

**ANA MARIA CORDEIRO ALVES**

**QUANTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA E DO  
TEOR DE CARBONO FIXADO POR CLONES DE  
EUCALIPTO, NO PÓLO GESSEIRO DO ARARIPE - PE**

**RECIFE  
2007**

**ANA MARIA CORDEIRO ALVES**

**QUANTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA E DO  
TEOR DE CARBONO FIXADO POR CLONES DE  
EUCALIPTO, NO PÓLO GESSEIRO DO ARARIPE - PE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais, Área de concentração Manejo Florestal.

**Orientador:**

Prof. Dr. José Antônio Aleixo da Silva

**Co-orientadores:**

Prof. Dr. Levy Paes Barreto

Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

**RECIFE  
2007**

Ficha catalográfica  
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFRPE

A474e Alves, Ana Maria Cordeiro  
Quantificação da produção de biomassa e do teor de carbono fixado por clones de eucalipto, no Pólo Gesseiro do Araripe – PE / Ana Maria Cordeiro Alves – 2007.  
62 f. : il.

Orientador: José Antônio Aleixo da Silva  
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) –  
Universidade Federal Rural de Pernambuco.  
Departamento de Ciência Florestal.  
Inclui bibliografia

CDD 634.95

1. Biomassa
2. Seqüestro de carbono
3. Eucalipto
4. Florestas plantadas
5. Pólo Gesseiro
- I. Silva, José Antônio Aleixo da
- II. Título

**ANA MARIA CORDEIRO ALVES**

**QUANTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA E  
DO TEOR DE CARBONO FIXADO POR CLONES DE  
EUCALIPTO, NO PÓLO GESSEIRO DO ARARIPE - PE**

Aprovada em: 14/02/2007

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta - UFPR



Dr. Antônio Félix da Costa -IPA



Prof. Dr. Tadeu Jankovski - UFRPE

Orientador:



Prof. Dr. José Antônio Aleixo da Silva - UFRPE

**RECIFE-PE  
2007**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho com carinho e atenção aos meus pais, ao meu marido e aos meus irmãos.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus por minha existência e por toda força dada para vencer os obstáculos da vida.

A meu esposo por me ajudar no laboratório e compreender minha ausência durante a realização do referido trabalho. E ao meu irmão Danilo que também contribuiu nos trabalhos laboratoriais.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela oportunidade e treinamento.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

À Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária pela manutenção e condução de experimento de campo.

Ao Professor José Antônio Aleixo da Silva, pela orientação e todo apoio dado para realização dessa pesquisa.

Aos professores Levy Paes Barreto e Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, pela co-orientação.

A José Tavares Alves, Pesquisador da Estação Experimental de Araripina (IPA), pela colaboração e apoio nas coletas de dados no campo.

Aos colegas do PPGCF, pelo companheirismo e amizade, especialmente Francisco Tarcísio Alves Júnior.

A Paulo Henrique e Klebson Melquíades pela ajuda nas análises laboratoriais.

A Steve, Fernando e Júlio pela colaboração nas análises estatísticas.

A monitora de Química Vegetal, Débora, pela ajuda nas análises laboratoriais.

A todos que me ajudaram na coleta dos dados no campo, um agradecimento especial.

Enfim, a todos que colaboraram para realização deste trabalho.

“Tentamos proteger a árvore, esquecidos de que é ela que nos protege.”

Carlos Drummond de Andrade

vii  
**SUMÁRIO**

	<b>Página</b>
<b>RESUMO</b>	xii
<b>ABSTRACT</b>	xiii
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Pólo Gesseiro do Araripe.....	4
2.2 As Mudanças Climáticas e as Florestas.....	6
2.3 Estimativa de Biomassa.....	11
2.4 Carbono na Biomassa Florestal.....	13
2.5 As Florestas Plantadas no Brasil e o Eucalipto.....	15
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>18</b>
3.1 Área de Estudo.....	18
3.2 Seleção de árvores amostra.....	19
3.3 Medição e cubagem dos fustes das árvores.....	19
3.4 Determinação da densidade da madeira do fuste.....	21
3.5 Determinação da biomassa dos fustes.....	23
3.6 Pesagem e amostragem dos componentes da parte aérea.....	24
3.7 Determinação da biomassa seca em componentes da parte aérea.....	25
3.8 Análise do carbono.....	25
3.9 Análise Estatística.....	26
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>28</b>
4.1 Teor de Umidade na Biomassa dos Componentes da Parte Aérea.....	28
4.2 Densidade Básica da Madeira dos Fustes.....	29
4.3 Acúmulo de Biomassa nos Componentes da Parte Aérea.....	31
4.4 Teor de Carbono Orgânico em Componentes da Biomassa Aérea.....	34
4.5 Acúmulo de Biomassa e de Carbono em Componentes da Biomassa Aérea.....	37
4.6 Análise Estatística.....	40
4.6.1 Análise de Variância do Fator de Forma.....	40
4.6.2 Análise de Variância da Biomassa.....	41
4.6.3 Análise de Variância da Quantidade de Carbono.....	44
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>48</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>49</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1- Experimento de Eucalipto da Estação Experimental do Araripe, pertencente à Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA.	18
2- Derrubada das árvores amostras no experimento de eucalipto, Araripina-PE	20
3- Medição das árvores amostras para cubagem rigorosa	21
4- Discos do tronco da árvore amostra retirados em três alturas para determinação da densidade	22
5- Discos do tronco submersos em água em um recipiente tipo balde para determinação da densidade	23
6- Desfolhamento das árvores amostras para a pesagem e retirada da amostra de 100g.	24
7- Determinação do teor de carbono no Laboratório de Química Vegetal da UFRPE	26
8- Acúmulo de biomassa e carbono em clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE	39
9- Distribuição em porcentagem da biomassa aérea de clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE	39
10- Distribuição em porcentagem do carbono aéreo em clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE	40

## LISTA DE TABELAS

x

1- Tratamentos utilizados no experimento com clones de eucalipto, Araripina-PE	19
2- Teor de umidade (%), por tratamento, dos clones de eucalipto, na Estação Experimental do IPA em Araripina-PE.	29
3- Densidade básica da madeira em g/cm <sup>3</sup> de clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE	31
4- Biomassa de componentes da parte aérea em t ha <sup>-1</sup> , de clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE	34
5- Teores médios de carbono para cada componente de biomassa aérea, em 15 clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE	35
6- Carbono arbóreo em t ha <sup>-1</sup> , para cada componente de biomassa aérea, em 15 clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE	36
7- Quantidade de CO <sub>2</sub> em t ha <sup>-1</sup> assimilada pelos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE	37
8- Análise de Variância do fator de forma utilizado na determinação do volume dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.	40
9- Comparação de médias pelo teste de Scott-Knott do fator de forma utilizado na determinação do volume dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE	41
10- Análise de Variância da produção de biomassa da casca dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.	41
11- Análise de Variância da produção de biomassa das folhas dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.	42
12- Comparação de médias pelo teste de Scott-Knott da produção de biomassa das folhas dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.	42
13- Análise de Variância da produção de biomassa do fuste dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.	43
14- Comparação de médias pelo teste de Scott-Knott da produção de biomassa do fuste dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.	43
15- Análise de Variância da produção de biomassa dos galhos dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.	43

ALVES, ANA MARIA CORDEIRO, Quantificação da produção de biomassa e do teor de carbono fixado por clones de Eucalipto, no Pólo Gesseiro do Araripe - PE. 2007. Orientador: José Antônio Aleixo da Silva. Co-orientadores: Levy Paes Barreto e Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.

## RESUMO

A questão das mudanças climáticas vem ganhando destaque e sendo mais discutida pela comunidade científica mundial que tem se preocupado mais com o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera. A Conferência de Kyoto, de 1997, foi a de maior importância por convocar países de todo o mundo a uma redução na emissão dos gases de efeito estufa, sobretudo o CO<sub>2</sub>, com cotas estabelecidas e prazos de redução. Como espécies de rápido crescimento são consideradas eficientes na fixação de carbono, nesta pesquisa foram utilizados 15 clones de espécies de *Eucalyptus* spp, haja vista seu rápido crescimento e sua alta produtividade. O objetivo deste trabalho foi determinar a produção de biomassa e o teor de carbono, nos diferentes compartimentos da biomassa aérea total (fuste, folhas, galhos e casca), de clones de eucaliptos. Os dados foram coletados na Estação Experimental da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA, localizado no município de Araripina – PE. Foram derrubadas 90 árvores, nas quais se determinaram os pesos frescos, bem como foram coletadas amostras de folhas, galhos, casca e madeira para determinação da densidade média da madeira, biomassa e teor de carbono. A densidade média básica da madeira se situou entre 0,536 e 0,653 g/cm<sup>3</sup>. O teor de carbono orgânico total encontrado foi em média 46,97%; 38,95 %; 35,64% e 34,74% da biomassa total, respectivamente para os componentes: fuste, folhas, casca e galhos, com variação entre os tratamentos estudados. As biomassas aéreas totais dos clones de eucaliptos foram determinadas em 62,08; 92,27; 70,27; 95,36; 104,75; 132,13; 119,35; 58,60; 107,06; 92,51; 109,93; 50,87; 61,17; 69,90; 93,76 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente e as quantidades de carbono total foram 27,17; 41,51; 32,50; 42,36; 48,30; 60,14; 50,36; 22,89; 44,69; 40,98; 44,63; 21,31; 25,86; 29,79; 46,35 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. De acordo com a análise de variância e comparação de médias pelo Teste de Scott-Knott houve diferença entre os tratamentos dos componentes folhas, galhos e fuste, quanto a produção de biomassa. Já para o componente casca não houve diferença significativa entre os tratamentos. Quanto ao teor de carbono houve diferença entre os tratamentos dos componentes galhos e fuste, para os componentes casca e folhas não houve diferença significativa entre os tratamentos. Também ocorreu diferença significativa para o fator de forma das árvores. Os clones mais e menos produtivos em termos de biomassa e fixação de carbono foram o tratamento 6 Híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. tereticornis* x *E. pellita* (polinização controlada)

e o tratamento 12-Híbrido de *E.brassiana* (cruzamento natural), respectivamente, mostrando que há uma relação direta entre a produção de biomassa e o teor de carbono fixado. Os clones de eucaliptos se apresentaram como alternativa potencial para o seqüestro de carbono.

xii

ALVES, ANA MARIA CORDEIRO. 2007. Adviser: José Antônio Aleixo da Silva. Comitê: Levy Paes Barreto and Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.

## ABSTRACT

The subject of the climatic changes is winning prominence and being more discussed by the world scientific community that is more concerned with the increase of the carbon dioxide concentration in the atmosphere. The Conference of Kyoto, 1997, was the of larger importance for summoning countries to a reduction in the emission of the greenhouse effect gases, mainly CO<sub>2</sub>, with established quotas and reduction periods. As tree species of fast growth are considered efficient in the fixation of carbon, in this research 15 clones of species of *Eucalyptus* spp were used. Also they have high timber productivities. The objective of this work was to determine the biomass production and the content of carbon, in the different compartments of the total aerial biomass (stem, leaves, branches and bark), of clones of eucalypts. The data set were collected in the Experimental Station of the Pernambuco Company of Agricultural Research - IPA, located in the municipal district of Araripina. 90 trees were cut down, in which were determined the fresh weights, as well as samples of leaves, branches, bark and wood for determination of the average density of the wood, biomass and content of carbon. The basic average density of the wood located between 0.536 and 0.653 g/cm<sup>3</sup>. The content of total organic carbon was on average 46.97%; 38.95%; 35.64% and 34.74% of the total biomass, respectively for the components: stem, leaves, bark and branches, with variation among the studied treatments. The aerial total biomass of the clones of eucalypts were 62.08; 92.27; 70.27; 95.36; 104.75; 132.13; 119.35; 58.60; 107.06; 92.51; 109.93; 50.87; 61.17; 69.90; 93.76 t ha<sup>-1</sup>, respectively, and the amounts of total carbon were 27.17; 41.51; 32.50; 42.36; 48.30; 60.14; 50.36; 22.89; 44.69; 40.98; 44.63; 21.31; 25.86; 29.79; 46.35 t ha<sup>-1</sup>, respectively. In agreement with the analysis of variance and the of Scott-Knott comparison test, there were differences among the treatments of the components leaves, branches and stem, regard to biomass production. For the component bark there was not significant difference among the treatments. Regard to carbon content there were differences among the treatments of the components branches and stem, for the components bark and leaves there were not significant difference among the treatments. There were significant differences for the form factor of the trees. The higher and lesser productive clones in terms of biomass and fixation of carbon were the treatment 6 Hybrid of *Eucalyptus urophylla* x *E. tereticornis* x *E. pellita* (controlled pollination) and the treatment 12-hybrid of *E. brassiana* (natural crossing), respectively, showing that there is a direct relationship between the biomass production and the content of fixed carbon. The clones of eucalypts are a potential alternative for carbon sequestration.

## 1. INTRODUÇÃO

As ações decorrentes das atividades econômicas e industriais vêm sistematicamente provocando alterações na biosfera, resultando na quase duplicação da concentração dos gases formadores do efeito estufa em nossa atmosfera, principalmente, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (BALBINOT et al., 2003).

Assim, o CO<sub>2</sub>, juntamente com outros gases, como vapor d'água (H<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e clorofluorcarbonos (CFCs), são conhecidos como gases de efeito estufa (GEE), que formam uma camada de gases na atmosfera. O efeito estufa é um fenômeno de ocorrência natural. Essa camada de gases tem um papel vital na maneira como a radiação solar interage com a Terra, fazendo com que a temperatura permaneça estabilizada e haja vida no planeta (SAGAN, 1982).

Nos últimos 150 anos, principalmente, devido à Revolução Industrial e ao crescimento populacional, a queima de combustíveis fósseis e as queimadas decorrentes de desmatamentos têm sido as maiores causas de emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (SCARPINELLA, 2002).

