

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO  
JEQUITINHONHA E MUCURI - UFVJM**

**MARCOS PAULO COSTA BARCELOS DIAS**

**ESTIMATIVA DO VOLUME COMERCIAL DE MADEIRA  
UTILIZANDO MEDIDAS DE CEPA EM PLANTIOS DE EUCALIPTO**

**DIAMANTINA - MG  
2013**

**MARCOS PAULO COSTA BARCELOS DIAS**

**ESTIMATIVA DO VOLUME COMERCIAL DE MADEIRA  
UTILIZANDO MEDIDAS DE CEPA EM PLANTIOS DE EUCALIPTO**

**Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, área de concentração em Recursos Florestais, para a obtenção do título de “Mestre”.**

**Orientador: Prof. Dr. Marcio Leles Romarco de Oliveira**

**DIAMANTINA - MG  
2013**

Ficha Catalográfica - Serviço de Bibliotecas/UFVJM  
Bibliotecário Anderson César de Oliveira Silva, CRB6 - 2618.

D541e	<p>Dias, Marcos Paulo Costa Barcelos Estimativa do volume comercial de madeira utilizando medidas de cepa em plantios de eucalipto / Marcos Paulo Costa Barcelos Dias. – Diamantina: UFVJM, 2013. 42p.</p> <p>Orientador: Marcio Leles Romarco de Oliveira Coorientador: Gilciano Saraiva Nogueira</p> <p>Dissertação (Mestrado - Curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.</p> <p>1. Diâmetro de Cepa. 2. Dendrometria. 3. Inteligência Artificial. I. Título II. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.</p> <p style="text-align: right;"><b>CDD 634.973</b></p>
-------	--

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

# **ESTIMATIVA DO VOLUME COMERCIAL DE MADEIRA UTILIZANDO MEDIDAS DE CEPA EM PLANTIOS DE EUCALIPTO**

**Marcos Paulo Costa Barcelos Dias**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, nível de Mestrado, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

APROVADA EM 22/ 04 / 2013

Prof. Aderlan Gomes da Silva – UFV

Prof. Gilciano Saraiva Nogueira – UFVJM

Prof. Dr. Angelo Márcio Pinto Leite - UFJVM

Prof. Márcio Leles Romarco de Oliveira – UFVJM  
Presidente

DIAMANTINA  
2013

## AGRADECIMENTOS

À Deus, base fundamental em minha vida.

Ao Professor Marcio Leles Romarco de Oliveira, pela amizade, competência, exemplos e ensinamentos, que além de valiosos são extremamente coerentes com minha vida profissional e os levarei por toda a vida. Serei sempre grato à confiança depositada em mim, principalmente nos momentos de incertezas.

Ao Rafael Vilela de Ávila, por me ensinar o verdadeiro sentido da palavra amizade, seus exemplos sempre contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional. Serei eternamente grato a Deus por permitir que nossa amizade perdure por todos esses anos. Tenho você como um verdadeiro irmão. Obrigado por tudo.

Ao Grupo Ferroeste, em especial à G5 Agropecuária, por permitirem que esse trabalho fosse desenvolvido da melhor maneira possível. Meus sinceros agradecimentos aos senhores Pedro Caroba Silva, Rafael Vilela de Ávila e Flávio Teixeira.

Aos meus amigos Thiago e Stênio pelo apoio incondicional, pelas horas intermináveis de estudo, pelos exemplos, conselhos valiosos e pelos momentos de descontração.

À Joziane Bruzinga, uma grande incentivadora e amiga. Sua coragem é exemplo para muitos, uma Pesquisadora nata.

À Silvia Mota, pela amizade, confiança e ensinamentos desde os tempos da graduação.

Às Repúblicas *Baum Tamém* e *Seis de Paus* por serem minha segunda casa, a amizade e confiança de todos sempre contribuíram para que os momentos de dificuldade fossem superados. Ter sido um republicano ao lado de vocês é motivo de orgulho. Obrigado pelos momentos mágicos que vivemos nessa cidade.

À Laiss Serafim, pelo apoio, carinho e por entender minha ausência em muitos momentos.

Aos meus colegas de curso pelo companheirismo.

Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal da UFVJM pelo profissionalismo, competência e ensinamentos que me proporcionaram atuar com tranquilidade no mercado de trabalho.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal pelas oportunidades e confiança nos trabalhos desenvolvidos.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, por ser a base da minha formação.

À Diamantina, sem palavras...

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha mãe que sempre me ensinou a sonhar e ao meu pai que me mostrou os caminhos para realizá-los. Ao meu irmão Camilo pela amizade e coragem em seguir meus passos, tenho certeza que será um excelente profissional. Aos Barcelos Dias e Nunes Costa, por serem o meu esteio.*

## RESUMO

O volume de madeira em uma área usualmente é estimado por meio de equações matemáticas, que são ajustadas de forma específica para árvores de um determinado sítio, porém os métodos tradicionais requerem biometrias dos indivíduos no campo, registradas anteriormente a colheita. Em casos em que não é possível fazer uso dos procedimentos convencionais devido a ausência de árvores, as cepas restantes no local é a única fonte de informações que podem evidenciar o estoque volumétrico que foi colhido. Este trabalho teve como objetivos compreender a relação entre o diâmetro de cepa e o volume total em um povoamento clonal de Eucalipto por meio do uso de equações volumétricas e Redes Neurais Artificiais (*RNA*), a fim de contribuir com informações que possam subsidiar ações de fiscalização, auditorias em empresas privadas e projetos de manejo em geral. O estudo foi realizado na Fazenda Vida de propriedade da Gusa Nordeste LTDA, inserida no município de Barra do Corda, localizado na região central do estado do Maranhão. Foram instaladas 52 parcelas de 600 m<sup>2</sup> cada, distribuídas aleatoriamente em sete talhões, implantados sob o mesmo regime de preparo de solo e com o mesmo material genético, todos no espaçamento 4×3 m e idades em torno de seis anos. Em cada unidade amostral foi coletado a altura total de 15 árvores, sendo que cinco delas eram qualificadas como dominantes todos os indivíduos foram mensurados os diâmetros a 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 e 1,30 m do solo. Além disso, foram cubadas 64 árvores distribuídas em classes diamétricas suficientes para representar o estrato. Após os processamentos convencionais empregou-se as técnicas utilizando os diâmetros próximos ao solo, visando comparar os procedimentos convencionais com os propostos neste trabalho. Em um contexto geral, pode-se notar que quando não é possível realizar o inventário convencional e não se sabe o destino da madeira, empregar estimativas obtidas por equações volumétricas e *RNA* é uma alternativa viável de se obter o provável estoque que havia na área, utilizando-se apenas as informações de diâmetro da cepa.

**Palavras Chave:** Diâmetro de Cepa; Dendrometria; Inteligência Artificial.

## ***ABSTRACT***

The volume of wood in an area is usually estimated through mathematical equations, which are adjusted in a specific way to each trees of a particular site, however the traditional methods require the record of biometrics of individuals, in place, previously to the forest harvest. In cases where it is not possible to use the conventional procedures, owing to the absence of trees, the remaining stumps on site is the only source of information in which can infer the stock volume was harvested. This study aims to understand the relationship between the diameter of tree stump and the total volume in a stand of clonal of Eucalyptus by the using of volumetric equations and Artificial Neural Networks (*ANN*), in order to contribute information that can offer support in actions of invigilate, audits of private companies and project management in general. The study was conducted in Farm Vida owned by Gusa Nordeste LTDA, inserted in the municipality of Barra do Corda, located in the central region of the state of Maranhão. Were installed 52 plots with area 600 m<sup>2</sup>, randomly distributed into seven stands, and implanted under the same regime of soil preparation and with the same genetic material, all stands with same spacing of 4×3 m and and ages around six years. At each sample unit was registered data of total height of 15 trees, in which five of these trees were classified as dominant, and for all individuals inside of the sample units, has measured the diameters at 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 e 1,30 m relative to ground level. Further, 64 trees, into different diameter classes, were cubed. Those classes were sufficient to represent the stratum. After the conventional processing techniques, were employed techniques using variable of diameters measured near the level ground, order to compare with conventional procedures proposed in this work. In a general context it can be noted that when it is not possible to perform the inventory conventional and does not know the destination of the wood, use the estimates obtained by employing volumetric equations and ANN can be recommended as a viable alternative to obtain the probable wood stock, which was existent before to the harvest, using only set data of the stump diameter.

**Keywords:** Diameter of Tree Stump; Dendrometry; Artificial Intelligence.



## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>iii</b>
<b>DEDICATÓRIA</b> .....	<b>v</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>x</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2. HIPÓTESE</b> .....	<b>11</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1. Descrição da área de estudo</b> .....	<b>11</b>
<b>3.2. Amostragem e coleta de dados</b> .....	<b>12</b>
<b>3.3. Banco de Dados</b> .....	<b>12</b>
<b>3.4. Estimativas Volumétricas</b> .....	<b>13</b>
<b>3.5. Análise dos Ajustes</b> .....	<b>14</b>
<b>3.7. Estatística de Inventário</b> .....	<b>15</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>4.1. Descrição dos Dados</b> .....	<b>15</b>
<b>4.2. Ajustes Volumétricos</b> .....	<b>18</b>
<b>4.3. Processamento dos Inventários</b> .....	<b>38</b>
<b>5. CONCLUSÕES e RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>40</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>41</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Dispersão da altura total (m) em relação ao diâmetro à altura de 1,30 m ( <i>DAP</i> ) (A), a altura total (m) em relação ao volume total (m <sup>3</sup> ) (B), do diâmetro à altura de 1,30 m ( <i>DAP</i> ) em relação ao volume total (m <sup>3</sup> ) (C) e dos volumes de cepa à 0,05;0,10;0,15;0,20;0,25 e 0,30 m em relação ao volume total (m <sup>3</sup> ) (D) (E) (F) (G) (H) (I) respectivamente.....	17
<b>Figura 2:</b> Distribuição dos resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,00 m do nível do solo.....	21
<b>Figura 3:</b> Distribuição dos resíduos percentuais em classes de frequência para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,00 m do nível do solo.....	22
<b>Figura 4:</b> Distribuição dos resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,05 m do nível do solo. ....	23
<b>Figura 5:</b> Distribuição dos resíduos percentuais em classes de frequência para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,05 m do nível do solo.....	24
<b>Figura 6:</b> Distribuição dos resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,10 m do nível do solo.. ....	25
<b>Figura 7:</b> Distribuição dos resíduos percentuais em classes de frequência para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,10 m do nível do solo.....	26
<b>Figura 8:</b> Distribuição dos resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,15 m do nível do solo.....	27
<b>Figura 9:</b> Distribuição dos resíduos percentuais em classes de frequência para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,15 m do nível do solo.....	28
<b>Figura 10:</b> Distribuição dos resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,20 m do nível do solo.. ....	29
<b>Figura 11:</b> Distribuição dos resíduos percentuais em classes de frequência para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,20 m do nível do solo.....	30
<b>Figura 12:</b> Distribuição dos resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,25 m do nível do solo.....	31
<b>Figura 13:</b> Distribuição dos resíduos percentuais em classes de frequência para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,25 m do nível do solo.....	32
<b>Figura 14:</b> Distribuição dos resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,30 m do nível do solo.. ....	33
<b>Figura 15:</b> Distribuição dos resíduos percentuais em classes de frequência para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,30 m do nível do solo.....	34
<b>Figura 16:</b> Distribuição dos resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por meio de redes neurais artificiais ajustadas através dos diâmetros da cepa a 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25 e 0,30 m do nível do solo.....	36
<b>Figura 17:</b> Distribuição dos resíduos percentuais em classes de frequência para as estimativas volumétricas por meio de redes neurais artificiais ajustadas através dos diâmetros da cepa a 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25 e 0,30 m do nível do solo.....	37

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Modelos volumétricos utilizados para estimar o volume do fuste por meio do diâmetro das cepas.....	13
<b>Tabela 2:</b> Valores médios dos diâmetros em centímetros das cepas a 0,05;0,10;0,15;0,20;0,25 e 0,30 m do nível do solo.....	16
<b>Tabela 3:</b> Parâmetros dos modelos ajustados para o volume total em função do diâmetro (D) a 5 e 10 centímetros do nível do solo e os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), erro padrão $S_{\hat{v}}$ (%) e <i>bias</i> (%).....	19
<b>Tabela 4:</b> Arquitetura e <i>bias</i> das Redes Neurais Artificiais ajustadas para obtenção do volume de indivíduos de eucalipto a partir dos diâmetros das cepas e suas respectivas alturas.....	35
<b>Tabela 5:</b> Estimativas volumétricas por talhão, através do inventário convencional e por meio dos diâmetros das cepas a 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 m do nível do solo.....	38
<b>Tabela 6:</b> Erros de amostragem E(%) obtidos para os processamentos realizados por meio do processo convencional e por meio dos diâmetros das cepas.....	39
<b>Tabela 7:</b> Estimativas volumétricas por talhão, através do inventário convencional e por meio das redes obtidas a partir dos diâmetros das cepas a 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 m do nível do solo e suas respectivas alturas.....	39
<b>Tabela 8:</b> Erros de amostragem E(%) obtidos para os processamentos realizados por meio do processo convencional e por meio das redes estimada pelos diâmetros das cepas e suas respectivas alturas .....	40

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do Brasil historicamente apresenta, entre diversos fatores, à exploração dos recursos madeireiros como via categórica. No presente o setor florestal ainda representa um importante e crescente braço da economia do país, presente em grande parte dos processos produtivos, gerador de empregos e fonte de captação de recursos para união (SOUZA *et al.* 2010). Espécies do gênero *Eucalyptus* (eucalipto) possuem destaque nessa perspectiva. Atualmente são mais de quatro milhões e meio de hectares plantados em solos brasileiros (ABRAF, 2012).

O volume de madeira é a medida de produção mais utilizada no setor florestal. Este é usualmente estimado por meio de equações matemáticas, que são ajustadas de forma específica para árvores de um determinado sítio. Os dados para alimentar modelos devem ser coletados de forma criteriosa, a fim de garantir ajustes confiáveis e livres de tendências (SOARES *et al.*, 2007). Para que o gestor realize prescrições de manejo é imprescindível obter estimativas confiáveis a respeito do estoque de madeira (REZENDE *et al.*, 2006).

Conhecer a natureza das informações requeridas por esses procedimentos é uma etapa importante no processo de obtenção do volume estimado para o povoamento florestal (CAMPOS & LEITE, 2009). Para gerar essas informações, usualmente realiza-se um inventário florestal, onde mensura-se uma amostra representativa da população e extrapolam-se os resultados para a área total (LEITE & ANDRADE, 2002).

Segundo Guimarães & Leite (1996), grande parte dos procedimentos para se estimar o estoque volumétrico em uma área são dependentes de informações coletadas no inventário florestal, sendo este conduzido com o plantio em pé, geralmente utilizando-se as variáveis do diâmetro registrado à altura de 1,30 m do solo (*DAP*), a altura total da árvore e alguma outra variável que qualifique o indivíduo. Após as operações de colheita florestal e transporte da madeira, estimar o valor do estoque volumétrico retirada de uma dada área torna-se um problema de difícil solução. A situação agrava-se nos casos em que as informações biométricas dos indivíduos não tenham sido previamente registradas somando-se à impossibilidade de se determinar o destino final da madeira.

No setor florestal podem ocorrer situações de desmates ilegais não restando madeira no local, necessária para diagnosticar o grau da infração. Nesses casos os órgãos fiscalizadores não possuem uma metodologia segura para calcular o volume de madeira que foi explorada, dificultando assim a definição do valor da multa (LEITE & REZENDE, 2010). Há também situações em que as operações de colheita são terceirizadas e técnicas de vistoria pós-colheita são insipientes e altamente necessárias. Essa necessidade aumenta em se tratando de programas de

fomento em que dúvidas a respeito do volume real normalmente não são sanadas (CANTO *et al.*, 2006).

