

**DINÂMICA DE CARBONO *Pinus taeda* L. VOLTADAS A EXIGÊNCIAS
CLIMÁTICAS E PRÁTICAS SILVICULTURAIS**

**RELATÓRIO FINAL
PÓS DOUTORADO**

Rosana Clara Victoria Higa
Embrapa Florestas

Orientadores:

Dr. Timothy Martin - University of Florida - School of Forestry and Conservation

Dr. Nicholas Comerford - University of Florida – Soil & Water Science

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a EMBRAPA pela oportunidade.

Aos meus orientadores, Dr. Timothy Martin and Dr. Nicholas Comerford pela orientação e amizade durante todo o período do treinamento.

A **Mobasa** – Modo Battistella Reflorestamento SA, pelo apoio permitindo o uso de dados e suporte com todo o trabalho de campo, sem o qual esse estudo não teria sido possível.

Aos colegas Dr. José Carlos Duarte Pereira pela importante contribuição permitindo o uso comum do mesmo experimento; Cláudia M. B. Maia pelo suporte durante a minha ausência da Embrapa Florestas, assumindo as minhas tarefas.

A minha família pelo suporte e pelo total apoio durante a minha ausência.

Ao demais que de uma forma ou outra contribuíram para o andamento desse trabalho, importante parte da minha vida pessoal e profissional.

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. A espécie.....	4
2.2. Clima.....	4
2.3. Estudos de biomassa.....	5
2.4. Manejo e biomassa.....	8
2.5. Produtividade.....	11
2.6. Carbono orgânico no solo.....	11
2.7. Chão florestal.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1. Local de amostragem.....	15
3.2. Biomassa.....	17
3.3. Inventário florestal.....	18
3.4. Índice de área foliar.....	19
3.5. Dados meteorológicos.....	19
3.6. Solos.....	19
3.7. Matéria orgânica.....	21
3.8. Chão florestal.....	21
3.9. Equação de biomassa.....	21
3.10. Estudos comparativos Brasil-Flórida.....	22
4. RESULTADOS.....	23
4.1. Estimativas de biomassa.....	23
4.2. Comparação de crescimento Brasil-Flórida.....	28
4.3. Alocação de biomassa.....	34
4.3.1. Alocação de biomassa em diferentes espaçamentos.....	34
4.3.1.1. Alocação de biomassa em diferentes espaçamentos por classe de diâmetro.....	37
4.3.1.2 Características de copa em diferentes espaçamentos.....	40
4.3.2. Alocação de biomassa em diferentes regimes de manejo.....	42

4.3.2.1. Alocação de biomassa por classe de diâmetro em diferentes regimes de manejo.....	43
4.3.2.2. Características de copa em diferentes regimes de manejo.....	47
4.4. Matéria orgânica no solo.....	49
5. .CONCLUSÕES.....	52
6. COMENTÁRIOS FINAIS.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
Anexos.....	62

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1. Área de ocorrência natural do <i>P. taeda</i> (Little, 1971).....	4
Figura 2. Localização geográfica da área experimental.....	15
Figura 3. Discos de <i>P. taeda</i> utilizados para o cálculo de biomassa do tronco.....	18
Figura 4. Aspecto da poda em <i>P. taeda</i> em Rio Negrinho (SC).....	20
Figura 5. Aspectos dos solos das áreas experimentais em Rio Negrinho (SC).....	22
Figura 6. Área experimental de <i>P. taeda</i> Alachua County, FL (tratamento com fertirrigação e ao fundo testemunha).....	22
Figura 7. Incremento de biomassa ($Mg\ ha^{-1}$) acima do solo (a), area basal ($m^2\ ha^{-1}$) (b), diâmetro (cm) (c) e altura (m) (d) de <i>P.taeda</i> em diferentes espaçamentos na região de Rio Negrinho (SC).....	25
Figura 8. Incremento de biomassa ($Mg\ ha^{-1}$) acima do solo (a), area basal ($m^2\ ha^{-1}$) (b), diâmetro (cm) (c), altura (m) (d) e sobrevivência de <i>P.taeda</i> em diferentes espaçamentos na região de Rio Negrinho (SC).....	26
Figura 9. Incremento em altura (a) DAP (b) e área basal (c) de <i>P.taeda</i> em diferentes regimes de manejo em Rio Negrinho (SC).....	31
Figura 10. Altura (m) de <i>P.taeda</i> aos 9, 10 e 11 anos de idade plantados na Florida (USA) e Sul do Brasil (FI testemunha sem controle de ervas daninhas e sem fertilização; FL FW: com controle de ervas daninhas e com fertilização e BR sem adubação e com controle de ervas daninhas no primeiro ano).....	28
Figura 11. Área basal ($m^2\ ha^{-1}$) de <i>P.taeda</i> aos 9, 10 e 11 anos de idade plantados na Flórida (USA) e Sul do Brasil (FI testemunha sem controle de ervas daninhas e sem fertilização; FL FW: com controle de ervas daninhas e com fertilização e BR sem adubação e com controle de ervas daninhas no primeiro ano).....	28
Figura 12. Biomassa ($Mg\ ha^{-1}$) de <i>P.taeda</i> aos 9 e 11 anos de idade plantados na Florida (USA) e Sul do Brasil (FI testemunha sem controle de ervas daninhas e sem fertilização; FL FW: com controle de ervas daninhas e com fertilização e BR sem adubação e com controle de ervas daninhas no primeiro ano).....	29
Figura 13. Análise de regressão para altura de <i>P.taeda</i> aos 9 anos de idade plantados na florida (USA) e Sul do Brasil (FI testemunha sem controle de ervas daninhas e sem fertilização; FL FW: com controle de ervas daninhas e com fertilização e BR sem adubação e com controle de ervas daninhas no primeiro ano).....	30
Figura 14. Aspectos da copa de <i>P.taeda</i> na Florida (a) e no sul do Brasil (b).....	31
Figura 15. Dados climáticos (media anual) para Alachua County (FL) e Rio Negrinho (SC).....	31
Figura 16. Quantidade de serapilheira de <i>P.taeda</i> em diferentes espaçamentos na região de Rio Negrinho (sem adubação e com controle de ervas daninhas no primeiro ano) aos 14 anos de idade e na Flórida (USA) (FI testemunha sem controle de ervas daninhas e sem fertilização; FL FW: com controle de ervas daninhas e com fertilização).....	33
Figura 17. Altura, DAP e volume com desvio padrão em <i>P.taeda</i> (I: inferiores; M: Media e S: superiores) aos 14anos de idade em Rio Negrinho (SC).....	37
Figura 18. Alocação de biomassa em <i>P. taeda</i> aos 14 anos de idade em Rio Negrinho (SC)..	38
Figura 19 . Quantidade de folhas (% peso seco) de <i>P.taeda</i> (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 14 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes espaçamentos.....	38

Figura 20. Quantidade de folhas (% de peso seco) em alocação a biomassa seca total de <i>P.taeda</i> (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 14 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes espaçamentos.....	38
Figura 21. Quantidade de madeira (% de peso seco) em relação a biomassa seca total de <i>P.taeda</i> (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 14 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes espaçamentos.....	39
Figura 22. Quantidade de copa (% de peso seco) em relação a biomassa seca total de <i>P.taeda</i> (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 14 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes espaçamentos.....	39
Figura 23. Densidade básica da madeira (g.cm ⁻³) de <i>P.taeda</i> (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 14 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes espaçamentos.....	40
Figura 24. Diferenças nas dimensões de anéis de crescimento de <i>P. taeda</i> de diferentes espaçamentos aos 14 anos de idade plantados em Rio Negrinho, SC.....	41
Figura 25. Comprimento de copa (m) de <i>P.taeda</i> (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 14anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes espaçamentos.....	41
Figura 26. LAI <i>P.taeda</i> (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 14 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes espaçamentos.....	42
Figura 27. Altura e DAP medio individual (cm) de <i>P.taeda</i> (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 18 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.....	43
Figura 28. Alocação de biomassa (%) de <i>P.taeda</i> (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 18 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.....	44
Figura 29. Quantidade de folhas (% peso seco) em <i>P.taeda</i> (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 18anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.....	45
Figura 30. Quantidade de folhas (% de peso seco) em relação a biomassa seca total de <i>P.taeda</i> (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 18 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.....	46
Figura 31. Quantidade de folhas (% peso seco) em relação a biomassa seca total de <i>P.taeda</i> (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 18 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.....	46
Figura 32. Densidade básica da madeira (g/cm ³) de <i>P.taeda</i> (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 18 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.....	47
Figura 33. Comprimento de copa (m) de <i>P.taeda</i> (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 18anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.....	49
Figura 34. LAI <i>P.taeda</i> (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 14 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.....	47
Figura 35. Quantidade de folhas (% peso seco) em relação a biomassa seca total de <i>P.taeda</i> (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 18 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.....	49
Figura 36. Matéria orgânica no solo (g/g de solo) em diferentes regimes de manejo e diferentes espaçamentos.....	49
Figura 37. Quantidade de matéria orgânica nos 10 cm da camada superior de solos (Mg/ha) e densidade inicial de plantio (número de árvores / ha) em Rio Negrinho (SC) aos 14 anos de idade.....	50

Figura 38. Matéria orgânica (LOI %) nas diferentes frações do solo.....	51
Figura 39. Quantidade de serrapilheira no solo (Mg/ha) em diferentes espaçamentos.....	51
Tabela 1. Parâmetros estimados para as equações alométricas desenvolvidas a partir das amostragens destrutivas.....	23
Tabela 2. Características do solo das áreas comparadas (a) Rio Negrinho (SC) e (b) Alachua County.....	32
Tabela 3. Análise granulométrica dos tratamentos de diferentes espaçamentos.....	49

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem aproximadamente cinco milhões de hectares de florestas plantadas, especialmente com espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Estas florestas foram implantadas principalmente entre 1966 e 1987, por empresas privadas, utilizando incentivos fiscais. Atualmente, quase a totalidade da madeira usada para a produção de papel e celulose, chapas de aglomerado e fibras provém de florestas plantadas. Além disto, as florestas de pinus suprem uma parte significativa da produção de serrados, laminados e compensada para o mercado brasileiro (FAO, 2005).

Segundo o relatório do BRDE (2003), o setor florestal brasileiro registrou no ano de 2001 um consumo superior a 300 milhões de m³/ano de madeira roliça para todos os fins, dos quais 166 milhões de m³/ano foram destinados ao uso industrial. Empregou cerca de 2 milhões de pessoas, direta e indiretamente, e gerou aproximadamente US\$ 2 bilhões em impostos. Teve uma participação de 4% na composição do PIB nacional, com um faturamento de US\$ 21 bilhões, e as exportações atingiram cerca de US\$ 4,2 bilhões, o que corresponde a 8% do total de exportações do Brasil. Em 2005 a participação do PIB nacional foi de US\$ 24,3 bilhões e as exportações atingiram cerca de 7,3 bilhões, correspondendo a 6,2% das exportações (ABRAF, 2005).

No final dos anos 80, a crescente competitividade a que se viram submetidas as empresas brasileiras produtoras de serrados, sobretudo as de médio e grande porte, as levou a investir em processos e produtos que agregassem maior valor ao produto serrado (PMVA). A principal matéria-prima utilizada para a fabricação de PMVA é o pinus que provém, principalmente, de florestas plantadas localizadas nos estados do Paraná e de Santa Catarina.

O cenário geral das florestas da Região Sul aponta para um desequilíbrio acentuado entre oferta e demanda, com risco iminente de déficit no fornecimento de madeira, com prejuízos principalmente para os segmentos de serraria e laminação e para a própria indústria moveleira. A crise de

abastecimento de madeiras de florestas comerciais, conhecida como "apagão florestal", já está atingindo, segundo o MMA (Ministério do Meio Ambiente), principalmente a Região Sul e Sudeste desde. Estima-se que o déficit de madeira na Região Sul já ultrapasse atualmente os 80 mil ha/ano. Como consequência, várias empresas estão buscando matéria-prima proveniente do Centro-Oeste e do Norte do Brasil e, até mesmo, de outros países do MERCOSUL, o que aumenta a pressão sobre as florestas nativas na região.

No que se refere aos florestamentos para a indústria, segundo dados da Sociedade Brasileira de Silvicultura - SBS (2001), a Região Sul possuía em 2000 cerca de 27% dos 4,8 milhões de ha de Pinus e Eucalipto plantados no País, sendo que a Região possui 57,6% da área cultivada no País com *Pinus*. Sua maior concentração está no Paraná.

Embora a espécie apresente alta produtividade e seja usada em uma grande extensão de área, pouco se conhece sobre os principais fatores relacionados a esse fato. A maioria das pesquisas relacionadas ao tema foi feita pontualmente, considerando apenas poucos ou um único fator (Fearnside, 1998 e 1999). Para ampliar o conhecimento da ecologia de produção da espécie é necessários o estabelecimento de experimentos com integração de fatores, especialmente enfatizando os aspectos do ambiente. Aspectos ecofisiológicos ligados à produtividade devem ser mais bem conhecidos para aplicação em silvicultura, modelagem e melhoramento. Também, projetos de sequestro de carbono na área florestal para serem usados como MDL, exigem quantificações e estimativas precisas. Estimativas dependem de dados de observação e posterior modelagem para facilitação do processo (Jonhsen et al., 2001). Medidas de mitigação só podem ser tomadas a partir do conhecimento básico prévio de processos.

O conhecimento de como a seleção de espécies e tratamentos silviculturais afetam o potencial de crescimento, ciclagem e sequestro ainda de carbono ainda é relativamente pobre (Maier et al. 2004).

Independente da ratificação do protocolo de Quioto e comercialização de carbono, acordos em relação à emissão de gases de efeito estufa certamente serão implementados. Dessa forma é necessário o desenvolvimento de

técnicas adequadas de monitoramento desses gases assim como suas fontes e sumidouros. Plantações florestais é parte significativa dentro desse contexto, especialmente num país como o Brasil. É importante que lacunas de tecnologias e informações básicas sejam identificadas e priorizadas para a implementação de projetos de pesquisa.

Esse trabalho teve como objetivos analisar:

- práticas de manejo de *P.taeda* no sul do Brasil em relação a acúmulo de biomassa acima do solo e no solo e comparar esses resultados com os observado na Florida, para a mesma espécie.
- indicar ações de pesquisa futuras dentro do tema.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A espécie

Pinus taeda é a espécie florestal economicamente mais importante do sul dos Estados Unidos, onde domina cerca de 11.7 milhões de hectares. A espécie responde a tratamentos silviculturais e pode ser manejada em povoamentos naturais e em plantações. Ocorre em 14 estados desde o sul de Nova Jersey até a região centro sul da Flórida e oeste do Texas. A área inclui a planície Atlântica, planalto de Piedmont e a extremidade sul do planalto de Cumberland, também ocorre nas partes alta do Rim no vale e cume do Apalachian (Little, 1971).



Figura 1. Área de ocorrência natural do *P. taeda* (Little, 1971)

2.2. Clima

O clima da área de ocorrência natural é húmido, temperado quente com verões longo e quente e inverno amenos. A precipitação média anual varia de 1020 a 1520 mm. O período livre de geadas varia de 5 meses, na área norte e 10 meses ao longo da costa dos estados do sul. Temperatura média anual é de 13° C a 24° C, a temperatura média do mês de julho, o mais quente, é de

27° C e frequentemente excede 38° C. A temperatura média do mês de janeiro, o mais frio, varia de 4° C a 16° C e ocasionalmente pode cair até -23° C na área norte da distribuição natural (Little, 1971).

Os principais fatores limitantes a distribuição do *P. taeda* são danos causados por baixas temperaturas no inverno na parte norte e déficit hídrico na parte oeste (Little, 1971).