De acordo com Goldemberg (1998), a temperatura média da Terra sem os gases estufa seria de 15-20° C abaixo de zero. Com isso, várias espécies animais e vegetais desapareceriam e a configuração natural de inúmeras áreas habitadas pelos seres humanos seria alterada. Se, por um lado, o efeito estufa é benéfico, por outro a concentração excessiva de seus gases, especialmente o CO<sub>2</sub>, acaba formando uma barreira que dificulta a liberação para o espaço da energia refletida pela superfície da Terra. Esse fenômeno, provocado pelo homem, tornou-se conhecido como aquecimento global (SOCIEDADE DE PESQUISA EM VIDA SELVAGEM E EDUCAÇÃO AMBIENTAL, 2005).

O precursor da idéia do aquecimento global como efeito da acumulação de gás carbônico pela emissão resultante da industrialização foi o Químico sueco Svante Arrhenius. De fato, já há mais de 60 anos um pesquisador inglês publicava um artigo em que o nexo entre a emissão de dióxido de carbono e a temperatura era ligado: “The Artificial Production of Carbon Dioxide and Its Influence on Temperature” (CALLENDAR, 1938). A preocupação decorrente, se a humanidade seria capaz de controlar o CO<sub>2</sub> na atmosfera (“Can we control the carbon dioxide in the atmosphere?”), data da década de 1970 (DYSON, 1977).

Desde 1970, a comunidade científica mundial tem se preocupado com o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, principalmente, em razão do aumento da temperatura. A partir daí, fatos políticos começaram a acontecer, dos quais se destacam a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, em 1992; e em 1997, na cidade de Kyoto (Japão), foi realizada uma das mais importantes conferências que trataram deste assunto, gerando o conhecido Protocolo de Kyoto, que estabelece que os países industrializados devem reduzir suas emissões em 5,2% abaixo dos níveis observados em 1990, isto entre 2008-2012, o chamado primeiro período de compromisso.

No presente trabalho será dada ênfase ao CO<sub>2</sub>, por ser considerado o de maior importância entre os gases de efeito estufa, não só pelo seu volume de emissão, mas também por ser captado pelas plantas, num processo denominado fotossíntese. Por meio desse processo, os organismos fotossintetizantes retiram o CO<sub>2</sub> da atmosfera, incorporando-o em seus compostos orgânicos, além de liberar oxigênio. Esses compostos orgânicos formam a biomassa florestal.

O interesse em relação às florestas plantadas como fixadoras de carbono já é evidente, devido à elevada taxa de crescimento, tendo com isto, também, uma elevada capacidade de fixar CO<sub>2</sub> da atmosfera (BALBINOT et al., 2003). Diante do exposto, o gênero *Eucalyptus* é de grande importância para o seqüestro de carbono atmosférico, haja visto o seu rápido crescimento e a sua alta produtividade. Assim sendo, torna-se necessário desenvolver ou utilizar metodologias que possibilitem obter estimativas da quantidade de carbono em partes das árvores e em diferentes compartimentos da floresta.

A região do Pólo Gesseiro do Araripe, localizada no Sertão de Pernambuco, que engloba os Municípios de Araripina, Ipubi, Trindade, Bodocó e Ouricuri, vem sofrendo intensa degradação ambiental associada à industrialização de minerais, especialmente a gipsita, ocupando um destacado lugar no cenário nacional, sendo responsável por 90% da produção nacional desse mineral. O setor de produção secundária, no qual se enquadram as calcinadoras do Araripe, consomem predominantemente a biomassa florestal como fonte energética. Seu consumo oscila de acordo com os preços dos derivados de petróleo, notadamente o óleo BPF, que também é empregado. O alto preço do óleo BPF faz com que as empresas migrem para o consumo de lenha, aliado a outros fatores incentivadores como a precária fiscalização e a aplicação, por conseguinte, de penalidades irrisórias. Segundo a Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - CPRH, das 72 calcinadoras da região, 32 reverteram o processo de calcinação de gipsita com óleo BPF para lenha, e desse total, apenas 13 estão autorizadas por este órgão a usar a madeira como combustível (MORAES; SILVA, 2005). Daí a importância do reflorestamento nessa região, tendo como principal objetivo a geração de energia, mas sendo o seqüestro de carbono um elemento importante, um valor que pode ser agregado.

Os objetivos deste trabalho foram determinar a produção e a distribuição de biomassa, como também o teor de carbono nos diferentes compartimentos da biomassa aérea total (fuste, folhagem, galhada e casca), em um experimento de clones de eucalipto, cultivados na Estação Experimental do IPA, em Araripina-PE.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Pólo Gesseiro do Araripe**

A Região do Araripe, localizada na Mesorregião do Sertão Pernambucano, representa 18,8% do território estadual com 18.576,9 km<sup>2</sup> (MUNICÍPIOS, 2005).

O Município de Araripina tem como principal atividade econômica a produção de gesso, sendo um dos maiores pólos gesseiros do país. Lá se encontram instaladas 16 mineradoras, 52 calcinadoras, e 125 fábricas de pré-moldados (MUNICÍPIOS, 2005).

O pólo gesseiro do Araripe é constituído pelos Municípios de Araripina, Ipubi, Trindade, Bodocó e Ouricuri representando 95% das jazidas nacionais em atividade, o que corresponde a 1 bilhão de toneladas, e 18% das reservas da matéria prima do Brasil (ARARIPINA, 2005).

O gesso produzido no pólo do Araripe, Sertão de Pernambuco, em breve, deverá ser consumido pela África e pelos países do Mercosul. Os produtores devem exportar gesso de diferentes tipos: alfa (de alta pureza, usado na odontologia, cerâmica, produção de jóias, esculturas, revestimento externo, etc), cerâmico (para louças sanitárias), para revestimento interno, giz industrial e escolar, além de cola de gesso (SINDUSGESSO, 2005).

As 20 empresas associadas à exportação representam 1/3 das 64 empresas de calcinação do pólo gesseiro, que conta com 319 indústrias. Deste total, 90% são de micro e pequeno porte. No Araripe, a atividade emprega 12 mil pessoas diretamente e pelo menos 60 mil indiretamente. Com a formação do consórcio do gesso, a expectativa é manter os empregos já existentes, mas com maior valor agregado (SINDUSGESSO, 2005).

Hoje, o pólo do Araripe exporta menos de 1% da sua produção para a Inglaterra, Argentina e Uruguai. Em 2004, o Estado teve uma receita de US\$ 100 mil com a atividade. Em 2006, com o consórcio formado, a perspectiva é atingir um crescimento de 5% a 10% na produção e na exportação (SINDUSGESSO, 2005).

A degradação ambiental dessa microrregião está, naturalmente, associada à industrialização de minerais, especialmente a gipsita. Em consequência, na medida em que a indústria do gesso foi se desenvolvendo, utilizando principalmente a lenha como fonte energética para a calcinação, provocando a devastação da vegetação nativa da região. Dessa forma, as indústrias são obrigadas a adquirir lenha nos estados vizinhos, transferindo a pressão sobre os recursos florestais para outras áreas (GADELHA et al., 2006).

Santos et al. (1993) estimaram para essa microrregião um déficit de lenha de 9.608 st/ano. Entre os municípios, apenas Ouricuri apresentou um superávit de 14.944 st/ano. Os municípios de Trindade e Araripina, maiores consumidores de lenha (49.140 e 59.515 st/ano, respectivamente), apresentaram déficit de 3.360 e 16.629 st/ano, respectivamente. Observa-se que Araripina supera em 73% o déficit encontrado para a microrregião. Vale salientar que estes dados foram publicados há mais de dez anos, e que nenhuma medida foi apresentada para solucionar o problema e, conseqüentemente, minimizar os impactos sobre o ecossistema da Caatinga.

Sem dúvida, a microrregião do Araripe é uma área de grande pressão sobre os recursos florestais. A ação antrópica se processa com grande intensidade, exigindo estratégias para conter a devastação florestal que incluam a aplicação de técnicas de plantio, de manejo florestal sustentado da caatinga, bem como medidas para evitar o processo de desertificação, propiciada pela prática inadequada de exploração florestal (GADELHA et al., 2006).

Portanto, a implantação de reflorestamentos com espécies de rápido crescimento para o fornecimento de lenha às empresas do setor, associada ao desenvolvimento de pesquisas de manejo sustentado da caatinga, constituem uma alternativa para o estabelecimento a longo prazo do estoque regular de lenha (ALBUQUERQUE, 2002).

Segundo Ribaski (1994), no semi-árido algumas espécies do gênero *Eucalyptus* podem alcançar uma produtividade quatro vezes maior que a da vegetação nativa.

## **2.2 As Mudanças Climáticas e as Florestas**

O homem tem sentido na pele os resultados de sua intervenção danosa sobre a natureza, principalmente em relação às mudanças climáticas provocadas pela excessiva emissão e concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, gerados pelas indústrias, veículos automotivos, queimadas, dentre outras fontes, que levam ao aquecimento do nosso planeta.

Os Estados Unidos são os maiores emissores de gases provenientes da queima de combustíveis fósseis, com 25% das emissões mundiais e uma média de emissão de 6 toneladas por habitante por ano (GOLDEMBERG, 2001).

Um dia depois do início da conferência internacional sobre mudança climática de Nairóbi, em novembro de 2006, a IEA (Agência Internacional de Energia) divulgou um cenário sombrio para o planeta: a demanda global por energia deve crescer 53% até 2030, e mais de 70% desse crescimento virá de países do Terceiro Mundo, como a Índia e a China. Esta deverá passar os EUA como maior emissor de gás carbônico do planeta em 2009 - uma década antes do previsto (FOLHA DE SÃO PAULO, 2006).

Estima-se que em 1998 o Brasil tinha emitido, pelo menos, 285 milhões de toneladas de carbono, das quais cerca de 85 milhões resultaram da queima de combustíveis fósseis. Este número é relativamente baixo quando comparado às emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis de outros países. Isto é devido ao fato de que a matriz energética brasileira é considerada relativamente limpa pelos padrões internacionais, uma vez que se baseia na energia hidrelétrica. A maior parte das emissões do Brasil (2/3) provém de atividade de uso da terra, tais

como o desmatamento e as queimadas, o que, atualmente, representa 3% das emissões globais (ÁRVORES BRASIL, 2005).

O CO<sub>2</sub> é considerado o gás de maior importância entre os gases de efeito estufa, não só pelo seu volume de emissão, mas também por ser parte de um ciclo em que é captado pelas plantas, num processo denominado fotossíntese. Segundo Raven et al. (1996), a concentração de CO<sub>2</sub>, na atmosfera, mesmo sendo de apenas 0,035%, tem um papel fundamental na manutenção da temperatura para o planeta, por absorver radiação infravermelha vinda do sol.

O aumento do efeito estufa terá como possíveis conseqüências o aumento da temperatura média global, e essa temperatura poderá acarretar mudanças na precipitação, umidade e fertilidade do solo, conseqüentemente, no desenvolvimento e crescimento das florestas (NUTTO et al., 2002).

Como os processos de crescimento e desenvolvimento das plantas são controlados, dentre outros fatores, pela temperatura (LARCHER, 2000; apud COSTA, 2004), a depender da constituição genética da vegetação, pequenas variações na temperatura podem inviabilizar a sua existência (LEDIG; KITZMILLER, 1992). Há também a possibilidade do aumento do nível do mar, causando inundações de áreas litorâneas, grandes enchentes, secas devastadoras, tornados, ciclones, maremotos, entre outras conseqüências que podem inviabilizar a vida na Terra.

Conforme Reis et al. (1994), a temperatura exerce grande influência nos processos que determinam a produção líquida de uma floresta. A fotossíntese pode ser beneficiada, porém o processo de respiração é considerado mais sensível a este aumento de temperatura, reduzindo assim a fotossíntese líquida acima de uma temperatura ótima.

A partir da década de 70, os cientistas começaram a se preocupar com essas mudanças climáticas, surgindo, assim, várias reuniões. Em 1988, as Nações Unidas criaram o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC), reunindo 2500 cientistas de todo o mundo, para estudar o problema. No seu primeiro relatório, em 1990, o IPCC previu que o nível de CO<sub>2</sub> dobraria em 100 anos e que a temperatura global elevaria de 1,5 °C a 4,5 °C (CHACON, 2000). A principal causa

do aumento de temperatura estimada de aquecimento global está relacionada aos recordes de aquecimento nos anos de 1995 a 2000. A segunda razão está relacionada aos melhores métodos de estimativas de mudanças (IPCC, 2004). Segundo Philomena e Rohde (2004), a emissão antropogênica de CO<sub>2</sub> no ano de 1751 foi de 0,011 Gt de CO<sub>2</sub>/ano, passando para 24,23 Gt de CO<sub>2</sub>/ano em 1998.

Em 1992, durante a RIO-92, foi estabelecida a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, com o objetivo de propor ações para os países industrializados, para que estes estabilizem as concentrações atmosféricas dos gases formadores do efeito estufa (ROCHA, 2003; GAUDARD, 2006). Em 1997, na cidade de Kyoto (Japão), foi realizada uma das mais importantes conferências que trataram deste assunto, gerando o conhecido Protocolo de Kyoto (UNFCCC, 2001).

O Protocolo de Kyoto é o começo de uma negociação em prol do consenso internacional, em relação ao que pode ser feito para reduzir as emissões e como isto pode ser implementado (THE SCIENCE OF CLIMATE CHANGE, 2001; apud CAMPOS, 2001).

A busca pela mitigação dos efeitos da emissão de gases de efeito estufa, que depende tanto da sua redução efetiva quanto do aumento da remoção dos gases pelos sumidouros (conhecida também como “seqüestro de gases”), traz oportunidades tanto para as atividades que produzem esses gases como para aquelas que os removem da atmosfera, tais como o reflorestamento. Essas atividades tornaram-se objetos de políticas e medidas destinadas à mitigação, dentre as quais se destacam duas vertentes não-excludentes: a florestal e a energética, que apresentam inclusive sinergias positivas em alguns casos, como, por exemplo, a utilização de resíduos do setor madeireiro como combustíveis para a co-geração de energia (MAY; PEREIRA, 2003).