Nos casos em que há divergências entre valores de volume esperados pelo contratante e colhidos pelo contratado, principalmente quando a madeira já tenha sido transportada (tornando seu rastreamento duvidoso) as cepas que permanecem na área são as únicas fontes de informação que podem aferir o volume de madeira retirada do local, fato esse que justifica estudos que correlacionem entre o diâmetro da cepa e o volume da árvore. Existem situações em que nunca se saberá o estoque volumétrico que existiu em um determinado sítio, nesses casos é preferencial empregar metodologias que utilizam o diâmetro das cepas com a finalidade de resgatar essas informações do que simplesmente omiti-las.

A fim de contribuir com informações que possam subsidiar ações de fiscalização, auditorias em empresas privadas e projetos de manejo em geral, o objetivo deste trabalho foi examinar a relação entre o diâmetro de cepa e o volume total em um povoamento clonal de Eucalipto por meio do uso de equações volumétricas e Redes Neurais Artificiais (RNA).

## **2. HIPÓTESE**

H<sub>0</sub>: é possível empregar técnicas como equações volumétricas e Redes Neurais Artificiais para obter estimativas volumétricas em plantios comerciais de Eucalipto a partir do diâmetro de cepa.

H<sub>1</sub>: não é possível empregar técnicas como equações volumétricas e Redes Neurais Artificiais para obter estimativas volumétricas em plantios comerciais de Eucalipto a partir do diâmetro de cepa.

## **3. MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1. Descrição da área de estudo**

O estudo foi realizado na Fazenda Vida de propriedade da Gusa Nordeste LTDA, inserida no município de Barra do Corda – MA (5°30'S ; 4°15'O). A região encontra-se localizada na porção central do estado do Maranhão (LACERDA & FIGUEIREDO, 2009). Baseado em informações cedidas pela empresa, o clima da região, do tipo Aw de acordo com a classificação de Köppen, é tropical quente e sub-úmido, com uma estação chuvosa de janeiro a maio e precipitação anual média de 1.370 mm. Uma característica marcante da área é uma estiagem entre os meses de junho a dezembro, nesse período chove menos de 400 mm. Os solos em geral apresentam textura que varia de argilo-arenosa a argilosa, porém sem grandes discrepâncias.

Para desenvolver esse trabalho, foram selecionados sete talhões com características de solo, clima, precipitação e relevo semelhantes, implantados sob o mesmo regime de preparo de solo e com o mesmo material genético, todos no espaçamento de quatro metros entre linhas e três entre plantas e idades em torno de seis anos.

### 3.2. Amostragem e coleta de dados

Foram instaladas 52 parcelas na área a fim de representar todas as possíveis classes diamétricas dos indivíduos ali presentes e planejar com segurança as operações de cubagem rigorosa de árvores. As unidades amostrais foram distribuídas aleatoriamente nos talhões selecionados, buscando uma proporção de uma parcela a cada dez hectares. As parcelas possuem aproximadamente 50 covas, com área de 600 m<sup>2</sup>, totalizando 3,12 ha amostrados.

Em cada árvore foram medidos os diâmetros a 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 e 1,30 m do solo com o auxílio de uma fita métrica, para padronizar as posições de medição foi utilizado uma baliza graduada com marcas nas posições determinadas. Em cada unidade amostral foi coletado a altura total de 15 árvores, sendo que cinco delas eram qualificadas como dominantes, para esta operação foi utilizado um clinômetro eletrônico.

Para determinar o volume real dos indivíduos foi realizada a cubagem rigorosa de 64 indivíduos e para abranger todas as variações de forma e padrão, foram cubadas aproximadamente seis árvores por classe diamétrica, com amplitude de dois centímetros por classe.

As árvores abatidas foram cubadas pelo método de Smalian, conforme descrito por Husch *et al.* (2003), com as secções de: 0,0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,7; 1,0; 1,3; 2,0 m, sendo que a partir desta secção foi tomada a cada dois metros. Em cada ponto foi mensurado o diâmetro e a espessura da casca. Para obter o volume de cada árvore foi utilizada a fórmula a seguir:

$$V = \left\{ \left[ \frac{\pi}{40.000} \left( \frac{D_1^2 + D_2^2}{2} \right) L_1 \right] + \left[ \frac{\pi}{40.000} \left( \frac{D_2^2 + D_3^2}{2} \right) L_2 \right] + \dots + \left[ \frac{\pi}{40.000} \left( \frac{D_{n-1}^2 + D_n^2}{2} \right) L_n \right] \right\}$$

em que: V = volume total da árvore, em m<sup>3</sup>; D1, D2, D3, ..., Dn = diâmetro nas extremidades das secções, em centímetros; L1, L2, ..., Ln = comprimento das secções, em metros.

### 3.3. Banco de Dados

O banco de dados foi submetido a uma análise, verificando a consistência das informações e corrigindo eventuais erros de digitalização. Os valores discrepantes foram avaliados, e removidos, a fim de garantir ajustes livres de tendências (DRAPER & SMITH, 1998). Foram elaborados gráficos

e tabelas de dispersão dos dados, a fim de conhecer o comportamento dos mesmos, expondo o padrão dos indivíduos amostrados no levantamento.

### 3.4. Estimativas Volumétricas

De posse dos dados de cubagem, foram ajustados diferentes modelos volumétricos, lineares e não lineares selecionados em literatura florestal por meio dos diâmetros coletados a 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25 ou a 0,30 m do nível do solo, para isso se fez uso de planilhas eletrônicas e o *software* Statistica 10.0 (STATSOFT, 2010). Os ajustes lineares foram realizados pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (*MMQO*), já os ajustes não lineares foram realizados por meio do algoritmo iterativo de Quase-Newton. Na Tabela 1 estão especificados os modelos volumétricos empregados neste estudo.

**Tabela 1:** Modelos volumétricos utilizados para estimar o volume do fuste por meio do diâmetro das cepas

Número	Modelos
1	$V = \beta_0 + \beta_1 D + \varepsilon$
2	$V = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \varepsilon$
3	$LnV = \beta_0 + \beta_1 Ln(D) + \beta_2 D + \varepsilon$
4	$V = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \varepsilon$
5	$LnV = \beta_0 + \beta_1 / D + \varepsilon$
6	$V = \beta_0 / (1 + \beta_1 e^{(-\beta_2 D)}) + \varepsilon$
7	$V = \beta_0 / (1 + e^{(\beta_1 - (\beta_2 D))^{\beta_3}}) + \varepsilon$
8	$V = \beta_0 D^{\beta_1} + \varepsilon$

em que:  $V$  = volume total ou de fuste com casca, em  $m^3$ ;  $D$  = diâmetro 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25 ou a 0,30 m do nível do solo;  $Ln$  = logaritmo neperiano;  $\beta_i$  = parâmetros do modelo; e  $\varepsilon$  = erro aleatório.

Ainda utilizando os dados de cubagem, empregou-se a tecnologia de *RNA* para estimar o volume dos indivíduos. Para o treinamento e obtenção das mesmas foi utilizado o *software* Statistica 10.0 (STATSOFT 2010). Primeiramente os dados passaram por uma normalização, sendo os mesmo condensados no intervalo entre 0 e 1, em seguida foram testadas diferentes arquiteturas de redes *Multilayer Perceptron (MLP)*. Neste estudo, optou-se pelo método de treinamento supervisionado do tipo *feedforward*, onde 20% dos dados são separados para os testes e os 80% restante para os treinamentos. Treinou-se aproximadamente 3.000 arquiteturas diferentes de redes para cada cenário descritos a seguir.

Sabe-se que a altura das cepas possuem certas variações que são inerentes do processo de corte das árvores, diante disso foram obtidas oito redes ajustadas por meio dos diâmetros a 0,00;

0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 m do nível do solo e suas respectivas alturas, configurando assim duas variáveis preditoras.

### 3.5. Análise dos Ajustes

A seleção dos melhores ajustes foi baseado na metodologia apresentada por Oliveira *et al.*, (2005). Foi observado o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ); o menor erro-padrão da estimativa ( $S_{\hat{v}}$ ); significância dos parâmetros dos modelos pelo teste  $t$  a 95% de probabilidade; e análise gráfica dos resíduos porcentuais ( $R\%$ ), através das seguintes expressões:

$$R(\%) = \frac{\hat{V} - V}{V} \cdot 100$$

em que:  $\hat{V}$  = volume total estimado com casca, em  $m^3 \cdot ha^{-1}$ ;  $V$  = volume total observado com casca, em  $m^3 \cdot ha^{-1}$ .

Neste trabalho foram testados modelos lineares e não lineares, diante deste fato existe a necessidade de padronizar os calculos dos seguintes parâmetros: coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e erro-padrão da estimativa ( $S_{\hat{v}}\%$ ); pelas seguintes expressões:

$$R^2 = (r_{v\hat{v}})^2 \quad r_{v\hat{v}} = \frac{\sum v\hat{v} - \frac{(\sum v)(\sum \hat{v})}{n}}{\sqrt{\left(\sum v^2 - \frac{(\sum v)^2}{n}\right)\left(\sum \hat{v}^2 - \frac{(\sum \hat{v})^2}{n}\right)}} \quad S_{\hat{v}}(\%) = \frac{\sqrt{\frac{\sum (v - \hat{v})^2}{n - p - 1}}}{\bar{v}} \cdot 100$$

em que:  $r$  = coeficiente de correlação linear;  $\hat{v}$  = volume estimado;  $v$  = volume observado;  $n$  = número de observações;  $p$  = número de variáveis independentes; e  $\bar{v}$  = média aritmética do valor observado para volume, em  $m^3 \cdot ha^{-1}$  ou altura, em metros.

Também foram realizadas análises por meio do *Bias*, calculados em todas as estimativas por meio da seguinte fórmula:

$$Bias(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n (v - \hat{v})}{n} \cdot 100$$

em que:  $\hat{v}$  = volume estimado;  $v$  = volume observado e  $n$  = número de observações.

Os resultados dos melhores ajustes foram confrontados com os volumes obtidos pela cubagem por meio de análise gráfica de resíduos, *bias* e erro do quadrado médio, assim foi possível inferir com segurança sobre a eficiência das equações e das Redes Neurais Artificiais (*RNA*) geradas pelas diferentes metodologias.



### 3.6. Inventário Florestal

De posse dos dados de inventário coletados nas 52 parcelas alocadas em campo e das informações das cubagens rigorosas realizadas nas 64 árvores selecionadas para tal fim, foi composto uma rotina de processamento seguindo os procedimentos tradicionais que são habitualmente utilizados no setor. Para esse estudo optou-se por utilizar o software Sifcub 6.0 (TREESOFTWARE, 2012), empregando para as estimativas volumétricas o modelo linear de Schumacher & Hall (1933),  $Ln(V) = \beta_0 + \beta_1.Ln(DAP) + \beta_2.Ln(Ht) + \varepsilon$  e para as estimativas hipsométricas o modelo de Campos (1986),  $Ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1.(DAP^{-1}) + \beta_2.Ln(Hd) + \varepsilon$ . Foi adotado como parâmetro um erro de amostragem admissível ( $E\%$ ) de 10% e o nível de probabilidade de 95%, por ser um padrão adotado em muitas situações práticas em inventários florestais.

Como alternativas aos procedimentos tradicionais foram realizados processamentos por meio da melhor Equação de volume e as melhores RNA, em todos os casos as estimativas do estoque de madeira presente na área foram feitas a partir dos diâmetros a 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 m do nível do solo. O volume foi estimado através das informações coletadas ao nível do solo para simular que as árvores não estariam presentes no ambiente. Com isso foi possível confrontar por meio das diferenças porcentuais e estatísticas de inventário os métodos tradicionalmente utilizados em larga escala no setor florestal com a proposta apresentada nesse estudo, de estimar o volume de um povoamento apenas com os diâmetros das cepas.

### 3.7. Estatística de Inventário

A fim de verificar a qualidade dos inventários realizados pelos diferentes procedimentos, foi utilizado o método de suficiência amostral, para os diferentes cenários o erro de amostragem, que foi obtido pela seguinte expressão (LOETSCH & HALLER, 1964):

$$E(\%) = \pm \frac{S\bar{X} \times t}{\bar{x}} \times 100$$

em que:  $S\bar{X}$  = erro-padrão da média;  $t$  = valor tabelado (10% e n-1 gl); e  $\bar{x}$  = média dos volumes por hectare das parcelas e dos pontos de amostragem.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Descrição dos Dados

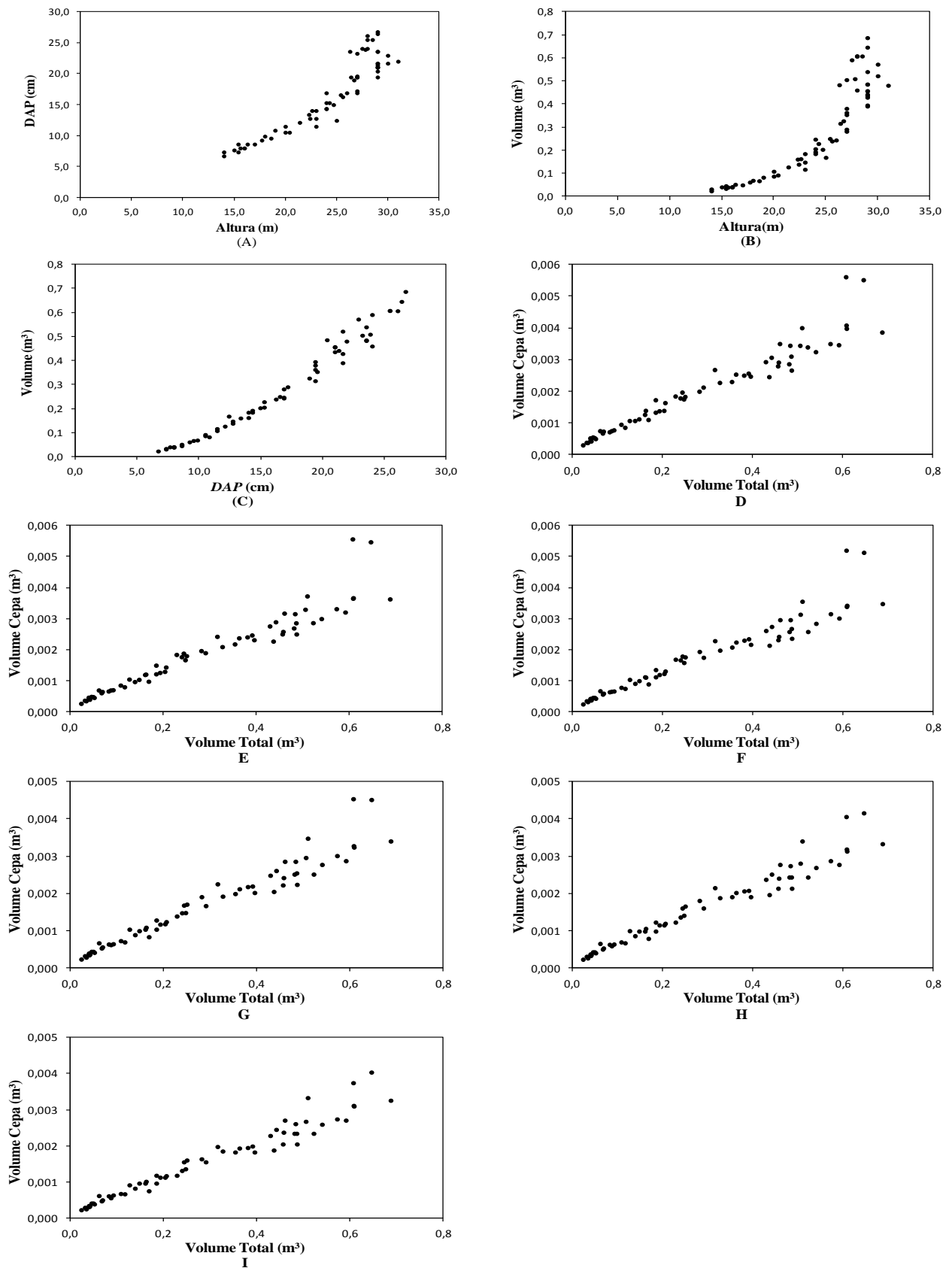
Na Tabela 2 é possível notar o afilamento médio das cepas em relação às alturas mensuradas, revelando assim o porte dos indivíduos na sua base.