No Brasil o gênero *Pinus* foi introduzido inicialmente em 1936, através do Serviço Florestal do Estado de São Paulo, vem sendo amplamente utilizado nos programas de reflorestamento no país. Plantios com esse gênero totalizam aproximadamente 1,8 milhões de hectares, o que representa 33% do total de florestas plantadas no Brasil (Fier, 2001). *P. taeda* é uma das espécies mais plantadas nas regiões mais frias do planalto sulino do Brasil, pelo seu elevado incremento volumétrico, além de apresentar teor baixo de resina em sua madeira. No Brasil a espécie é amplamente usada na Região Sul, onde foram instalados vários ensaios de procedências, especialmente no início dos anos 70 com as ações do PRODEPEF (Programa de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal) com contribuição de peritos da FAO. Os resultados mostraram que as procedências de regiões mais quentes cresceram melhor que as de regiões mais frias, e locais mais quentes, como Capão Bonito (SP), mostraram variações mais acentuadas (Shimizu & Higa, 1981). Os resultados dos experimentos dão uma idéia da importância da temperatura média anual na formação de raças geográficas de *P. taeda*.

O *Pinus taeda* é uma das espécies de pinus de maior desenvolvimento em plantios em várias regiões com atividade florestal na região sul do Brasil, alcançando incrementos médios anuais (IMA) superiores a 32 m³ por hectare ano no Sul do Brasil (Ferreira, 2003 não publicado).

2.3. Estudos de biomassa

Embora existam muitos esforços de investigação na quantificação de carbono estocado em ecossistemas e agroecossistemas no Brasil, ainda se constituem

em problemas de pesquisa para o cálculo de emissão de gases do efeito estufa: I - problemas de ordem científica: a) área original de cada ecossistema; b) área total dos tipos de agroecossistemas mais significativos; c) variações de metodologias para realização de estimativas que vão desde inventários florestais, até amostragem para determinação de fitomassa por via direta; d) baixa rede de pontos amostram em áreas de extensões continentais como a Amazônia; II - problemas de ordem organizacional /política/ estrutural: e) baixo interesse nas pesquisas de longo prazo; f) baixa quantidade de pesquisadores no Brasil dedicados a estudos de carbono; g) estímulo tardio através de fomento à pesquisa em linhas dedicadas a estudos de carbono em mudanças climáticas globais. Os resultado do somatório destes problemas são lacunas ainda não preenchidas acerca das estimativas de estoque e dinâmica de carbono para o Brasil.

O estoque de carbono depende da produção total de biomassa da floresta, que por sua vez, é o resultado da diferença entre produção pela fotossíntese e consumo pela respiração e processos de colheita (Brown, 1997). A biomassa florestal é um assunto importante dentro do tema "Mudanças climáticas globais", porque é uma indicação segura da estimativa de carbono. A biomassa também representa o potencial de carbono que pode ser emitido quando a floresta é queimada ou colhida (Martinelli et al., 1994; Brown, 1997,).

A maioria dos dados de biomassa florestal disponível é referente a estudos ecológicos, que são, na maioria dos casos, feitos para caracterizar estruturas regionalizadas de florestas com amostragem reduzida e não suficiente para análises em escala global (Brown, 1997; Salazar, 1999). Esse tipo de estudo é normalmente feito em florestas naturais, onde a diversidade de espécies e a heterogeneidade de idades, formas e tamanhos impõe grande dificuldade ao trabalho. Nas plantações florestais, especialmente onde o grau de melhoramento é mais avançado, o trabalho além de apresentar menor grau de dificuldade, é mais preciso, mas enquanto outros países têm estudado o assunto e organizado seus dados, no Brasil ainda existem muitas lacunas nas informações existentes.

Segundo Brown (1997) os dados disponíveis de biomassa são estimados a partir de dados de inventário florestal (estimativa do volume cilíndrico com casca), que apresenta como aspecto positivo grande número de parcelas e como aspecto negativo, pequeno número de áreas inventariadas na região tropical. No entanto, no setor florestal brasileiro, os plantios comerciais são, via de regra, regularmente inventariada. Conforme discutido por Reis et al. (1994), na última década, o Brasil desenvolveu um grande número de estudos de biomassa de florestas plantadas, principalmente para o gênero *Eucalyptus*. Os autores também comentam que pode ser observada grande variação na biomassa quanto aos diferentes compartimentos, assim como no total dependendo da espécie e do sítio.

Medições diretas de biomassa em florestas, que envolvem amostragem destrutiva, são trabalhosas e caras, portanto existe a necessidade de desenvolvimento de metodologias aceitáveis de baixo grau de dificuldade baixo custo que possam ser verificadas (Brown, 2002, Booth, 2003). Metodologias baseadas em sensoriamento remoto que tenham potencial de aplicação em grandes áreas contínuas, desde que obtenham índices adequados de certeza em suas estimativas, facilitarão uma melhor aproximação dos atuais volumes de fitomassa calculados, sendo potenciais para o refinamento de cálculos para a integração de modelos de emissão de gases do efeito estufa (Brown, 2002).

Também deve ser considerada a escala em que podem ser usados. A escala espacial, ou seja, uso de estimativas desenvolvidas em sítio, região etc, para posterior desenvolvimento de modelos. A escala temporal deve considerar variáveis fisiológicas, edáficas e climáticas, além das práticas de manejo utilizadas, para efetuar projeções futuras (Booth, 2003).

Ainda segundo Booth (2003) estimativa do estoque de carbono é o processo de contagem da quantidade de carbono alocado em diferentes partes do sistema. Existem dois métodos principais para a estimativa do estoque de carbono:

- medições reais da quantidade de carbono presente nas árvores, serrapilheira e solos;

- usando modelos que estimam a quantidade de carbono.

Os modelos usados para estimativas de estoque e dinâmica de carbono em florestas podem ser desenvolvidos baseados em estimativas diretas de biomassa, serrapilheira e respiração do solo, ou a partir de taxas de crescimento e alterações do carbono no solo.

2.4. Manejo e biomassa

Estudos comparativos que examinam a variação de crescimento para diferentes tratamentos em diferentes locais são essenciais para melhorar a nossa habilidade de acessar o potencial biológico de crescimento, entender estratégias de crescimento e as respostas às ações de manejo (Adegebidi et al., 2002; Adegebidi et al., 2005). Martin & Jokela (2004) comentam que um grande número de estudos sobre processos tem sido conduzido para entender a ecologia de produção e ecofisiologia de *P. taeda*. No entanto, aos impactos de silvicultura intensiva nos processos que afetam produtividade ainda não são adequadamente entendidos para a espécie devido à falta de experimentação adequada em todo o ciclo da cultura. Esses autores, analisando a dinâmica de produção de *P.taeda* em diferentes condições ambientais e diferentes práticas silviculturais concluíram que o decréscimo da taxa de crescimento é causado pelos seguintes fatores em potencial: mudança na alocação de carbono da parte aérea para as raízes (especialmente produção de raízes finas); aumento na taxa de respiração em relação à fotossíntese em árvores mais velhas o que reduz o carbono disponível para crescimento; limitação da expansão do sistema radicular devido a restrições físicas e decréscimo do aumento de carbono nas copas devido ao auto sombreamento das partes mais baixas.

Os efeitos das condições ambientais e das práticas silviculturais são evidentes na compartimentação de biomassa, sem, contudo, explicar com precisão esses efeitos. Baldwin et al. (2000) observaram que o desbaste provoca maior efeito no volume de biomassa do que espaçamento, ambos tratamentos afetam a arquitetura e volume da copa afetando a alocação de biomassa.

Sword et al., (2002) concluíram que a produtividade do *P. taeda* entre 11 e 17 anos na região central do estado da Louisiana (EUA), parece ser controlada por interações entre luz, água e área foliar e que os mecanismos de controle diferem entre as densidades de plantio e os efeitos da fertilização se manifestam através de respostas na área foliar.

Sampson & Allen (1999) usando o modelo Biomass encontraram correlação entre a produção primária líquida e o índice de área foliar. Baixos índices de área foliar limitam mais o potencial de crescimento de *P. taeda* do que capacidade de retenção de água.

Apesar de ser pouco utilizado no Brasil, o índice de área foliar, que é uma indicação da arquitetura e tamanho da copa, tem sido uma das medidas mais utilizadas (Dean & Baldwin, 1996; Sampson & Allen, 1999, Martin & Jokela, 2004; Jokela et al., 2004; Hennessey et al., 2004) para correlações com produtividade, assim como indicativo para desbaste, mas é ainda pouco utilizado no Brasil.

Outros aspectos como adubação, espaçamento, matocompetição, poda e desbaste também afetam a alocação de biomassa em *P. taeda* (Naidu et al. 1998; Jokela e Martin, 2000; Will et al., 2002, Burkes et al. 2003; Martin & Jokela, 2004; Maier et al., 2004).

Maier et al. (2004) estudaram o efeito da adubação e irrigação em *P. taeda*. Esses autores concluíram que aumentando a produtividade através do manejo dos recursos do locais, provavelmente resulte em aumento do sequestro de carbono na espécie.

Observações de longa duração têm sido utilizadas para compreensão da dinâmica de carbono, balanço hídrico e fluxos de energia em florestas naturais e plantadas na Flórida. Essas observações, combinadas com avaliações ecológicas e fisiológicas são dados essenciais para a interação entre sequestro de carbono e ciclos globais de nutrientes, poluentes e CO₂ (Gholz et al., 2002). Esses experimentos auxiliam na resposta das seguintes questões: quais são os padrões de troca líquida de CO₂ sobre povoamentos e quais fontes e drenos controlam essa troca; como plantações florestais podem ser

comparadas com sistemas naturais na mesma região; qual é o papel das florestas plantadas em relação ao balanço de carbono, água e energia em curto e longo período de tempo na região; se condições de déficit hídrico prolongado afetam a alocação de carbono e quais os atributos funcionais das árvores interferem nessa resposta.

A alocação de biomassa nas diferentes partes da arvores muda com a idade, qualidade do sitio e praticas silviculturais. Durante o primeiro ano as aciculas podem representar ate 50% do peso seco total. Com a idade, o tronco passa a ser a parte dominante da biomassa (Schultz, 1997). Jokela & Martin, (2000) observaram maior alocação de carbono nos galhos e folhas de *P. taeda* em resposta a fertilização. Xiao (2000) observou diferenças significativas em crescimento de *P.taeda* associado a estrutura da copa.

O efeito de práticas silviculturais no tamanho e estrutura da copa tem sido analisado como indicativo de crescimento de *P.taeda*. Sterba & Amateis (1998) encontraram que a eficiência da copa, definida como a proporção em area de projeção e área basal, diminui com o tamanho.

O desbaste afeta o crescimento de *P. taeda* e o assunto já foi amplamente discutido, mas normalmente do ponto de vista de produção volumétrica e não sobre outros aspectos como biomassa. O crescimento posterior ao desbaste depende da idade, densidade inicial do talhão e qualidade do sitio (Schultz, 1997; Kronka et al., 2005).

Desbaste é normalmente feito para melhorar a qualidade da madeira, mas essa prática pode ter grande impacto na dinâmica de carbono considerando a quantidade de árvores removidas, o destino dos resíduos, alterações nas condições físicas do solo e a capacidade do dossel em capturar carbono da atmosfera (Jarvis et al., 2005). Os autores consideram o assunto de grande importância mas de extrema complexidade e de escasso conhecimento. Ano entanto, mais informações são necessárias para que alterações nas práticas convencionais de manejo proporcionem balanço positivo de carbono tanto na biomassa aérea como no solo, sem afetar a produtividade e a qualidade de forma significativa.

Poda normalmente é usada para melhorar a qualidade da madeira. No Brasil, a desrama natural do *P. taeda* é bastante reduzida quando comparada com a região de ocorrência natural independente da densidade inicial de plantio (Schultz, 1997). Segundo Kronka et al. (2005) é uma operação cara visando a produção de madeira para finalidades mais nobres e deve ser feita evitando a perda de incremento. Stohr et al.¹ (1987) citado por Schultz (1997) observaram que 25 a 40% da copa viva pode ser removida sem afetar significativamente o crescimento, mas a remoção de 60% da copa viva diminui a taxa de crescimento em altura e diâmetro por um ou dois anos.

2.5. Produtividade

Segundo Ferreira (2003, tese de Doutorado, não publicado) *Pinus taeda*, pode alcançar incrementos médios anuais (IMA) superiores a 32 m³ por hectare ano no Sul do Brasil, níveis de produtividade entre os maiores do mundo para espécie. Comparando volumes obtidos em desbastes, Schultz (1997) relata que no estado de Santa Catarina, *P.taeda* produziu 69.3 m³/ha aos 9 anos e 132.3 m³ aos 14 enquanto que no estado da Carolina do Sul, nos Estados Unidos, 69.3 m³ só foi alcançado aos 15 anos de idade por ocasião do primeiro desbaste.

2.6. Carbono orgânico no solo

O estoque mundial de carbono orgânico até 1 m de profundidade é estimado em 1550 Pg, 2.8 vezes o estoque estimado de biomassa. A matéria orgânica no solo é de grande importância na ciclagem global do carbono e os processos envolvidos são extremamente variáveis e dinâmicos (Lal, 2001; Lal, 2005).

A quantidade de carbono orgânico no solo pode ser alterada por uma série de fatores, como a vegetação, manejo e existem poucos trabalhos na área florestal, correlacionando esses fatores, que poderiam ser usados na

¹ Stohr GW, Emerenciano DB, Faber J. Green pruning of *Pinus taeda* and its influence on growth in Paraná-Brazil In, Proceedings, 1987 Simposio Sobre Silvicultura y Mejoramiento Genético de Especies Forestales, 1987 April 6610; Buenos Aires. Buenos Aires: Forest Research and Experimental Center [CIEF]: 197-204. 1987

manutenção e ou incremento mantendo a sustentabilidade de florestas plantadas. Na área florestal esse aspecto podem apresentar outras ainda vantagens uma vez que as rotações são muito mais longas que as da área agrícola (Garten Jr., 2002).

Desjardins et al., (2005) comentam que o seqüestro de carbono em solos agrícolas e freqüentemente apontado como uma solução prática para diminuir o aumento da taxa de CO₂ na atmosfera. Conseqüentemente, é necessário melhorar o entendimento de como práticas de manejo afetam a remoção líquida de gases de efeito estufa da atmosfera.

Solos degradados pelo uso agrícola tem baixas quantidades de matéria orgânica em relação ao seu potencial de armazenamento, conseqüentemente o florestamento e manejo de plantações florestais podem aumentar o estoque de carbono destas áreas. A taxa, a magnitude e qualidade da matéria orgânica depende de uma interação complexa entre clima, solo, espécie usada, manejo, assim como a composição química da serapilheira. Somente aumentando a quantidade de biomassa produzida, não necessariamente aumenta a quantidade de matéria orgânica no solo. No entanto, o estoque de carbono no solo pode ser aumentado através de preparo e manejos adequados (Jandl, 2001; Lal, 2005).

A quantidade de carbono no solo em diversas formas é determinada pelo balanço entre a entrada de matéria orgânica e a as perdas por decomposição, lixiviação e erosão. Os mecanismos que controlam esses processos e seu balanço podem ser conectados com os fatores de formação de solos e conseqüentemente bem conhecido por especialistas em solos. Perturbações e práticas de manejo também exercem considerável influência na quantidade de carbono no solo, através de efeitos diretos e indiretos (Paul et al., 2003; Post et al., 2004; Post & Kwon, 2000).

Pesquisas recentes utilizando fracionamento do solo para o isolamento de macro e microagregados, estruturas e uso de alterações na abundância de isótopos estáveis, têm mostrado que práticas culturais de cultivo mínimo permitem o processo de agregação que restabelece a proteção física do carbono no solo (Post et al., 2004).

2.7. Chão florestal

As florestas se diferenciam das pastagens e das terras cultivadas por desenvolverem uma espessa camada de matéria orgânica em decomposição proveniente da deposição de folhas e de fragmentos lenhosos distribuídos de maneira heterogênea na superfície (Currie et al., 2002). Globalmente o chão florestal estoca somente de 3 a 6% do depósito total de carbono nos 3 metros iniciais de profundidade do solo. Porém, esta quantidade de carbono é mais dinâmica e seu tempo de residência é mais curto do que o armazenado no solo mineral (Currie et al., 2002).