Dentre as atividades de mitigação podem-se citar: a conservação e/ou melhoria de eficiência energética; a troca entre combustíveis fósseis; o desenvolvimento de tecnologias e implementação de projetos relacionados às fontes renováveis de energia, como hidroeletricidade, energia solar, eólica e o uso da biomassa e outras fontes renováveis em substituição às fontes fósseis;

desenvolvimento de novas tecnologias de seqüestro de carbono; aumento do volume de florestas e de outros sumidouros naturais, com medidas para máximo aproveitamento das respectivas capacidades de absorção de carbono (MAY; PEREIRA, 2003).

Por armazenarem nas árvores e no solo mais carbono do que existe atualmente na atmosfera, as florestas são importantes para o equilíbrio do estoque de carbono global. Mas, segundo Houghton (1994) se as florestas forem cortadas, a maior parte do carbono armazenado nas árvores será liberada para a atmosfera rapidamente através de queimadas ou mais lentamente, por meio da decomposição. Cerca de 25% do carbono existente no metro superior do solo também serão perdidos na atmosfera se o solo for cultivado.

No Protocolo de Kyoto foi incluído o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) como uma proposta do governo brasileiro, que foi denominado, inicialmente, Fundo de Desenvolvimento Limpo, para criar meios pelos quais os países que não aceitem limites sobre as suas emissões possam cooperar em uma base de projetos específicos com os países que tinham aceitado limitações (os países do Anexo B do Protocolo de Kyoto) na redução das emissões. O MDL, definido no Artigo 12 do Protocolo, visa reduções de emissões líquidas de carbono que sejam reais, adicionais, e efetivos em termos de custo. O setor florestal no Brasil oferece possibilidades consideráveis para tais atividades dentro do MDL, inclusive oportunidades para investidores do setor privado (FEARNSIDE, 2003; MAN YU, 2004).

Essas commodities (toneladas de emissão de CO<sub>2</sub>, evitadas ou resgatadas) deverão dar origem aos Créditos por Redução de Emissões – CERs comercializáveis, diretamente, entre as empresas ou como papéis colocados no mercado. A tonelada de carbono ainda não tem preço fixo, está sujeita às variações de oferta e demanda (NOGUEIRA; LORA, 2003).

Dados de 2005 revelam a comercialização de 2 milhões de toneladas de créditos de carbono. Cada tipo de crédito tem o seu valor, mas, em média, cada tonelada de carbono seqüestrado vale US\$ 16,6 (MATSUURA, 2007).

A demanda por esses certificados será maior nos países industrializados, o que refletirá em aumento da contribuição desses na viabilidade financeira dos projetos de seqüestro de carbono, podendo, com isso, promover a aceleração do desenvolvimento do setor florestal brasileiro (NISHI et al., 2005).

O Brasil é um país com grande potencial de implementação de projetos devido à quantidade e à qualidade das florestas. E, em se tratando de seqüestro de carbono, os reflorestamentos serão alvo de maior interesse, mostrando eficiência na captação e fixação de CO<sub>2</sub>. Projetos do MDL beneficiarão tanto o meio ambiente como a população e a economia (AMBIENTE BRASIL, 2005).

Atualmente a Índia é o país campeão em número de projetos dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O Brasil está em segundo lugar, seguido pela China, em terceiro (FLOR, 2006).

Para o Brasil a expectativa é de que em 2010 o país exportará 14,4 milhões de toneladas de carbono, gerando uma receita de US\$ 237 milhões ao custo de US\$ 106,3 milhões, resultando em um lucro de US\$ 130,7 milhões (ROCHA, 2003).

Para isso, existe a necessidade de conhecer os estoques de carbono presentes em diferentes compartimentos da floresta (parte aérea das árvores, sistema radicular, sub-bosque, solo, entre outros) para se conhecer o potencial das florestas no seqüestro de carbono, bem como a sua viabilidade econômica.

Trabalhos têm sido realizados, utilizando-se estimativas de volume e biomassa em diferentes partes das árvores e em compartimentos das florestas, as quais são convertidas em quantidades de carbono estocada pela utilização de fatores de conversão, ou seja, a quantidade de carbono estocada nas florestas normalmente é obtida de forma indireta (COOPER, 1983; BROWN; LUGO, 1984; BROWN et al., 1986; SCHROEDER, 1992; apud SOARES; OLIVEIRA, 2002), principalmente devido ao custo elevado para obtenção da quantidade de carbono presente em diferentes compartimentos da floresta.

A ministra do Meio Ambiente, Marina Silva, apresentou durante a 12ª Conferência das Partes da Convenção sobre Mudança do Clima (COP-12), em Nairóbi, no Quênia, em novembro de 2006, sem repercussão significativa, a

proposta de criação de um fundo ao qual países em desenvolvimento teriam acesso desde que reduzissem o desmatamento de suas florestas. O fundo receberia contribuições voluntárias de países desenvolvidos (FORMENTI, 2006).

Como na Região do Pólo Gesseiro do Araripe o plantio de clones de eucalipto está na fase experimental e já se mostra promissor, a quantificação de carbono das árvores é de extrema importância tanto no sentido ambiental (redução de CO<sub>2</sub>) quanto econômico.

### **2.3 Estimativa de Biomassa**

A acumulação de biomassa é afetada por fatores ambientais e fatores da própria planta. Para Kramer e Koslowski (1972), a acumulação de biomassa é influenciada por todos aqueles fatores que afetam a fotossíntese e a respiração. Segundo eles, os principais fatores são luz, temperatura, concentração de CO<sub>2</sub> do ar, umidade e fertilidade do solo e doenças, além dos fatores internos, como: idade, estrutura e disposição das folhas, distribuição e comportamento dos estômatos, teor de clorofila, e acumulação de hidratos de carbono.

A estimativa de biomassa é de extrema importância nos estudos relacionados à ciclagem e estoques de nutrientes. No entanto, existem poucos estudos que estimaram esse parâmetro, provavelmente, devido às dificuldades encontradas em sua medida. Ultimamente, em função da crescente preocupação com as emissões de dióxido de carbono, causadas pelo incorreto uso da terra, a importância de sua estimativa cresceu enormemente, principalmente no Brasil, que é o primeiro responsável por este tipo de emissão (MARTINELLI et al., 1994).

Os estudos de estimativa de biomassa fornecem informações indispensáveis em questões ligadas, entre outras, às áreas de climatologia e de manejo florestal. No caso do clima, a biomassa é utilizada para estimar os estoques de carbono, que por sua vez são usados para estimar a quantidade de CO<sub>2</sub> que é armazenado com o crescimento do vegetal ou que é liberado para a atmosfera durante um processo de queimadas. No caso do manejo, a biomassa está relacionada com conteúdos de macro e micronutrientes da vegetação retirados do solo, que dependem da

biomassa multiplicada pelas concentrações de cada nutriente (HIGUCHI et al., 1998).

Em geral há uma boa relação entre a taxa de crescimento e a de acúmulo de nutrientes na biomassa do eucalipto (GONÇALVES et al., 1997), fato constatado para *E. grandis* (REIS et al., 1985; PEREIRA, 1990) e *E. urophylla* (PEREIRA, 1990) em Minas Gerais e para *E. grandis* em São Paulo (BELLOTE et al., 1983). Contudo, variação na taxa de acúmulo de nutrientes entre diferentes genótipos de eucalipto, crescendo num mesmo sítio, já tem sido também constatada (PEREIRA, 1990; MOLICA, 1992, SILVA et al., 1983; PAULA et al., 1997), fato que constitui uma importante ferramenta de manejo florestal (BARROS; NOVAIS, 1990).

As estimativas de biomassa dos vários tipos florestais geram ainda muita polêmica e controvérsia (HIGUCHI; CARVALHO JUNIOR, 1994; apud WATZLAWICK; CALDEIRA, 2004). Algumas estimativas vêm de estudos em que foram utilizados métodos diretos e, em outras, métodos indiretos. Os métodos indiretos, geralmente, baseiam-se em dados provenientes de inventários florestais, executados com a finalidade de planejar a exploração e o manejo florestal, em que a variável é o volume da madeira. Já nos métodos diretos, são derrubadas e pesadas todas as árvores que ocorrem em uma parcela fixa (WATZLAWICK; CALDEIRA, 2004).

Determinar biomassa de cada árvore, pelo método direto é praticamente impossível ao se executar um trabalho de inventário florestal. Por esta razão, para superar esse problema devem ser empregados os recursos da análise de regressão para o desenvolvimento de modelos matemáticos, capazes de estimar a biomassa de árvores em pé (HIGUCHI et al., 1998). Geralmente, o procedimento adotado é cortar algumas árvores da área em estudo e medir, diâmetro a altura do peito, altura total, determinar a densidade da madeira e o peso dos componentes da biomassa. Posteriormente, esses parâmetros são relacionados ao peso da árvore, utilizando um modelo matemático linear ou não linear que produza melhor correlação (BROWN et al., 1989; apud COSTA, 2004).

Outra forma é determinar o fator de forma de um número representativo de árvores, pois em plantios homogêneos e homóclitos esse fator de forma varia muito

pouco. Multiplicando-o pela altura e área basimétrica da árvore, obtém-se uma boa estimativa do volume.

## **2.4 Carbono na Biomassa Florestal**

O conceito de seqüestro de carbono aparece no Protocolo de Kyoto, artigo 2.1 (a.iv), com o objetivo de incentivar a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias de seqüestro de CO<sub>2</sub> (PROTOCOLO DE KYOTO, 1997).

O conceito de fixação de carbono, normalmente, relaciona-se com a idéia de armazenar reservas de carbono em solos, florestas e outros tipos de vegetação. Também se promove o incremento nas reservas de carbono pelo estabelecimento de novas plantações florestais, sistemas agroflorestais e pela recuperação de áreas degradadas. Em teoria, o efeito da captura por processos de reflorestamento e florestamento pode ser quantificado estimando-se o armazenamento de carbono atmosférico na biomassa e no solo da floresta (BALBINOT et al., 2003).

A quantidade total de carbono armazenada nas florestas do mundo está estimada em 1.146 Gt C (47% dos estoques totais de carbono) nos solos e vegetação; parte do carbono está estocado na biomassa viva (359 Gt C) e outra parte na matéria orgânica do solo (787 Gt C). As quantidades de carbono armazenadas e as taxas entre biomassa viva e carbono no solo são determinadas pelo tipo de solo, clima e tipo de floresta. Diferentes tipos de formações florestais apresentam diferentes estoques de carbono por hectare (CAMPOS, 2001).

O CO<sub>2</sub> é fixado pela fotossíntese em compostos reduzidos de carbono por meio do processo de respiração da planta. Mas através da decomposição de seus resíduos e da carbonização da biomassa, o carbono retorna para a atmosfera. A produção de madeira depende do processo fotossintético. Mediante assimilação as árvores transformam CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O em substância orgânica (NUTTO et al, 2002). O carbono pode ficar retido na biomassa (tanto na parte aérea, como nas raízes) ou ser liberado para atmosfera, se esse material for queimado (SCARPINELLA, 2002).

Quantificar o carbono em uma floresta é uma das questões mais complexas travadas entre especialistas, pois envolvem fatores externos como variação do clima, o perfil do solo, a temperatura local e o tipo de vegetação que lá se encontra.

Para uma floresta de eucalipto, essa operação torna-se um pouco mais simples, por se tratar de uma monocultura em que se espera uma produtividade homogênea, de acordo com a variedade cultivada e com os dados de cultivo que se dispõe da região. Entretanto, continuam as variáveis de solo, clima, temperatura, enfim, da interação da floresta com o meio (SCARPINELLA, 2002).

Atualmente, existe uma forte demanda por informações que provêm as relações alométricas dos teores de carbono nas diferentes partes das árvores (WEBER et al., 2003). No entanto, falta profundidade para falar sobre o tema fixação de carbono, porque há uma generalização entre os técnicos de que o teor de carbono fixado na biomassa vegetal é de 50 %, contudo a quantificação de carbono depende da espécie, da idade da parte da planta e solo analisado (SANQUETTA, 2002).

Calcula-se que cada tonelada de madeira seca produzida em plantações retire da atmosfera 1,8 tonelada de CO<sub>2</sub> e devolva ao ambiente 1,3 tonelada de O<sub>2</sub>. Além disso, o processo de conversão de CO<sub>2</sub> em madeira absorve calor, contribuindo para diminuir a temperatura. Outra estimativa que merece destaque é que cada árvore de eucalipto pode seqüestrar até 20 kg de gás carbônico por ano. Um hectare de floresta jovem fixa, em média, 35 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano. Para se ter o teor de carbono na planta, multiplica-se o volume de CO<sub>2</sub> por 0,27 (MORA; GARCIA, 2000).

Diferentes biomas florestais armazenam quantidades diferentes de carbono dentro de sua biomassa, variando também com os locais dentro de um mesmo bioma. Esta afirmação é feita em função da maioria das estimativas de biomassa serem obtidas apenas nas partes aéreas da planta e considerando somente as partes vivas da planta acima do solo, sendo que essas representam apenas certas classes de diâmetro. Outra preocupação é que a maioria dos valores publicados para biomassa muitas vezes apresentam inconsistências, tais como não considerar os componentes subterrâneos e mortos (HOUGHTON, 1994; FEARNSSIDE, 1994).

Gutiérrez e Lopera (2001) afirmam que para realizar projetos florestais de captura de CO<sub>2</sub> é necessário desenvolver metodologias que permitam medir e quantificar o carbono de maneira confiável e a baixo custo, mas também predizer

seu comportamento em qualquer momento durante o crescimento da plantação. Assim, quando a floresta ainda não existe, projetar-se a curva de crescimento esperada, tornando-a base na negociação de créditos de carbono entre as partes interessadas. Em termos de planejamento na definição dos locais mais aptos para efetivação de projetos de seqüestro de carbono, sistemas de predição de produção que levem em consideração as condições ambientais locais como limitantes ao crescimento, constituem-se em ferramentas igualmente úteis.