**Tabela 2:** Valores médios dos diâmetros em centímetros das cepas a 0,05;0,10;0,15;0,20;0,25 e 0,30 m do nível do solo

<b>Cepa 0</b>	<b>Cepa 0,05</b>	<b>Cepa 0,10</b>	<b>Cepa 0,15</b>	<b>Cepa 0,20</b>	<b>Cepa 0,25</b>	<b>Cepa 0,30</b>
21,81	21,05	20,29	19,80	19,31	18,96	18,61
-	(-4%)	(-7%)	(-9%)	(-12%)	(-13%)	(-15%)

Valores entre parênteses são os desvios em relação aos diâmetros ao nível do solo.

Na Figura 1 estão expostas algumas características biométricas dos indivíduos presentes na área. Os dados coletados apresentam tendências que contribuem para a qualidade dos ajustes, fato esse desejável e que tende a garantir resultados satisfatórios (CAMPOS & LEITE, 2009).



**Figura 1:** Dispersão da altura total (m) em relação ao diâmetro à altura de 1,30 m (*DAP*) (A), a altura total (m) em relação ao volume total (m<sup>3</sup>) (B), do diâmetro à altura de 1,30 m (*DAP*) em relação ao volume total (m<sup>3</sup>) (C) e dos volumes de cepa à 0,05;0,10;0,15;0,20;0,25 e 0,30 m em relação ao volume total (m<sup>3</sup>) (D)(E)(F)(G)(H)(I) respectivamente.

## 4.2. Ajustes Volumétricos

Na Tabela 3 é possível notar que em geral todos os ajustes das equações apresentaram resultados satisfatórios em termos de precisão, os valores de coeficiente de determinação variaram entre 90% e 97%, o erro padrão variou entre 1,09% e 2,65% e os valores de *bias* foram praticamente todos próximos a zero, faixa considerada como ideal por Adame *et al.* (2008). Segundo Tarald (1985) é extremamente necessário avaliar os gráficos de dispersão de resíduos, de acordo com o autor, existem casos em que um ajuste pode apresentar valores adequados em termos estatísticos e não gerar resultados adequados, como nos casos em que os dados apresentem heterocedastia regular. Sendo assim, para compreender a eficiência dos ajustes deve-se analisar todo o contexto do ajuste, para assim compor uma decisão sólida que possibilite a indicação do ajuste mais adequado para realizar as estimativas volumétricas.

Avaliando os gráficos apresentados a seguir entre as Figuras 2 a 15, é possível notar, que em geral, todas as equações utilizando os diferentes diâmetros coletados a 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 m do nível do solo para estimar o volume individual de árvores de eucalipto geraram padrões semelhantes de distribuição de resíduos.

Em uma análise criteriosa, descarta-se as Equações 1 e 2 por subestimarem os valores de indivíduos pertencentes às menores classes volumétricas, ainda em alguns casos. A Equação 2 ainda gera parâmetros que não apresentam diferenças significativas pelo teste *t* a 95% de probabilidade, o que pode acarretar em multicolinearidade. Já as Equações 4 e 5 revelaram uma leve superestimação das estimativas volumétricas para os indivíduos de menor porte, o que fez com que esses modelos fossem descartados. Optou-se por eliminar também os Modelos 6, 7 e 8 por superestimarem de forma acentuada as estimativas de volume, além disso, as Equações 6 e 8 não apresentam resíduos que tenderam à normalidade, reforçando assim a decisão. Basicamente todas as Equações descritas anteriormente apresentaram certo grau de heterocedasticidade, fato esse que é indesejável em ajustes desta natureza (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

A Equação 3 se destaca em relação às demais, a dispersão dos dados ocorre de forma homogenia, os erros tendem a se concentrarem nas classes mais próximas a zero e apresentando normalidade. Diante dessas análises, define-se Modelo 3 como sendo o que se adéqua melhor à situação, estimando com certa precisão o volume de árvores por meio dos diâmetros coletados próximo ao solo, se configurando com uma alternativa viável para compor metodologias que buscam obter o estoque volumétrico em uma determinada área através apenas dos diâmetros de cepas restantes no campo após praticas de colheita florestal.

**Tabela 3:** Parâmetros dos modelos ajustados para o volume total em função do diâmetro (D) a 5 e 10 centímetros do nível do solo e os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), erro padrão  $S_{vi}(\%)$  e *bias* (%)

Altura Ceba	Equação	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$R^2$	$S_{vi}(\%)$	<i>Bias</i> (%)
0	1	-0,265576*	0,025241*			0,95	1,41	4,1x10 <sup>-15</sup>
0	2	-0,175847*	0,015981*	0,000211 <sup>ns</sup>		0,95	1,37	-5,8x10 <sup>-15</sup>
0	3	-11,069067*	3,533101*	-0,054537*		0,96	1,29	0,21
0	4	-0,015534 <sup>ns</sup>	0,000564*			0,94	1,49	-1,7x10 <sup>-14</sup>
0	5	0,673400*	-43,101189*			0,96	1,45	0,94
0	6	169056,357*	2003281,799*	0,056801*		0,92	2,65	-3,40
0	7	0,669769*	3,832914*	0,110946*	0,737661*	0,97	1,11	-0,03
0	8	0,000597*	1,972066*			0,94	1,51	-0,54
5	1	-0,259197*	0,025849*			0,94	1,46	-1,6x10 <sup>-14</sup>
5	2	-0,209494*	0,020566*	0,000124 <sup>ns</sup>		0,94	1,46	-1,5x10 <sup>-14</sup>
5	3	-11,044079*	3,597757*	-0,060724*		0,95	1,34	0,23
5	4	-0,008485 <sup>ns</sup>	0,000590*			0,92	1,66	-1,2x10 <sup>-14</sup>
5	5	0,664485*	-41,358336*			0,95	1,48	0,91
5	6	0,698719*	136,406220*	0,206760*		0,97	1,10	0,08
5	7	0,657979*	3,385437*	0,091485*	0,622876*	0,97	1,09	-0,04
5	8	0,000818*	1,895848*			0,93	1,65	-0,63
10	1	-0,248968*	0,026313*			0,93	1,59	-1,5x10 <sup>-14</sup>
10	2	-0,244265*	0,025798*	0,000012 <sup>ns</sup>		0,93	1,60	-1,9x10 <sup>-14</sup>
10	3	-10,997998*	3,663465*	-0,068022*		0,94	1,45	0,28
10	4	0,001817 <sup>ns</sup>	0,000611*			0,90	1,91	-1,7x10 <sup>-14</sup>
10	5	0,645191*	-39,418847*			0,94	1,57	0,91
10	6	0,695639*	135,861797*	0,214776*		0,96	1,21	0,11
10	7	0,651266*	3,114528*	0,083790*	0,558147*	0,96	1,19	-0,04
10	8	0,001170*	1,804903*			0,91	1,84	-0,71
15	1	-0,256464*	0,027344*			0,94	1,47	-2,6x10 <sup>-14</sup>
15	2	-0,193734*	0,020218*	0,000178*		0,94	1,46	-2,4x10 <sup>-14</sup>
15	3	-10,609204*	3,495653*	-0,060183*		0,95	1,36	0,23
15	4	-0,008925*	0,000668*			0,93	1,63	-6,4x10 <sup>-14</sup>
15	5	0,636618*	-38,335500*			0,95	1,52	0,97
15	6	0,703891*	126,592378*	0,215320*		0,97	1,15	0,06
15	7	0,662824*	3,403463*	0,098881*	0,637404*	0,97	1,15	-0,04
15	8	0,000882*	1,908320*			0,93	1,62	-0,59
20	1	-0,261093*	0,028279*			0,94	1,42	-1,7x10 <sup>-14</sup>
20	2	-0,137759*	0,013742*	0,000376*		0,95	1,34	-1,4x10 <sup>-14</sup>
20	3	-10,196544*	3,315423*	-0,051585*		0,95	1,29	0,21
20	4	-0,017192 <sup>ns</sup>	0,000723*			0,95	1,40	-1,7x10 <sup>-14</sup>
20	5	0,620681*	-37,115675*			0,95	1,52	1,05
20	6	67640,244*	1148251,292*	0,078140*		0,91	2,16	-1,98
20	7	0,695422*	3,989541*	0,139136*	0,806734*	0,97	1,17	-0,03
20	8	0,000667*	2,012152*			0,95	1,43	-0,45

Continua...

Tabela 3, cont.

Altura Cepa	Equação	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	R <sup>2</sup>	S <sub>wi</sub> (%)	Bias (%)
25	1	-0,262619*	0,028884*			0,95	1,37	-1,7x10 <sup>-14</sup>
25	2	-0,131783*	0,013177*	0,000414*		0,96	1,28	-1,3x10 <sup>-14</sup>
25	3	-10,137522*	3,312967*	-0,052093*		0,96	1,23	0,19
25	4	-0,018304 <sup>ns</sup>	0,000753*			0,95	1,34	-1,0x10 <sup>-14</sup>
25	5	0,626918*	-36,553436*			0,96	1,48	1,02
25	6	63171,553*	1003087,790*	0,077114*		0,92	2,17	-2,33
25	7	0,696368*	4,104493*	0,150302*	0,831655*	0,97	1,12	-0,03
25	8	0,000663*	2,025662*			0,95	1,37	-0,43
30	1	-0,263271*	0,029465*			0,95	1,35	-2,4x10 <sup>-14</sup>
30	2	-0,129841*	0,013152*	0,000438*		0,96	1,25	-1,7x10 <sup>-14</sup>
30	3	-10,077374*	3,312429*	-0,052903*		0,96	1,20	0,18
30	4	-0,018615 <sup>ns</sup>	0,000782*			0,95	1,31	-9,6x10 <sup>-14</sup>
30	5	0,630322*	-35,935020*			0,96	1,45	1,01
30	6	168468,105*	2255069,648*	0,071780*		0,93	2,35	-3,07
30	7	0,696009*	4,242869*	0,164957*	0,862681*	0,97	1,09	-0,02
30	8	0,000680*	2,029855*			0,95	1,34	-0,43

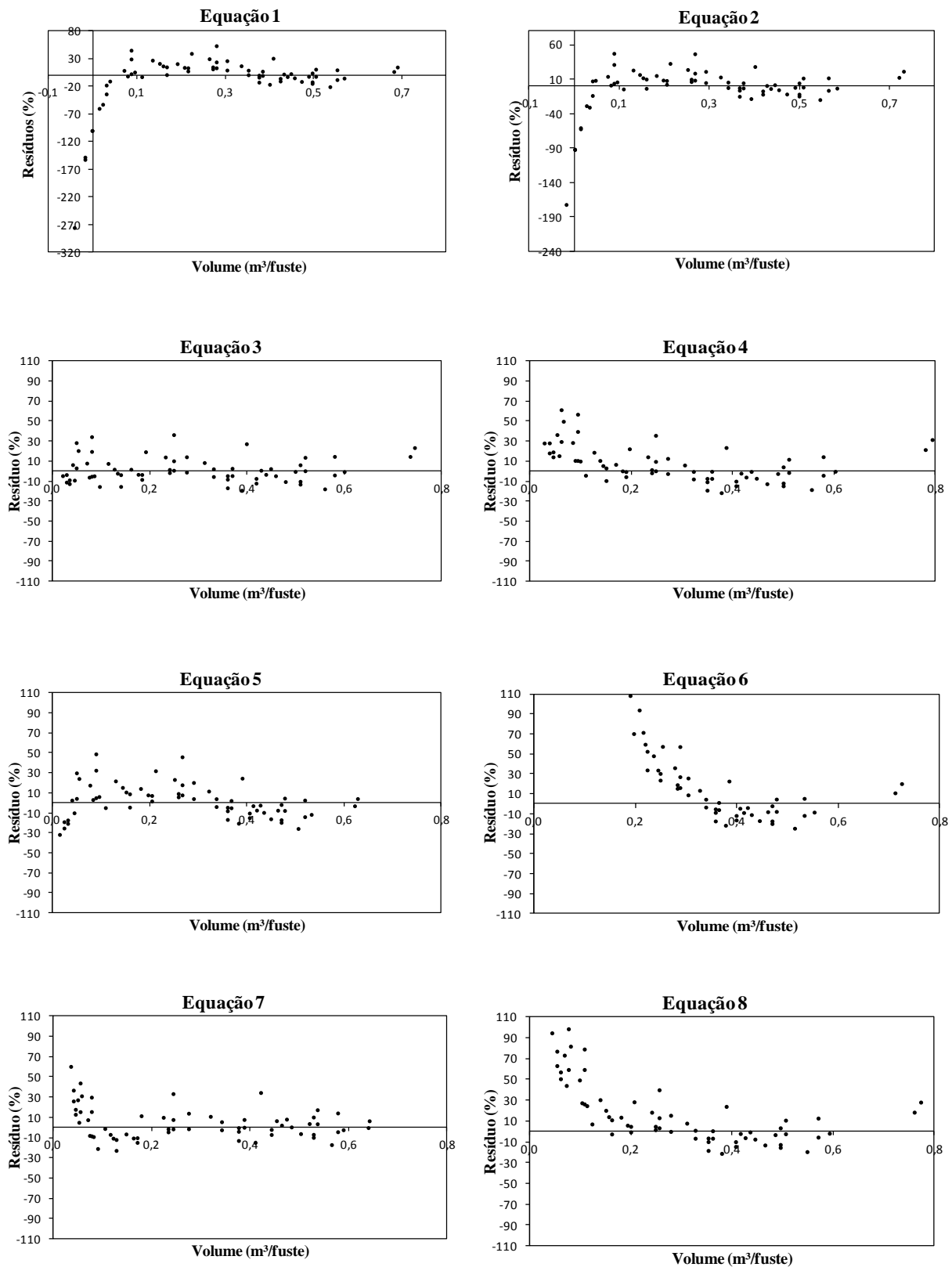
\* Valores dos coeficientes significativos a 5%, pelo teste *t*.

<sup>ns</sup> Valores dos coeficientes não significativos a 5%, pelo teste *t*.