A intensidade de deposição depende - além da espécie, estação do ano, clima, outros fatores - das práticas de manejo empregadas nas plantações florestais. A densidade de plantio é uma das práticas que mais influencia a intensidade de queda da serapilheira. O aumento da densidade de árvores, em geral aumenta o consumo de recursos tais como luz, nutrientes e água (Burkes, 2003). O resultado é o aumento do crescimento em biomassa, mesmo que individualmente o crescimento das árvores diminua. Este aumento do incremento pode atingir um máximo ou ainda diminuir, conforme a densidade de plantio afeta a competição entre as árvores, acima e abaixo do solo, alterando potencialmente as prioridades de distribuição de biomassa no indivíduo (Burkes, 2003).

A maior parte do carbono dos resíduos deixado no solo volta para a atmosfera durante o processo de decomposição na forma de CO₂ e apenas uma pequena fração é retida no solo como matéria orgânica. A taxa e extensão que esses resíduos se transformam em matéria orgânica depende do tipo, quantidade, qualidade e como estes resíduos são manipulados (Franzluebbers, 2004). Também ocorrem perdas de carbono do solo pela respiração e segundo Samuelson et al. (2004a; 2004b) pode variar de 778 a 999 g m⁻² ano⁻¹ para *P. taeda* e a temperatura explica 56% da variação. Ainda os autores comentam que o fluxo de CO₂ diminui com o aumento de carbono na biomassa total do solo.

Assim que as acículas atingem o solo é iniciado o processo de decomposição que é influenciado por condições climáticas e manejo. Binkley (2002) relata que em 10 anos, 80% da matéria orgânica no chão florestal de *P. taeda* no estado da Carolina do Norte tinha sido decomposto.

Apesar da importância da serapilheira na ciclagem de nutrientes na floresta, poucos estudos foram dedicados a influência das práticas de manejo em plantações de *Pinus* spp. no acúmulo de carbono na serapilheira. O regime de manejo afeta a produtividade de biomassa, a deposição da serapilheira e conseqüentemente a dinâmica de carbono no solo.

Foram estimadas biomassa de dois experimentos, espaçamento e sistemas de manejo detalhados abaixo.

Experimento nº 1

- Espaçamento de 2,5 X 2,5 m com desrama aos 5 anos, até 3,0 metros de altura (implantado em 26/06/1991);
- Espaçamento de 3,0 X 2,5 m sem desrama (implantado em 26/06/1991);
- Espaçamento de 3,0 X 2,5 m com desrama aos 5 anos, até 3,0 metros de altura (implantado em 26/06/1991);
- Espaçamento de 3,0 X 3,0 m sem desrama (implantado em 26/06/1991);
- Espaçamento de 3,0 X 3,0 m com desrama aos 5 anos, até 3,0 metros de altura (implantado em 26/06/1991);
- Espaçamento de 4,0 X 2,5 m com desrama aos 5 anos, até 3,0 metros de altura (implantado em 26/06/1991);
- Espaçamento de 1,5 X 1,5 m sem desrama (implantado em 01/12/1992);
- Espaçamento de 2,5 X 2,5 m sem desrama (implantado em 01/12/1992);
- Espaçamento de 2,5 X 1,5 m sem desrama (implantado em 01/12/1992);
- Espaçamento de 2,5 X 1,0 m sem desrama (implantado em 01/12/1992).

A desrama foi executada aos 5 anos de idade a uma altura de 3 m.

Experimento nº 2

O segundo é um experimento de desbaste realizado em um talhão onde o espaçamento inicial era de 2,0 X 2,5 m. Aos 10 anos foram executados os seguintes tratamentos:

- Testemunha, sem desbaste (implantado em 06/1985);
- Desbaste seletivo, com remoção de 37% das árvores aos 10 anos e 44% aos 15 anos (implantado em 06/1985);
- Desbaste seletivo, com remoção de 42% das árvores aos 10 anos e de 42% aos 15 anos (implantado em 06/1985);

- Desbaste de 47% das árvores, com corte sistemático da 6ª linha e seletivo nas demais aos 10 anos e mais 39% aos 14 anos (implantado em 06/1985);
- Idem ao anterior, com remoção de 57% das árvores aos 10 anos e de 25% aos 14 anos (implantado em 06/1985);
- Idem, com remoção de 71% das árvores aos 10 anos, somente (implantado em 06/1985);
- Desbaste de 56% das árvores, com corte sistemático da 7ª linha e seletivo nas demais, mais 40% aos 15 anos (implantado em 06/1985).

3.2. Biomassa

A coleta de biomassa foi feita nos meses de agosto a setembro de 2004. Foram coletadas biomassas de folhas, galhos, galhos finos, frutos, tronco e casca, dos dois experimentos.

Para cada tratamento selecionado, foram derrubadas 7 árvores de distintas classes de diâmetros escolhidas a partir dos dados de inventário: 2 inferiores, 3 médias e 2 superiores. Não foram usadas árvores das duas linhas de bordadura.

Após a derrubada as árvores foram medidas: comprimento total, comprimento da copa e as folhas, galhos verdes, galhos secos e cones foram separados e pesados. Em seguida uma amostra de biomassa de cada compartimento foi pesada (peso verde) e enviado ao laboratório para obtenção do peso seco.

Peso seco foi feito secando-se as amostras em estufa de circulação forçada a temperatura de 100° C até atingir estabilidade.

Foram retirados discos de transversais de madeira a cada metro e levadas para laboratório para determinação da densidade da madeira, peso seco da casca, peso seco da madeira e peso seco total da tora.



Figura 3. Discos de *P. taeda* amostrados utilizados para o cálculo de biomassa do tronco.

3.3. Inventário florestal

Foram utilizados dados do inventário contínuo da área experimental para a análise de incremento de área basal, altura e biomassa. Somente foram usados os dados coletados em parcelas de 500 m². Nessas parcelas foram medidos todos os diâmetros a 1,30 m de altura e altura total de 10 árvores.



Figura 4. Aspecto da poda em *P. taeda* em Rio Negrinho (SC).

3.4. Índice de área foliar

Foram feitas medições de índice de área foliar com o uso do equipamento Licor LAI 2000. Foram tomadas medidas no sentido diagonal dos talhões.

3.5. Dados meteorológicos

Foram utilizados dados coletados em posto meteorológico local, da própria empresa. Para cálculo do balanço hídrico foi utilizada a equação de Thornthwaite.

3.6. Solos

Foram abertas 3 trincheiras de 1 m de profundidade em pontos distintos da área experimental de onde foram coletadas amostras a cada 10 cm para análise de fertilidade e densidade.

Foram coletadas amostras indeformadas de solo, através de anéis volumétricos, nas três trincheiras. Os dados de porosidade total foram obtidos com base na umidade volumétrica de saturação do solo (Embrapa, 1997). A porosidade de aeração foi determinada como o volume de poros existentes entre a saturação e a capacidade de campo (10Kpa) (Moniz, 1972).

Posteriormente foram coletadas amostras de solos nas parcelas de todos os tratamentos da seguinte forma: 5 a 6 amostras em duas linhas diagonais nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm. As amostras foram compostas para cada linha e profundidade e enviadas para o Laboratório de Solos Florestais da Universidade da Flórida.

Foram retiradas 25 gramas de cada amostra de solos e separadas em peneiras de 45, 150, 250 e 2000 μ . O conteúdo de cada peneira foi pesado e uma grama de cada fração foi usada para combustão.

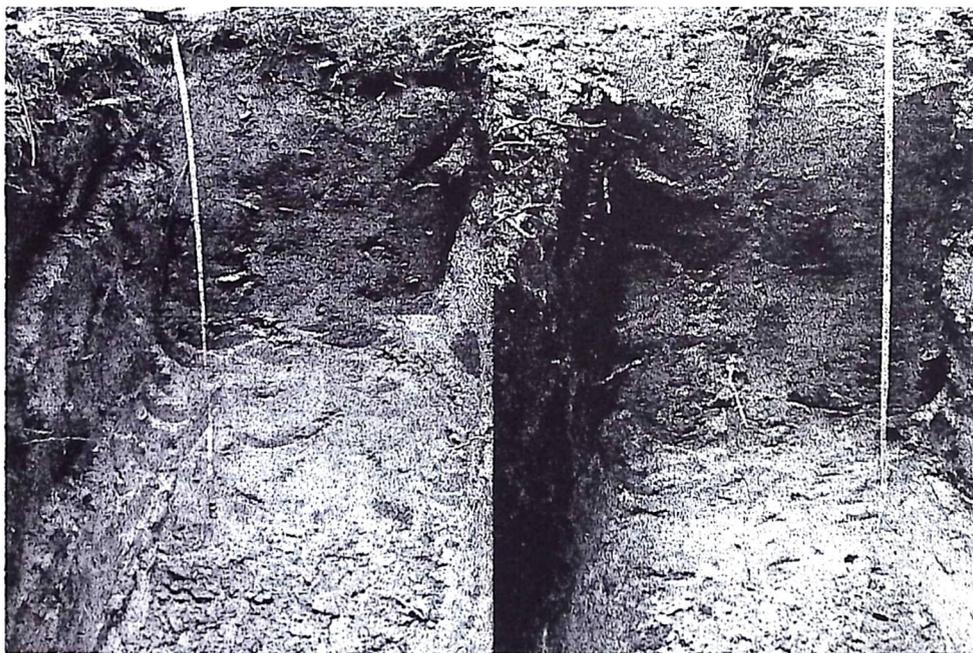


Figura 5. Aspectos dos solos das áreas experimentais em Rio Negrinho (SC).

3.7. Matéria orgânica

Aproximadamente 1g de solo seco peneirado foi colocada em um recipiente de vidro, proveniente das frações peneiradas pesada e em seguida e levado ao forno aquecido a 500 °C por 16 horas e novamente pesado (Sparks et al., 1996).

Matéria orgânica total e calculada da seguinte forma:

$$Mo = [(\text{peso inicial} - \text{peso após queima}) / \text{peso inicial}] \times 100$$

3.8. Chão florestal

A serapilheira para quantificação de biomassa foi amostrada em parcelas com 30cm de diâmetro nas entrelinhas, em três pontos vizinhos e em torno das árvores selecionadas.

Todas as amostras foram secas, pesadas para determinação da biomassa. A biomassa seca na área amostrada foi usada para estimar a biomassa total por hectare.

3.9. Equação de biomassa

As equações de biomassa foram desenvolvidas separadamente para cada tratamento a partir das amostras destrutivas. Foi adotada a forma linear da equação alométrica (Sprugel, 1983):

$$\log y = a + b \cdot \log x$$

Onde:

x = área transversal,

y = biomassa

$$(\ln (\hat{Y}) = \beta_0 + \beta_1 \ln (X))$$

A equação foi usada para desenvolver a relação entre componente da matéria seca e tamanho das árvores (Jokela e Martin, 2000). Dessa forma, os dados coletados no Brasil puderam ser comparados com os dados coletados na Florida para a espécie.

3.10. Estudos comparativos Brasil / Florida

Dados de *P. taeda* coletados de uma área experimental localizada a aproximadamente 10 km de distância de Gainesville (29° 40' N, 82° 20' W) e altitude de 45 m (Martin e Jokela 2004). Foram escolhidos dois tratamentos da Florida para serem comparados com um tratamento do Brasil com densidade similar nas mesmas idades. Para Florida foi o usada a testemunha, sem controle de ervas daninhas e sem fertirrigação e o tratamento com controle de ervas daninhas e fertirrigação. Para o Brasil foi usado o espaçamento de 7,5 m².



Figura 6. Área experimental de *P. taeda* localizado em Alachua County, Flórida (tratamento com fertirrigação e ao fundo testemunha).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estimativas de biomassa (incremento)

Os parâmetros estimados para as equações de biomassa estão apresentados na Tabela 1. Somente para os experimentos de espaçamento foram empregadas as equações. Os parâmetros obtidos para os experimentos de sistema de manejo apresentaram baixa valores de R^2 e não foram utilizados para estimativa de incremento de biomassa.

Tabela 1. Parâmetros estimados para as equações alométricas desenvolvidas a partir das amostragens destrutivas.

Espaçamento(m ²)	β_0	β_1	R^2	MSE
[2.25]	-2.2657	1.238321	0.974814	0.010117
[2.50]	-1.66469	1.132227	0.945759	0.020678
[3.75]	-1.25799	1.06557	0.988109	0.003152
[6.25]	-2.9508	1.334359	0.969371	0.02101
[7.50]	-1.25113	1.051058	0.97246	0.008485
[9.00]	-1.9676	1.167056	0.990204	0.002927
[10.0]	-1.72524	1.128285	0.952809	0.026463

A maioria dos estudos de manejo nas espécies do gênero *Pinus* foram desenvolvidos visando adquirir conhecimento do efeitos dessas práticas na produtividade e qualidade da madeira. Estudos visando a alocação de biomassa passaram a ser mais desenvolvidos a partir do interesse em seqüestro de carbono, assim são escassos os dados dessa natureza.

O efeito do espaçamento no acúmulo de biomassa foi calculado para as idades de 8 a 11 anos a partir das equações geradas (Figura 7). Os maiores espaçamentos acumulam menos biomassa total em acordo com outros estudos da mesma natureza (Baldwin et al., 2000; Burkes et al., 2003). A falta de repetições não possibilitou o uso de análise estatística para comparação

dos dados, portanto apenas tendências no incremento da biomassa podem ser comentadas.

A curva de incremento de biomassa é alterada pelo efeito da competição, a sobrevivência tende a diminuir com a idade em espaçamentos menores, provocando queda na taxa de crescimento. Nesse estudo para os espaçamentos apresentados na Figura 7, as taxas de sobrevivências mantiveram-se praticamente inalteradas, o efeito da competição entre plantas pode ser considerado ainda pequeno até os 11 anos de idade. Provavelmente, maior queda nessa taxa poderia ser observada em idades mais avançadas, mas é o período onde são feitos os desbastes na maioria dos regimes de manejo. Estudos semelhantes desenvolvidos por Jokela e Martin (2000) e Martin e Jokela (2004) mostram uma queda acentuada na taxa de sobrevivência em *P.taeda* e atribuem a limitação por acesso a nutrientes. Nos espaçamentos menores (Figura 7 e Figura 8) o efeito da competição foi mais acentuado e a taxa de sobrevivência nos espaçamentos menores foi mais afetada.

As quantidades de biomassa encontrada nesse estudo diferem de outros resultados encontrados na região (Watzlawick, 2003; Valeri, 1988), mas são semelhantes aos encontrados por Schumacker², (2000, citados por Watzlawick, 2003). Parte da diferença pode ser atribuída a diferentes metodologias usadas para a estimativa da biomassa, outros aspectos como manejo, grau de melhoramento do material usado para o plantio e clima e solo afetam essa característica. Johnsen et al. (2005) comentam as diferenças encontradas em estudos de biomassa de *P.taeda* e recomendam mais estudos em diferentes sítios em diferentes idades para melhor lógica na seleção de modelos.

Outra prática testada nesse experimento foi a poda, empregada em dois dos espaçamentos testados, 7.5 m² e 9.0 m². Os dois tratamentos, apresentaram menores taxas de biomassa, área basal e DAP, mas maiores alturas. A intensidade da poda pode afetar o desenvolvimento nos anos subsequentes. As diferenças foram mais acentuadas para espaçamentos menores em relação

² SCHUMAKER, M.V. Quantificação do carbono orgânico em floresta de *Pinus taeda* L., com diferentes idades. Santa Maria: UFSM, 2000. (Relatório de pesquisa).

a biomassa o que indica uma diferenciação na alocação de biomassa como efeito de espaçamento, como discutido abaixo.

