: erro padrão da estimativa absoluto e percentual e coeficiente de determinação ajustado.

Nome	$S_{yx}(m^3)$	$S_{yx\%}$	$R^2$ ajust.
Takata	0,10050	8,51192	0,97716
Naslund	0,17195	14,56224	0,97812
Spurr	0,17527	14,84336	0,97727
Spurr (Log)	0,18586	15,74058	0,99510
Schumacher & Hall	0,09958	8,43355	0,97867
Schumacher & Hall (Log)	0,17517	14,83488	0,99531

O modelo Schumacher & Hall apresentou o menor erro padrão da estimativa, de 8,43%, enquanto o modelo Spurr (Log) o maior, de 15,74.

O modelo Schumacher & Hall (Log) atingiu o maior valor do coeficiente de determinação ajustado, igual a 0,99531, enquanto o modelo Takata atingiu o menor, de 0,97716.

Estes dados indicam que a variável de interesse Volume está altamente correlacionada às variáveis dependentes DAP e HT e que os modelos, dentro da normalidade, explicam bem a variabilidade da floresta no quesito volume.

Desta maneira, seguindo os critérios de importância e desconsiderando a análise gráfica dos resíduos, selecionou-se o modelo Schumacher & Hall, de menor erro padrão da estimativa (8,43%), para a estimativa dos volumes desta população.

Para Garosi (2008), este modelo também foi o que melhor se ajustou aos dados do Inventário Florestal estratificado da Floresta Estadual de Assis, composta basicamente por *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. Para *Eucalyptus* sp., das seis equações testadas por Azevedo (2009), esta também foi a que teve melhor ajuste, tanto para o volume com casca como para o sem casca. Também Leal (2011) o selecionou em seu trabalho com *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. Para o Cerrado, Scolforo *et al.* (1993) concluíram que o modelo Schumacher & Hall obteve a melhor precisão na estimativa do volume do fuste e do volume total. Também o Cetec (1995) selecionou este como o mais preciso, em todos os casos de volume e tipologia estudados.

Scolforo (1997) considera o modelo de Schumacher e Hall e o da variável combinada (Spurr) como modelos superiores dentre os vários modelos volumétricos.

Cardoso (2008) comenta a utilidade deste modelo para o estudo e cálculo do volume de árvores de povoamentos naturais e plantados, afirmando que o mesmo apresenta ótimos resultados quando comparados com outros modelos que também têm o diâmetro e a altura como variáveis independentes. Batista *et al.* (2004) afirmam ainda que, no Brasil, tiveram destaque o uso do modelo Schumacher & Hall (1933) e da variável combinada (SPURR, 1952) no ajuste às espécies de rápido crescimento dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*.

### 6.5 Processamento do inventário

Selecionados o modelo hipsométrico Prodan para a estimativa das alturas e o volumétrico Schumacher & Hall para a estimativa dos volumes, pode-se dar início ao processamento do inventário.

Foi estimada a volumetria por parcela e calculados os parâmetros estatísticos necessários ao processamento do inventário estratificado, conforme Tabela 10 a seguir:

**Tabela 10** – Volumetria por parcela e parâmetros estatísticos pertinentes.

<b>Parcela</b>	<b>Estrato I</b>	<b>Estrato II</b>	<b>Estrato III</b>	<b>Estrato IV</b>
	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>			
<b>1</b>	0,49146	9,80415	5,31157	3,35425
<b>2</b>	1,45173	9,31252	3,24293	2,56480
<b>3</b>	1,76721	8,10938	5,30986	5,83657
<b>4</b>	3,37073	6,64210	5,51017	5,75355
<b>5</b>	4,25559	15,30120	5,69517	5,43658
<b>6</b>	3,70240	7,73575	5,97952	5,10202
<b>7</b>	2,41501	8,51280	5,67135	6,21520
<b>8</b>	3,94325	11,55351	2,38735	4,44787
<b>9</b>	-	10,41792	3,52738	4,45198
<b>10</b>	-	7,30681	4,33317	5,27094
<b>11</b>	-	7,69524	3,70424	3,50247
<b>12</b>	-	6,90273	3,35623	2,45389
<b>13</b>	-	8,92147	2,72406	4,31253
<b>14</b>	-	6,33177	-	-
<b>Soma</b>	21,39738	124,54735	56,75300	58,70263
<b>Média</b>	2,67467	8,89624	4,36562	4,51559
<b>Desvio Padrão</b>	1,35236	2,37149	1,26499	1,23862
<b>Variância</b>	1,82889	5,62397	1,60020	1,53417

Segue tabela com os valores totais das áreas pertinentes ao inventário:

**Tabela 11** – Área total, dos estratos e das parcelas.

Área total	Área estrato				Área parcela
70 ha	<b>Estrato I</b> 11 ha	<b>Estrato II</b> 20 ha	<b>Estrato III</b> 23 ha	<b>Estrato IV</b> 16 ha	0,05 ha

Pelo processamento do inventário florestal estratificado, obteve-se os valores das Tabelas 12 e 13, a fim de se reduzir as fontes de variação pela homogeneização da população amostrada.