Do ponto de vista prático, a determinação da quantidade de carbono a ser seqüestrada depende da variável biomassa, a qual, segundo Sanquetta (2002) precisa ser estimada de forma fidedigna, caso contrário não haverá consistência na quantificação do carbono fixado nos ecossistemas florestais. Inúmeros estudos do conteúdo de carbono em florestas vêm sendo desenvolvidos recentemente e a maioria versa sobre amostragem destrutiva da biomassa e ajuste de modelos alométricos para sua estimativa. A quantificação das frações raiz, tronco e folha se reveste de grande importância e, metodologias de amostragem e modelagem para sua inferência, tornam-se prioritárias para embasar as tomadas de decisão.

As florestas, quando atingem o equilíbrio, têm um balanço praticamente nulo em relação à entrada e saída de carbono de sua biomassa. Ou seja, a quantidade seqüestrada de carbono durante o dia no processo de fotossíntese é praticamente a mesma liberada durante o processo de respiração. Em florestas em desenvolvimento, a absorção de dióxido de carbono é maior até que atinja a maturidade da floresta. A idade em que uma floresta atinge a sua maturidade é variável de acordo com o tipo de formação florestal (homogênea ou mista) e as espécies envolvidas (de crescimento rápido ou lento) (SCARPINELLA, 2002).

## **2.5 As Florestas Plantadas no Brasil e o Eucalipto**

O eucalipto pertence à família das mirtáceas. As espécies pertencentes a esta família são plantas lenhosas, arbustivas ou arbóreas, com folhas de disposições alternas ou opostas e às vezes cruzadas com estípulas muito pequenas (SCARPINELLA, 2002).

Segundo Pryor (1976), citado por Lima (1987), a maioria das espécies de eucalipto conhecidas são árvores típicas de florestas altas atingindo alturas que variam de 30 e 50 metros; e florestas abertas com árvores menores atingindo de 10 a 25 metros. Cerca de 30 ou 40 espécies são arbustivas, conhecidas como “Mallees”, caracterizadas por apresentarem diversos troncos de um único núcleo lenhoso subterrâneo. Algumas espécies atingem alturas superiores a 70 metros, como o *E. grandis* e o *E. deglupta*.

O Brasil possui uma vocação florestal, tanto para a existência e formação de florestas naturais, como para a formação de novos maciços florestais de espécies exóticas com diversas finalidades.

Dentre as inúmeras espécies arbóreas existentes, o eucalipto, devido às características de rápido crescimento, produtividade, ampla diversidade de espécies, grande capacidade de adaptação e por ter aplicação para diferentes finalidades tem sido, extensivamente, utilizado em plantios florestais (MORA; GARCIA, 2000).

As florestas monocultivadas de eucalipto são, dentre as florestas plantadas, as mais representativas no Brasil e no mundo. As florestas plantadas no Brasil representam aproximadamente 1% da cobertura florestal, com cerca de 5 milhões de hectares espalhados, em sua maior parte, por 10 estados. Dentre estes estados, o destaque fica por conta de Minas Gerais e São Paulo, que juntos representam mais de 70% de todo o eucalipto plantado no país (SILVA, 2001).

Tais florestas são, predominantemente, formadas pelos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, correspondendo a aproximadamente 1,8 e 3 milhões de hectares, respectivamente. Estes gêneros foram introduzidos no Brasil e encontraram um ambiente favorável para o seu desenvolvimento. As condições de ambiente favorável e o emprego de modernas técnicas florestais de manejo fizeram com que o eucalipto alcançasse no Brasil os maiores índices de produtividade do mundo (SCARPINELLA, 2002).

O gênero *Eucalyptus* foi introduzido no Brasil em 1825, como espécie ornamental e como quebra-vento. Para finalidades econômicas seu uso iniciou-se em 1903, quando eram necessários dormentes para atender ao desenvolvimento das estradas

de ferro através da Companhia Paulista de Estradas de Ferro – CPEF (ANDRADE, 1961).

Considerado pai da eucaliptocultura no Brasil, Navarro de Andrade desenvolveu experiências de 1904 a 1909 no horto florestal de Jundiaí, comparando várias espécies nativas com o eucalipto, tendo esse se destacado das demais espécies quanto à produtividade (MORA; GARCIA, 2000).

De sua introdução até o momento em que passou a ser cultivado em escala comercial, estima-se que o Brasil tenha chegado aos 400.000 ha em área de eucalipto plantado. Em 1966, com o estabelecimento dos incentivos fiscais para o reflorestamento (que duraram 24 anos), a fim de atender à demanda de matéria-prima utilizada para as regiões sul e sudeste, houve um salto na produção de eucalipto (HASSE, 2006). De acordo com a FAO (1981), citada por Lima (1987), em 1973 o Brasil já era o maior produtor mundial em extensão de áreas plantadas com eucalipto: aproximadamente 1.052.000 hectares. Na mesma época, as plantações mundiais de eucalipto chegavam a 4 milhões de hectares.

Atualmente, o Brasil tem a maior área plantada de eucalipto do mundo (mais de 3 milhões de hectares), sendo o maior produtor de celulose (cerca de 6,3 milhões de toneladas por ano) e alcançou o maior índice de produtividade (40m<sup>3</sup> por hectare ao ano) (MCT, 2006).

O eucalipto é originário da Austrália, com exceção de duas espécies (*E. urophylla* e *E. deglupta*) (SILVA, 2001). Segundo Cronin (2000); Franco (1999) e Holliday (2002) existem mais de 700 espécies já identificadas do gênero *Eucalyptus*.

Existem relatos, fotos e medições de algumas árvores de eucalipto, já mortas, com mais de 130 metros de altura. Duas delas, ambas de *Eucalyptus regnans*, são famosas, por serem as maiores de todas as árvores já medidas pelo homem. Uma é a famosa "Ferguson tree", que morreu há dezenas de anos devido a um incêndio florestal. Ela tinha cerca de 150 metros de altura e 5,5 metros de diâmetro. Outro exemplo, é a conhecida "Robinson tree", com 143 metros de altura. Árvores tão gigantescas como essas já não se encontram mais, mas muitas de 80 a 100 metros ainda podem ser encontradas pelo continente australiano (FOELKEL, 2006).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de Estudo

A pesquisa foi realizada na Estação Experimental do Araripe, pertencente à Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA. Essa Estação Experimental localiza-se no município de Araripina e dista 18 km da sede do município. Possui como coordenadas geográficas de posição 07° 29' 00" de latitude sul e 40° 36' 00" de longitude e altitude de 816m. Apresenta um clima DdB'4a' semi-árido mesotérmico. A precipitação média anual é de aproximadamente 700mm, concentrando-se entre os meses de dezembro a março onde ocorrem mais de 70% do total anual, ficando os demais meses com o restante, o que provoca deficiências hídricas que se acumulam a partir do mês de maio até janeiro, quando essa é mínima, sendo anulada nos meses de fevereiro a abril, onde surge um pequeno excesso (ENCARNAÇÃO, 1980). O experimento de eucalipto (Figura 1) foi implantado no início do mês de março de 2002, com espaçamento de 3 x 2 m. Foram utilizados 15 tratamentos, sendo utilizados 7 híbridos de *Eucalyptus*, com 4 repetições, estabelecidos em blocos casualizados (Tabela 1).



**Figura 1** - Experimento de eucalipto da Estação Experimental do Araripe, pertencente à Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária – IPA.

**Tabela 1** – Tratamentos utilizados no experimento com clones de eucalipto, Araripina-PE.

Trat.	Clone	Descrição
01	C49	Híbrido de <i>Eucalyptus tereticornis</i> (cruzamento natural)
02	C80	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)
03	C315	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)
04	C101	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)
05	C78	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)
06	C156	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> x <i>E. pellita</i> (polinização controlada)
07	C39	Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
08	C27	Híbrido de <i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)
09	C51	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)
10	C158	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)
11	C41	Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
12	C31	Híbrido de <i>E.brassiana</i> (cruzamento natural)
13	C25	Híbrido de <i>E.brassiana</i> (cruzamento natural)
14	C33	Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
15	C11	Híbrido de <i>E.brassiana</i> (cruzamento natural)

### 3.2 Seleção de árvores amostras

Foi utilizada a amostragem inteiramente aleatória, em que se extraiu uma amostra de 90 árvores, distribuídas entre os 15 tratamentos e os 4 blocos.

### 3.3 Medição e cubagem dos fustes das árvores

Derrubadas as árvores (Figura 2), foram medidas as alturas totais e altura do fuste (Figura 3). Considerando-se como fuste a porção compreendida entre a altura de corte (0,30 m) e as primeiras ramificações na base da copa. Os fustes foram cubados rigorosamente por meio da aplicação da fórmula de Smalian (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2003). Com uma fita métrica, as circunferências das seções do fuste foram medidas a 0,30; 0,50; 0,70; 0,90; 1,10; 1,30; 1,50; 1,70; 2,30; e a partir daí de 1,00 em 1,00 m até o final da árvore. Para o cálculo do volume do fuste

sem casca, foi descontada a espessura desta. Para a estimativa de volume foi utilizada a fórmula  $V=g.h.f$

Em que:

$V$ = Volume da árvore ( $m^3$ )

$g$ = área basimétrica ( $m^2$ )

$h$ = altura da árvore (m)

$f$ = fator de forma



**Figura 2** - Derrubada das árvores amostras no experimento de clones de eucalipto, Araripina-PE



**Figura 3** - Medição das árvores amostras para cubagem rigorosa

### **3.4 Determinação da Densidade da Madeira do fuste das Árvores Amostras**

De cada árvore derrubada e submetida à cubagem rigorosa, foram retirados discos (Figura 4) de aproximadamente 2,5 cm de espessura, a 0%, 50% e 100%, da altura do fuste ( $H_F$ ), que serviram como amostras para determinação da densidade básica da madeira (DBM).

As amostras de madeira foram colocadas em um balde (Figura 5) onde ficaram submersas em água destilada, até atingirem o ponto de saturação das fibras. As amostras foram pesadas, semanalmente, até atingirem peso constante. Após estarem completamente saturadas foi removido o excesso de água de suas superfícies e, determinado o peso saturado ao ar em balança de precisão. A seguir, todas as amostras foram colocadas em estufa com circulação de ar forçado à temperatura de, aproximadamente 103 °C, até atingirem peso seco constante, em seguida, foram obtidos o peso seco das amostras. O cálculo da densidade foi obtido através do Método do Máximo Teor de Umidade (FOELKEL et al., 1971).

Considerando que:

Db= Densidade básica

P<sub>m</sub> = peso ao ar dos discos saturados após a remoção, com papel absorvente, da água superficial.

P<sub>as</sub> = peso absolutamente seco dos discos, conseguido através da secagem em estufa até peso constante.

Gs = densidade da madeira.

$$Db = \frac{1}{\frac{P_m - P_{as}}{P_{as}} + \frac{1}{Gs}}$$

Admitindo-se que a densidade média do lenho é 1,53 g/cm<sup>3</sup> a expressão ficará:

$$Db = \frac{1}{\frac{P_m}{P_{as}} - 0,346}$$



**Figura 4** – Discos do tronco da árvore amostra retirados em três alturas para determinação da densidade.



**Figura 5** – Discos do tronco submersos em água em um recipiente tipo balde para determinação da densidade

### **3.5 Determinação da biomassa dos fustes**

A biomassa do fuste foi obtida multiplicando-se sua densidade básica pelo seu volume, por meio da seguinte expressão (SOARES,1995):

$$BS_F = V \times DBM$$

Em que:

$BS_F$  = biomassa seca do fuste das árvores (kg)

$V$  = volume rigoroso do fuste das árvores ( $m^3$ )

$DBM$  = densidade básica da madeira do fuste das árvores ( $kg/m^3$ )

### **3.6 Pesagem e amostragem dos componentes da parte aérea das árvores amostras**

Cada árvore amostra foi desfolhada (Figura 6), sendo suas folhas ensacadas e pesadas. Posteriormente, foram colocadas sobre uma lona, misturadas e, em seguida, retirada uma amostra de cerca de 100 g, devidamente pesada e etiquetada.

Depois de desfolhada, cada árvore amostra foi desganhada e todos os seus galhos foram pesados. No conjunto de galhos foram retirados fragmentos de galhos localizados em diferentes posições da copa da árvore, os quais foram misturados, formando uma amostra composta. Dessa amostra, foi retirada uma subamostra de aproximadamente 100 g, devidamente pesada e etiquetada.

Após a medição para cubagem rigorosa de cada árvore amostra, o fuste foi descascado e as cascas foram pesadas. Para esse componente também foi retirada uma amostra de cerca de 100 g, devidamente pesada e etiquetada.

Nas amostras de folhas, galhos e cascas foram determinados os seus pesos de matéria seca. No laboratório, as amostras úmidas foram colocadas para secar à temperatura de 100 °C, até a estabilização do seu peso após secagem. Depois de secas, foram pesadas e trituradas em moinho de facas, para serem analisadas.



**Figura 6** – Desfolhamento das árvores amostras para a pesagem e retirada da amostra de 100g.

### **3.7 Determinação da biomassa seca em componentes da parte aérea**

A biomassa seca das folhas, galhos e casca foi obtida por meio da expressão utilizada por Soares (1995):

$$BS = Pu (c) \times Ps (a) / Pu (a)$$

Em que:

BS = biomassa total (kg)

Pu (c) = peso úmido total no campo (kg)

Ps (a) = peso seco da amostra (kg)

Pu (a) = peso úmido da amostra (kg)

### **3.8 Análise do carbono**

Após as amostras dos componentes da parte aérea serem previamente secas e trituradas, foram determinados os teores de carbono total, no Laboratório de Química Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco (Figura 7). O método que foi utilizado baseia-se na oxidação da matéria orgânica, em presença de ácido sulfúrico e dicromato de potássio, e posterior dosagem por titulação, do excesso de dicromato, com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal (BEZERRA NETO; BARRETO, 2004).