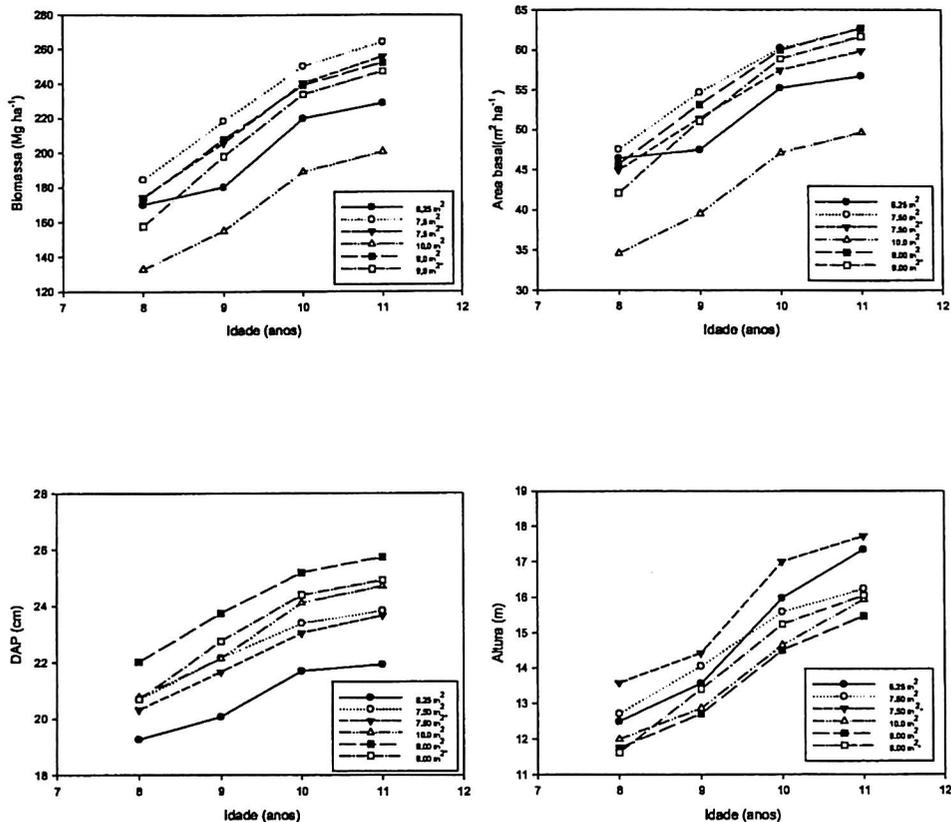


Figura 7. Incremento de biomassa (Mg ha⁻¹) acima do solo (a), área basal (m² ha⁻¹) (b), diâmetro (cm) (c) e altura (m) (d) de *P.taeda* em diferentes espaçamentos na região de Rio Negrinho (SC).

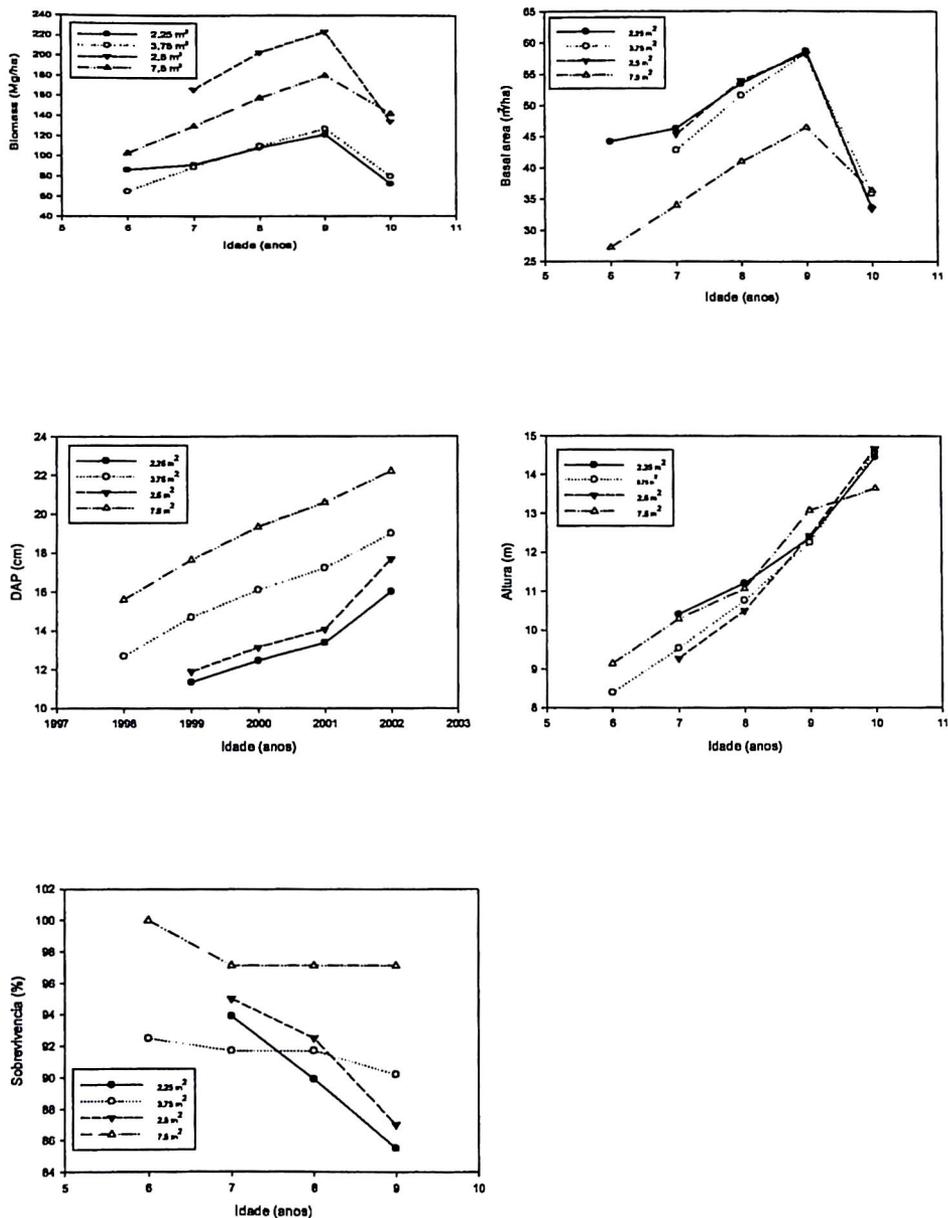


Figura 8. Incremento de biomassa (Mg ha⁻¹) acima do solo (a), área basal (m² ha⁻¹) (b), diâmetro (cm) (c), altura (m) (d) e sobrevivência de *P.taeda* em diferentes espaçamentos na região de Rio Negrinho (SC).

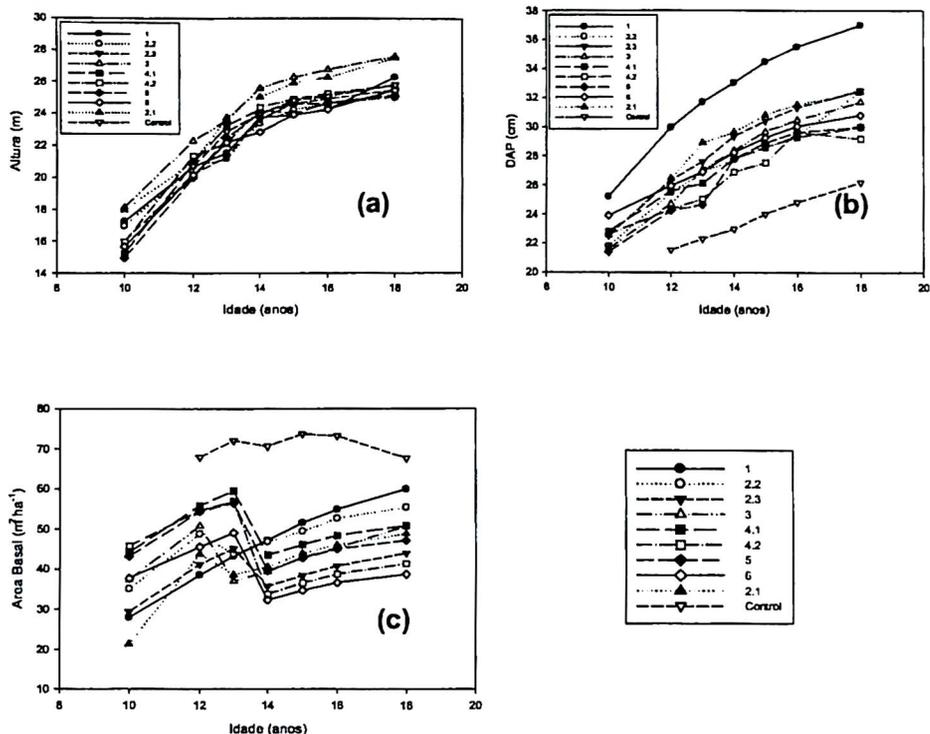


Figura 9. Incremento em altura (a) DAP (b) e área basal (c) de *P.taeda* em diferentes regimes de manejo em Rio Negrinho (SC).

As equações desenvolvidas com a mesma metodologia para os experimentos de desbaste apresentaram R^2 baixos, sendo assim descartadas para essa finalidade. Como as amostragens foram feitas após os desbastes, a seleção eliminou as árvores de classes inferiores e dificulta o ajuste de equações de biomassa aplicadas em dados de inventário. O desbaste afetou a alocação de biomassa e outras alternativas devem ser desenvolvidas para essa finalidade. A amostragem destrutiva para o desenvolvimento das equações deve ser feita antes do desbaste e por ocasião do mesmo, estimar a retirada de biomassa.

Os resultados observados para altura, diâmetro e área basal (Figura 9) são compatíveis com os apresentados na literatura para a espécie. O efeito do regime de manejo na alocação de biomassa será discutido abaixo.

De maneira geral, os regimes de desbaste não afetaram a altura mas a produção volumétrica e a qualidade da madeira como demonstrado em outros trabalhos semelhantes e (Oliveira, 1995; Sanqueta et al., 2003).

4.2. Comparação com dados de crescimento da Florida (USA).

Mesmo com grau de melhoramento inferior do material utilizado para plantio na Florida e não utilização de adubação, os plantios de *P. taeda* no Brasil apresentam de modo geral maiores crescimentos em altura (Figura 10).

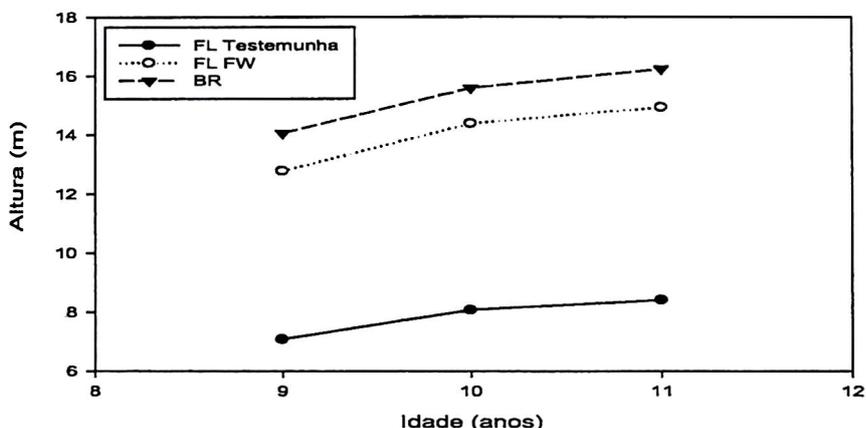


Figura 10. Altura (m) aos 9, 10 e 11 anos de idade de *P.taeda* plantados na Florida (USA) e Sul do Brasil (FI testemunha sem controle de ervas daninhas e sem fertilização; FL FW: com controle de ervas daninhas e com fertilização e BR sem adubação e com controle de ervas daninhas no primeiro ano).

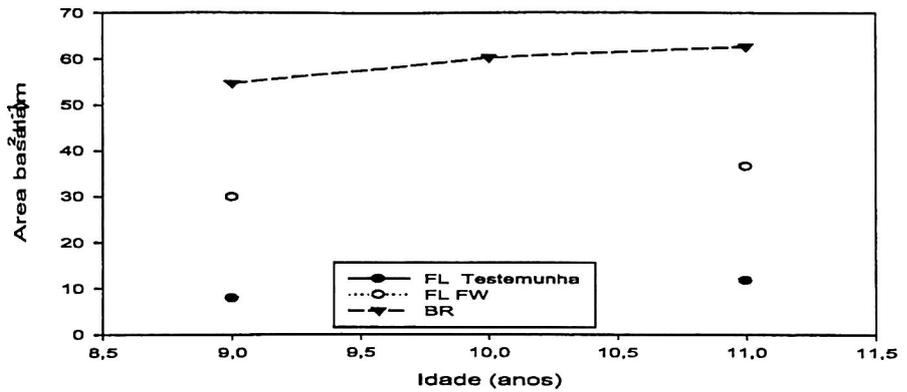


Figura 11. Área basal ($m^2 ha^{-1}$) aos 9, 10 e 11 anos de idade de *P.taeda* plantados na Flórida (USA) e Sul do Brasil (FI testemunha sem controle de ervas daninhas e sem fertilização; FL FW: com controle de ervas daninhas e com fertilização e BR sem adubação e com controle de ervas daninhas no primeiro ano).

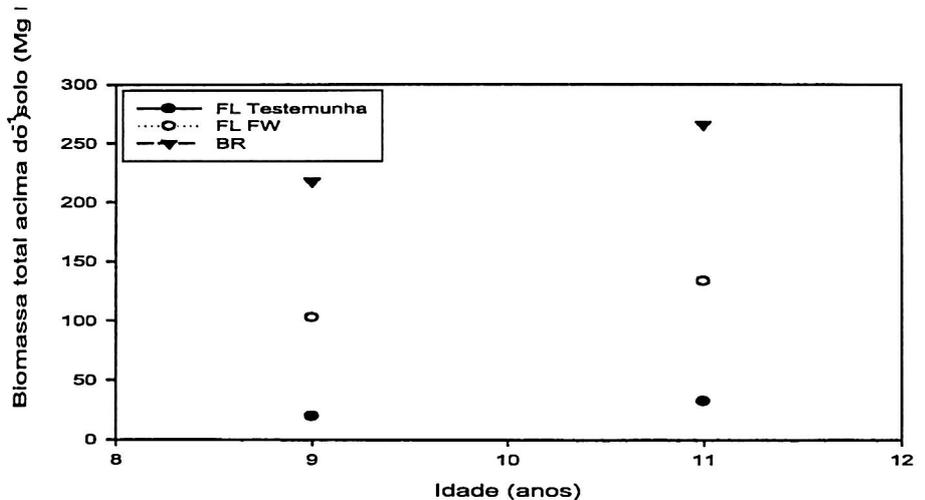


Figura 12. Biomassa ($Mg ha^{-1}$) de *P.taeda* aos 9 e 11 anos de idade plantados na Flórida (USA) e Sul do Brasil (FI testemunha sem controle de ervas daninhas e sem fertilização; FL FW: com controle de ervas daninhas e com fertilização e BR sem adubação e com controle de ervas daninhas no primeiro ano).

Para todas as características observadas (Figuras 10, 11 e 12), os resultados para altura, área basal e biomassa observados no sul do Brasil foram superiores aos plantações da Flórida. Para biomassa acima do solo, aos 11 anos de idade a diferença é mais que 8 vezes superior ao tratamento sem nenhuma prática cultural e quase o dobro do tratamento completo.

As diferenças observados para área basal (Figura 11) e biomassa (Figura 12) são mais acentuadas que as observadas para altura no tratamento com controle de ervas daninhas e fertilirrigação. Para o tratamento sem nenhuma prática cultural, as diferenças observadas entre altura, área basal e biomassa foram semelhantes.

Os dados de altura aos 9 anos de idade foram usados para uma posterior análise de regressão (Figura 13), na tentativa de entender o comportamento diferenciado em altura na comparação dos dois locais, a maior diferença observada para área basal e biomassa entre o tratamento completo da Flórida e a parcela do Brasil. Os resultados não indicam nenhuma tendência de crescimento.

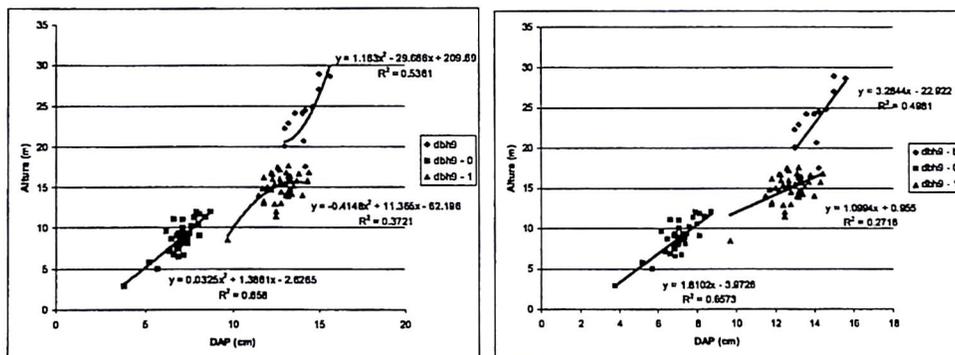


Figura 13. Análise de regressão para altura de *P.taeda* aos 9 anos de idade plantados na florida (USA) e Sul do Brasil (FI testemunha sem controle de ervas daninhas e sem fertilização; FL FW: com controle de ervas daninhas e com fertilização e BR sem adubação e com controle de ervas daninhas no primeiro ano).