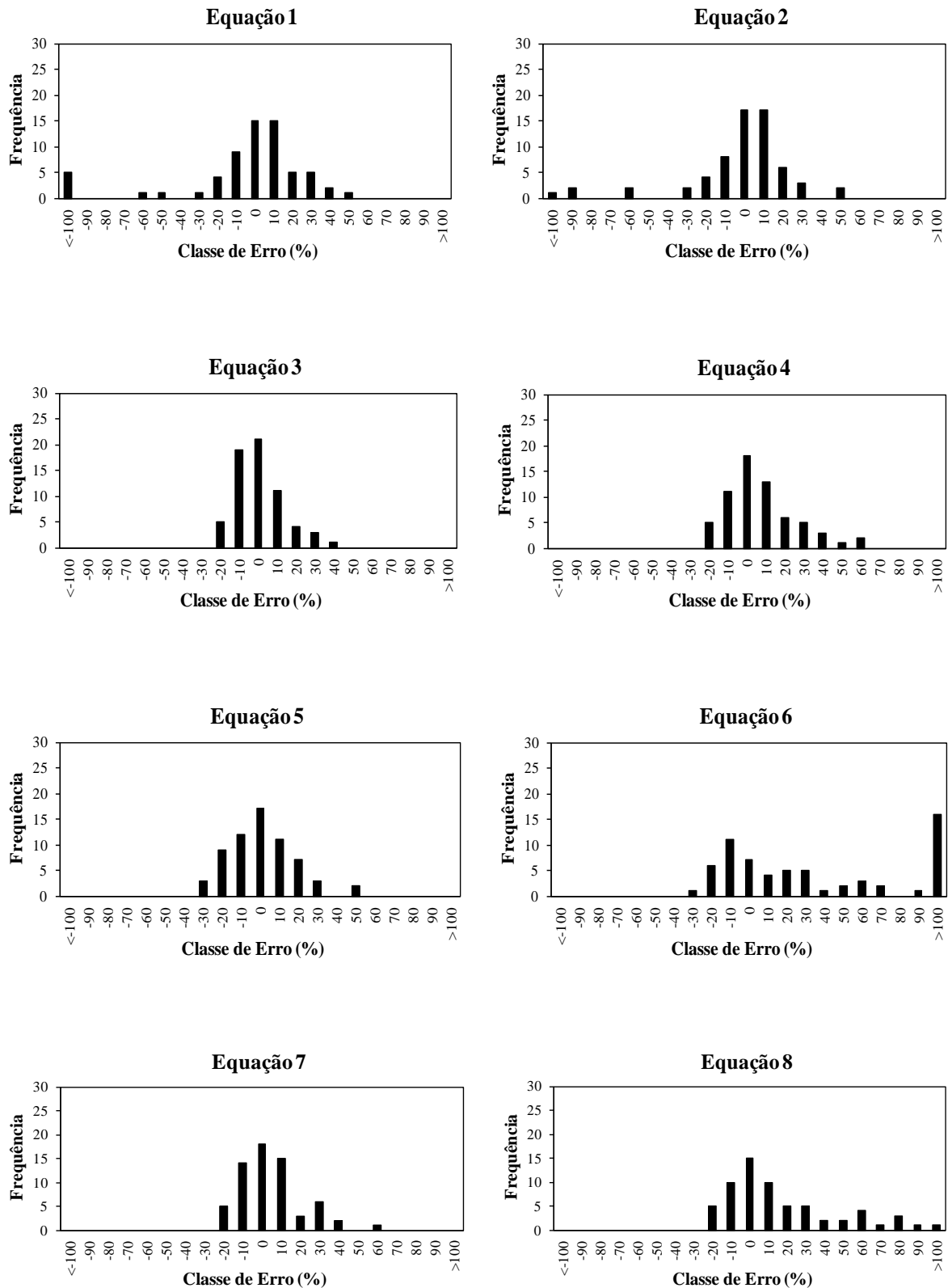
Thiersch *et al.* (2006), afirmam que equações que utilizam apenas o diâmetro para estimar o volume podem ser aplicadas em casos onde há grande homogeneidade de altura em indivíduos com o mesmo diâmetro, mas ressaltam que em situações que requerem grande precisão nas estimativas, as equações de dupla entrada, que utilizam a altura e o diâmetro devem ser preferencialmente utilizadas.

Trabalhos dessa natureza são escassos na literatura florestal, porém Leite & Rezende (2010), estudando uma área explorada de Floresta Amazônica de Terra Firme, comprovou a eficiência das estimativas volumétricas a partir do diâmetro da cepa, evidenciando boa relação entre essa variável e o volume comercial das árvores. Os autores ainda recomendam que sejam desenvolvidos estudos dessa ordem, por ser uma forma viável de estimar o volume dos indivíduos sem a presença dos mesmos na área.

Não se almeja nesse estudo determinar uma altura de cepa para coletar o diâmetro e estimar o volume de árvores, uma vez que em uma situação real, após a colheita não existe um padrão rígido de cepa restante no campo, sendo assim, o mais sensato é avaliar o comportamento das estimativas obtidas por meio de diversos diâmetros das cepas coletados em diferentes alturas.

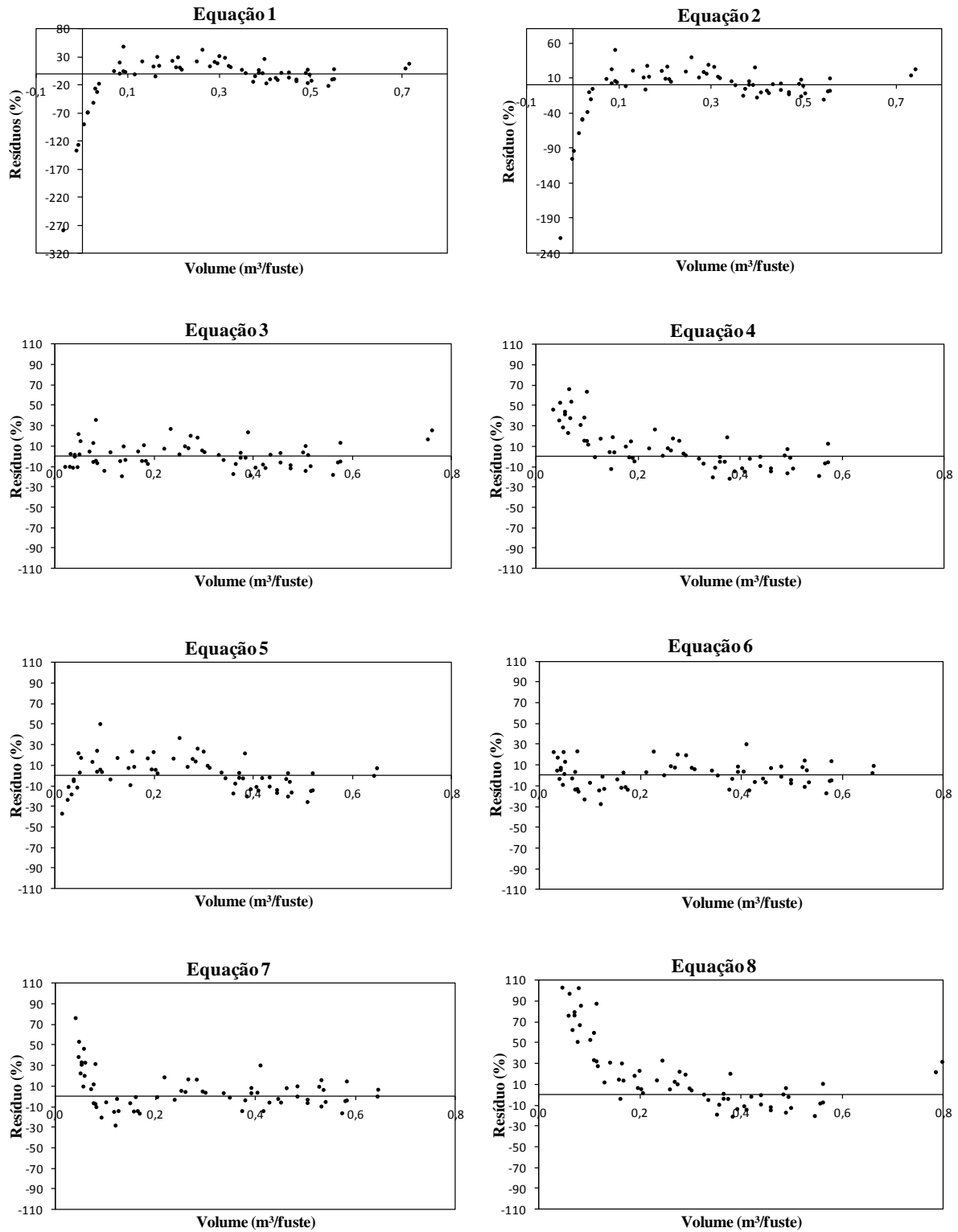


**Figura 2:** Distribuição dos resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,00 m do nível do solo.

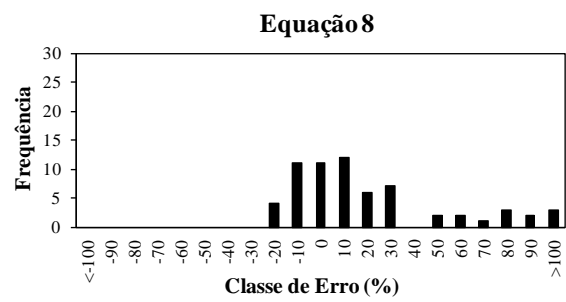
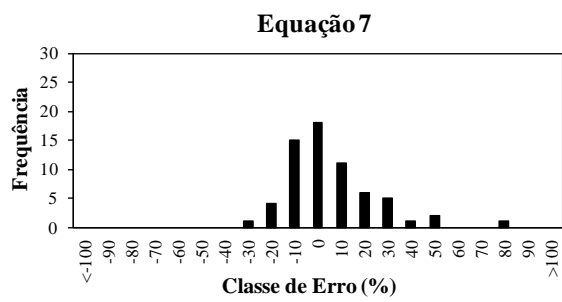
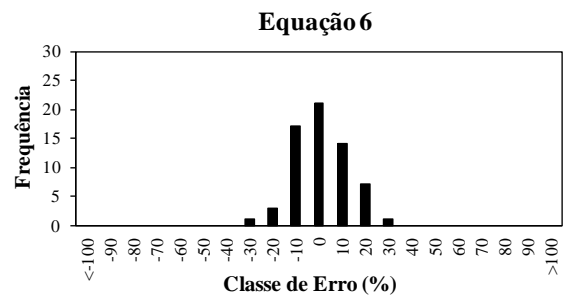
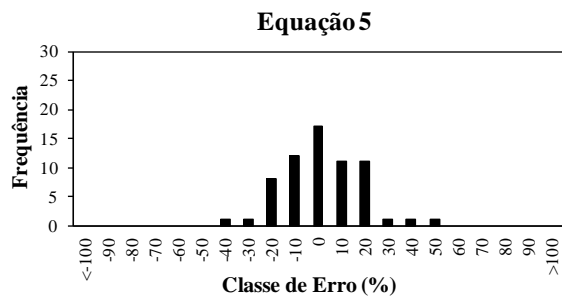
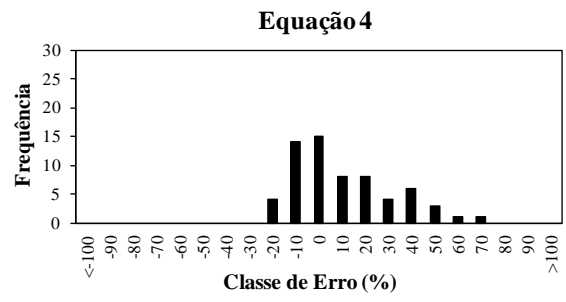
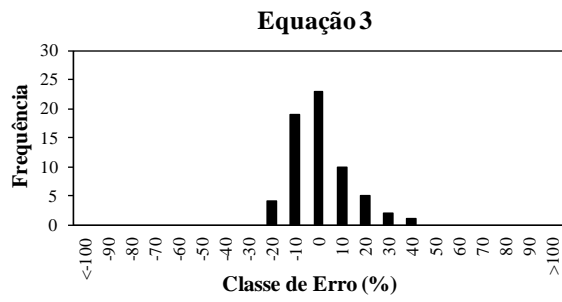
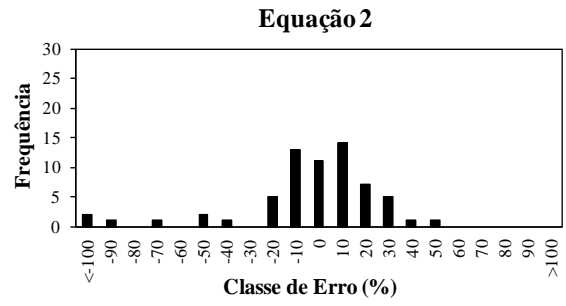
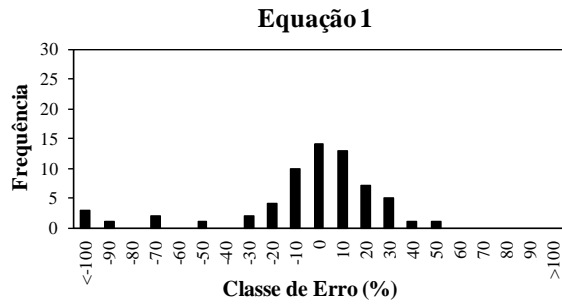


**Figura 3:** Distribuição dos resíduos percentuais em classes de frequência para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,00 m do nível do solo.