**Tabela 12** – Processamento do inventário, parte 1.

Estrato	Nj	Nj/N	%	$\sum y_{ij}$	$\sum y^2_{ij}$	nj
<b>I</b>	220	0,16	15,71	21,39738	70,03319074	8
<b>II</b>	400	0,29	28,57	124,54735	1181,114697	14
<b>III</b>	460	0,33	32,86	56,75300201	266,9641991	13
<b>IV</b>	320	0,23	22,86	58,70263413	283,486924	13
<b>Soma</b>	1400	1	100	261	1802	48

**Tabela 13** – Processamento do inventário, parte 2.

Estrato	yjmedio	DP (Syxj)	Var (Syx <sup>2</sup> j)	(Nj/N)*yjmed	(Nj/N)*Syxj	(Nj/N)*Syx <sup>2</sup> j
<b>I</b>	2,67	1,35	1,83	0,42	0,21	0,29
<b>II</b>	8,90	2,37	5,62	2,54	0,68	1,61
<b>III</b>	4,37	1,26	1,60	1,43	0,42	0,53
<b>IV</b>	4,52	1,24	1,53	1,03	0,28	0,35
<b>Soma</b>	20,45	6,23	10,59	5,43	1,59	2,77

A Tabela 14 contém os valores necessários para o cálculo da intensidade amostral e erro do inventário:

**Tabela 14** – Valores de área média das parcelas, graus de liberdade, coeficiente de variação do estrato, T-student e desvio padrão médio.

A <sub>i</sub> medio (há)	GL	CVj (%)	T-student	DPmédio
0,05	47	29,267657	2,0117405	0,2249724

Calculando-se a intensidade amostral do inventário (Tabela 15), pode-se perceber que, pela estratificação, seria necessário a alocação de um total de 34 parcelas em toda a

área, sendo, respectivamente para cada estrato, 5, 10, 11 e 8 parcelas (considerando a área dos estratos) ou 5, 14, 9 e 6 parcelas (considerando a variância dos estratos).

**Tabela 15** – Intensidade amostral total e, segundo a área ou variância (var), por estrato.

<b>Estrato</b>	<b>I.A</b>	<b>I.A f(A)</b>	<b>I.A f(var)</b>
<b>I</b>		5	5
<b>II</b>	34	10	14
<b>III</b>		11	9
<b>IV</b>		8	6

Desta maneira, pode-se dizer que a intensidade amostral do inventário florestal estratificado adotado foi suficiente para representar a população em questão, já que foram lançadas parcelas suficientes em todos os estratos e, inevitavelmente, na população.

Ainda a partir da Tabela 14, pode-se calcular o erro do inventário florestal, representado na Tabela 16 a seguir:

**Tabela 16** – Valores do erro do inventário, nas formas absoluta e relativa.

<b>Erro absoluto</b>	<b>Erro relativo (%)</b>
0,45258	8,33700

Comparando-se o erro obtido no processamento do inventário com o erro máximo admissível para o mesmo, é certo que o inventário atendeu à sua premissa de validação, com erro do inventário igual a 8,3%, inferior aos 10% admissíveis para um  $\alpha$  de 0,05.

Finalmente, relacionando-se o volume total médio estratificado  $[(N_j/N) \cdot \bar{y}_{jmed}]$  da Tabela 13 com o erro absoluto do inventário (E) da Tabela 16, foi possível a confecção da Tabela 17:

**Tabela 17** – Intervalo de confiança e média da volumetria por parcela, hectare e população.

<b>IC</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Maximo</b>	<b>Média</b>
<b>Parcela</b>	4,98	5,88	5,43
<b>Hectare</b>	99,52	117,62	108,57
<b>População</b>	6966,47	8233,72	7600,09

Esta expressa intervalo de confiança e média da volumetria por parcela, hectare e total da população, objeto do inventário. Significa que, em termos médios, o estoque madeireiro da população é de 5,43m<sup>3</sup> por parcela, 108,57m<sup>3</sup> por hectare e 7600,09m<sup>3</sup> no total.