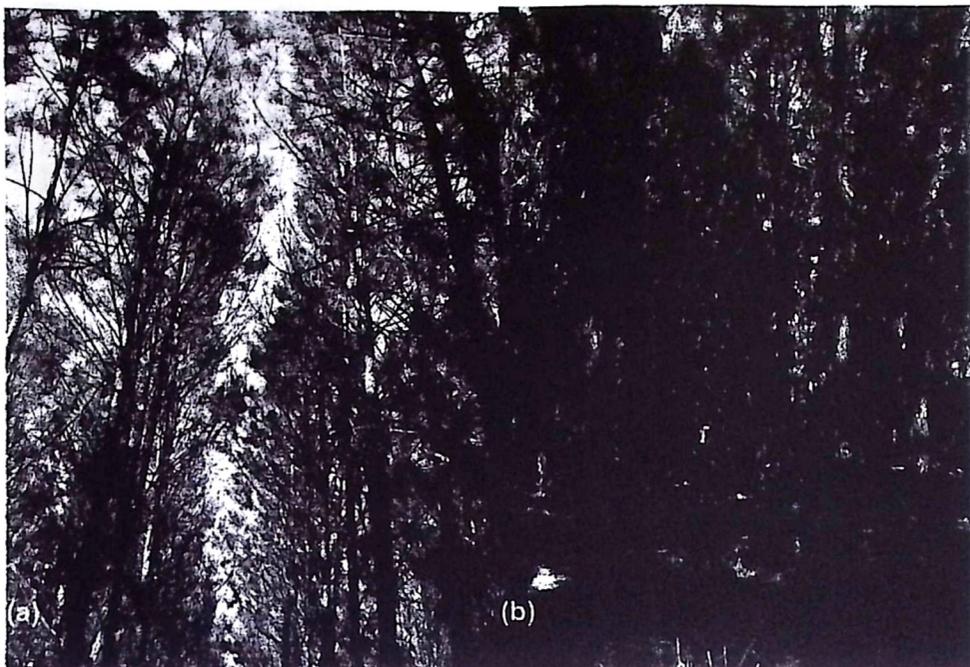


Figura 14. Aspectos da copa de *P.taeda* em plantações na Flórida (a) e no sul do Brasil (b).

Comparando-se o clima das duas regiões (Figura 15), as temperaturas médias da Flórida durante o verão são mais altas que as temperaturas médias de Rio Negrinho. Nesse período, os deficits hídricos também foram maiores. As taxas de precipitação anual na região de Rio Negrinho e de 250 mm no mês de janeiro e nunca inferior a 100 mm. Considerando as diferenças de solo, referente a capacidade de retenção de água, o que pode acarretar estresse, e conseqüentemente afetar o crescimento.

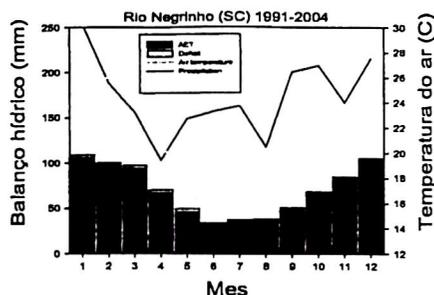
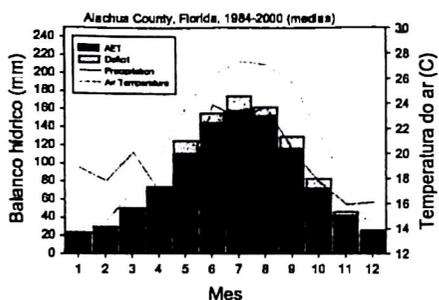


Figura 15. Dados climáticos (média anual) para Alichua County (FL) e Rio Negrinho (SC).

Tabela 2. Características do solo das areas comparadas (a) Rio Negrinho (SC) e (b) Alichua County.

Horizonte (a)	Profundidade (cm)	Carbono (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Densidade (g/cc)
Ap	0 a 5	2.79	31.4	32.6	36.0	0.904
	5 a 10	2.68	32.8	31.2	36.0	1.215
	10 a 20	2.32	29.2	34.8	36.0	1.225
	20 a 30	2.23	20.6	47.4	32.0	1.278
AB	30 a 40	1.82	34.4	31.6	34.0	1.361
AB	40 a 50	1.67	33.2	30.8	36.0	1.361
B	50 a 60	1.46	35.8	26.2	38.0	1.527

Horizonte (b)	Profundidade (cm)	Carbono (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Densidade (g/cc)
A	0 a 10	0.68	94.2	4.5	1.3	1.39
E	10 a 41	0.14	95.7	3.8	0.5	1.49
Bh1	41 a 46	1.34	90.9	6.9	2.2	1.51
Bh2	46 a 53	1.86	89.0	6.7	4.3	1.16
B	53 a 64	1.00	92.2	4.8	3.0	1.47
E'	64 a 104	0.52	93.4	4.2	2.4	1.57
Btg1	104 a 145	0.13	73.2	4.6	22.2	1.72
Btg2	145 a 190	0.006	62.0	3.8	34.2	1.61

Comparando os dados de solos (Figura 5 e Tabela 2) constata-se uma diferença acentuada nos teores de argila até a profundidade de 1 m. As diferenças nas porcentagens de argila também são acentuadas.

Segundo Gonçalves et al., (1990³) citado por Carvalho et al., (1999) a capacidade física dos sitios florestais influenciam mais a produtividade do que as químicas. Para *P.taeda*, os solos de textura mais argilosa, independentemente da classe a que pertencem propiciam melhores crescimento (Carvalho et al., 1999).

A combinação do clima (Figura 5, 15e Tabela 2) e solos desses fatores podem explicar as diferenças observadas na quantidade de biomassa, resultado de maiores copas com mais folhas nas condições do sul do Brasil. Solos com maior capacidade de retenção de umidade e menores períodos de déficit hídrico permitem maior manutenção de copa (Figura 14) maior área de fotossíntese , que por sua vez proporcionam maior crescimento.

³ GONCALVES, J.L.M.; DEMATE, J.L.I.; COUTO, H.T.Z. Relações entre a produtividade de sitios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no estado de São Paulo. IPEF., Piracicaba n.43/44, p.24-39. 1990.

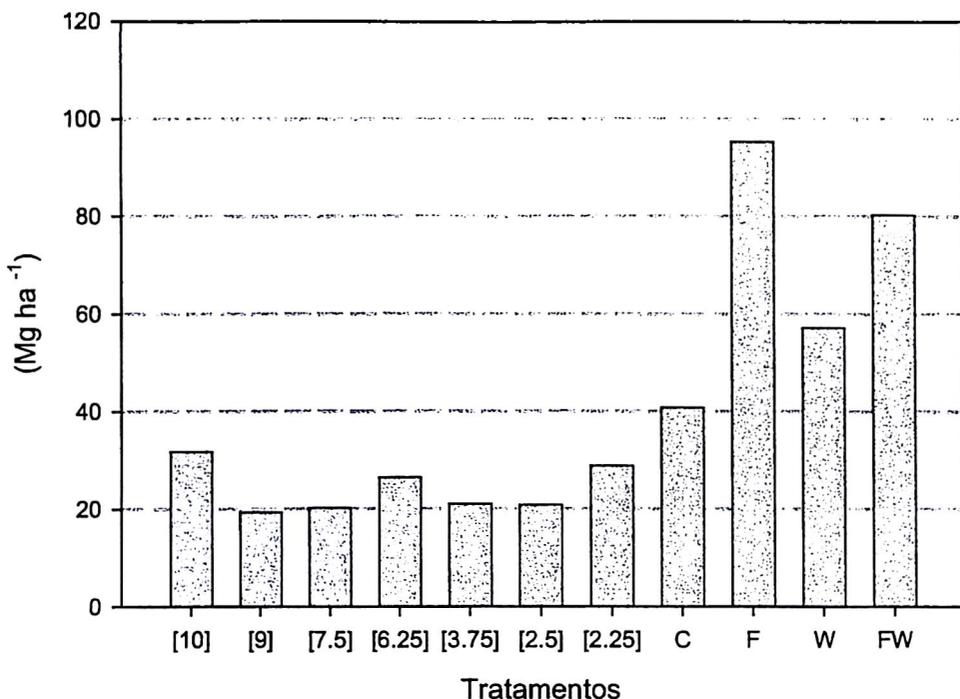


Figura 16. Quantidade de serapilheira de *P.taeda* em diferentes espaçamentos na região de Rio Negrinho (sem adubação e com controle de ervas daninhas no primeiro ano) aos 14 anos de idade e na Flórida (USA) (C testemunha sem controle de ervas daninhas e sem fertilização; F fertilização; W controle de ervas daninhas e FW: com controle de ervas daninhas e com fertilização).

Outro aspecto onde diferenças acentuadas foram observadas foi a quantidade de serapilheira observada nos dois locais. A quantidade de serapilheira observada no tratamento somente com fertilização na Flórida é mais que 4 vezes maior que os valores observados para a maioria dos diferentes espaçamentos no Brasil.

Considerando que o desenvolvimento das copas é menor na Flórida, a taxa de decomposição da serapilheira deve ser menor o que implica em diferentes ciclagem de carbono e nutrientes e conseqüentemente diferentes

sustentabilidade para plantações da espécie dependendo das condições edafoclimáticas e práticas de manejo. Manutenção da sustentabilidade foi discutido por Bizon (2006), observando plantações de *P.taeda* em diferentes solos na região de Jaguariaíva (PR). Solos mais produtivos apresentam menor sustentabilidade que solos mais pobres.

A decomposição as serapilheira libera CO₂ para atmosfera, nesse caso as taxas de emissão podem ser elevadas. Uma vez que existe um grande interesse sobre seqüestro de carbono por florestas plantadas, mesmo com alta produtividade e dependendo do uso, o balanço pode ser muito menor do que se espera e até mesmo negativo em parte do período de rotação. Mais estudos são necessários para esclarecer esse aspecto. Também parte da decomposição é integrada ao solo como nutrientes e matéria orgânica e é fundamental para a manutenção da sustentabilidade.

4.3. Alocação de biomassa

Os resultados apresentados neste item são oriundos da amostragem destrutiva, usada para as equações de biomassa, feita nos meses de agosto a outubro de 2004. Os gráficos são apresentados por tratamento e por classe de diâmetro das árvores amostradas.

4.3.1. Alocação de biomassa em diferentes espaçamentos

A figura 16 apresenta dados de DAP, altura total e volume cilíndrico das arvores usadas na amostragem destrutivas. Essas características foram discutidas anteriormente.

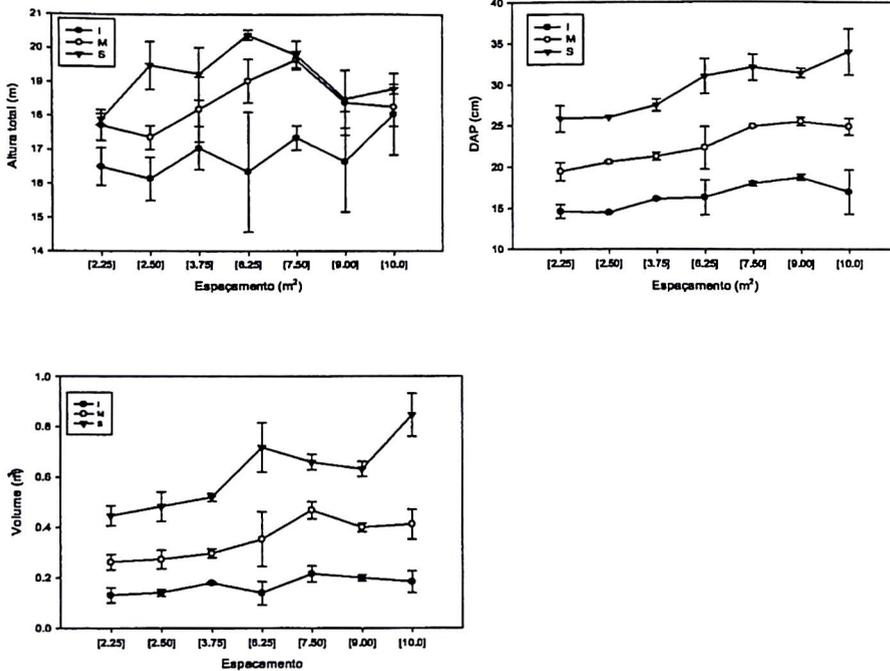


Figura 17. Altura, DAP e volume com desvio padrão em *P.taeda* (I:inferiores; M: Média e S: superiores) aos 14 anos de idade em Rio Negrinho (SC)

Maiores espaçamentos resultam em maiores crescimentos em DAP e volume cilíndrico, enquanto que apresenta menor crescimento em altura. Esse assunto tem sido extensivamente discutido, principalmente no aspecto relacionado produção volumétrica (Oliveira, 1999, Larson, 2001; Sanqueta, 2003). Todas as classes observadas apresentam o mesmo padrão de comportamento, exceto para altura. O espaçamento 6.25 m², apresentou maiores variações (sd) sem contudo ser possível explicar com esse estudo.

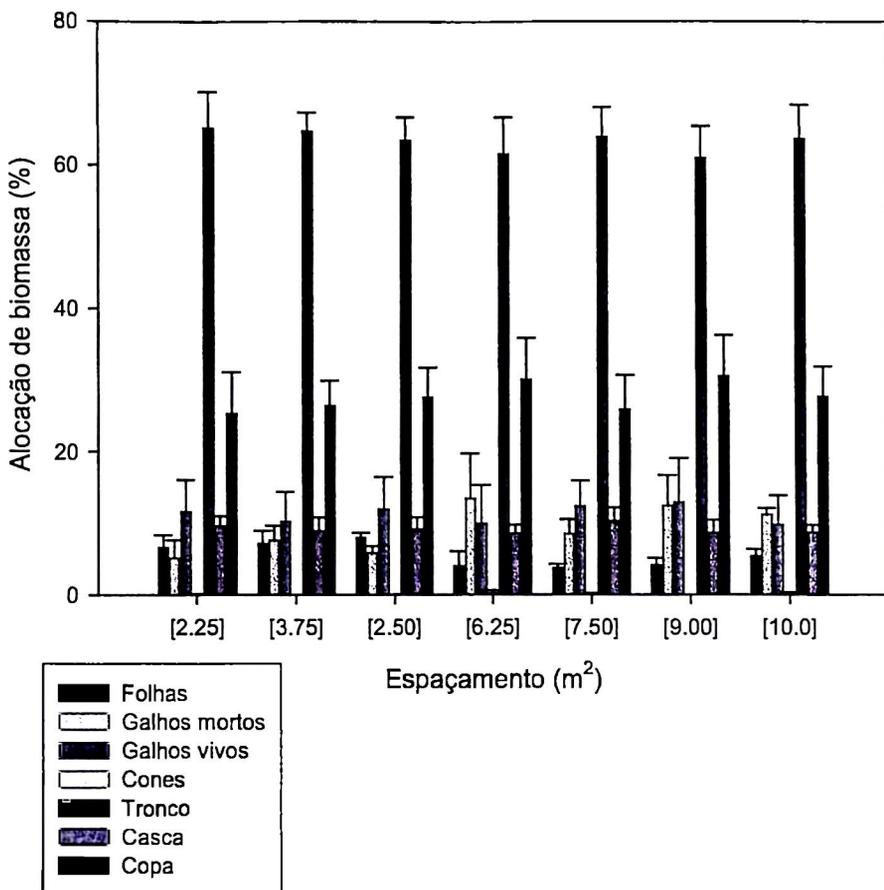


Figura 18. Alocação de biomassa em *P. taeda* aos 14 anos de idade em Rio Negrinho (SC).