**Figura 7** – Determinação do teor de carbono no Laboratório de Química Vegetal da UFRPE

### 3.9 Análise Estatística

A análise de variância do fator de forma, da produção de biomassa e da fixação de carbono foi processada por meio do programa Assistat. As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, por ser o procedimento apropriado quando o número de tratamentos é grande e há o interesse numa separação real de grupos de médias, sem a ambigüidade de resultados (FERREIRA et al., 1999; SILVA et al., 1999).

A dificuldade de utilização dos procedimentos de comparações múltiplas, como os testes de Tukey, Student Newman-Keuls (SNK), t de Student (LSD), Duncan, entre outros, é interpretar seus resultados. Todos eles apresentam a característica de ambigüidade, isto é, um tratamento pertencer a mais de um grupo de tratamento, nos resultados que fornecem. Essa ambigüidade é decorrente da possibilidade de dois níveis de tratamentos serem considerados iguais a um terceiro, mas diferentes entre si. O pesquisador, de uma forma geral, tem muita dificuldade na interpretação dos resultados e na recomendação do melhor tratamento (BORGES; FERREIRA, 2003).

Uma alternativa é a aplicação do teste aglomerativo de Scott-Knott (1974). Este teste visa a separação de médias de tratamentos em grupos distintos, através da minimização da variação dentro e maximização da variação entre grupos. Os resultados são facilmente interpretados, devido à ausência de ambigüidade. Desta forma este procedimento resulta em maior objetividade e clareza.

Nessa pesquisa não foram determinados produção de biomassa e teor de carbono das raízes, pois o experimento de eucaliptos tem como finalidade principal o suprimento de lenha para matriz energética do Pólo Gesseiro e também será estudado o número de rotações do povoamento, daí essas determinações iriam interferir nos resultados do número de rotações.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Teor de Umidade na Biomassa dos Componentes da Parte Aérea

Os resultados do percentual de umidade, obtidos nos 15 tratamentos, encontram-se na Tabela 2. Por compartimento arbóreo, folha, galho, casca e fuste, as médias de umidade foram de 45,67; 44,84; 46,89; e 51,21%, respectivamente. As amostras foram coletadas no período de chuva na região, o que influenciou nos teores de umidade das mesmas.

O tratamento 10 (Híbrido de *E. urophylla* x *E. tereticornis* de Laura (polinização controlada)) foi o que apresentou o maior teor de umidade, média de 51,24% e tratamento 12 (Híbrido de *E. brassiana* (cruzamento natural)), o menor teor, 39,37%.

O conteúdo de água total das árvores foi em média 47,15%. Desse modo, o peso seco representa 52,85% do peso fresco. Resultados inversos foram observados por Costa (2004), que, avaliando a biomassa da *Tapirira guianensis*, no Município de Goiana – PE, obteve um percentual total de umidade de 52,39% e o peso seco de 47,61%.

Geralmente o teor de umidade das plantas varia de uma espécie para outra e, dentro da mesma espécie, de um órgão para outro, bem como o estágio de desenvolvimento da planta. O caule de plantas lenhosas apresenta cerca de 50% de umidade (BEZERRA NETO; BARRETO, 2004). Um valor próximo foi encontrado nesse trabalho, pois, o fuste apresentou 51,21% .

**Tabela 2** - Teor de umidade (%), por tratamento, dos clones de eucalipto, na Estação Experimental do IPA em Araripina-PE.

Tratamentos	% Umidade				
	Folha	Galho	Casca	Fuste	Média
1	39,29	54,03	41,28	51,99	46,65
2	54,25	48,67	46,89	50,72	50,13
3	47,88	48,16	50,54	53,13	49,93
4	47,47	44,89	42,82	51,17	46,59
5	47,88	44,81	52,92	50,40	49,00
6	45,37	50,93	51,91	48,26	49,12
7	45,99	43,36	50,19	51,31	47,71
8	42,80	44,88	53,40	49,64	47,68
9	49,25	40,22	46,85	49,79	46,53
10	51,77	44,21	55,90	53,07	51,24
11	47,32	54,01	48,63	52,49	50,61
12	39,99	28,25	37,96	51,27	39,37
13	53,12	43,36	39,03	49,37	46,22
14	43,41	43,63	36,78	54,31	44,53
15	29,23	39,14	48,25	51,25	41,97
<b>Média</b>	45,67	44,84	46,89	51,21	47,15
<b>Desvio</b>	6,28	6,36	6,01	1,61	3,27
<b>CV%</b>	13,75	14,19	12,82	3,15	6,93

#### 4.2 Densidade Básica da Madeira dos Fustes

Um dos fatores relevantes nas estimativas de biomassas é a densidade da madeira, que permite estimar o peso por metro cúbico sólido da madeira, e estimar a produtividade em termos de matéria seca por unidade de área (SILVA, 1984).

A densidade média básica da madeira dos clones de eucalipto (Tabela 3), situou-se entre 0,536 e 0,653 g/cm<sup>3</sup>. O tratamento 6 (Híbrido de *E. urophylla* x *E. tereticornis* x *E. pellita* (polinização controlada)) apresentou o maior valor, 0,653 g/cm<sup>3</sup> e o tratamento 14 (Híbrido de *E. urophylla* (cruzamento natural)) o menor valor, 0,536 g/cm<sup>3</sup>. Nesta pesquisa foram encontrados valores pouco superiores aos encontrados por Foelkel et al. (1971) que estimaram a densidade de *Eucalyptus alba*, *E. saligna*, *E. grandis* e *E. propinqua*, com idade de 5 anos, encontrando valores médios entre 0,458 e 0,553 g/cm<sup>3</sup>.

A densidade apresenta muitas variações entre as espécies, devido a diferenças de espessura e dimensões da parede celular, a inter-relação entre esses

dois fatores e a quantidade de componentes extratáveis presentes por unidade de volume, entre outros fatores (VITAL, 1984).

Na Austrália ocorreram variações importantes na densidade da madeira de árvores de uma mesma espécie, como *E. pilularis*, com variações de 0,60-0,80 g/cm<sup>3</sup> (HILLIS; BROWN, 1978). Árvores desta espécie, aos 22 anos, em Viçosa, MG, produziram madeira de densidade básica média de 0,64 g/cm<sup>3</sup> (LIMA, 1996). Árvores de *E. pilularis*, *E. grandis*, aos 10 anos de idade, em Salesópolis, SP, exibiram valores de densidade básica da madeira de 0,50 e 0,40 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente (TOMAZELLO FILHO, 1985), sendo as diferenças atribuídas, da mesma forma, à idade das árvores, entre outros fatores. O aumento da densidade básica da madeira de árvores de eucalipto varia com a idade, com tendência de estabilização após a formação da madeira adulta, havendo, portanto, necessidade de se determinar a idade das árvores para fins de comparação, bem como as condições do sítio (RIBEIRO; ZANI FILHO, 1993). Em árvores de *E. grandis* foi confirmado o aumento sistemático da densidade da madeira com a idade das árvores (VITAL et al., 1987). Valores próximos foram encontrados no experimento de clones de eucaliptos cultivados em Araripina, mesmo que as espécies e as idades dos estudos citados acima sejam diferentes às estudadas nessa pesquisa.

**Tabela 3** – Densidade básica da madeira em g/cm<sup>3</sup> de clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA (g/cm<sup>3</sup>)</b>			
<b>Trat.</b>	<b>Clone</b>	<b>Descrição</b>	<b>DMB</b>
01	C49	Híbrido de <i>Eucalyptus tereticornis</i> (cruzamento natural)	0,569
02	C80	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)	0,586
03	C315	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)	0,570
04	C101	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)	0,597
05	C78	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)	0,595
06	C156	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> x <i>E. pellita</i> (polinização controlada)	0,653
07	C39	Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)	0,571
08	C27	Híbrido de <i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)	0,616
09	C51	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)	0,611
10	C158	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E.tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)	0,547
11	C41	Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)	0,573
12	C31	Híbrido de <i>E.brassiana</i> (cruzamento natural)	0,580
13	C25	Híbrido de <i>E.brassiana</i> (cruzamento natural)	0,606
14	C33	Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)	0,536
15	C11	Híbrido de <i>E.brassiana</i> (cruzamento natural)	0,585
<b>MÉDIA</b>			<b>0,586</b>
<b>DESVIO PADRÃO</b>			<b>0,029</b>
<b>CV%</b>			<b>4,91</b>

DMB – Densidade Média Básica

#### 4.3 Acúmulo de Biomassa nos Componentes da Parte Aérea

A biomassa aérea total dos clones de eucalipto no experimento de Araripina (Tabela 4), nos 15 tratamentos, foi estimada em 62,08; 92,27; 70,27; 95,36; 104,75; 132,13; 119,35; 58,60; 107,06; 92,51; 109,93; 50,87; 61,17; 69,90; 93,76 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses valores foram determinados através da multiplicação do número de árvores/há, mortalidade e a biomassa por árvore.

Considerando a produção da biomassa aérea, o híbrido mais produtivo foi o resultante da combinação (tratamento 6) *E. urophylla* x *E. tereticornis* x *E. pellita* (polinização controlada), que representou cerca de 2,5 vezes mais biomassa que a do tratamento 12 - Híbrido de *E. brassiana* (cruzamento natural).

Schumacher e Caldeira (2001) estimaram a biomassa total, acima do solo, do povoamento de *Eucalyptus globulus*, com 4 anos de idade, que foi de 83,2 t ha<sup>-1</sup>. O componente madeira do tronco apresentou a maior quantidade de biomassa ( 57,5 t ha<sup>-1</sup>) ou seja, 69% do total da parte aérea, seguido das folhas, dos ramos e da casca. Quando se soma o valor da casca a esse componente, a biomassa passa a representar 78%. Dados similares foram encontrados neste trabalho, em que a biomassa total foi de 88,00 t ha<sup>-1</sup>. O tronco apresentou a maior quantidade de biomassa (61,61 t ha<sup>-1</sup>) ou seja, 70% do total da parte aérea, seguido dos galhos, casca e folhas. Somando o valor da casca a este componente, a biomassa passa a representar 79% do total.

Conforme Curlin (1970), geralmente os componentes da parte aérea das árvores tem sua biomassa distribuída na seguinte ordem: lenho > galhos > casca > folhas, o que foi similar nesta pesquisa. O experimento de clones de eucaliptos cultivados em Araripina teve sua biomassa distribuída na seguinte ordem: fuste (70%), galhos (13%), casca (9%) e folhas (8%). Mas, de acordo com Abrahamson e Gadgil (1973), a variação da distribuição da biomassa nos diferentes órgãos da planta varia de espécie para espécie; e até mesmo, em uma população da mesma espécie, bem como em razão das condições ambientais e também varia em razão de procedências (CALDEIRA, 1998).

Krapfenbauer e Andrae (1976), verificaram em um povoamento de Araucária aos 17 anos de idade, que a biomassa do tronco representava 72,4 % do total acima do solo. Schumacher (1998), com *Eucalyptus globulus* subespécie *bicostata*, aos 4 anos de idade, observou que a copa representa 28% da biomassa total acima do solo, enquanto os 72% restantes são representados pela casca e pela madeira do tronco. Nos clones de eucalipto cultivados em Araripina, com idade de 4,5 anos, observou-se que a copa representa 21% da biomassa total acima do solo e o tronco mais a casca representaram 79%.

Pereira et al. (2000) estimaram a biomassa arbórea em 158,51 t ha<sup>-1</sup>, para um povoamento de *Acacia mearnsii* com nove anos de idade, localizado no município de Butiá – RS. Calil et al. (2004) obtiveram produção de biomassa de *Acacia mearnsii* com seis anos de idade de 122,59 t ha<sup>-1</sup>. Freitas et al. (2004), estimaram em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em Alegrete – RS, aos nove anos de idade, a biomassa arbórea em 142,31 t ha<sup>-1</sup>. Santana et al. (1995) pesquisaram três procedências de *Eucalyptus grandis* e três de *Eucalyptus saligna*, aos 78 meses de idade, no Estado de São Paulo, e estimaram a produção média de biomassa de *Eucalyptus grandis* em 145,40 t ha<sup>-1</sup> superior a de *Eucalyptus saligna*, que foi de 132,60 t ha<sup>-1</sup>.

No caso desta pesquisa, os clones apresentaram uma biomassa total em média de 88,00 t ha<sup>-1</sup>. Comparando com os trabalhos acima verifica-se que essa média representa quase que a metade da produção dos referidos trabalhos, mas se justifica pelo fato de que o experimento de clones de eucalipto cultivados em Araripina tem apenas 4,5 anos de idade, com uma rotação prevista para 6 ou 7 anos.

**Tabela 4** – Biomassa de componentes da parte aérea em t ha<sup>-1</sup>, de clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>BIOMASSA (t ha<sup>-1</sup>)</b>					
<b>Tratamentos</b>	<b>Folhas</b>	<b>Galhos</b>	<b>Cascas</b>	<b>Fuste</b>	<b>Total</b>
<b>1</b>	6,44	4,66	6,25	44,73	62,08
<b>2</b>	9,54	10,00	7,65	65,08	92,27
<b>3</b>	6,42	8,64	5,79	49,42	70,27
<b>4</b>	10,73	14,19	8,68	61,76	95,36
<b>5</b>	7,56	9,96	8,39	78,84	104,75
<b>6</b>	10,48	19,08	8,06	94,51	132,13
<b>7</b>	8,09	13,85	12,29	85,12	119,35
<b>8</b>	5,33	4,67	5,35	43,25	58,60
<b>9</b>	9,87	23,15	8,61	65,43	107,06
<b>10</b>	7,72	16,74	6,94	61,11	92,51
<b>11</b>	8,79	9,49	9,32	82,33	109,93
<b>12</b>	4,67	6,57	5,74	33,89	50,87
<b>13</b>	3,63	6,71	7,98	42,85	61,17
<b>14</b>	3,37	7,91	8,58	50,04	69,90
<b>15</b>	9,02	10,18	8,84	65,72	93,76
<b>Média</b>	7,44	11,05	7,90	61,61	88,00

#### **4.4 Teor de Carbono Orgânico em Componentes da Biomassa Aérea**

O teor de carbono orgânico total encontrado nos clones de eucaliptos, cultivados em Araripina, foi em média 46,97%; 38,95%; 35,64% e 34,74%, respectivamente, para os componentes fuste, folha, casca e galho, com variação entre os tratamentos estudados (Tabela 5).