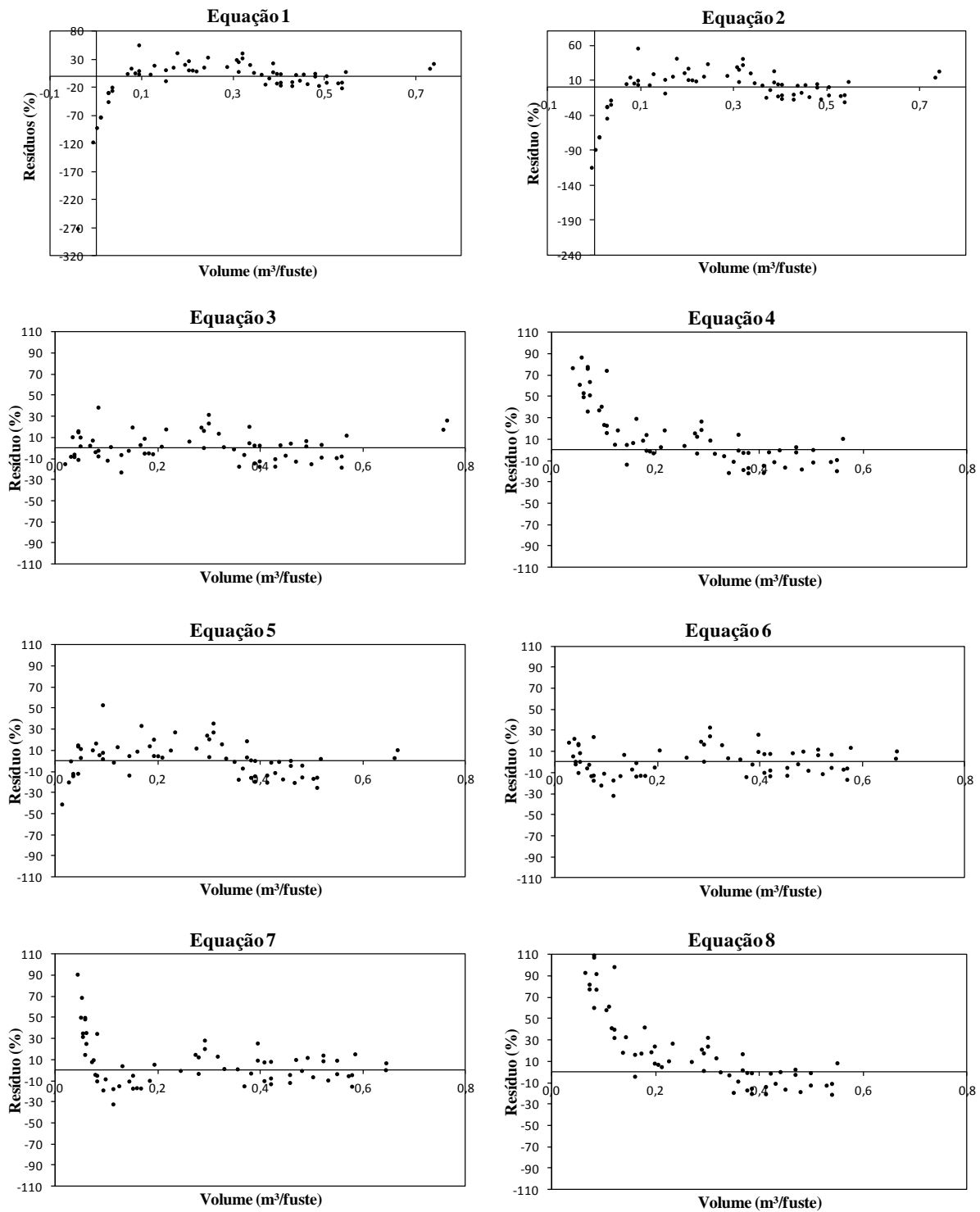




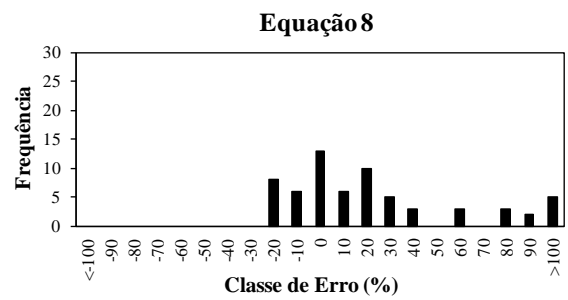
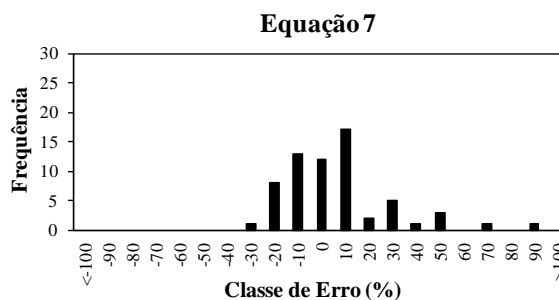
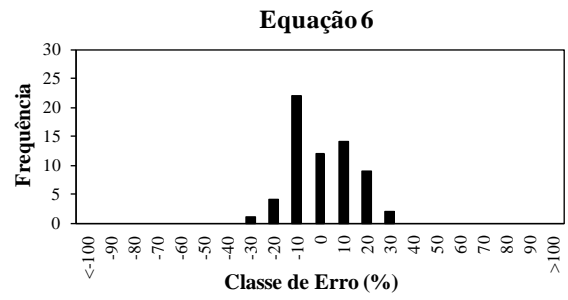
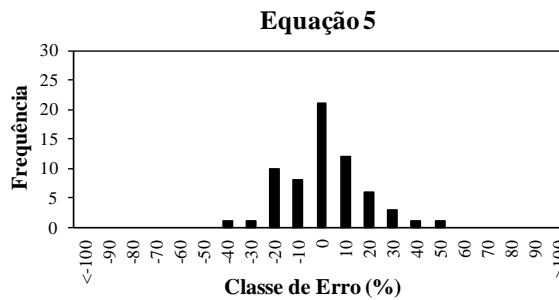
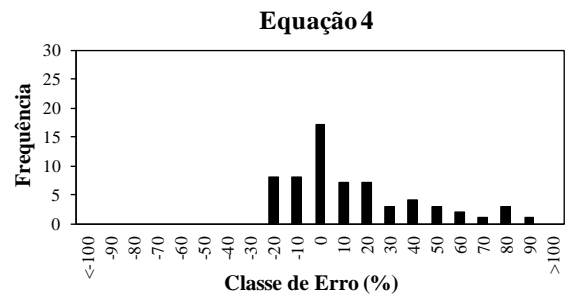
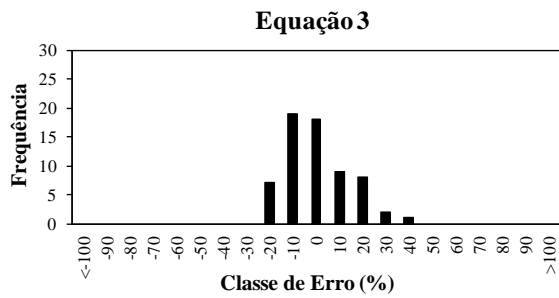
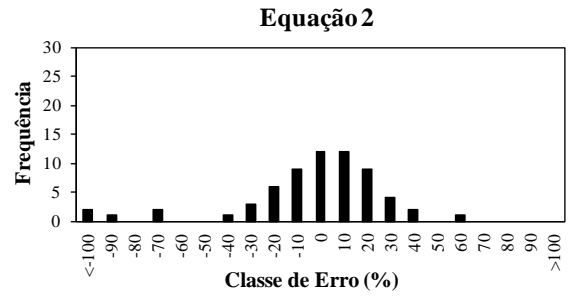
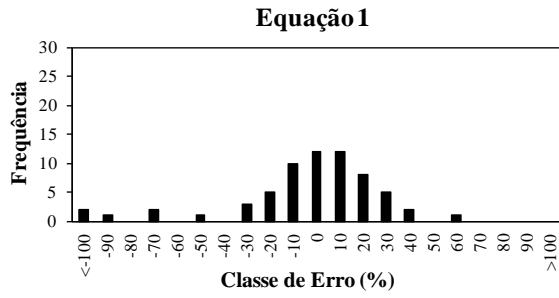
**Figura 4:** Distribuição dos resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,05 m do nível do solo.



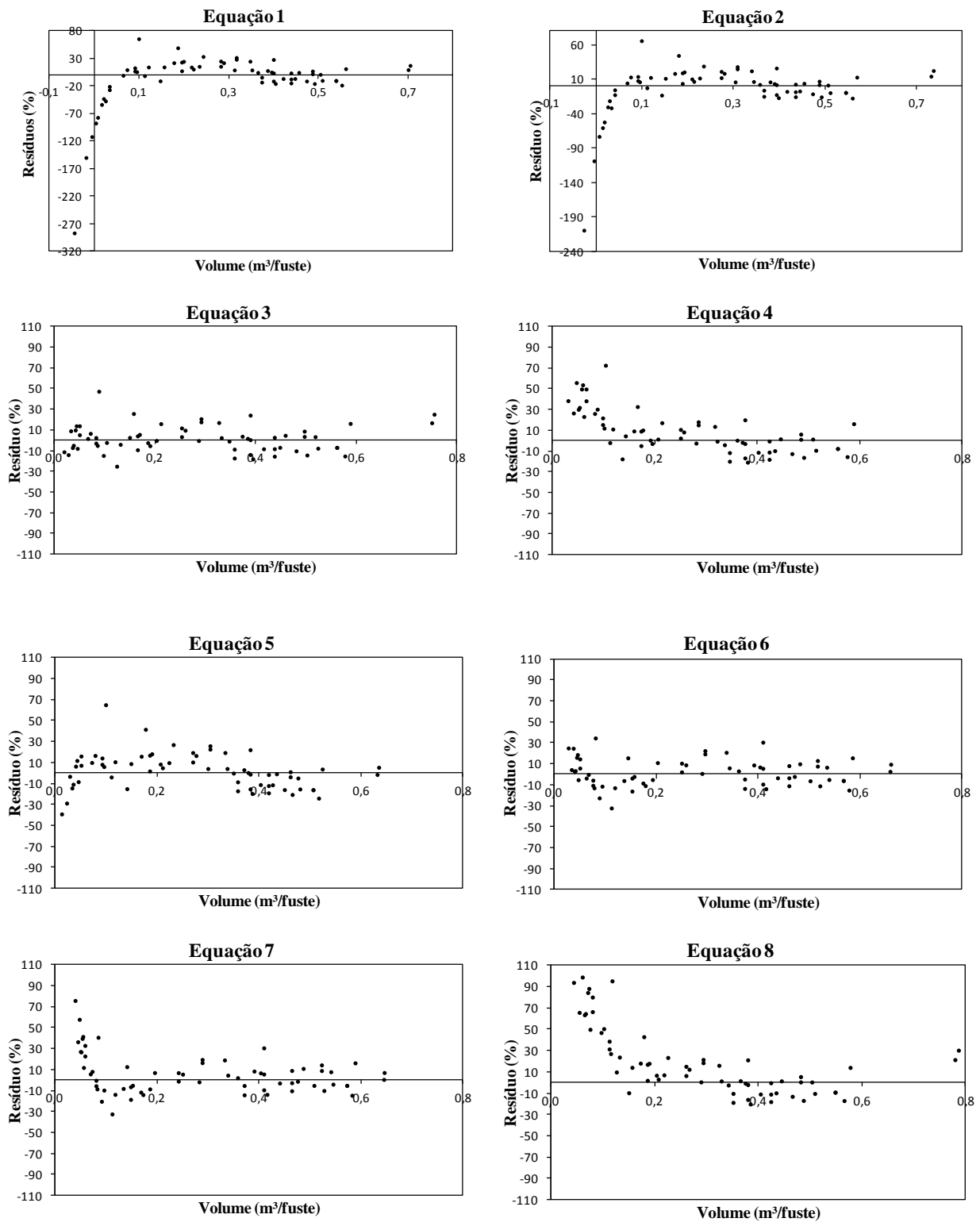
**Figura 5:** Distribuição dos resíduos percentuais em classes de frequência para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,05 m do nível do solo.



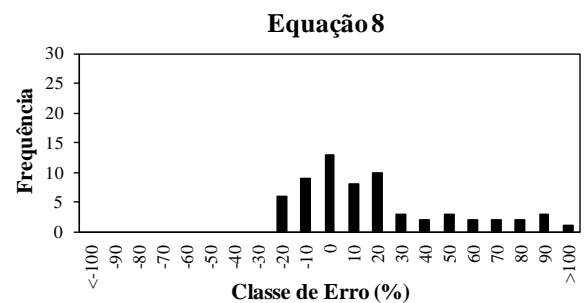
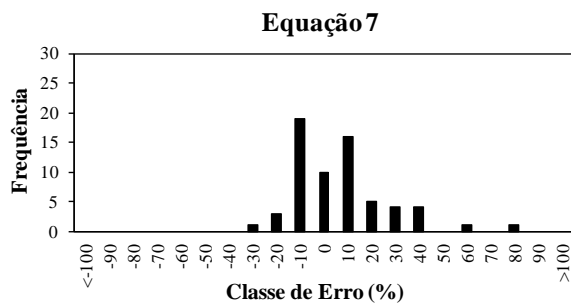
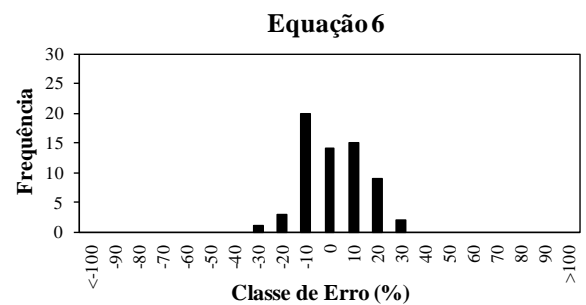
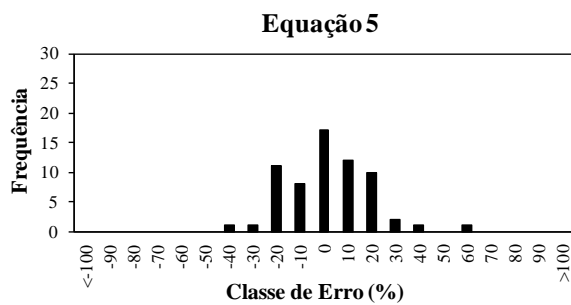
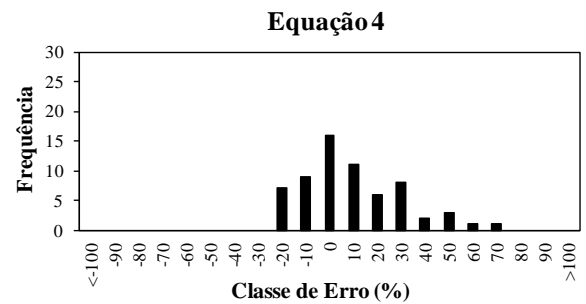
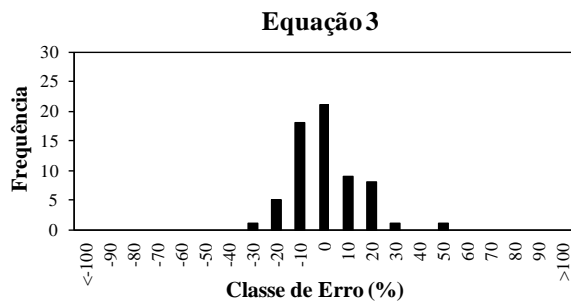
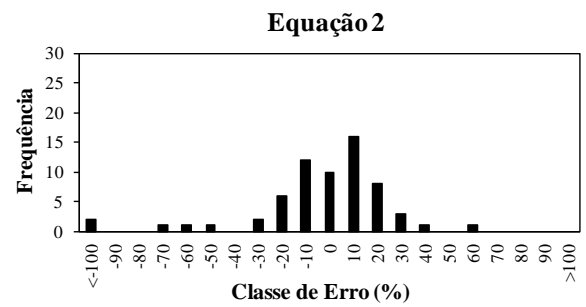
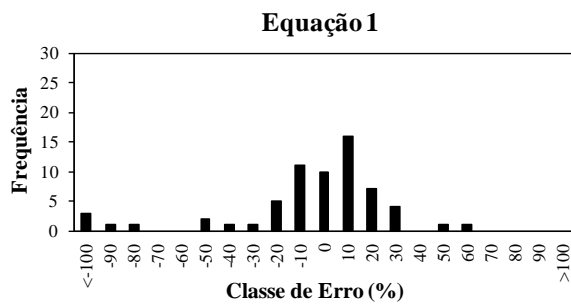
**Figura 6:** Distribuição dos resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,10 m do nível do solo.



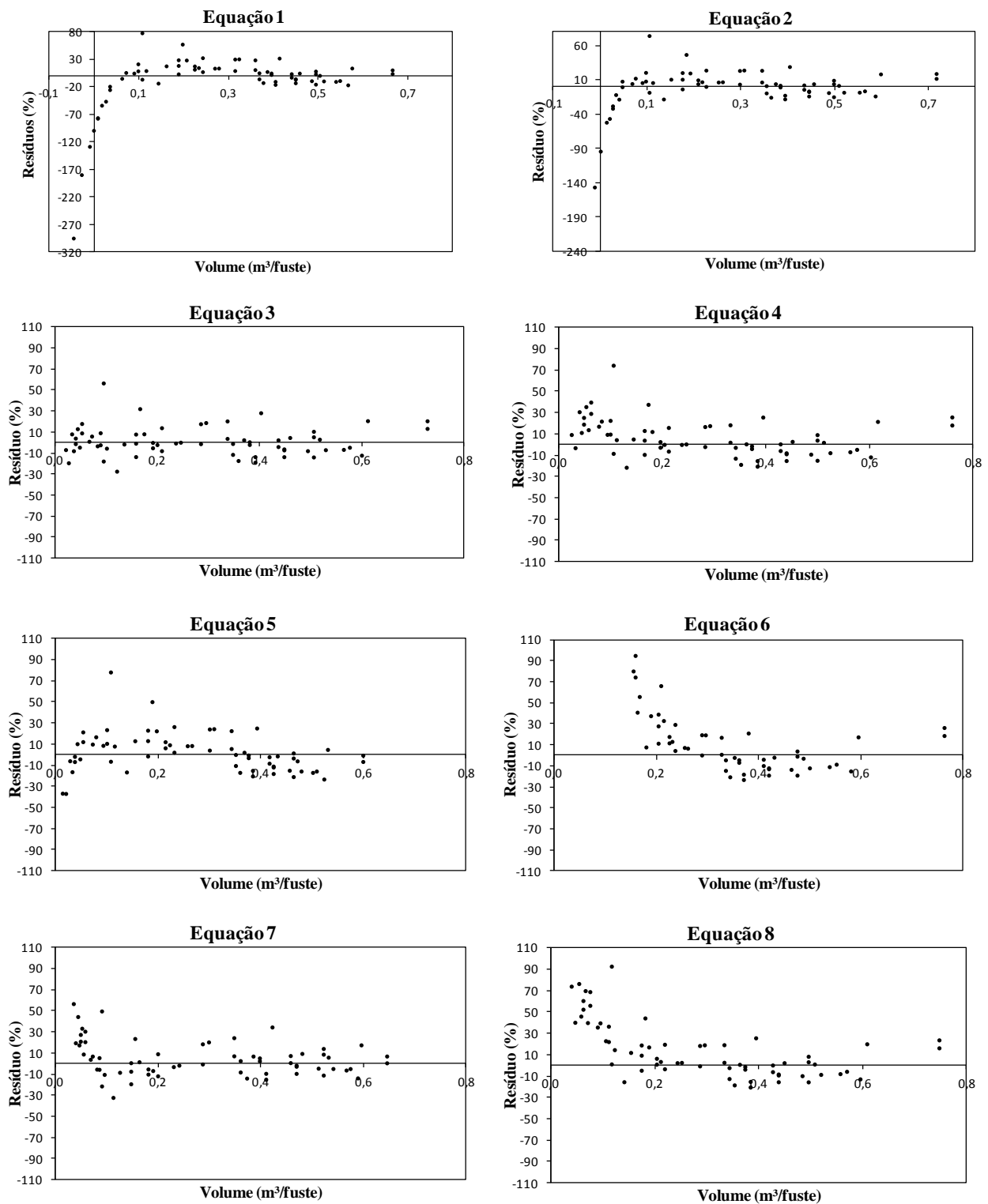
**Figura 7:** Distribuição dos resíduos percentuais em classes de frequência para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,10 m do nível do solo.