Em todos os tratamentos observados, aos 14 anos de idade (Figura 18), a maior alocação de biomassa foi no tronco, resultados semelhantes foram encontrados para a espécie (Watzlawick, 2003; Jokela & Martin, 2000; Valeri, 1988). O segundo componente com maior porcentagem de alocação foi a copa, galhos, vivos, mortos, folhas, frutos. Conforme comentado por Larson (2001) a densidade de plantio controla o crescimento da copa. Isso pode ser observado nas diferentes porcentagens de alocação de biomassa nos

diferentes espaçamentos. Nos menores espaçamentos as copas começam a competir muito antes do que em espaçamentos maiores e como consequência, alteram a alocação de biomassa para os galhos e acículas, formando menores copas. Os resultados observados nesse estudo não mostram uma tendência acentuada dessa diferença. É provável que o nível de competição, até a amostragem, ainda não tenha sido evidente. Somente o tratamento com maior densidade apresentou queda acentuada na taxa de sobrevivência (Figura 8). Outros estudos de espaçamento com a espécie mostraram que maior densidade inicial de plantio aloca mais biomassa no tronco (Burkes et al., 2003).

4.3.1.1 Alocação de biomassa em diferentes espaçamentos por classe de diâmetro

Além do efeito do espaçamento na alocação de biomassa, árvores dominadas e dominantes apresentam normalmente padrões de alocação de biomassa diferenciado. Maiores quantidades de casca (Figura 18) são observadas, de maneira geral, em espaçamentos menores e em árvores dominadas, mas as quantidades são variáveis. O oposto é observado para folhas (Figura 19) e copa (Figura 21), árvores dominadas apresentam maior porcentagem de biomassa nesse compartimentos. A porcentagem de madeira alocada no tronco (Figura 20) tende a ser maior em árvores dominadas, mas também são observadas variações fora do padrão esperado.

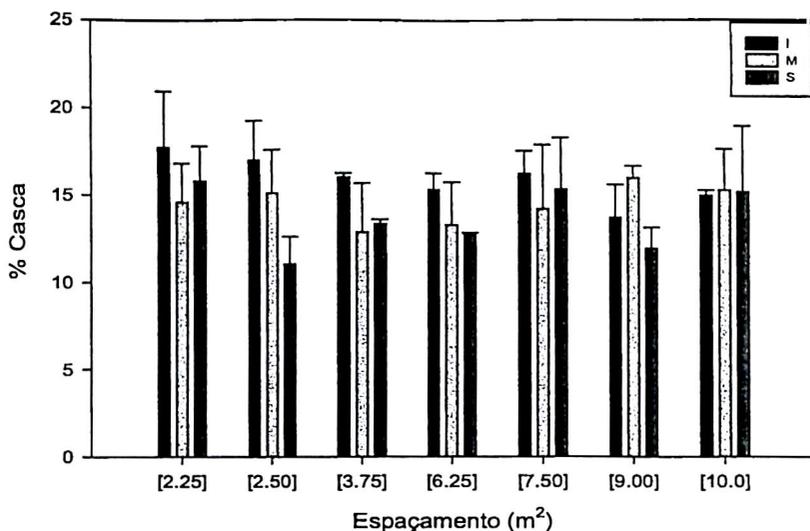


Figura 19 .Quantidade de de casca (%)de P.taeda (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 14 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes espaçamentos.

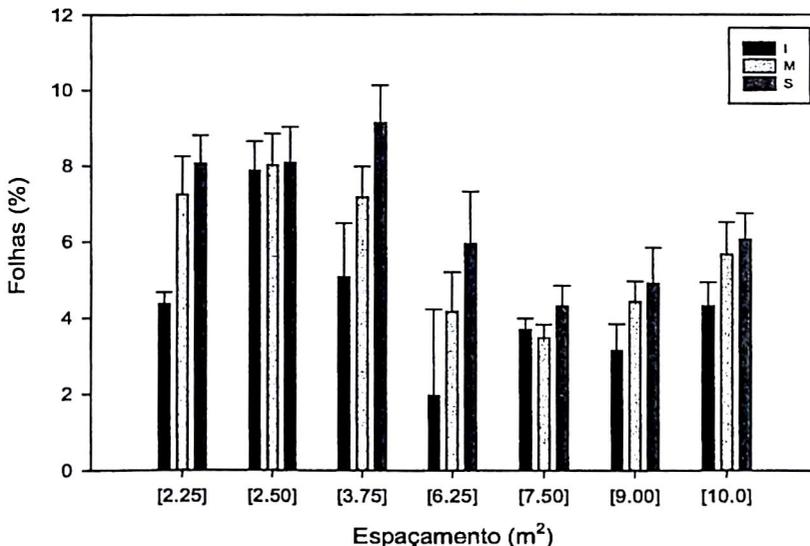


Figura 20. Quantidade de folhas (% peso seco) em alocação a biomassa seca total de P.taeda (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 14 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes espaçamentos.

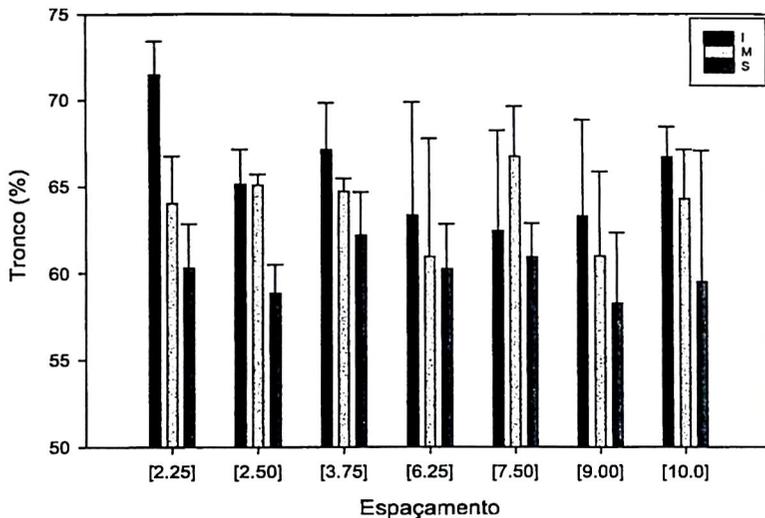


Figura 21. Quantidade de madeira (% de peso seco) em relação a biomassa seca total de *P.taeda* (I: inferiores; M: Média e S: Superiores) aos 14 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes espaçamentos.

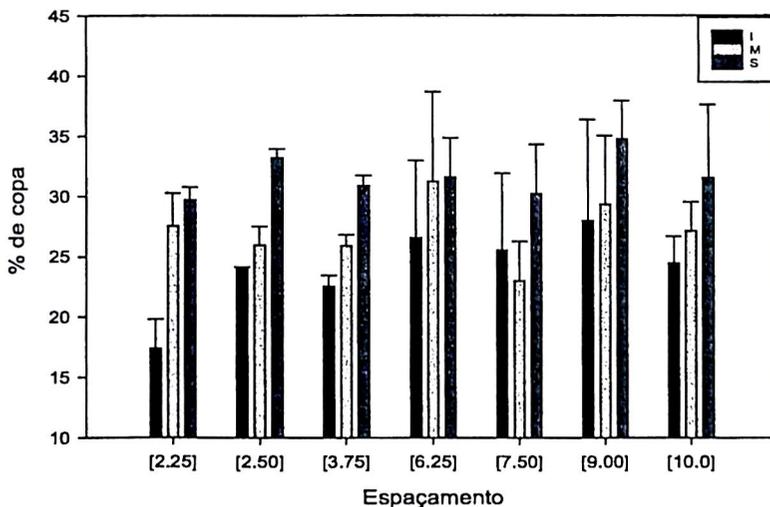


Figura 22. Quantidade de copa (% de peso seco) em relação a biomassa seca total de *P.taeda* (I: inferiores; M: Média e S: Superiores) aos 14 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes espaçamentos.

A influência dos espaçamentos na densidade básica da madeira é muito pequena, nesse estudo variou de 0.32 g.cm⁻³ a 0.42 g.cm⁻³. Maiores densidades básicas foram encontradas em árvores dominadas e em menores espaçamentos. Em menores espaçamentos a competição inicia-se mais cedo diminuindo a taxa de crescimento, com menores anéis anuais de crescimento o que acarreta em maior densidade.

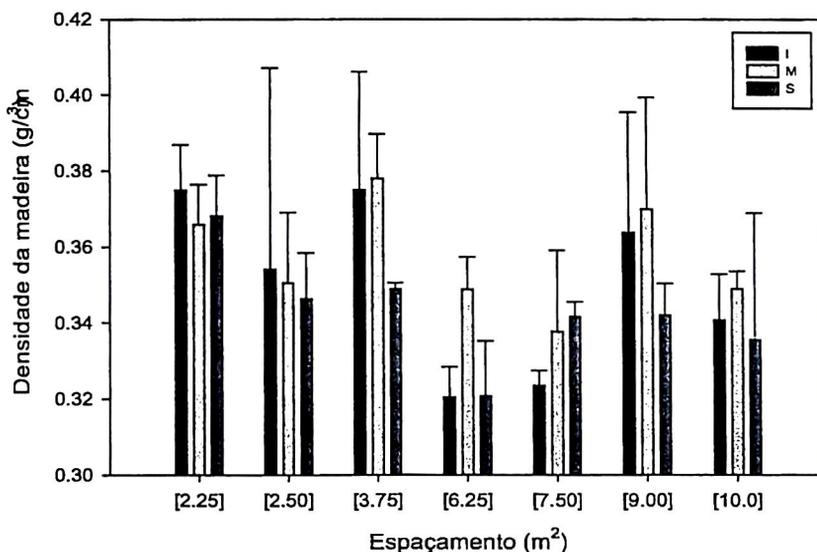


Figura 23 .Densidade básica da madeira (g.cm⁻³) de *P.taeda* (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 14 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes espaçamentos.

4.3.1.2 Características de copa em diferentes espaçamentos

Árvores superiores tem copas mais longas (Figura 24), e as diferenças tendem a ser mais acentuadas em menores espaçamentos. As medidas de Índice de área foliar (Figura 25), não apresentam tendências ou diferenças acentuadas, nessa idade as copas fechadas, efeito do espaçamento nessa característica poderia ser melhor observado em menores idades. Segundo Fassola et al.,

(2001) essa característica pode ser associada com espaçamento e intensidade de desbaste.

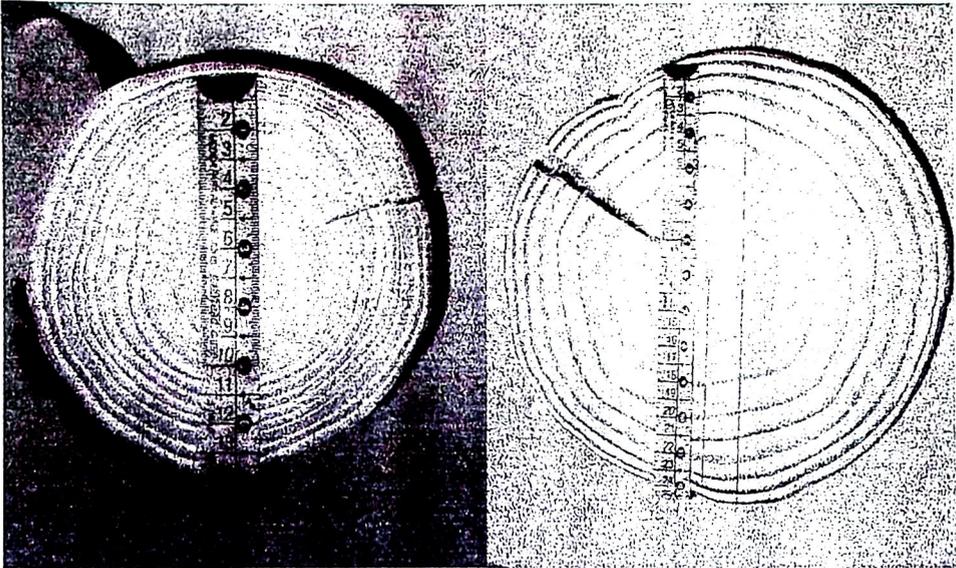


Figura 24. Diferenças nas dimensões de anéis de crescimento de *P. taeda* de diferentes espaçamentos aos 14 anos de idade plantados em Rio Negrinho, SC.

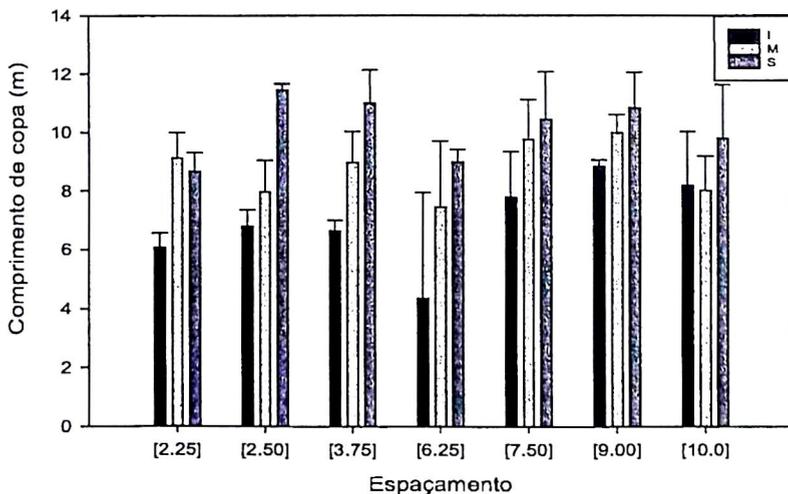


Figura 25 .Comprimento de copa (m) de *P.taeda* (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 14anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes espaçamentos.

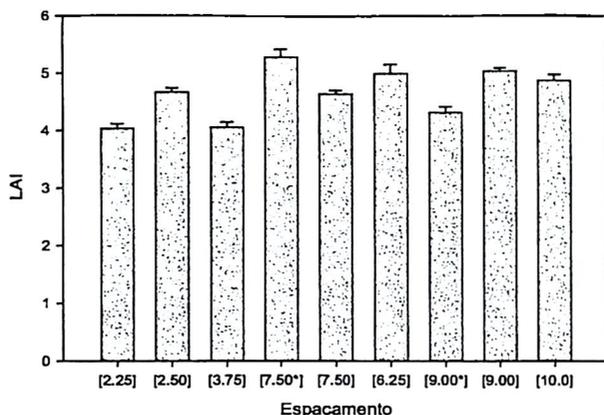
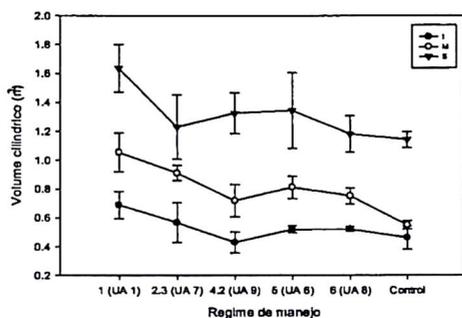
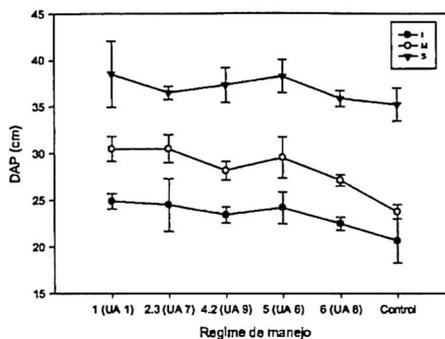
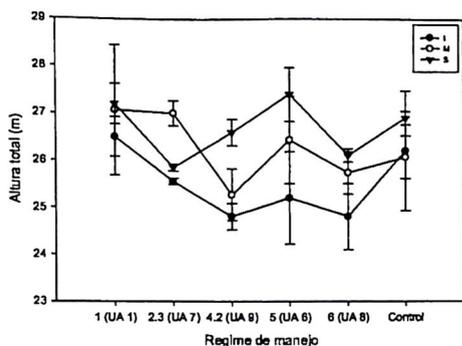


Figura 26 .Índice de área foliar (LAI) *P.taeda* (I: inferiores; M: Média e S: Superiores) aos 14 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes espaçamentos.