Após analisar as estimativas das quantidades médias de carbono presentes nos fustes, folhas, galhos e cascas, constatou-se que o fuste representa a parte aérea da árvore com maior quantidade de carbono (75%), seguido dos galhos (10%), folhas (8%) e cascas (7%). Comparando com os resultados de Soares e Oliveira (2002), houve uma inversão entre os componentes casca e folha, pois estes, após analisarem as estimativas das quantidades médias de carbono presentes nos fustes (com e sem casca), nos galhos e nas folhas das árvores de

*Eucalyptus grandis* W. Hill. ex-Maiden com 77 meses de idade, constataram que o fuste sem casca representa a parte aérea com maior quantidade de carbono (83,24%), seguido dos galhos (6,87%), da casca (6,62%) e das folhas (2,48%).

**Tabela 5** – Teores médios de carbono para cada componente de biomassa aérea, nos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>Teor de Carbono (%)</b>				
<b>Tratamentos</b>	<b>Folhas</b>	<b>Galhos</b>	<b>Cascas</b>	<b>Fuste</b>
<b>1</b>	39,33	33,53	35,07	46,47
<b>2</b>	37,78	44,67	32,72	47,17
<b>3</b>	42,63	37,92	34,54	49,00
<b>4</b>	34,67	30,50	41,39	51,56
<b>5</b>	44,71	31,52	35,52	50,00
<b>6</b>	38,61	36,61	39,83	47,94
<b>7</b>	37,72	33,44	33,06	45,39
<b>8</b>	37,76	33,95	33,81	40,33
<b>9</b>	38,86	33,62	36,71	46,05
<b>10</b>	46,78	28,28	31,28	49,56
<b>11</b>	34,83	35,39	34,33	41,72
<b>12</b>	37,33	33,13	37,53	44,73
<b>13</b>	33,67	33,60	34,13	44,80
<b>14</b>	37,80	37,47	33,60	45,87
<b>15</b>	41,73	37,53	41,13	53,93
<b>Média</b>	38,95	34,74	35,64	46,97

As quantidades de carbono totais dos clones de eucaliptos do experimento de Araripina (Tabela 6), nos 15 tratamentos, foram 27,17; 41,51; 32,50; 42,36; 48,30; 60,14; 50,36; 22,89; 44,69; 40,98; 44,63; 21,31; 25,86; 29,79; 46,35 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Tabela 6** – Carbono arbóreo em t ha<sup>-1</sup>, para cada componente de biomassa aérea, em 15 clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>Carbono (t ha<sup>-1</sup>)</b>					
<b>Tratamentos</b>	<b>Folhas</b>	<b>Galhos</b>	<b>Cascas</b>	<b>Fuste</b>	<b>Total</b>
<b>1</b>	2,52	1,57	2,21	20,87	27,17
<b>2</b>	3,47	4,43	2,62	30,99	41,51
<b>3</b>	2,78	3,31	2,02	24,39	32,50
<b>4</b>	3,64	4,34	3,13	31,25	42,36
<b>5</b>	3,36	3,16	3,00	38,78	48,30
<b>6</b>	4,09	7,07	3,44	45,54	60,14
<b>7</b>	3,12	4,52	4,22	38,50	50,36
<b>8</b>	1,99	1,53	1,85	17,52	22,89
<b>9</b>	3,87	7,58	3,12	30,12	44,69
<b>10</b>	3,63	4,89	2,23	30,23	40,98
<b>11</b>	3,43	3,55	3,36	34,29	44,63
<b>12</b>	1,81	2,15	2,18	15,17	21,31
<b>13</b>	1,27	2,35	3,03	19,21	25,86
<b>14</b>	1,28	2,73	2,70	23,08	29,79
<b>15</b>	3,66	3,59	3,85	35,25	46,35
<b>Média</b>	2,93	3,78	2,86	29,01	38,59

Segundo Nutto et al. (2002), 1 tonelada de carbono corresponde a 3,66 toneladas de CO<sub>2</sub> assimiladas. Considerando a informação acima, a Tabela 7 apresenta a quantidade de CO<sub>2</sub> assimilada pelos clones de eucaliptos.

**Tabela 7-** Quantidade de CO<sub>2</sub> em t ha<sup>-1</sup> assimilada pelos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>CO<sub>2</sub> (t ha<sup>-1</sup>)</b>					
<b>Tratamentos</b>	<b>Folhas</b>	<b>Galhos</b>	<b>Cascas</b>	<b>Fuste</b>	<b>Total</b>
<b>1</b>	9,22	5,75	8,09	76,38	99,44
<b>2</b>	12,70	16,21	9,59	113,42	151,93
<b>3</b>	10,17	12,11	7,39	89,27	118,95
<b>4</b>	13,32	15,88	11,46	114,38	155,04
<b>5</b>	12,30	11,57	10,98	141,93	176,78
<b>6</b>	14,97	25,88	12,59	166,68	220,11
<b>7</b>	11,42	16,54	15,45	140,91	184,32
<b>8</b>	7,28	5,60	6,77	64,12	83,78
<b>9</b>	14,16	27,74	11,42	110,24	163,57
<b>10</b>	13,29	17,90	8,16	110,64	149,99
<b>11</b>	12,55	12,99	12,30	125,50	163,35
<b>12</b>	6,62	7,87	7,98	55,52	77,99
<b>13</b>	4,65	8,60	11,09	70,31	94,65
<b>14</b>	4,68	9,99	9,88	84,47	109,03
<b>15</b>	13,40	13,14	14,09	129,02	169,64
<b>Média</b>	10,72	13,85	10,48	106,19	141,24

Segundo Mora e Garcia (2000), um hectare de floresta jovem de eucalipto fixa, em média, 35 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano, ou seja em 4 anos fixaria 140 toneladas. O experimento de clones de eucalipto cultivados em Araripina, com idade de 4,5 anos, fixou em média 141,24 t ha<sup>-1</sup>, demonstrando ser similar à informação citada.

#### **4.5 Acúmulo de Biomassa e de Carbono em Componentes da Biomassa Aérea**

As biomassas aéreas totais dos clones de eucalipto no experimento de Araripina, nos 15 tratamentos, foram determinadas em 62,08; 92,27; 70,27; 95,36; 104,75; 132,13; 119,35; 58,60; 107,06; 92,51; 109,93; 50,87; 61,17; 69,90; 93,76 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Os teores de carbono totais dos clones de eucaliptos do experimento de Araripina, nos 15 tratamentos, foram estimados em 27,17; 41,51; 32,50; 42,36; 48,30; 60,14; 50,36; 22,89; 44,69; 40,98; 44,63; 21,31; 25,86; 29,79;

46,35 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 8), representando em porcentagem 43,8%; 45,0%; 46,3%; 44,4%; 46,1%; 45,5%; 42,2%; 39,1%; 41,7%; 44,3%; 40,6%; 41,9%; 42,3%; 42,6% e 49,4% da biomassa total.

As diferenças na produção de biomassa vegetal são naturais, pois o aumento de biomassa dos vegetais depende de diversos fatores como: potencial genético para fixar carbono e absorver água e nutrientes, condições edafoclimáticas, doenças, pragas, competição com outras plantas, entre outros (LADEIRA et al., 2001).

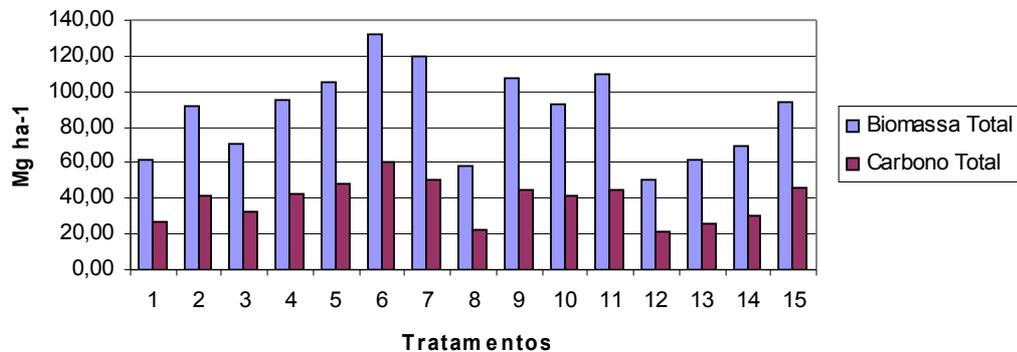
O clone mais produtivo, em termos de biomassa, foi o que fixou mais carbono, no caso o tratamento 6 Híbrido de *E. urophylla* x *E. tereticornis* x *E. pellita* (polinização controlada) e o que menos fixou foi o que produziu menos biomassa, o tratamento 12- Híbrido de *E. brassiana* (cruzamento natural), mostrando assim, que há uma relação entre a produção de biomassa e o teor de carbono fixado.

Balbinot et al. (2003), estudando *Pinus taeda* aos 5 anos de idade, estimaram biomassa e carbono, encontrando os seguintes valores de biomassa dos componentes madeira, raízes, acículas, galhos e casca, 18,4; 8,3; 6,9; 5,2 e 2,7 t ha<sup>-1</sup>. O carbono acumulado nestes componentes foi de 8,4; 3,6; 3,3; 2,5 e 1,1 t ha<sup>-1</sup>. As porcentagens de carbono acumulado nestes componentes, respectivamente, foram 45,7%; 43,3%; 47,8%; 48,0% e 40,7%.

Para florestas de *Acacia mearnsii* com 6 anos, foram encontrados os seguintes resultados quanto à biomassa seca dos componentes folhas, galhos, casca, madeira e raízes, 7,58; 3,35; 16,23; 7,85; 90,98 e 12,66 t ha<sup>-1</sup>. O carbono acumulado nestes componentes foi de 3,43; 1,38; 6,29; 3,01; 36,63 e 5,02 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, representando em porcentagem 45,3%; 41,2%; 38,8%; 38,3%; 40,3% e 39,7% da biomassa (SCHUMACHER et al., 2001).

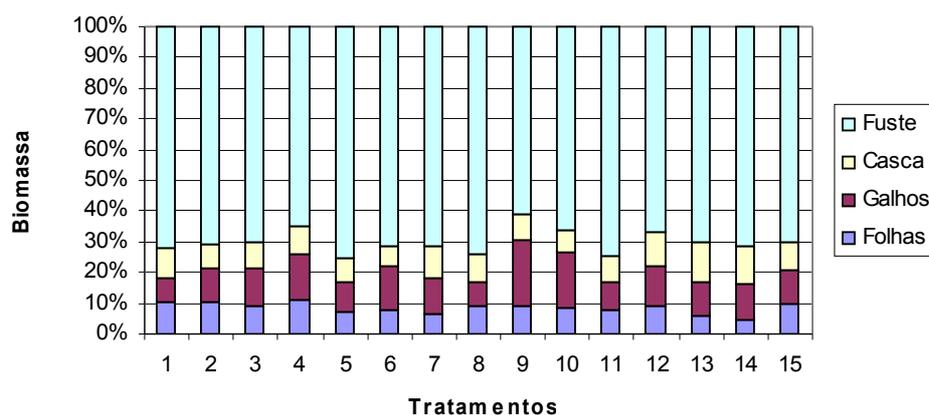
No presente estudo, encontraram-se os seguintes resultados quanto a biomassa dos componentes fuste, galhos, casca e folhas, 61,61; 11,05; 7,90 e 7,44 t ha<sup>-1</sup>, que resultou em um acúmulo de carbono, para os mesmos componentes, 29,01; 3,78; 2,86 e 2,93 t ha<sup>-1</sup>. Em porcentagem, esses valores representam, respectivamente, 47,0%; 34,2%; 36,2% e 39,4% da biomassa. Os dados não foram

tão similares aos dos trabalhos acima citados, mas isso se explica pelo fato de que as espécies e as idades são diferentes.

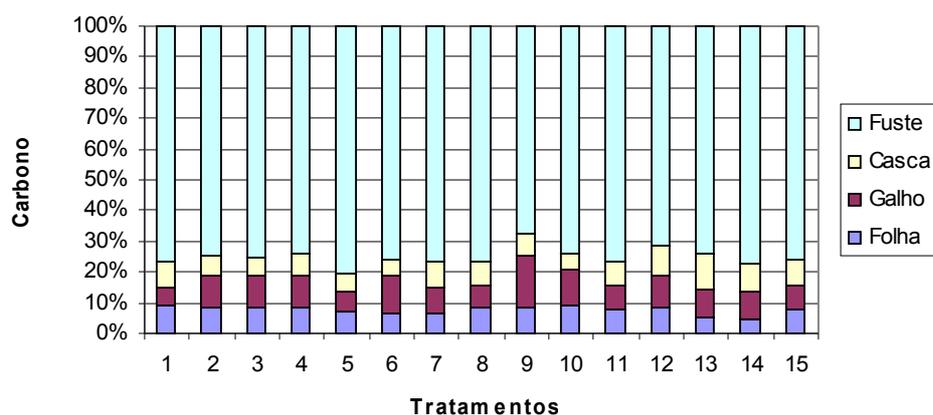


**Figura 8** – Acúmulo de biomassa e carbono em clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

Analisando-se a alocação de biomassa aérea observou-se que a maior contribuição foi para fuste, seguida dos galhos, casca e folhas (Figura 9). Na distribuição de carbono houve uma inversão dos componentes casca e folha em relação à biomassa, ficando assim distribuídos: fuste>galhos>folhas>casca (Figura 10).