## 7. CONCLUSÃO

Os parâmetros de mensuração florestal aplicados a este inventário, aliados às observações de campo, geraram os seguintes dados acerca do reflorestamento:

- O fator de forma artificial médio da população é de 0,42.
- O melhor modelo hipsométrico ajustado para a estimativa da altura do povoamento foi o de Prodan.
- Para a estimativa do volume do povoamento, foi selecionado o modelo volumétrico Schumacher & Hall como o melhor dentre os demais ajustados.
- O inventário apresentou precisão desejável, pois a estimativa do volume atingiu um erro de 8,34%, abaixo dos 10% admissíveis.
- Em termos médios, o estoque madeireiro do talhão de *Eucalyptus* sp. é de 5,43m<sup>3</sup> por parcela, 108,57m<sup>3</sup> por hectare e 7600,09m<sup>3</sup> no total.

Este trabalho permite, sobretudo, o planejamento da exploração do estoque madeireiro de Eucalipto da área. Porém, visto que restrições legais e ambientais são impostas à área por esta estar inserida em uma Unidade de Conservação de Proteção Integral, e observada a regeneração do Cerrado na área, faz-se necessária a realização de



trabalhos complementares que subsidiem ações de manejo voltadas à exploração de baixo impacto desta espécie exótica com vistas à sua erradicação local.

Sugere-se como trabalhos complementares o estudo do estado de regeneração do Cerrado existente na área, para que se possa incorporar a externalidade ambiental no estudo da viabilidade de exploração deste estoque madeireiro, ponderando-se as implicações ecológicas e econômicas envolvidas nas ações inerentes à exploração madeireira.

As observações de campo levaram a excluir a possibilidade de qualificação deste estoque madeireiro quanto aos múltiplos usos através de modelos de sortimento florestal ou *taper*, uma vez que o povoamento nunca foi submetido a tratamentos silviculturais. Estes modelos são limitados por não incorporarem parâmetros acerca dos defeitos da madeira na elaboração da tabela de sortimentos, como tortuosidade e presença de nós. Fato que implica erros na alocação dos volumes por qualificarem a madeira apenas quanto à volumetria desconsiderando a qualidade desejável do material madeira para determinado fim pretendido.

Os resultados deste trabalho são relevantes, pois vão ao encontro dos programas de manejo estabelecidos para o Parque Nacional de Brasília e geram conhecimentos que, associados a estudos complementares, subsidiarão um manejo adequado da espécie exótica invasora Eucalipto na Unidade de Conservação.

A exploração consciente do estoque madeireiro deste povoamento poderá promover, por intermédio do ganho econômico, a recuperação da área objeto do estudo.

## **8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AZEVEDO, T. L. **Ajuste de equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de eucalyptus sp., localizado na Floresta Nacional do Ibura, Sergipe.** Monografia. Universidade Federal de Sergipe. 2009.

BARTOSZECK, A. C. P. S. et al. **A distribuição diamétrica para bracatingais em diferentes idades, sítios e densidades da região metropolitana de Curitiba.** Floresta, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 305-324, set./dez., 2004.

BATISTA, J. L. F.; MARQUESINI, M.; VIANA, V. M. **Equações de volume para árvores de caxeta (*Tabebuia cassinoides*) no Estado de São Paulo e sul do Estado do Rio de Janeiro.** Scientia Forestalis, n.65, p.162-175, 2004.

BELCHIOR, P. R. M. **Estimação de volumes total, de fuste e de galhos em mata secundária no município de Rio Vermelho.** 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1996

BRAGA NETTO, P. (org.). **APA de Cafuringa: a última fronteira natural do DF/Distrito Federal.** Secretaria de Meio Ambiente e Recursos hídricos. Brasília: Semarh, 2005. 543 p. : il; 30cm.

CARDOSO, R. M. **Comparação entre o modelo volumétrico de Schumacher & Hall e fatores de forma para estimativa do volume individual de árvores de florestas nativas do estado de Rondônia.** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Monografia, 2008.

CARVALHO, S. P. C. **Uma nova metodologia de avaliação do crescimento e da produção de *Eucalyptus* sp clonal para fins energéticos.** Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal, 103p. Universidade Federal de Lavras, 2010.

CARVALHO, V. F. **As espécies exóticas invasoras representam um perigo a biodiversidade.** Artigos, Meio Ambiente. Acessado em maio de 2012 pelo site <<http://ecoviagem.uol.com.br/fique-por-dentro/artigos/meio-ambiente/as-especies-exoticas-invasoras-representam-um-perigo-a-biodiversidade-1313.asp>>. Setembro de 2005.

CERDEIRA, A. L. N. **Modelos para quantificação do volume de diferentes sortimentos em plantio de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*.** Trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Florestal pela Universidade de Brasília – 2012.