4.3.2. Alocação de biomassa em diferentes regimes de manejo

Da mesma forma do tratamento anterior os resultados apresentados neste item são oriundos da amostragem destrutiva, usada para as equações de biomassa, feita nos meses de agosto a outubro de 2004. Os gráficos são apresentados por tratamento e por classe.

A amostragem de biomassa foi feita em apenas parte dos tratamentos. As mesmas tendências observadas com os dados de inventário (Figura 26) foram observadas com os dados de biomassa, crescimento em altura e em diâmetro para o tratamento sem desbaste foram menores que todos os regimes de manejo aplicado. Um único desbaste aos 10 anos de idade apresentou melhor crescimento em DAP e volume cilíndrico.



1 (UA 1): Desbaste seletivo, com remoção de 71% das árvores aos 10 anos, somente (implantação 06/1985);
2.3 (UA 7): Idem ao anterior, com remoção de 57% das árvores aos 10 anos e de 25% aos 14 anos (implantação 06/1985);
5 (UA 6): Desbaste seletivo, com remoção de 37% das árvores aos 10 anos e 44% aos 15 anos (implantação 06/1985);
4.2 (UA 9): Desbaste seletivo, com remoção de 42% das árvores aos 10 anos e de 42% aos 15 anos (implantação 06/1985);
6: Desbaste de 56% das árvores, com corte sistemático da 7ª linha e seletivo nas demais, mais 40% aos 15 anos (implantação 06/1985).

Figura 27. Altura e DAP médio individual (cm) de *P.taeda* (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 18 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.

4.3.2.1. Alocação de biomassa por classe de diâmetro em diferentes regimes de manejo

Como no experimento anterior, a maior parte da biomassa aérea é alocada no tronco (Figura 27), mais de 60% em todos os tratamentos. No entanto, a biomassa alocada na copa foi menor, em parte essa diferença pode ser atribuída a idade, no experimento anterior as árvores tinham 14 anos de idade, enquanto que nesse experimento a idade é 18 anos. As diferenças observadas em relação os tratamentos não são acentuadas, o primeiro desbaste foi efetuado as 10 anos de idade, quando as árvores já estavam competindo, também, nos desbastes seletivos as arvores dominadas foram eliminadas,

onde podem ser observadas maiores variações na alocação da biomassa aérea.

Como na alocação de biomassa, as diferenças de copa (Figura 32 e 33), não são acentuadas entre as classes de árvores e entre tratamentos o que também pode ser atribuído ao efeito do desbaste, conforme discutido anteriormente. Por ocasião do primeiro desbaste, as copas das árvores já estavam fechadas e competindo e as árvores dominadas, que normalmente apresentam copas menos desenvolvidas foram eliminadas

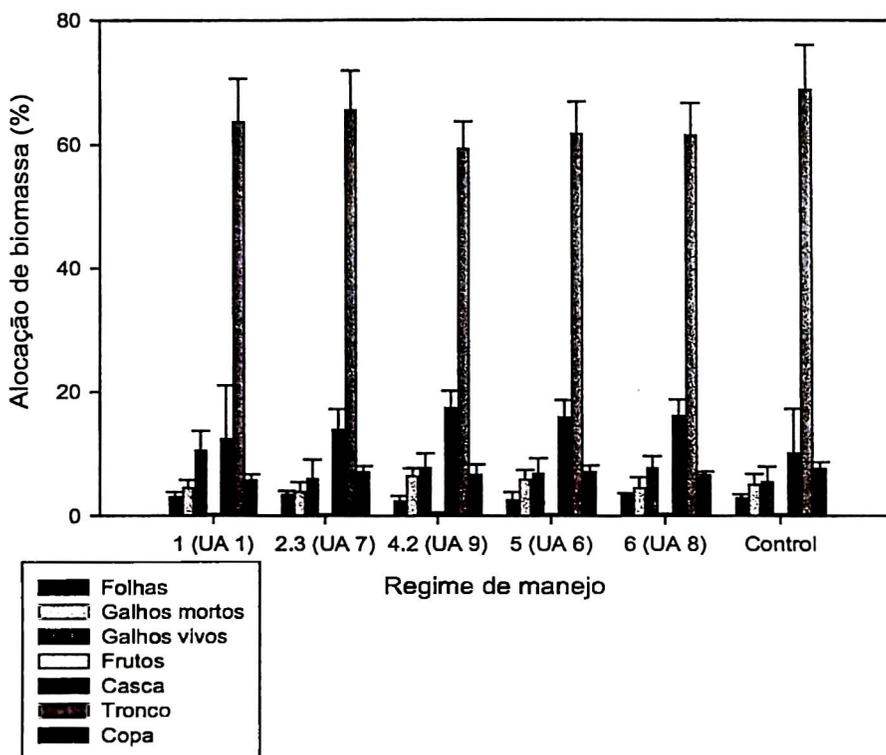


Figura 28. Alocação de biomassa (%) de *P.taeda* (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 18 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.

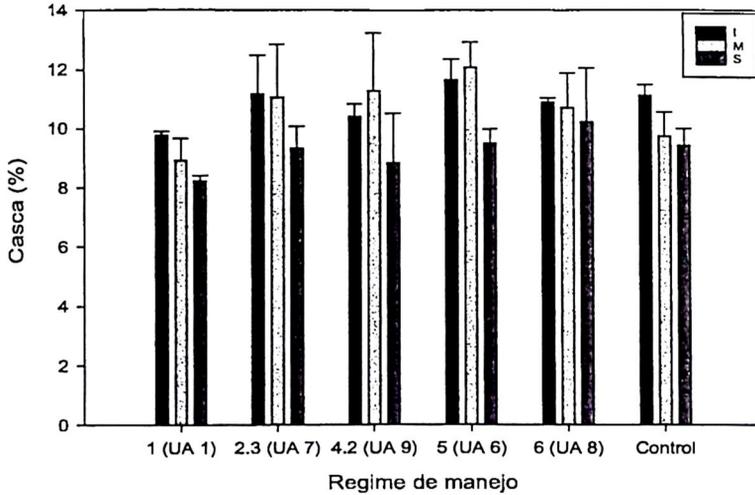


Figura 29. Quantidade de casca (% de peso seco) em *P.taeda* (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 18anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.

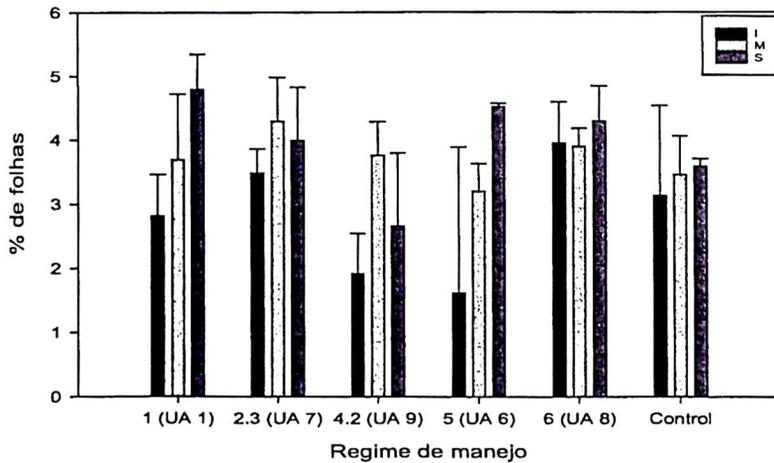


Figura 30. Quantidade de folhas (% de peso seco) em relação a biomassa seca total de *P.taeda* (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 18 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.

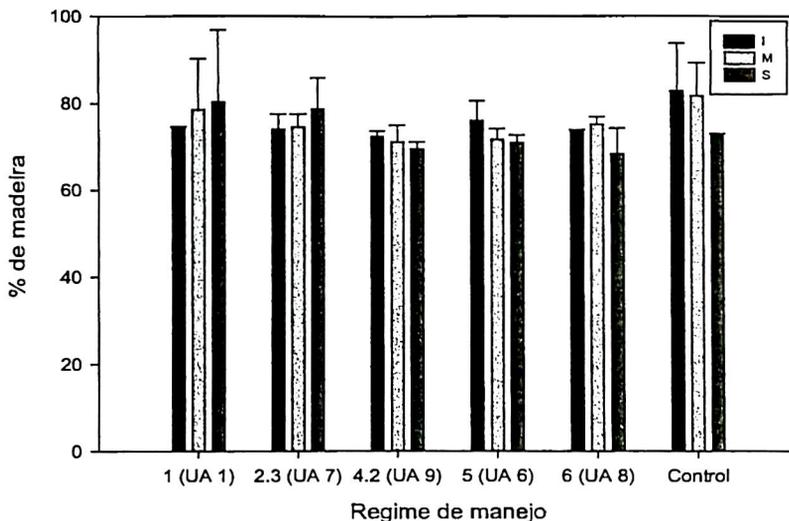


Figura 31. Quantidade de madeira (% peso seco) em relação a biomassa seca total de *P.taeda* (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 18 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.

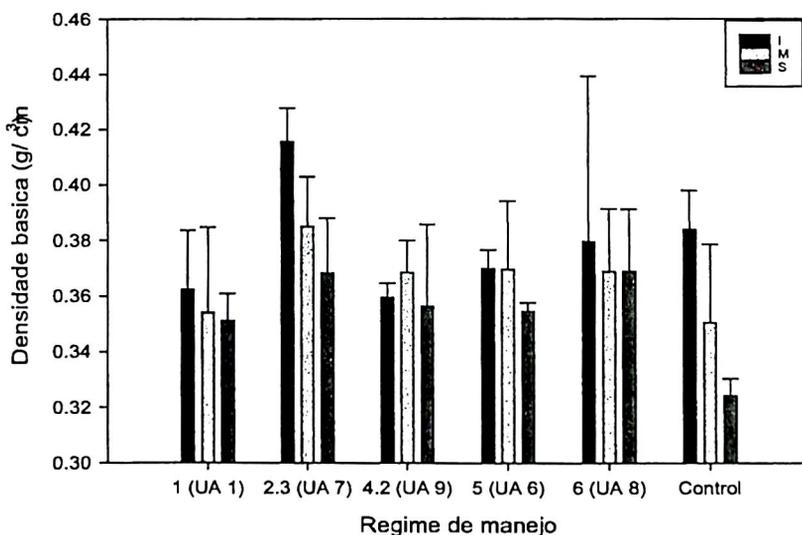


Figura 32. Densidade básica da madeira (g/cm^3) de *P.taeda* (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 18 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.

4.3.2.2. Características de copa em diferentes regimes de manejo

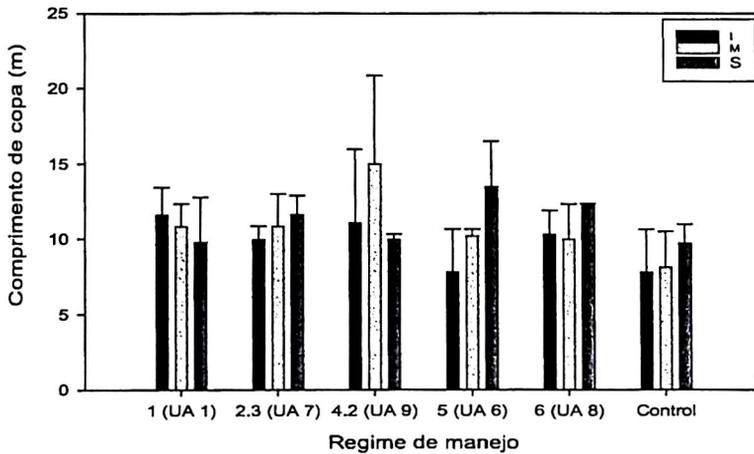


Figura 33. Comprimento de copa (m) de *P.taeda* (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 18anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.

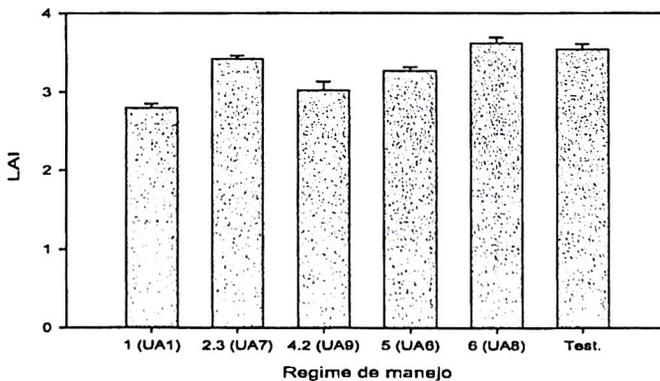


Figura 34. Índice de área foliar (LAI) de *P.taeda* (I: inferiores; M: Media e S: Superiores) aos 14anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.

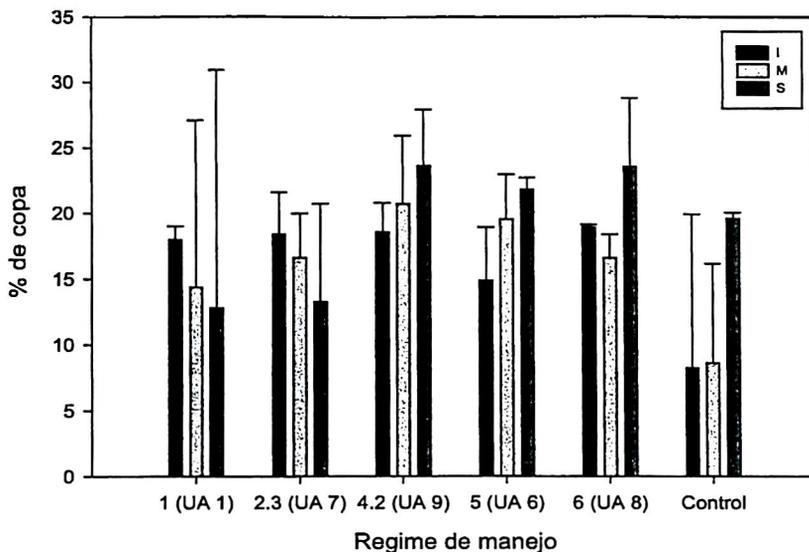


Figura 35. Quantidade de copa (% de peso seco) em relação a biomassa total de *P.taeda* (I: inferiores; M: Média e S: Superiores) aos 18 anos de idade em Rio Negrinho (SC) em função de diferentes regimes de manejo.

Foram observadas tendências similares para árvores inferiores, médias e superiores, aquelas observadas no experimento de espaçamento para densidade básica da madeira (Figura 31), % de casca (Figura 18), % de folhas (Figura 19) para os diferentes regimes de manejo.

4.4. Matéria orgânica no solo

Tabela 3. Análise granulométrica dos tratamentos de diferentes espaçamentos.

Espaçamento (m ²)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
9.00	26.0	54.5	19.4
10.0	23.9	50.7	25.4
6.25	16.6	55.4	28.0
7.25	31.1	33.5	35.4
2.25	5.0	45.5	49.1
3.25	20.4	39.9	39.7
2.50	14.8	44.9	40.3

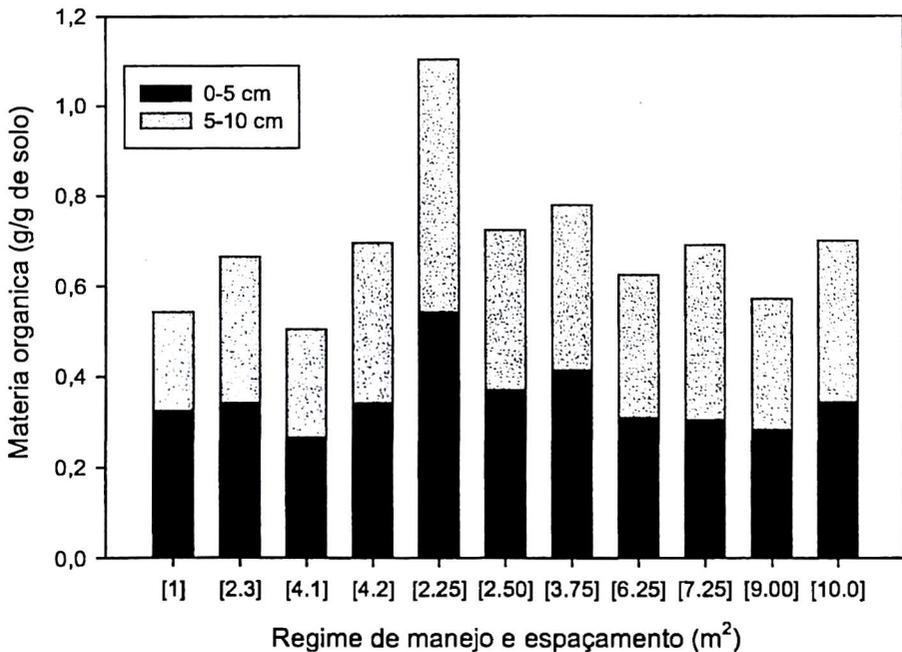


Figura 36. Matéria orgânica no solo (g/g de solo) em diferentes regimes de manejo e diferentes espaçamentos.