**Figura 9** – Distribuição em porcentagem da biomassa aérea de clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.



**Figura 10** – Distribuição em porcentagem do carbono aéreo em clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

## 4.6 Análise Estatística

### 4.6.1 Análise de Variância do Fator de Forma

A Tabela 8 apresenta a análise de variância do fator de forma dos clones de eucaliptos. Para este houve diferença altamente significativa entre os tratamentos.

**Tabela 8-** Análise de Variância do fator de forma utilizado na determinação do volume dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>F.V.</b>	<b>G.L</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Tratamentos</b>	14	0,17925	0,01280	5,9978**
<b>Resíduo</b>	180	0,38425	0,00213	
<b>Total</b>	194	0,56350		

\*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade (valor  $p < .01$ )

A Tabela 9 mostra a comparação de médias pelo Teste de Scott-Knott do fator de forma. Os tratamentos 12, 13, 2, 11 e 6 não diferiram entre si, mas diferiram dos demais tratamentos. O tratamento 8 diferiu dos demais.

**Tabela 9-** Comparação de médias pelo teste de Scott-Knott do fator de forma utilizado na determinação do volume dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>
1	0,69 a
14	0,68 a
15	0,67 a
3	0,66 a
4	0,66 a
9	0,66 a
10	0,66 a
7	0,65 a
5	0,64 a
12	0,63 b
13	0,63 b
2	0,63 b
11	0,62 b
6	0,62 b
8	0,57 c
<b>CV%</b>	<b>7,22</b>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4.6.2 Análise de Variância da Biomassa

Em relação à produção de biomassa houve diferença entre os tratamentos dos componentes folha, galho e fuste. Já para o componente casca não houve diferença significativa entre os tratamentos.

A Tabela 10 apresenta a análise de variância da biomassa da casca. Para este componente não houve diferença significativa entre os tratamentos.

**Tabela 10-** Análise de Variância da produção de biomassa da casca dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>F.V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
-------------	-------------	-------------	-------------	----------

<b>Tratamentos</b>	14	276,98288	19,78449	1,4539 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	75	1020,56713	13,60756	
<b>Total</b>	89	1297,55001		

ns - não significativo (valor p  $\geq$  .05)

Para o componente folha houve diferença significativa entre os tratamentos. Os tratamentos 1; 3; 8; 12; 13 e 14 não diferiram entre si, mas diferiram dos demais, pelo teste de Scott-Knott, como mostram as tabelas 11 e 12.

**Tabela 11-** Análise de Variância da produção de biomassa das folhas dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>F.V.</b>	<b>G.L</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Tratamentos</b>	14	509,81994	36,41571	1,9464 *
<b>Resíduo</b>	75	1403,19568	18,70928	
<b>Total</b>	89	1913,01562		

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade (valor p  $<$  .05)

**Tabela 12-** Comparação de médias pelo teste de Scott-Knott da produção de biomassa das folhas dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>
4	10,7310 a
6	10,4763 a
9	9,6147 a
2	9,5392 a
15	9,0162 a
11	8,7933 a
7	8,0852 a
10	7,7187 a
5	7,5938 a
1	6,4427 b
3	5,3662 b
8	4,7695 b
12	4,6688 b
13	3,6342 b
14	3,3692 b
<b>CV%</b>	<b>31,22</b>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

As Tabelas 13 e 14 apresentam a análise de variância e a comparação de médias pelo teste de Scott-Knott da biomassa do fuste, respectivamente. Para este componente houve diferença altamente significativa entre os tratamentos.

**Tabela 13-** Análise de Variância da produção de biomassa do fuste dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>F.V.</b>	<b>G.L</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Tratamentos</b>	14	27249,23460	1946,37390	3,5144 **
<b>Resíduo</b>	75	41537,26899	553,83025	
<b>Total</b>	89	68786,50359		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (valor  $p < .01$ )

**Tabela 14-** Comparação de médias pelo teste de Scott-Knott da produção de biomassa do fuste dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>
6	94,5110 a
7	85,1163 a
11	82,3318 a
5	70,5988 b
15	65,7212 b
2	65,0780 b
4	61,7583 b
10	61,1125 b
9	58,5768 b
14	50,0397 c
1	44,7307 c
13	42,8523 c
8	41,4720 c
3	40,1787 c
12	33,8948 c
<b>CV%</b>	<b>8,81</b>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Pela análise de variância da produção de biomassa dos galhos houve diferença altamente significativa entre os tratamentos (Tabela 15).

**Tabela 15-** Análise de Variância da produção de biomassa dos galhos dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>F.V.</b>	<b>G.L</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Tratamentos</b>	14	1923,03790	137,35985	3,7224 **
<b>Resíduo</b>	75	2767,55692	36,90076	
<b>Total</b>	89	4690,59482		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (valor  $p < .01$ )

**Tabela 16-** Comparação de médias pelo teste de Scott-Knott da produção de biomassa dos galhos dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>
6	19,0792 a
9	18,3975 a
10	16,7407 a
4	14,1897 a
7	13,8527 a
15	10,1762 b
2	10,0045 b
5	9,5520 b
11	9,4902 b
14	7,9147 b
3	6,7337 b
13	6,7058 b
12	6,5743 b
8	4,6880 b
1	4,6592 b
<b>CV%</b>	<b>22,74</b>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Em relação à biomassa do galho houve diferença entre os tratamentos pelo teste de Scott-Knott (Tabela 16). Os tratamentos 6; 9; 10; 4 e 7 não diferiram entre si, mas diferiram dos demais.

#### 4.6.3 Análise de Variância da quantidade de Carbono

Houve diferença entre os tratamentos dos componentes galho e fuste, em relação à quantidade de carbono. Já para os componentes casca e folha não houve diferença significativa entre os tratamentos.

A tabela 17 apresenta a análise de variância, indicando que houve diferença altamente significativa entre os tratamentos em termos de quantidade de carbono dos galhos.

**Tabela 17-** Análise de Variância da quantidade de carbono dos galhos dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>F.V.</b>	<b>G.L</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Tratamentos</b>	14	218,36919	15,59780	2,8522 **
<b>Resíduo</b>	75	410,14569	5,46861	
<b>Total</b>	89	628,51488		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (valor  $p < .01$ )

**Tabela 18-** Comparação de médias pelo teste de Scott-Knott da quantidade de carbono dos galhos dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>
6	7,0682 a
9	6,0657 a
10	4,8933 a
7	4,5243 a
2	4,4310 a
4	4,3387 a
15	3,5873 b
11	3,5523 b
5	3,0895 b
14	2,7342 b
3	2,4402 b
13	2,3532 b
12	2,1452 b
1	1,5698 b
8	1,5073 b
<b>CV%</b>	<b>27,60</b>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

As médias dos tratamentos 6; 9; 10; 7; 2 e 4 diferiram das médias dos demais e são semelhantes entre si, pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 18).

<b>F.V.</b>	<b>G.L</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Tratamentos</b>	14	43,13255	3,08090	1,2302 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	75	187,82790	2,50437	
<b>Total</b>	89	230,96045		

A tabela 19 apresenta a análise de variância da quantidade de carbono da casca. Para este componente não houve diferença significativa entre os tratamentos.

**Tabela 19-** Análise de Variância da quantidade de carbono da casca dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

ns não significativo (valor  $p \geq .05$ )

A Tabela 20 mostra a análise de variância da quantidade de carbono das folhas, indicando que não houve diferença significativa entre os tratamentos.

**Tabela 20-** Análise de Variância da quantidade de carbono das folhas dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>F.V.</b>	<b>G.L</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Tratamentos</b>	14	78,75462	5,62533	1,8055 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	75	233,67090	3,11561	
<b>Total</b>	89	312,42552		

ns não significativo (valor  $p \geq .05$ )

Houve diferença altamente significativa entre os tratamentos em termos de quantidade de carbono do fuste (Tabela 21).

**Tabela 21-** Análise de Variância da quantidade de carbono do fuste dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>F.V.</b>	<b>G.L</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
<b>Tratamentos</b>	14	6668,12979	476,29499	3,4889 <sup>**</sup>
<b>Resíduo</b>	75	10238,80629	136,51742	
<b>Total</b>	89	16906,93608		

<sup>\*\*</sup> significativo ao nível de 1% de probabilidade (valor  $p < .01$ )

**Tabela 22-** Comparação de médias pelo teste de Scott-Knott da quantidade de carbono do fuste dos clones de eucalipto, cultivados em Araripina-PE.

<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>
6	45,5420 a
7	38,4968 a
5	36,1162 a
15	35,2550 a
11	34,2867 a
4	31,2453 a
2	30,9942 a
10	30,2257 a
9	26,7400 b
14	23,0760 b

1	20,8702	b
3	19,6237	b
13	19,2070	b
8	16,9040	b
12	15,1688	b

---

**CV%**                      **11,19**

---

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

A Tabela 22 apresenta a comparação de médias pelo teste de Scott-Knott da quantidade de carbono do fuste. As médias dos tratamentos 9; 14; 1; 3; 13; 8 e 12 não diferiram entre si, mas diferiram das demais.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O teor de umidade dos eucaliptos estudados é em média 47,15% de seu peso total, e o peso de material seco representa 52,85% da massa fresca.

A densidade média básica da madeira situou-se entre 0,536 e 0,653 g/cm<sup>3</sup>.

O teor de carbono orgânico total encontrado nos clones de eucaliptos foi em média 46,97%; 38,95%; 35,64% e 34,74%, respectivamente para os componentes fuste, folha, casca e galho, com variação entre os tratamentos estudados.

O fuste é o componente da árvore que mais contribui, em média, para o total de carbono da parte aérea (75%), seguido por galhos (10%), folhas (8%) e casca (7%).

A biomassa total, aos 4,5 anos de idade, foi de 88,00 t ha<sup>-1</sup>, sendo 70% distribuídas no fuste, 13% nos galhos, 9% na casca e 8% nas folhas. Quanto ao teor de carbono houve uma inversão dos componentes casca e folha em relação à biomassa, ficando assim distribuídos: fuste, galhos, folhas e casca.

No povoamento estudado, 29,01 toneladas de carbono por hectare estão estocadas no fuste das árvores; 3,78 nos galhos; 2,93 nas folhas e 2,86 nas cascas, totalizando 38,59 toneladas de carbono total por hectare, aos 4,5 anos de idade.

Houve diferença entre os tratamentos dos componentes folhas, galhos e fuste, quanto à produção de biomassa. Já para o componente casca não houve diferença significativa entre os tratamentos. Quanto ao teor de carbono houve diferença entre os tratamentos dos componentes galhos e fuste. Para os componentes casca e folhas não houve diferença significativa entre os tratamentos.

As espécies estudadas apresentam um bom potencial para seqüestro de carbono. O tratamento 6 - clone do Híbrido de *E. urophylla* x *E. tereticornis* x *E. pellita* (polinização controlada), foi o que mais fixou carbono e o que produziu mais biomassa.

O eucalipto é uma boa para a Região do Araripe em termos energéticos e de seqüestro de carbono.

Recomendam-se estudos de diferentes densidades populacionais, espaçamentos, pois ainda se pode aumentar a produtividade; uso de modelagem para estimativa de biomassa e carbono.

## **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABRAHAMSON, W.G.; GADGIL, M. Growth and reproductive effect in *Goldenrods solidago* (compositae). **American Naturalist**, Lancaster, v. 107, p. 651-661, 1973.

ALBUQUERQUE, P. A., **Diagnóstico Ambiental e Questões Estratégicas: Uma Análise Considerando o Pólo Gesseiro do Sertão do Araripe – Estado de Pernambuco**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Curitiba. UFPR, 2002. 185p

AMBIENTE BRASIL. **Seqüestro de carbono na Amazônia e o ZEE**. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./natural/index.html&conteudo=./natural/artigos/amazonia.html>>. Acesso em: 12 de julho de 2005.

ANDRADE, E. N. **O Eucalipto**. 2ª Edição. Impresso nas Oficinas Tipográficas da Companhia Paulista de Estradas de Ferro. São Paulo, 1961. 667p.

**ARARIPINA**. Disponível em: <<http://www.araripina.com.br/cidade/gipsita.php>>. Acesso em 02 de nov. de 2005

ÁRVORES BRASIL. **Reflorestamento – Seqüestro de carbono**. Disponível em: <[http://www.arvoresbrasil.com.br/?pg=reflorestamento\\_seqüestro](http://www.arvoresbrasil.com.br/?pg=reflorestamento_seqüestro)>. Acesso em: 27 de maio de 2005.

BALBINOT, R. et al. Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista Ciências Exatas e Naturais**. v.5, n.1, Jan/Jun, 2003.

BARROS N.F.; NOVAIS, R.F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, Editora Folha de Viçosa, 1990. 430p.

BELLOTE, A.F.J.; SARRUGE, F.R.; OLIVEIRA, G.D. Absorção de macronutrientes e de micronutrientes pelo *Eucalyptus grandis* (Hill, Ex-Maiden) em função da idade. **Silvicultura**, v.8, n.32, p.633-642, 1983.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Métodos de avaliação química em plantas**. Recife:UFRPE, 2004. 149p.

BORGES, L. C.; FERREIRA, D. F. Poder e taxas de erro tipo I dos testes de Scott-Knott, Tukey e Student-Newman-Keuls sob distribuições normal e não normais dos resíduos. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 21, n. 1, p.67-83, 2003.

CALDEIRA, M.V.W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild)**. 1998. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998.

CALLENDAR, G. S. The Artificial Production of Carbon Dioxide and Its Influence on Temperature. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Poona, v. 64, p. 223-237, 1938.