CETEC. **Desenvolvimento de equações volumétricas aplicáveis ao manejo sustentado de florestas nativas do estado de Minas Gerais e outras regiões do país.** Belo Horizonte, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC, 1995.

CLUTTER, J.; FORTSON, J.; PIENAAR, L.; BRISTER, G.; BAILEY, R. **Timber management: a quantitative approach.** New York: John Wiley, 1983.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. **Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* sp. no Estado de São Paulo.** IPEF, n.37, p.33-34, 1987.

DE PAULA, J. E. et al. **Levantamento florístico e sua distribuição diamétrica da vegetação de um cerrado sensu stricto e de um fragmento de floresta de galeria no ribeirão Dois Irmãos na APA de Cafuringa, DF, Brasil.** Revista Biotemas, SS(3), setembro de 2009.

DRAPPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis.** New York: John Wiley & Sons. 1ªed. 407p. 1981.

FARIAS, M. F. R. et al. **Levantamento de solos do Parque Nacional de Brasília, escala 1:50.000.** (Boletim de pesquisa e desenvolvimento/ Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X; 220) – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

FERREIRA, M. E. **Análise do modelo linear de mistura espectral na discriminação de fitofisionomias do Parque Nacional de Brasília (Bioma Cerrado)**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. 2003. Publicado na Internet em <<http://www.unb.br/ig/posg/mest/Mest172/>>.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos da biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 269p.1992.

FRANCO, E. J.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D. **Eficiência dos métodos para estimativa volumétrica de *Eucalyptus Camaldulensis***. Cerne, Lavras, v.3, n.1, p.82-116, 1997.

GAROSI, V. A. et al. **Inventário florestal e recomendação de manejo para a Floresta Estadual de Assis – Instituto Florestal, SP**. Revista científica de Engenharia Florestal – ISSN: 1678-3867. Agosto de 2008.

GISP. **América do Sul invadida: a crescente ameaça das espécies exóticas**. Programa Global de Espécies Invasoras. Primeira publicação 2005.

GOMES, A. M. A. **Medição dos arvoredos**. Lisboa: Livraria Sá da Costa, 1957. 413p.

GOMES, J. E. et al. **Comparação da precisão de modelos hipsométricos ajustados com dados obtidos por meio do uso de prancheta dendrométrica e fita métrica em povoamentos florestais do gênero *Eucalyptus* na região do oeste do estado de São Paulo**. Revista científica eletrônica de engenharia florestal, Ano I, Número 2. Agosto de 2003.

HOROWITZ, C. **Sustentabilidade da biodiversidade em Unidades de Conservação de Proteção Integral: Parque Nacional de Brasília**. Universidade de Brasília - Centro de Desenvolvimento Sustentável (UnB-CDS). Doutor, Política e Gestão Ambiental. Tese de Doutorado, 329 p. 2003.

HOROWITZ, C. et al. **Espécies exóticas arbóreas, arbustivas e herbáceas que ocorrem nas zonas de uso especial e de uso intensivo do Parque Nacional de Brasília: diagnóstico e manejo.** IBAMA/ICMBio/MMA. Brasília, 2007.

IBAMA/FUNATURA. **Revisão do Plano de Manejo do Parque Nacional de Brasília.** Brasília: IBAMA, 1998.

ICMBIO. **Parque Nacional de Brasília.** Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. 2011. Acessado em março de 2012 pelo site <<http://www.icmbio.gov.br/portal/o-que-fazemos/visitacao/ucs-abertas-a-visitacao/213-parque-nacional-de-brasilia>>.

ICMBIO. **Plano de recuperação ambiental das áreas ocupadas por eucaliptais na Reserva Biológica União – RJ.** Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. Rio das Ostras, 2007.

LEAL, F. A. et al. **Mapeamento de unidades produtivas utilizando a interpolação geoespacial krigagem a partir do inventário florestal em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.** ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.13; 2011.

MACHADO, S. A.; BAILEY, R. L.; BASSO, S. F.; JUNIOR, V. G. B. **Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito à idade para plantações de *Pinus elliotti* no Estado do Paraná.** CERNE, v.1, n.1, p.05-12, 1994.

MACHADO, S. A. e FIGUEIREDO FILHO. **A Dendrometria.** Curitiba, 2003.

MARTINS, C. R. et al. **Impacto da invasão e do manejo do Capim-gordura (*Melinis minutiflora*) sobre a riqueza e biomassa da flora nativa do Cerrado sentido restrito.** Revista brasileira de Botânica, Vol.34, nº 1. São Paulo. 2011.