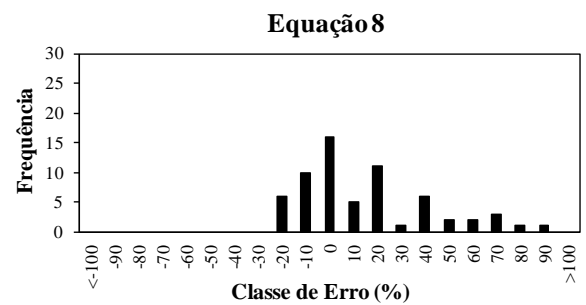
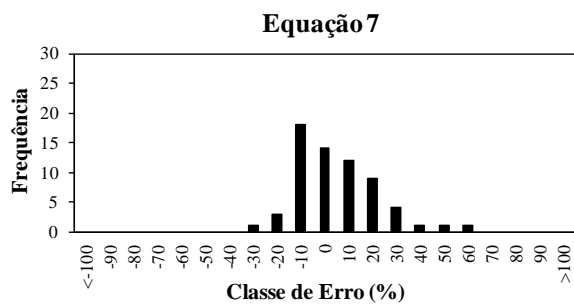
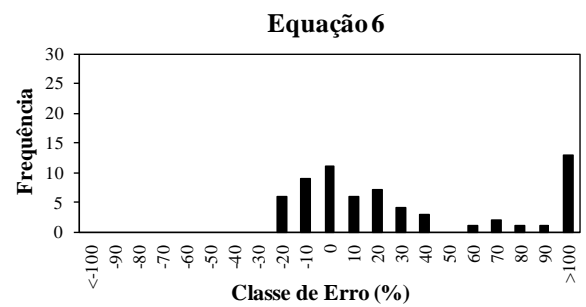
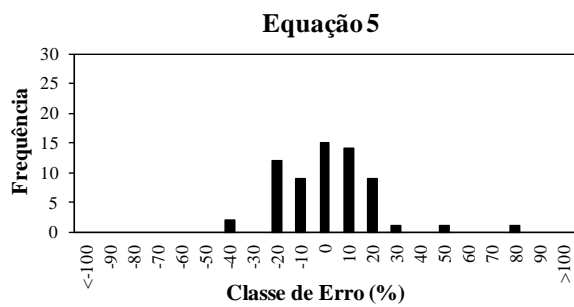
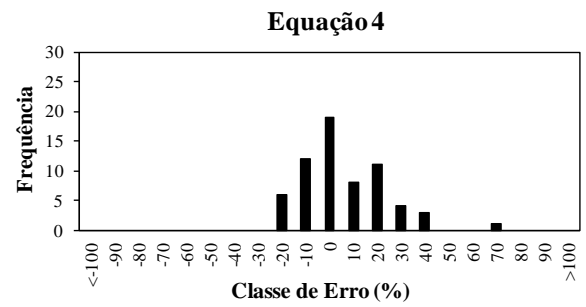
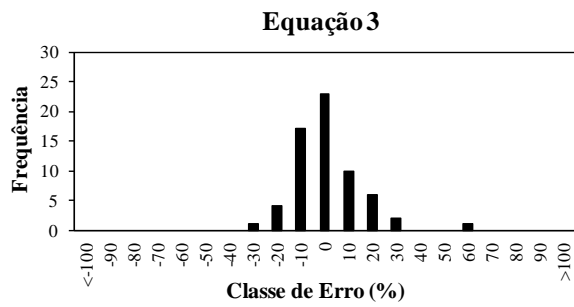
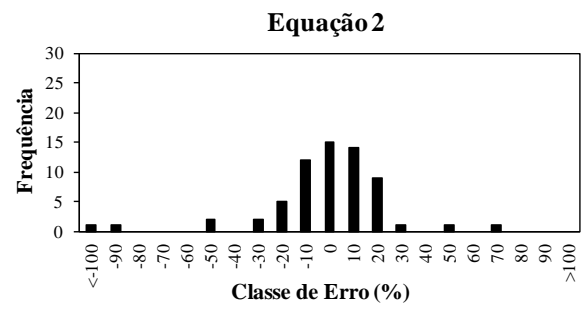
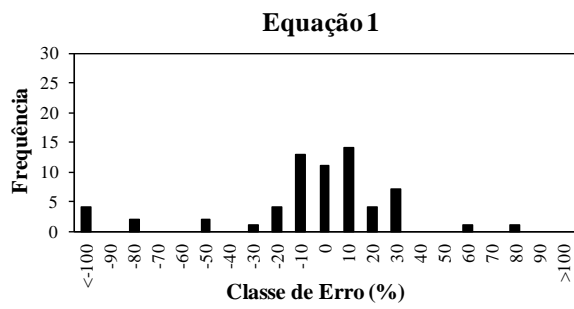
**Figura 8:** Distribuição dos resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,15 m do nível do solo.



**Figura 9:** Distribuição dos resíduos percentuais em classes de frequência para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,15 m do nível do solo.

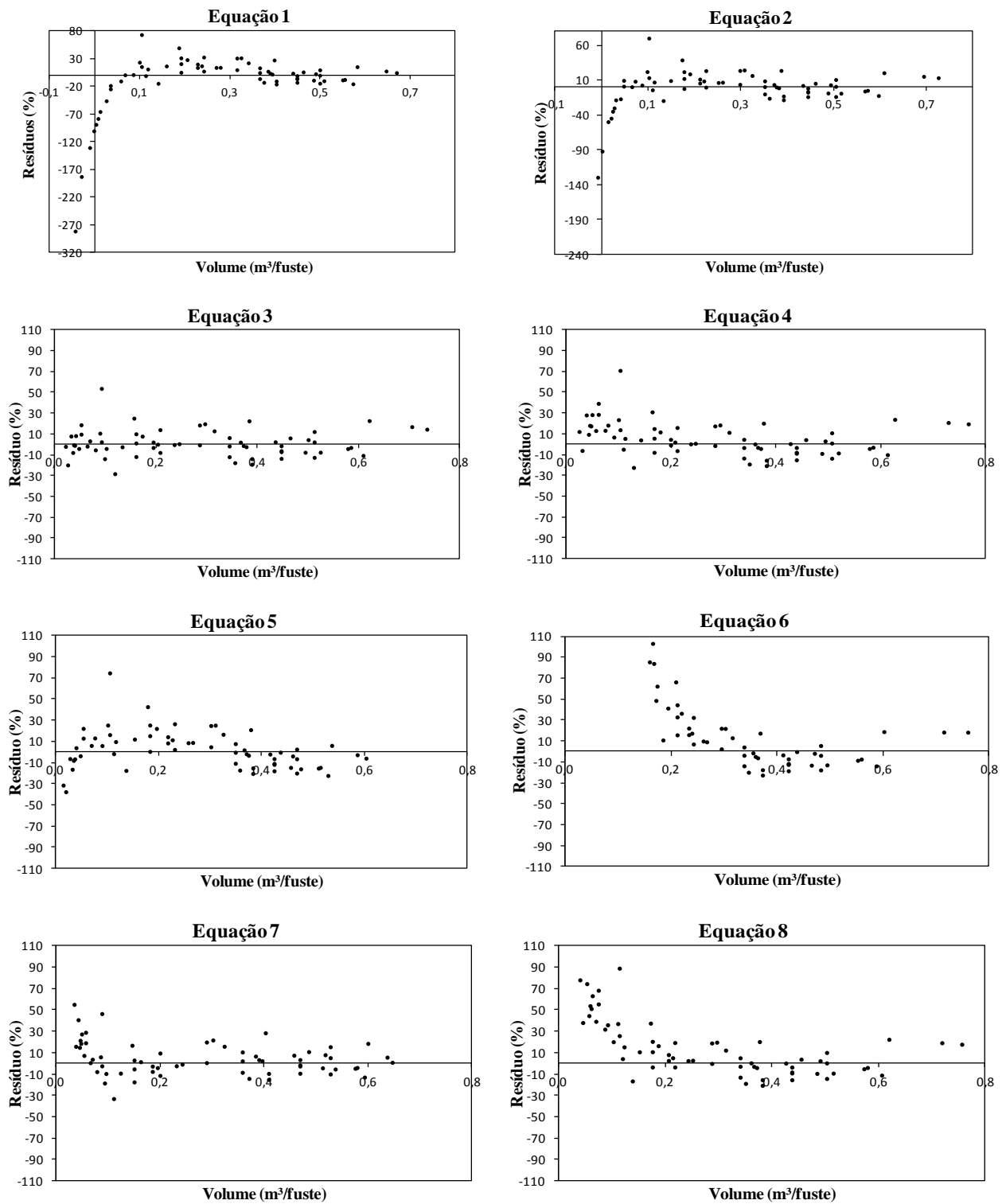


**Figura 10:** Distribuição dos resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,20 m do nível do solo.

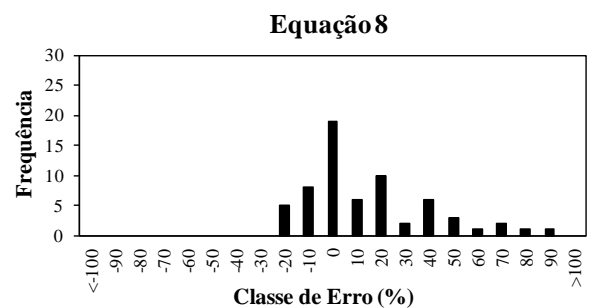
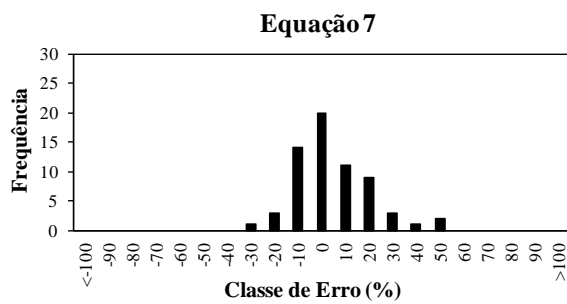
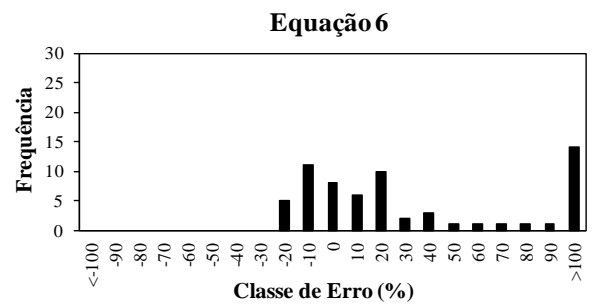
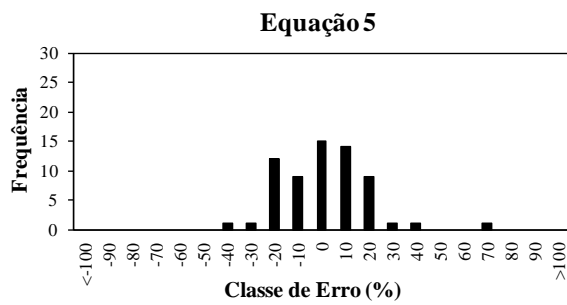
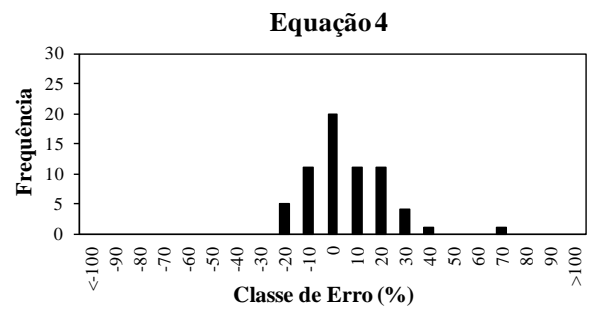
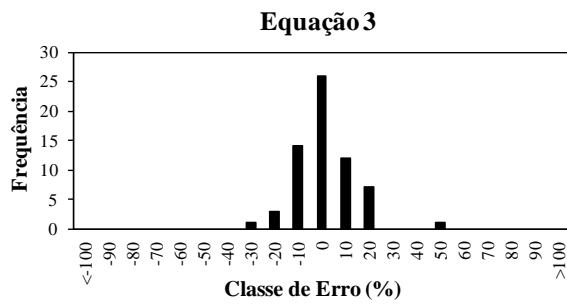
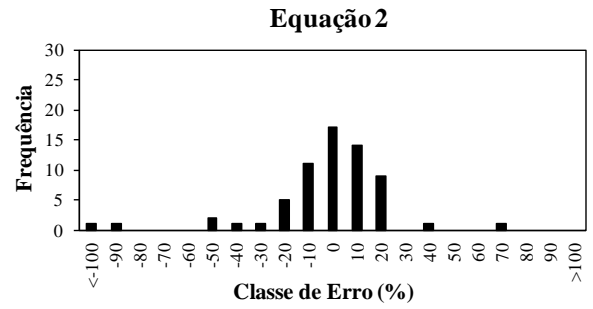
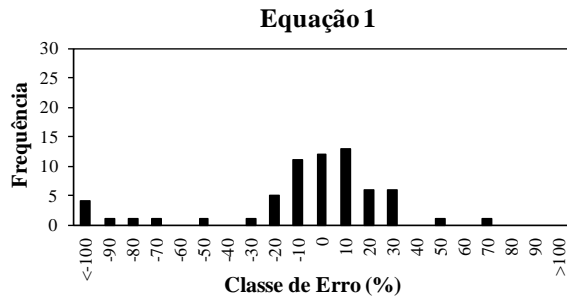


**Figura 11:** Distribuição dos resíduos percentuais em classes de frequência para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,20 m do nível do solo.