CALLIL, F. N. et al. Biomassa em um sistema silvipastoril com *Acacia mearnsii* De Wild. na região sul do Brasil. **Biomassa e Energia**, Viçosa-MG, v.1, n.2, p.165-171, 2004.

CAMPOS, C. P. **A conservação das florestas no Brasil, mudança do clima e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. 2001. 169f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

CHACON, J. O seqüestro de carbono e a floresta amazônica. **Revista do CREA**. Rio de Janeiro, v.5, p. 55-59, 2000.

COSTA, J. C. A. **Fixação de carbono e produção de biomassa pela cupiúva (*Tapirira guianensis* Aubl.), em um fragmento manejado de Mata Atlântica, Município de Goiana – PE**. 2004. 109f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2004.

CRONIN, L. **Key Guide to Australian Trees**. Envirobook, 2000.

CURLIN, J.W. Nutrient cycling as a factor in site productivity and forest fertilization. In: YOUNGBERG, C.T.; DAVEY, C.B. (Ed). **Tree growth and forest soils**. Oregon: Oregon State University Press, 1970. p. 313-326.

DYSON, F. J. Can we control the carbon dioxide in the atmosphere? **Energy**, Oxford, v. 2, p. 287-291, 1977.

ENCARNAÇÃO, C. R. F. **Observações meteorológicas e tipos climáticos das unidades e campos experimentais da empresa IPA**. Recife: IPA, 1980

FEARNSIDE, P. M. Biomassa das florestas amazônicas brasileiras. In: EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO<sub>2</sub> – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994. Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: 1994. p.95-124.

FEARNSIDE, P. M. **As Florestas e a Mitigação do Efeito Estufa no Brasil: oportunidades no setor florestal para a mitigação do efeito estufa sob o “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo”**. In: FEARNSIDE, P. M. A Floresta Amazônica nas Mudanças Globais. INPA, Manaus, 2003. p. 69-91.

FERREIRA, D. F.; MUNIZ, J. A.; AQUINO, L. H. Comparações múltiplas em experimentos com grande número de tratamentos- utilização do teste de Scott-Knott. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.23,n. 3, p.745-752, 1999.

FLOR, A. **Brasil é o segundo no mercado de carbono**. Disponível em: <<http://www.gabeira.com.br/noticias/noticia.asp?id=2791>> Acesso em: 20 de nov. de 2006.

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, Piracicaba, SP, n. 2/3, p.65-74, 1971.

FOELKEL, C. E. B. **Eucaliptos: as mais altas e mais produtivas árvores do planeta.** Disponível em: <[http://www.eucalyptus.com.br/newspt\\_out05.html](http://www.eucalyptus.com.br/newspt_out05.html)> Acesso em: 08 de nov. de 2006.

FOLHA DE SÃO PAULO. **China vira maior emissor global de carbono em 2009.** Disponível em: <<http://www.gabeira.com.br/noticias/noticia.asp?id=2773>> Acesso em: 20 de nov. de 2006.

FORMENTI, L. **Proposta do País para conter aquecimento não empolga.** Disponível em: <<http://www.gabeira.com.br/noticias/noticia.asp?id=2804>> Acesso em: 20 de nov. de 2006.

FRANCO, J. **Eucalipto** in "Enciclopédia Verbo Luso-Brasileira da Cultura, Edição Século XXI", Volume XI, Editorial Verbo, Braga, 1999.

FREITAS, R. et al. Biomassa e conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden plantado em solo sujeito a arenização, no município de Alegrete-RS. **Biomassa e Energia**, Viçosa-MG, v.1, n.1, p.93-104, 2004.

GADELHA, F. H. L. et al. Análise do Crescimento de Híbridos de *Eucalyptus* spp. na Região do Pólo Gesseiro de Pernambuco. In: Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX, VI. 2006. **Anais eletrônicos...** Recife: UFRPE, 2006.

GAUDARD, D. M. **O Ciclo do carbono e o efeito estufa.** Disponível em: <<http://www.ecodebate.com.br>>. Acesso em: 22 de nov. de 2006.

GOLDEMBERG, J. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento.** Trad. André Koch, São Paulo: Edusp, 1998. 233p.

\_\_\_\_\_. Amazônia e o Protocolo de Kyoto. **Jornal O Estado de São Paulo**. São Paulo, 4 set. 2001.

GONÇALVES, J.L.M.; BARROS, N.F.; NAMBIAR, E.K.S.; NOVAIS, R.F. Soil and stand management for short-rotation plantations. In: NAMBIAR, E.D.S.; BROWN, A.G., ed. **Management of soil nutrients and water in tropical plantations forest**. Canberra: ACIAR, 1997. p.379-418.

GUTIÉRREZ, V.H.; LOPERA, G.J. Flujo de carbono y respuesta a diferentes estrategias de manejo en plantaciones tropicales de *Pinus patula*. In: Simpósio Internacional: Medición y Monitoreo de Carbono em Ecosistemas Forestales, Valdivia-Chile, 2001.

HASSE, G. **Eucalipto**: Histórias de um imigrante vegetal. Porto Alegre: JÁ Editores, 2006. 127p.

HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, n. 2, p. 153-166, 1998.

HILLIS, W.E.; BROWN, A.G. (Eds.) **Eucalyptus for wood production**. Melbourne: CSIRO, 1978.

HOLLIDAY, I. **A field guide to Australian trees (3rd edition)**. Reed New Holland, 2002.

HOUGHTON, R. A. The worldwide extent of land-use change. **BioScience**, v.44, n.5, p.305-313, 1994.

IPCC Workshop on Describing Scientific Uncertainties in Climate Change to Support Analysis of Risk and of Options – **IPCC, 2004**. National University of Ireland, Maynooth, Co. Kildare, Ireland, 11-13 May, 2004.

KRAMER, R. J.; KOSLOWSKI, T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Kalouste Goulbenkian, 1972. 745p.

KRAPFENBAUER, A.; ANDRAE, F. Inventur einer 17 jaehrigen Araukarienaufforstung in Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brasilien. Teil I: Biomasseninventur. **Centralblatt fuer das Gesamte Forstwesen**, v.93, n. 2, p. 70-87, 1976.

LADEIRA, C. B. et al. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos, em uma seqüência de idade. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.25, n.1, p.69-78, 2001.

LEDIG, F. T.; KITZMILLER, J. H. Gentic strategies for reforestation in the face of global climate change. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 50, p. 153-169, 1992.

LIMA, T. G. **Variações no sentido radial e longitudinal de algumas propriedades das madeiras de *Eucalyptus microcorys* F. Muell e *Eucalyptus pilularis* Sm.** 1996. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

LIMA, W. P. **O reflorestamento com eucalipto e seus impactos ambientais.**

São Paulo: Art Press, 1987. 114p.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria.** Curitiba: A. Figueiredo Filho, 2003. 309p.

MAN YU, C. M. **Seqüestro florestal de Carbono no Brasil:** dimensões políticas socioeconômicas e ecológicas. São Paulo: Annablume; IEB, 2004. 280p.

MARTINELLI, L. A. et al. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO<sub>2</sub>, Rio de Janeiro, 1994. **Anais...** Rio de Janeiro, Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 199-218.

MATSUURA, L. **Compra casada: STF vai decidir a que pertencem os créditos de carbono.** Revista Consultor Jurídico, 7 de janeiro de 2007. Disponível em: <<http://conjur.estadao.com.br/static/text/51661,1>> Acesso em: 14 de jan. de 2007.

MAY, P. H.; PEREIRA, A. S. Economia do aquecimento global. In: MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. **Economia do meio ambiente:** teoria e prática. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

MCT - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Brasil: Campeão do Eucalipto.** Disponível em: <<http://ftp.mct.gov.br/especial./genolyptus4.htm>> Acesso em: 09 de nov. de 2006.

MOLICA, S.G. **Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto em duas regiões bioclimáticas em Minas Gerais.** Viçosa, 1992. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa

MORA, A.L.; GARCIA, C.H. **A cultura do eucalipto no Brasil (Eucalypt cultivation in Brazil).** São Paulo: SBS - Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112 p.

MORAES, G. L.; C. F. O. SILVA. **Controle Ambiental da CPRH no Pólo Gesseiro do Araripe.** Disponível em: <<http://www.sne.org.br>> Acesso em: 02 de nov. de 2005.

**MUNICÍPIOS.** Disponível em: <<http://www.municipios.pe.gov.br>> Acesso em: 02 de nov. de 2005.

NISHI, M. H. et al. Influência dos créditos de carbono na viabilidade financeira de três projetos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 263-270, 2005.

NOGUEIRA, M.; LORA, S. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações.** 2ª ed. São Paulo: Interciência, 2003. 199p.

NUTTO, L. et al. O mercado internacional de CO<sub>2</sub>: impacto das florestas naturais e das plantações. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Ed.). **As florestas e o carbono.** Curitiba: 2002. p. 89-108.

PAULA, R.C.; PIRES, I.E.; BARROS, N.F.; BORGES, R.C.G. Exportação de nutrientes por famílias de meio-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis*. In: IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts, 1997. **Proceedings.** Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1997. v.1, p.200-205.

PEREIRA, A.R. **Biomassa e ciclagem de nutrientes minerais em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* em região de cerrado.** Viçosa, 1990. 167p. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

PEREIRA, J. C. et al. Estimativa do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Acacia mearnsii* de Wild. No Rio Grande do Sul – Brasil. **Revista Árvore**, viçosa – MG, v. 24, n.2, p. 193-199, 2000.

PHILOMENA, A.L.; ROHDE, G. M. Emissão antropogênica de CO<sub>2</sub> e sustentabilidade. **Revista Ciência Hoje**, p. 4-5, out-dez, 2004.

**PROTOCOLO DE KYOTO, 1997.** Disponível em: <[http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/TXT\\_LI\\_22177\\_1\\_0001.htm](http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/TXT_LI_22177_1_0001.htm)>. Acesso em: 15 de abril de 2005.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal.** 5 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 728p.

REIS, M.G.F. et al. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no solo de cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, v.9, p.149-162, 1985.

REIS, M. G. F. et al. Seqüestro e armazenamento de carbono em florestas nativas e plantadas dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. In: EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO<sub>2</sub> – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994. Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro,: 1994. p.155-195.

RIBASKI, J. Sistemas agroflorestais para o desenvolvimento sustentável do semi-árido. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1 1994, Porto Velho. **Anais...** Colombo/EMBRAPA – CNPF, 1994. p. 149 – 158.

RIBEIRO, F.A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. **IPEF**, v.46, p.76-85, 1993.

ROCHA, M. T. **Aquecimento global e o mercado de carbono**: uma aplicação do modelo CERT. 2003. 137f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ, Piracicaba, 2003.

SAGAN, C. **Cosmos**. Ed. Francisco Alves; trad. Ângela do Nascimento Machado. Revisão Técnica: Airton Lugarinho de Lima Câmara. Rio de Janeiro, 1982. 364p.

SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: As Florestas e o Carbono. Curitiba: UFPR, 2002. p. 119-140.

SANTANA, R. C.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Produção de biomassa de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* em alguns sítios de florestais do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, **Anais...**Viçosa: 1995. p.864-865.

SANTOS, P.S., SOLANGE, E., PAREYN, F. **Consumo de energéticos florestais do setor industrial/comercial no Estado de Pernambuco**. Recife: PNUD / FAO / IBAMA /GOV. DE PERNAMBUCO, 1993. 70p.

SCARPINELLA, G. D' A. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Kyoto**. 2002. 182f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo. São Paulo,SP, 2002.

SCHUMACHER, M. V. Estudo da biomassa e dos nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) subespécie *bicostata*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n.2, p.281-286, 1998.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n. 1, p. 45-53, 2001

SCHUMACHER, M. V. et al. Quantificação do carbono orgânico em floresta de *Acacia mearnsii* De Wild em diferentes idades. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 2., 2001, Santa Maria- RS, **Anais...** Santa Maria: 2001. p.387-399.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v.30, p.507-512, 1974.

SILVA, E. C.; FERREIRA, D. F.; BEARZOTI, E. Avaliação do poder e taxas de erro tipo I do teste de Scott-Knott por meio do método de Monte Carlo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.23, n. 3, p.687-696, 1999.

SILVA, H.D.; POGGIANI, F.; COELHO, L.C. Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus* plantadas em solos de baixa fertilidade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.6/7, p.9-25, 1983.

SILVA, J. C. **Parâmetros da densidade da madeira**. Piracicaba: ESALQ, 1984. 82p.

SILVA, J. C. Eucalipto – a madeira do futuro. **Revista da Madeira**. Curitiba, 2001. 114p.

**SINDUSGESSO** - Sindicato das Indústrias do Gesso. Disponível em: <<http://www.sindusgesso.org.br>> Acesso em: 02 de nov. de 2005

SOARES, C. P. B. **Modelos para estimar a biomassa de parte aérea em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, na Região de Viçosa Minas Gerais**. 1995. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 1995.

SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de Eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**. Viçosa (MG),v.26, n.5, p.533-539, 2002.



SOCIEDADE DE PESQUISA EM VIDA SELVAGEM E EDUCAÇÃO AMBIENTAL - SPVS. **Projetos Seqüestros de carbono**. Disponível em: <[http://www.spvs.org.br/projetos/sdc\\_index.php](http://www.spvs.org.br/projetos/sdc_index.php)> Acesso em: 12 de julho de 2005.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, v.29, p.37-45, 1985.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – UNFCCC. **Protocolo de Kyoto**. 2 ed. Brasília: MCT, 2001. 34p.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico. SIF**, Viçosa, MG. n.1, p. 1-12, 1984.

VITAL, B.R. et al. **Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado na região do cerrado de Minas Gerais**. Brasília: IBDF, 1987. p.49-52 (Boletim Técnico, 8).

WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa de biomassa e carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* L. com Diferentes Idades. **Biomassa e Energia**, Viçosa – MG, v.1, n.4, p. 371-380, 2004

WEBER, K. S. et al. Variação nos teores de carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Revista Brasil Florestal**, Brasília, DF, n. 76, p. 23-28, 2003.