MIGUEL, E. P. **Avaliação biométrica e prognose da produção de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na região norte do estado de Goiás.** Curitiba: UFPR. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, p. 161, 2009.

MIGUEL, E. P.; CANZI, L. F.; RUFINO, R. F.; SANTOS, G. A. dos. **Ajuste de modelo volumétrico e desenvolvimento de fator de forma para plantios de *Eucalyptus grandis* localizados no município de Rio Verde – GO.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia, vol.6, n.11, p.1-13, 2010.

MMA/ICMBIO. **Manejo da flora exótica do Parque Nacional de Brasília.** Ministério do Meio Ambiente – MMA, Instituto Chico Mendes de Conservação da biodiversidade – ICMBio. Atuação 30/03/2009. Movimentação PNB 24/08/2010. Processo nº. 02070.00702/2009-31. Histórico de trâmite em 21/05/2012. Brasília, 2009.

MMA/SBF. **Espécies exóticas invasoras: situação brasileira.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. 24p. 2006. Acessado em setembro de 2012 pelo site <<http://www.mma.gov.br/conabio>>.

NETTO, C. C. **Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e espaçamentos.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil. 2008.

OLIVEIRA, M. L. R. et al. **Equações de volume de povoamento para fragmentos florestais naturais do município de Viçosa, Minas Gerais.** Viçosa-MG, Revista árvore, v.29, n.2, p.213-225, 2005.

PEIXOTO, G. L. & COSTA Jr., W. J. **Linhas de transmissão de energia em Unidades de Conservação: a experiência da Reserva Biológica União, Rio de Janeiro, Brasil.** 2004. In: IV Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação, Anais, Trabalhos Técnicos. Pp. 392-398. Rede Pró-Unidades de Conservação & Fundação O Boticário de Proteção a Natureza.

PÉLLICO NETO, S. & BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba PR. Editorado pelos autores, 1997.

PIRES-O'BRIEN, M. J; O'BRIEN, C. M. **Ecologia e modelamento de florestas tropicais**. Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Serviço de Informação e documentação. Belém. 1995.

PIVELLO, V.R. **Invasões biológicas no Cerrado brasileiro: efeitos da introdução de espécies exóticas sobre a biodiversidade**. Ecologia Info 33. 2008. Acessado em maio de 2012 pelo site <[www.ecologia.info/cerrado.htm](http://www.ecologia.info/cerrado.htm)>.

PIVELLO, V. R. **Manejo de fragmentos de cerrado: princípios para a conservação da biodiversidade**. p. 402-413. In: Scarioti, A.; Souza-Silva, J. C. & Felfili, J. Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2005.

PRIMACK, R. B. & RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação**. Londrina, 2001.

PULZ, F. A.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D. de; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA FILHO, T. de. **Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequiânea com a matriz de transição**. Cerne 5:01-14. 1999.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A. ; FILHO, A. F.; ARCE, J. E.; KOEHLER, H. S. **Avaliação e validação de funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos na região metropolitana de Curitiba/PR**. FLORESTA, Curitiba, PR, v. 36, n. 2, 183 -199p. Maio a agosto de 2006.

ROLIM, S. G.; COUTO, H. Z. T. do; JESUS R. M. de; FRANÇA, J. T. **Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, Serra dos Carajás (PA)**. Acta Amazonica, vol.36 (1), p.107-114, 2006.

RYLANDS, A. B. & BRANDOM, K. **Unidades de Conservação brasileiras.** Megadiversidade, Volume 1, nº 1, julho de 2005.

SANQUETTA, C. R. et al. **Inventários Florestais: planejamento e execução.** 2ª Edição – Revista e Ampliada. Curitiba, 2009

SCHUMACHER, F.; HALL, F. **Logarithmic expression of timber-tree volume.** Journal of agricultural research, v. 47, p. 719-734, 1993.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal 2: técnicas de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira.** Lavras: UFLA/FAEPE, 292pp. 1997.

SCOLFORO, J. R. S. e MELLO, J. M. **Inventário Florestal.** Lavras: UFLA/FAEPE. 561p. 2006.

SCOLFORO, J. R. S.; LIMA, J. T.; SILVA, S. T. da. **Equações de biomassa e volume para Cerrado *stricto sensu*.** In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7.; CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 2., 1993, Curitiba. Anais... p. 508-510. Curitiba, 1993.

SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELO, J. M. de. **Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural.** In Manejo Florestal (J. R. S. Scolforo, org.) UFLA/FAEPE, Lavras, p. 189-246. 1998.

SPURR, S. **Forestry inventory.** New York: The Ronald Press, 476p. 1952.