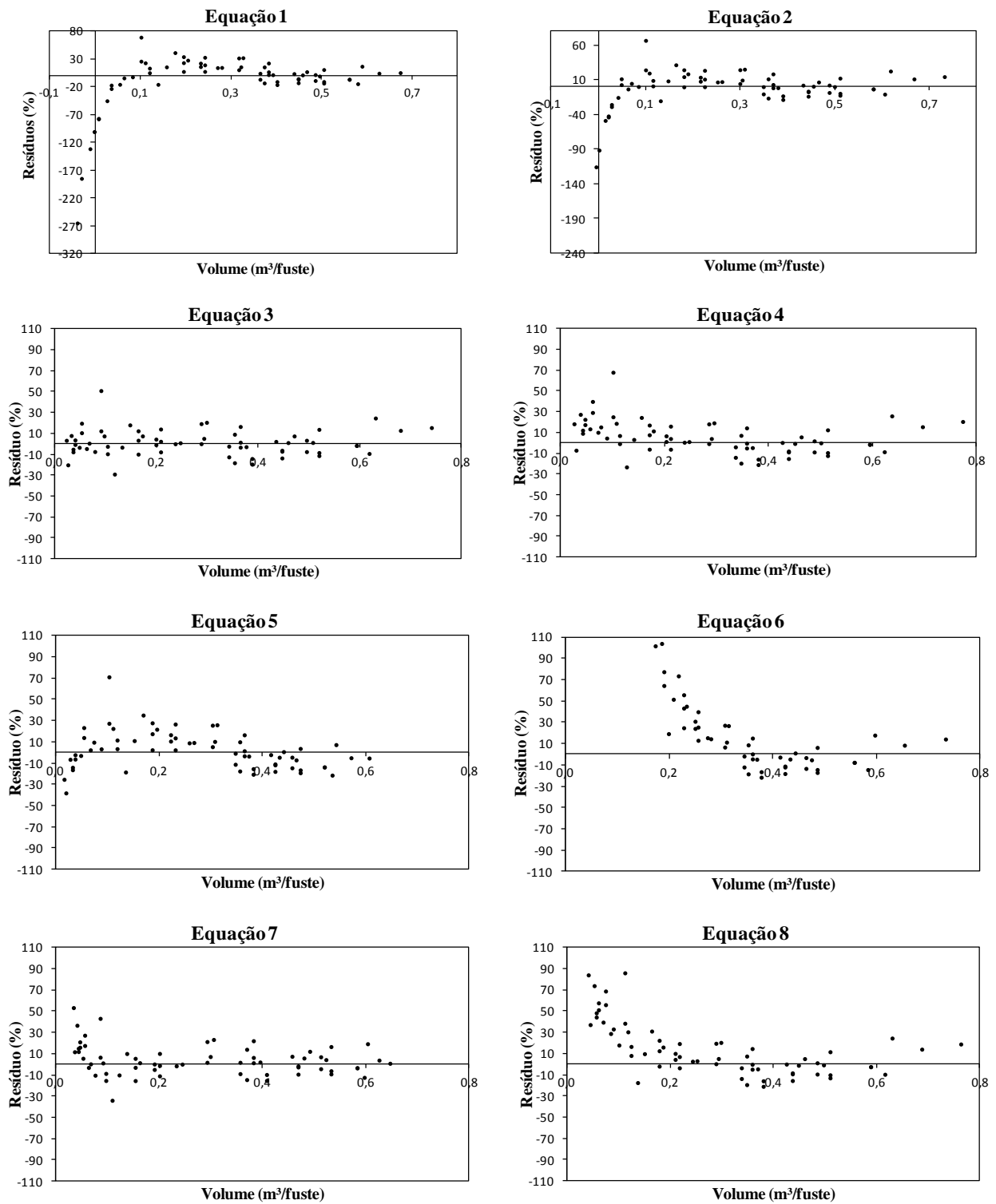




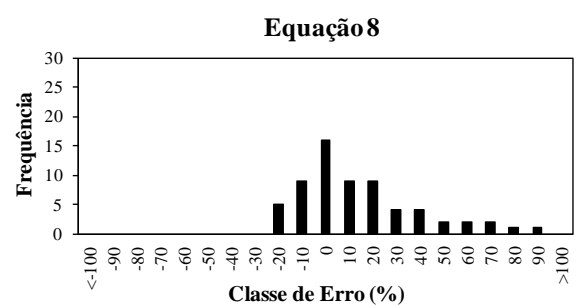
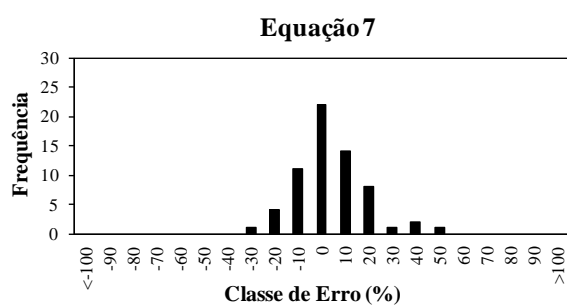
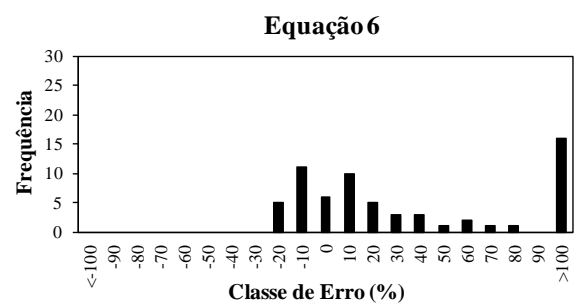
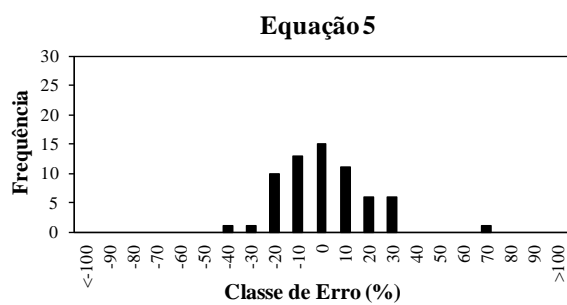
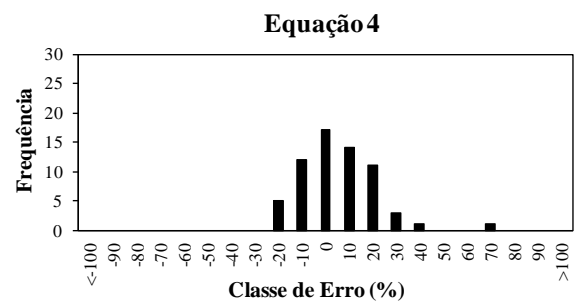
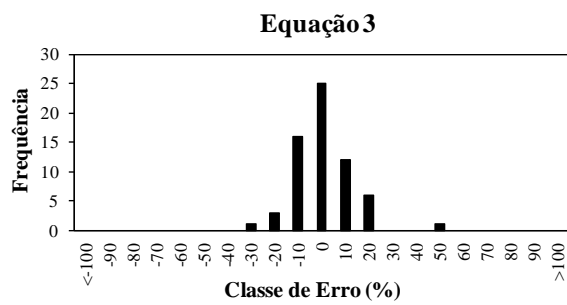
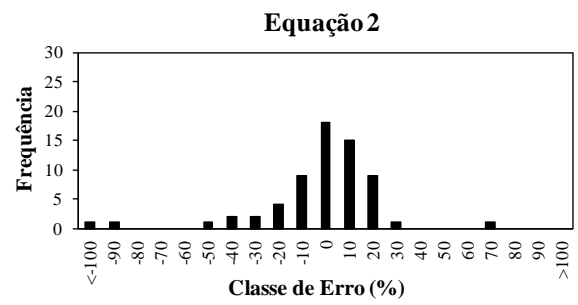
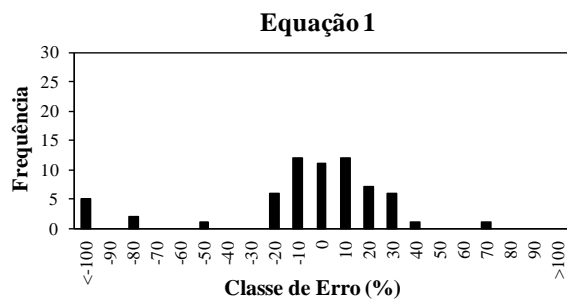
**Figura 12:** Distribuição dos resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,25 m do nível do solo.



**Figura 13:** Distribuição dos resíduos percentuais em classes de frequência para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,25 m do nível do solo.



**Figura 14:** Distribuição dos resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,30 m do nível do solo.



**Figura 15:** Distribuição dos resíduos percentuais em classes de frequência para as estimativas volumétricas por meio do diâmetro da cepa a 0,30 m do nível do solo.

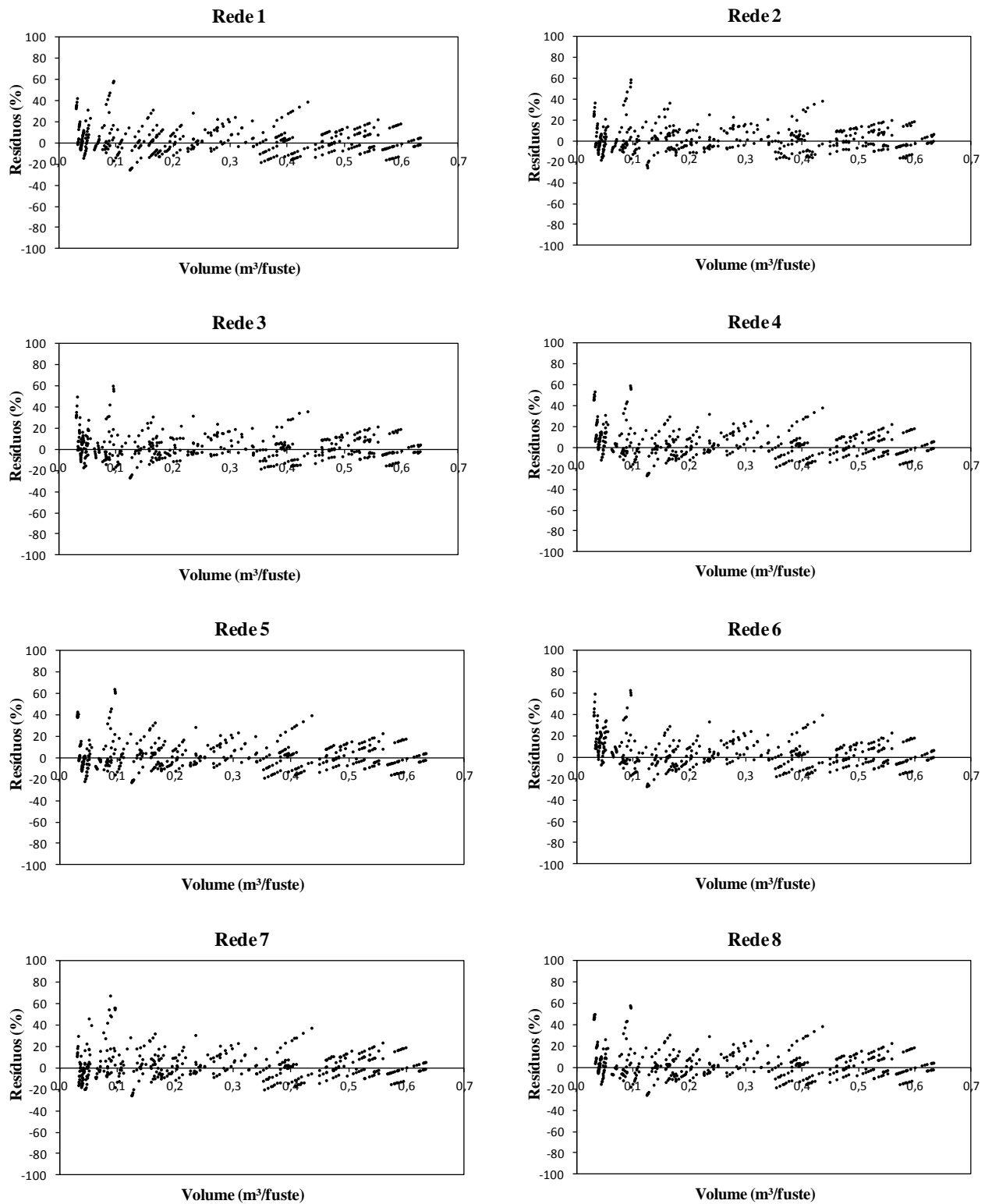
As arquiteturas das RNA estão apresentadas na Tabela 4, todas as redes são compostas de uma camada de entrada, uma camada oculta de processamento e uma camada de saída com o volume estimado. Os valores de *bias* estão satisfatórios, em todas as situações os valores tenderam a zero, porém é necessário avaliar os gráficos de resíduos a fim de obter as melhores estimativas.

**Tabela 4:** Arquitetura e *bias* das Redes Neurais Artificiais ajustadas para obtenção do volume de indivíduos de eucalipto a partir dos diâmetros das cepas e suas respectivas alturas

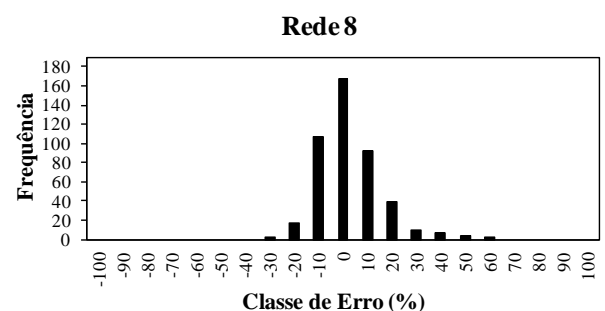
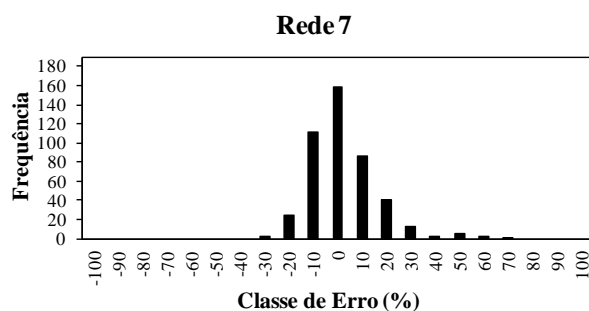
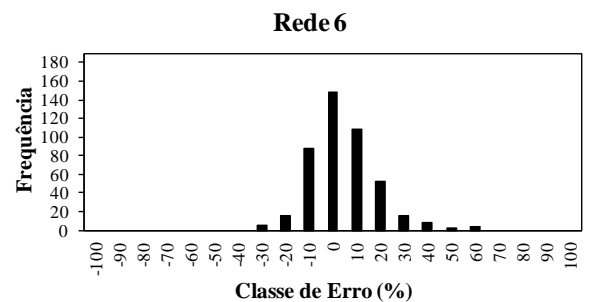
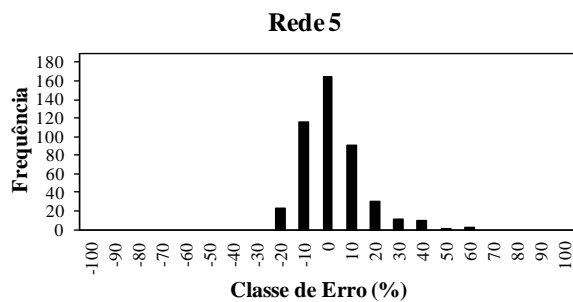
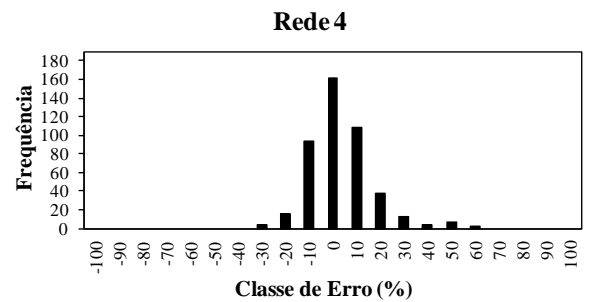
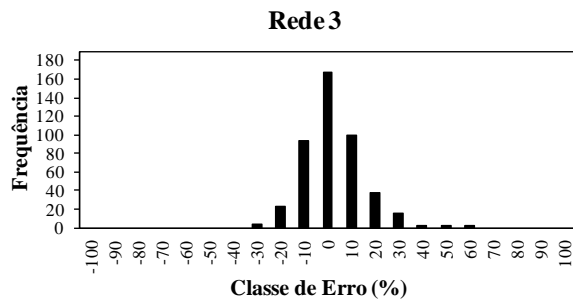
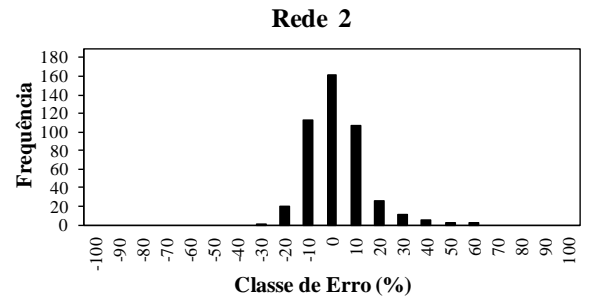
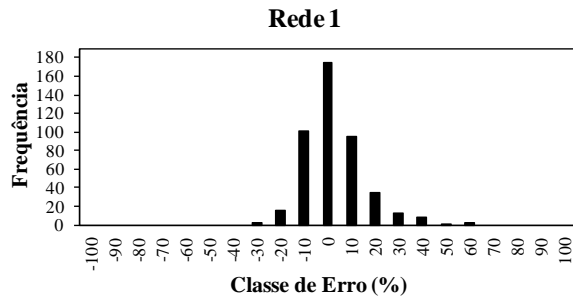
Situação	Rede	Variáveis de entrada	Variável de saída	Tipo	Número de neurônios			Bias(%)
					Camada 1	Camada 2	Camada 3	
I	1	<i>D</i> , <i>Hc</i>	Volume	MLP	2	5	1	-0,10
I	2	<i>D</i> , <i>Hc</i>	Volume	MLP	2	7	1	-0,09
I	3	<i>D</i> , <i>Hc</i>	Volume	MLP	2	4	1	-0,08
I	4	<i>D</i> , <i>Hc</i>	Volume	MLP	2	3	1	-0,13
I	5	<i>D</i> , <i>Hc</i>	Volume	MLP	2	3	1	-0,07
I	6	<i>D</i> , <i>Hc</i>	Volume	MLP	2	4	1	-0,19
I	7	<i>D</i> , <i>Hc</i>	Volume	MLP	2	4	1	-0,13
I	8	<i>D</i> , <i>Hc</i>	Volume	MLP	2	4	1	-0,11

*D* = Diâmetro da cepa ; *Hc*= Altura da cepa e *Dn*= Diâmetro da cepa à 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 m do nível do solo.

Pode-se notar na Figura 16 que as RNA que utilizaram como variáveis de entrada os diâmetros das cepas e suas respectivas alturas não geraram bons resultados em termos de dispersão dos resíduos, porém os mesmos apresentaram normalidade em todas as estimativas. Castellanos *et al.* (2007), indicam que a aplicação desse sistema computacional tende a aprimorar as técnicas de inventário, proporcionando bons resultados nas estimativas volumétricas em situações que possuem um certo grau de complexidade, o que reforça a capacidade de estimar o volume de indivíduos em uma área por meio dos diâmetros das cepas.



**Figura 16:** Distribuição dos resíduos percentuais para as estimativas volumétricas por meio de redes neurais artificiais ajustadas através dos diâmetros da cepa a 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25 e 0,30 m do nível do solo.



**Figura 17:** Distribuição dos resíduos percentuais em classes de frequência para as estimativas volumétricas por meio de redes neurais artificiais ajustadas através dos diâmetros da cepa a 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25 e 0,30 m do nível do solo.

### 4.3. Processamento dos Inventários

As estimativas volumétricas realizadas através dos processos convencionais foram estimadas por meio da Equação:  $\text{Ln}(Ht)=0,764168+(-5,836674.DAP^{-1})+0,854008.LnHd$  ( $R^2=70,63\%$ ), e da Equação:  $\text{Ln}(V)=-10,220831+1,644991.Ln(DAP)+1,307406.LnHt$  ( $R^2=99,03\%$ ).

Na Tabela 5 nota-se que os resultados em termos volumétricos apresentaram certas diferenças entre o processo convencional e as estimativas de cepas, as variações extremas atingiram cerca de 18%, porém em alguns casos obteve-se estimativas muito precisas com desvios de apenas 0,1%. Simulando a falta de condições de realizar um inventário florestal convencional ou a falta de informação a respeito do destino da madeira, restando apenas as cepas como histórico na área, a estimativa de volume atingiram intervalos aceitáveis de erro. Na Tabela 6 Nota-se que as estatísticas de inventário foram adequadas, em todas as situações examinadas, os erros de amostragem foram inferiores a 10% a 95% de probabilidade em cada talhão, já em uma análise mais abrangente, o erro geral foi ainda mais expressivo, girando em torno de 2%. Esses resultados apontam a viabilidade do método e sugerem que, quando os dados são confiáveis, exibem mesma qualidade que metodologias convencionais.

**Tabela 5:** Estimativas volumétricas por talhão, através do inventário convencional e por meio dos diâmetros das cepas a 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 m do nível do solo

Talhão	Volume (m <sup>3</sup> /ha)							
	Conv.	Cepa 0	Cepa 0,05	Cepa 0,10	Cepa 0,15	Cepa 0,20	Cepa 0,25	Cepa 0,30
1	223,4	192,33 (-14%)	203,71 (-9%)	216,35 (-3%)	219,71 (-2%)	222,51 (0%)	223,55 (0%)	229,05 (3%)
2	204,4	177,07 (-13%)	188,19 (-8%)	200,84 (-2%)	202,75 (-1%)	203,39 (0%)	205,08 (0%)	208,50 (2%)
3	201,3	198,56 (-1%)	208,48 (4%)	219,47 (9%)	220,41 (9%)	219,46 (9%)	221,63 (10%)	224,70 (12%)
4	240,7	212,19 (-12%)	223,02 (-7%)	234,92 (-2%)	236,30 (-2%)	235,40 (-2%)	238,01 (-1%)	240,87 (0%)
5	231,4	218,88 (-5%)	229,57 (-1%)	241,19 (4%)	242,30 (5%)	241,33 (4%)	244,31 (6%)	247,61 (7%)
6	190,3	194,19 (2%)	204,95 (8%)	216,93 (14%)	219,78 (15%)	220,57 (16%)	223,03 (17%)	225,58 (19%)
7	220,1	204,57 (-7%)	216,15 (-2%)	228,83 (4%)	230,91 (5%)	232,02 (5%)	233,31 (6%)	238,84 (9%)

Valores entre parênteses são os desvios em relação aos resultados obtidos por meio dos métodos tradicionais.



**Tabela 6:** Erros de amostragem E(%) obtidos para os processamentos realizados por meio do processo convencional e por meio dos diâmetros das cepas

Talhão	Conv.	Cepa 0	Cepa 0,05	Cepa 0,10	Cepa 0,15	Cepa 0,20	Cepa 0,25	Cepa 0,30
1	9,71	3,92	3,51	3,18	3,71	4,27	3,67	3,43
2	6,66	4,73	4,72	4,66	5,43	6,40	6,00	5,73
3	3,51	4,74	4,82	4,91	5,02	5,15	4,70	4,31
4	3,45	3,82	3,93	4,22	4,14	4,09	4,05	4,03
5	5,36	2,49	2,98	4,10	4,43	4,55	4,03	3,36
6	5,12	5,15	4,35	3,62	3,34	3,04	3,17	3,35
7	5,32	6,53	5,88	5,55	5,55	5,64	5,57	5,64
Geral	2,75	2,24	2,12	2,03	2,00	1,99	1,94	1,92

Aplicando as redes ajustadas ao banco de dados de inventário florestal, nota-se na Tabela 7 que os ajustes apresentaram resultados interessantes, apesar de haverem certos desvios nas estimativas em relação ao método tradicional, os mesmos não ultrapassaram 15%. As estimativas realizadas com os diâmetros mais próximos à base das árvores tenderam a subestimar os volumes, já quanto mais próximos os diâmetros a 30 cm ao solo, a tendência foi de superestimar as estimativas volumétricas, porém as discrepâncias se mantiveram constantes e forneceram uma ideia confiável em relação ao encontrado na área por meio do método convencional. Na Tabela 8, nota-se ainda que todos os cenários foram satisfatórios em relação às estatísticas de inventário, em todos eles o erro de amostragem se manteve abaixo de 10% à 95% de probabilidade, fato importante em se tratando de estimativas de inventário.

**Tabela 7:** Estimativas volumétricas por talhão, através do inventário convencional e por meio das redes obtidas a partir dos diâmetros das cepas a 0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 m do nível do solo e suas respectivas alturas

Talhão	Volume (m <sup>3</sup> /ha)							
	Conv.	Cepa 0	Cepa 0,05	Cepa 0,10	Cepa 0,15	Cepa 0,20	Cepa 0,25	Cepa 0,30
1	223,4	186,9 (-16%)	194,8 (-13%)	202,9 (-9%)	211,9 (-5%)	221,0 (-1%)	229,5 (3%)	238,4 (7%)
2	204,4	173,1 (-15%)	180,7 (-12%)	188,8 (-8%)	195,3 (-4%)	202,1 (-1%)	209,0 (2%)	216,2 (6%)
3	201,3	197,4 (-2%)	203,6 (1%)	209,7 (4%)	215,4 (7%)	221,0 (10%)	228,0 (13%)	235,2 (17%)
4	240,7	210,3 (-13%)	217,2 (-10%)	224,3 (-7%)	230,7 (-4%)	237,1 (-2%)	244,4 (2%)	251,9 (5%)
5	231,4	220,5 (-5%)	227,2 (-2%)	233,9 (1%)	239,6 (4%)	246,0 (6%)	252,9 (9%)	260,8 (13%)
6	190,3	190,2 (0%)	197,2 (4%)	204,4 (7%)	212,5 (12%)	220,7 (16%)	227,7 (20%)	234,8 (23%)
7	220,1	203,3 (-8%)	211,2 (-4%)	219,2 (0%)	226,2 (3%)	233,2 (6%)	241,7 (10%)	250,3 (14%)

Valores entre parênteses são os desvios em relação aos resultados obtidos por meio dos métodos tradicionais.

**Tabela 8:** Erros de amostragem E(%) obtidos para os processamentos realizados por meio do processo convencional e por meio das redes estimada pelos diâmetros das cepas e suas respectivas alturas

Talhão	Conv.	Cepa 0	Cepa 0,05	Cepa 0,10	Cepa 0,15	Cepa 0,20	Cepa 0,25	Cepa 0,30
1	9,71	4,72	4,20	3,68	4,25	4,81	4,25	3,95
2	6,66	5,36	5,36	5,32	5,97	6,93	6,44	6,10
3	3,51	5,50	5,58	5,68	5,65	5,65	5,04	4,46
4	3,45	3,51	3,68	4,13	4,04	4,02	3,98	3,95
5	5,36	2,64	2,93	4,19	4,53	4,55	4,06	3,30
6	5,12	5,59	4,69	3,89	3,54	3,19	3,35	3,50
7	5,32	7,08	6,53	6,07	6,00	6,04	5,97	5,95
Geral	2,75	2,50	2,38	2,21	2,21	2,16	2,09	2,03

Levando-se em consideração todas as observações feitas anteriormente, nota-se que as redes neurais artificiais foram capazes de estimar o estoque volumétrico da área de forma semelhante aos processos convencionais, evidenciando a possibilidade de estimar volume de um determinado sítio após a colheita florestal fazendo uso das RNA. Silva *et al.* (2009) concluíram em seu trabalho, que a tecnologia das RNA é altamente recomendada para a previsão do volume de árvores em florestas plantadas. Segundo Gorgens *et al.* (2009) as RNA possuem uma boa capacidade de generalização e conectividade, isso permite que apenas uma rede seja capaz de prever o volume de um povoamento florestal com segurança.

Cordeiro *et al.* (2009) relataram que no estado de Minas Gerais faltam profissionais para fiscalizar os processos de produção de florestas plantadas, neste caso muitos plantios que foram subsidiados pelo governo em casos de fomento podem ser colhidos sem que haja um acompanhamento prévio do órgão, nesse caso é imprescindível conhecer o provável volume de madeira que havia na área para que o estado possa tomar as providências legais, nesse contexto os resultados deste trabalho podem subsidiar ações em áreas exploradas ilegalmente, contribuindo efetivamente com o processo. Sabe-se que essa é a realidade de muitos outros estados da união.

## 5. CONCLUSÕES e RECOMENDAÇÕES

Foi possível estimar o estoque volumétrico em plantios comerciais de Eucalipto por meio dos diâmetros das cepas aplicando-se equações volumétricas e Redes Neuras Artificiais. Os resultados foram suficientemente precisos, tendendo aos valores obtidos a partir dos métodos tradicionais.

Recomenda-se que os protocolos de inventário florestal contemplem a importância da opção de se coletar os diâmetros na base da árvore, pois assim, em caso de necessidade de uma avaliação

após a colheita sejam possíveis ajustes volumétricos a partir de um banco de dados previamente coletados.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico da ABRAF**: Ano Base 2011/ Brasília, 2012. 149p.

ADAME, P.; HYNYNEN, J.; CANELLAS, I.; RÍO, M. Individual-tree diameter growth model for rebollo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) coppices. **Forest Ecology and Management**, V. 255, p. 1011–1022, 2008.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal**: perguntas e respostas. 3.ed. Viçosa: UFV, 2009. 548p.

CAMPOS, J.C.C. Aplicação de um modelo compatível de crescimento e produção de densidade variável em plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.2, p.121-134,1986.

CANTO, J.L.; MACHADO, C.C.; GONTIJO, F.M.; JACOVINE, L.A.G. Colheita e Transporte Florestal em Propriedades Rurais Fomentadas no Estado do Espírito Santo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, p.989-998, 2006.

CASTELLANOS, A.; BLANCO, A. M.; PALENCIA, V. Applications of radial basis neural networks for area forest. **International Journal Information Theories and Applications**, v.14, p.218-222, 2007.

CORDEIRO, A.; SILVA, M.L.; JACOVINE, L.A.G.; VALVERDE, S.R.; ROCHA, J.L.; SOARES, N.S. Desempenho do Fomento do Órgão Florestal de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 15, p. 273-281, 2009.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. Applied regression analysis. 3.ed. **New York: John Willey & Sons**, 1998. 706p.

GORGENS, E.B.; LEITE, H.G.; SANTOS N.; GLERIANI, J.M. Estimação do Volume de Árvores Utilizando Redes Neurais Artificiais. **Revista Árvore**, Viçosa, 2009.

GUIMARÃES, D.P.; LEITE, H.G. Influência do Número de Árvores na Determinação de Equação Volumétrica para *Eucalyptus Grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba,v. 50, p. 37-42, 1996.

HUSCH, B.; BEERS, T. W.; KERSHAW JUNIOR, J. A. **Forest mensuration**. 4.ed. Malabar: Krieger Publishing Company, 2003. 443p.

LACERDA, D.M.A.; FIGUEIREDO, P.S. Restauração de Matas Ciliares do Rio Mearim no Município de Barra do Corda-MA: Seleção de Espécies e Comparação de Metodologias de Reflorestamento. **Resvita Acta Amazonica**, Manaus, v. 39, p. 295 - 304, 2009.

LEITE, F.S.; REZENDE, A.V. Estimativa do Volume De Madeira Partindo do Diâmetro da Cepa Em Uma Área Explorada de Floresta Amazônica de Terra Firme. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, p. 69-79, 2010.

LEITE, H.G.; ANDRADE, V.C.L. Um Método Para Condução de Inventários Florestais Sem o Uso de Equações Volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, p.321-328, 2002.

LOETSCH, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Munique: BLv Verlagsgesellschaft, v.1, p. 436,1964.

OLIVEIRA, M.L.R; SOARES, C.P.B.; SOUZA, A. L.; LEITE, H,G. Equações de Volume de Povoamento para Fragmentos Florestais Naturais do Município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, p.213-225, 2005.

REZENDE, A.V.; VALE, A.T.; SANQUETTA, C.R.; FILHO, A.F.; FELFILI, J.M. Comparação de Modelos Matemáticos Para Estimativa do Volume, Biomassa e Estoque de Carbono da Vegetação Lenhosa de Um Cerrado Sensu Stricto em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**. v. 71, p. 65-76, 2006.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v.47, p.719-734, 1933.

SILVA, M. L. M.; BINOTI, D. H. B.; GLERIANI, J. M.; LEITE, H. G. Ajuste do Modelo de Schumacher e Hall e aAlicação de Redes Neurais Artificiais Para Estimar Volume de Árvores de Eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, 2009.

SOARES, T.S.; LEITE, H.G.; VALE, A.B.; SOARES, C.P.B.; SILVA, G.F. Avaliação de Um Modelo de Passo Invariante Na Predição da Estrutura de um Povoamento de *Eucalyptus* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, p.275-283, 2007.

SOUSA, E.P.; SOARES, N.S.; SILVA, M.L.; VALVERDE, S.R. Desempenho do Setor Florestal para a Economia Brasileira:Uma Abordagem da Matriz Insumo-Produto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, p.1129-1138, 2010.

STATSOFT, INC. STATISTICA (Data Analysis Software System), version 10.0. <http://www.statsoft.com>, 2010.

TARALD, O.K. Cautionary Note About  $R^2$ . **The American Statistician**, v. 39, p.279-28,1985.

THIERSCH, R.C.; SCOLFORO; C.R. OLIVEIRA, A. D.; MAESTRI, R.; DEHO, G. Acurácia dos Métodos Para Estimativa do Volume Comercial de Clones de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v. 12, p. 167-181,2006.

TREESOFTWARE. SIFCUB6, VERSÃO 6.22. <http://www.treesoftware.com.br>, 2012.