A maior concentração de matéria orgânica é normalmente observada na parte superior do solo por essa razão, nesse estudo foram avaliados a quantidade de matéria orgânica nos 10 cm superiores do solo (Figura 35). A quantidade de matéria orgânica observada nas duas profundidades (0-5 cm e 5-10 cm) foi similar assim como a proporção entre elas. A diferença observada na quantidade de matéria orgânica apresenta correlação com os tratamentos (Figura 36), chama atenção o resultado do espaçamento 2,25 m², onde a quantidade de matéria orgânica é quase o dobro da quantidade observada em outros tratamentos como 9,0 m² e os tratamentos do experimento de regime de manejo. Nesse espaçamento foram observadas as maiores quantidades de argila no solo (Tabela 3), é provável que a combinação desses dois fatores, espaçamento inicial e teor de argila, tenham sido responsável pelo alto teor de matéria orgânica observada. Na Figura 37 é possível observar o potencial de armazenamento de matéria orgânica nos solos estudados, em função do tamanho de partículas. As maiores concentrações de matéria orgânica foram observadas na fração argila.

As quantidades observadas são superiores as observadas em plantações com a espécie na Flórida.

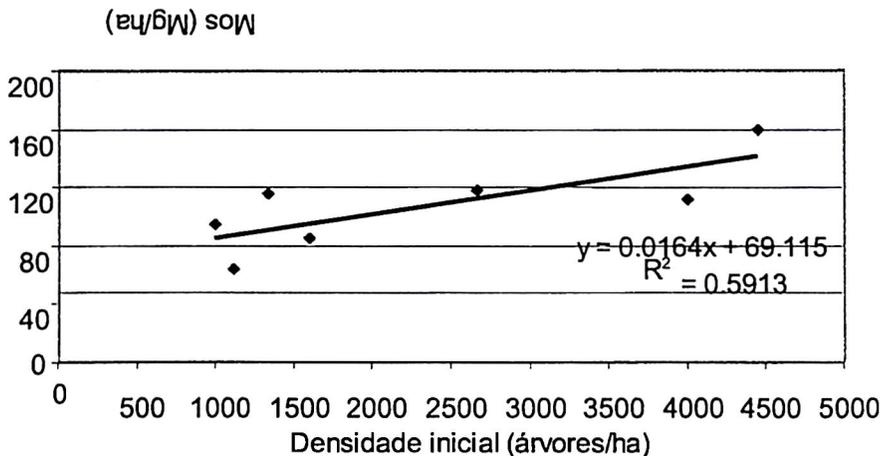


Figura 37. Quantidade de matéria orgânica nos 10 cm da camada superior de solos (Mg/ha) e densidade inicial de plantio (número de árvores / ha) em Rio Negrinho (SC) aos 14 anos de idade.

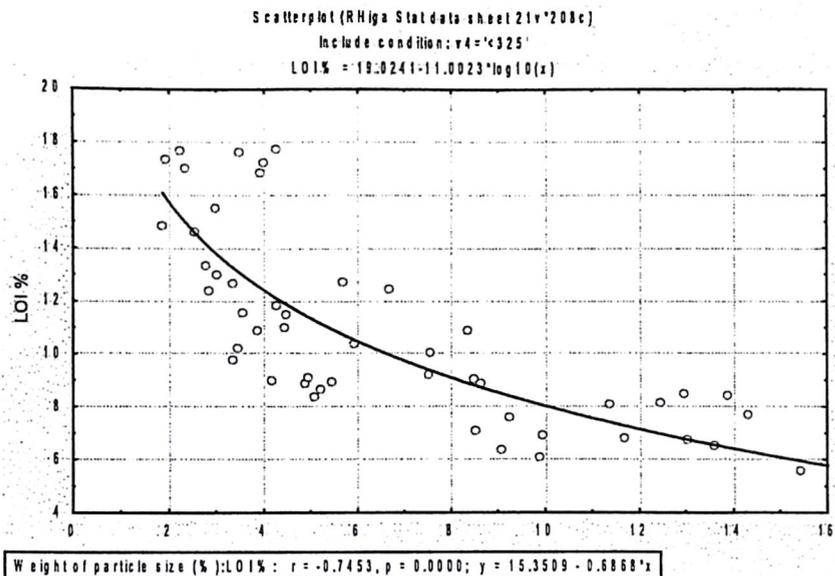


Figura 38. Matéria orgânica (LOI %) nas diferentes frações do solo

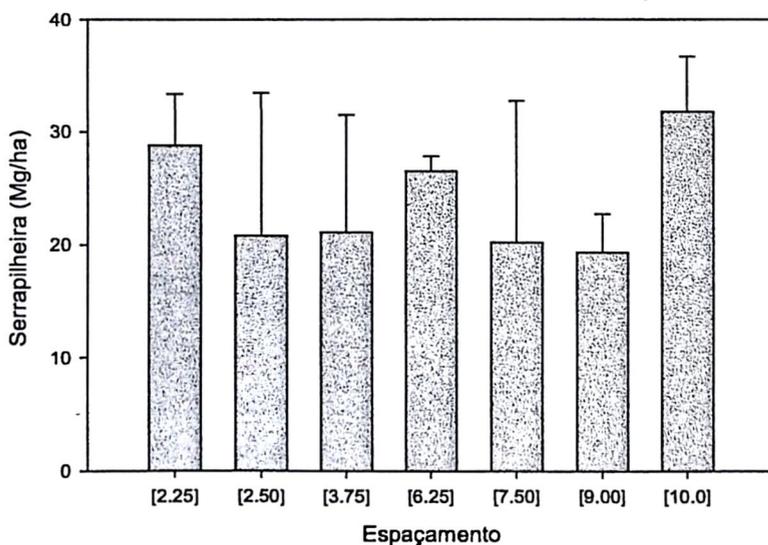


Figura 39. Quantidade de serrapilheira no solo (Mg/ha) em diferentes espaçamentos.

Uma vez que práticas silviculturais como espaçamento, regime de manejo alteram a alocação de biomassa, também alteram a a quantidade de deposição da serrapilheira. A densidade de plantio inicial afeta a alocação de biomassa, especialmente como consequência à adaptação a competitividade, assim alta densidade pode aumentar a proporção de raízes finas para aumentar a capacidade da planta em competir por água e nutrientes, ou aumentar a quantidade de folhas para aumentar a capacidade de competir por luz (Burkes et al., 2003). Segundo Bray & Gorham (1964⁴, citados por Koehler, 1989), quando as copas se fecham, a produção de serrapilheira é pouco afetada pela densidade das árvores, mas após o primeiro desbaste ocorre uma queda na produção proporcional a intensidade do mesmo. Os dados observados nesse estudo apresentaram alta variabilidade (Figura 37) e não apresentam correlação com os espaçamentos usados. A maior deposição foi observada no maior espaçamento (10 m²), no entanto o menor espaçamento apresentou a segunda maior taxa de deposição. Maior número de amostras devem ser coletadas para esse tipo de estudo.

Matéria orgânica no solo é considerado um tema de grande importância não apenas no aspecto relacionado a sequestro de carbono, mas como sendo diretamente ligado a sustentabilidade (Kimble, 2006). Portanto estudos dessa natureza devem ser feitos em conjunto com outros aspectos de produção para um melhor entendimento do assunto.

5. CONCLUSÕES

A quantidade de biomassa acima do solo é afetada pelo espaçamento e pelo regime de manejo adotado.

A alocação de carbono nos diferentes compartimentos da árvore pode ser alterado pelo espaçamento usado e pelo regime de manejo adotado.

O uso de equações alométricas deve respeitar essas diferenças.

⁴ BRAY, J.R.; GORHAM, E. Litter production in the forests of the world. *Advances In Ecological Research*, New York, v. 2, p. 101-157, 1964.

As condições edafoclimáticas de rio Negrinho são extremamente favoráveis para plantio de *P.taeda*, quando comparadas com as condições de Alachua Flórida.

Menores espaçamentos produzem menos biomassa, mas apresentam maiores crescimento em diâmetro.

A sobrevivência é afetada a partir do sexto ano somente para espaçamentos inferiores a 4 m², para os demais a decréscimo é mínimo e que não pode ser atribuído a competição.

Coleta de biomassa para elaboração de equações alométricas deve ser feita antes do desbaste.

A alocação de biomassa em porcentagem é pouco afetada pelo espaçamento, no entanto é alterada nas diferentes classe diamétricas.

As diferenças observadas entre os diferentes espaçamentos e os diferentes regimes de manejo são pequenas e não devem ser consideradas, nessa idade as copas já estão fechadas.

A quantidade de matéria orgânica nos dez centímetros iniciais de solo foi positivamente correlacionada com a densidade inicial de plantio, indicação de que menores espaçamentos são responsáveis por maior acúmulo de carbono no solo nessas condições.

Essas condições também alteram a taxa de decomposição da serapilheira, alterando a ciclagem de carbono e essa deve ser uma das áreas de maior enfoque na continuidade do trabalho.

6. COMENTÁRIOS FINAIS

Estudos como os analisados nesse trabalho, extremamente importantes dentro do tópico ciclagem e seqüestro de carbono, devem ser melhor planejados para melhor aproveitamento dos dados, a falta de repetições impede análise estatística o que prejudica a comparação dos tratamentos aplicados.

As equações geradas nesse trabalho podem ser usadas para condições edafoclimáticos e práticas silviculturais semelhantes, novos parâmetros podem e devem ser incluídos, possibilitando o desenvolvimento de modelos. São necessários mais dados para a geração de modelos com maior precisão, que serão de grande utilidade para estudos de vulnerabilidade da espécie frente a mudanças climáticas globais. Grande parte das plantações com a espécie estão em uma área de transição climática e poderão sofrer queda de produtividade com essas mudanças.

Um dos pontos que despertaram a atenção nesse trabalho foi a comparação de produtividade da espécie entre o Santa Catarina e o norte da Flórida. Embora o grau de melhoramento do material utilizado na maioria das plantações de *P. taeda* no Brasil sejam menores, a produtividade média é bastante superior. Pelos dados apresentados, mesmo tratando-se de apenas um local, é evidente o efeito combinado de clima e solo. São necessários mais estudos relacionados a sustentabilidade da cultura no Brasil, os aumentos de produtividade até agora observados são decorrentes do melhoramento genético e não de práticas silviculturais. É necessário o desenvolvimento de modelos de crescimento híbridos, usando os já tradicionalmente empregados e desenvolvidos no Brasil como SISPINUS com variáveis edáficas e climáticas. Dessa forma seria possível medidas de precaução para a cultura .

O treinamento possibilitou a interação de diversas áreas, como solos, inventário, ecofisiologia e o contato com profissionais de cada uma delas.

O estudo básico utilizado no treinamento foi apropriado não apenas no sentido de interação das áreas , mas também na avaliação das lacunas existentes e problemas encontrados nessa junção. O assunto em questão, balanço de carbono, exige a interação de áreas.

Algumas falhas em relação aos dados coletados puderam ser observadas durante a elaboração desse trabalho e essa observação deveria ser usado na instalação e ou coleta de dados para novos experimentos.

Outro aspecto extremamente importante foi o contato e acesso a técnicas ainda pouco utilizadas no Brasil na área de florestas plantadas como aquelas

usadas no Ameriflux. Uma das áreas monitoradas está instalada na área da Universidade da Flórida.

Além do treinamento, os contatos permitiram o desenvolvimento de futuras parcerias para o desenvolvimento de trabalhos futuros e comparação de dados observados em experimentos similares.

Os dados utilizados no presente trabalho serão usados para validação e implementação de modelos de balanço de carbono e zoneamento climático de *P. taeda*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF. Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2005- ABRAF.—Brasília, 2006. 80p.
- ALBAUGH, T.J.; ALLEN, H.L.; DOUGHERTY, P.M.; JOHNSEN, K.H. Long term growth responses of loblolly pine to optimal nutrient and water resource availability. **Forest Ecology and Management**, 192, p. 3-19, 2004.
- ADEGBIDI, H.G; JOKELA, E.J.;COMERFORD, N.B. Factors influencing production efficiency of intensively managed loblolly pine plantations in a 1- to 4-year-old chronosequence. **Forest Ecology and Management**. 218, p. 245–258, 2005.
- ADEGBIDI, H.G; JOKELA, E.J.;COMERFORD, N.B.; BARROS, N.F. Biomass development for intensively managed loblolly plantations growing on spodosols in the Southeastern USA. **Forest Ecology and Management**. 167, p.91-102, 2002.
- BALDWIN Jr, V.C.; PETERSON, K.D.; CLARK III, A.; FERGUSON, R.B.; STRUB, M.R.; BOWER, D.R. The effects of spacing and thinning on stand and tree characteristics of 38-year-old Loblolly Pine. **Forest Ecology and Management**. 137, 200, p.91-102, 2000.
- BINKLEY, D. Ten-year decomposition in a loblolly pine Forest, **Canadian Journal of Forest Research**, 32, 2231-2235, 2002.
- BIZON, J.M.C.B. **Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantios de *Pinus taeda* L. Usando um balanço de entrada-saída de nutrientes**. Piracicaba, 2006, 92p., Tese (Mestrado), ESALQ.
- BOOTH, T.H. International Responses to Threats of Climate Change. In: Proceedings of an International Workshop on "Facilitating International Carbon Accounting In Forests" Held At Csiro Forestry And Forest Products, Canberra, 24 February 2003. Disponível em: <http://www.atse.org.au> , acesso em 29/05/2003.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia, Gabinete do Ministro, Coordenação de Pesquisa em Mudança de Clima. **Efeito estufa e a convenção sobre a mudança do clima**. [Brasília]: 1999. 38 p.
- BRDE Diretoria de Planejamento - Superintendência de Planejamento Departamento de Programas e Orçamento. **Florestamento na região Sul – Uma análise econômica**. 2003. 51p.
- BROWN, S. **Estimating Biomass and Biomass change of tropical forests: a primer**. Rome: FAO, 1997. (FAO. Forestry Paper, 134).
- BROWN, S. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. **Environmental Pollution**, 116, p. 363–372, 2002.
- BURKES, C. E.; WILL, R.E.; BARRON-GAFFORD, G.A.; TESKEY, R.O. SHIVER, B. Biomass partitioning and growth efficiency of intensively managed *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* stands of different planting densities. **Forest Science**, 49, 2, p. 223-233, 2003.

- CARVALHO, A. P.; MENEGOL, O.; OLIVEIRA, E.B.; MACHADO, S.A.; POTTER, R.O.; FASOLO, P.J. FERREIRA, C.A.; BARTOZESCK, A. Efeitos de características do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda*. **Boletim Pesquisa Florestal**, Colombo, n.39, p. 51-66, jul./dez. 1999.
- CURRIE, W.S., YANAI, R.D., PIATEK, K.B., PRESCOTT, C.E., GOODALE, C.L., 2002. Processes affecting carbon storage in the Forest floor and in downed woody debris, in *The potential of US Forest soils to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect*, Kimble, J.M., Heath, L.S., Birdsey, R.A. and Lal, R., editors, CRC Press, Boca Raton, p.135-157.
- DEAN, T.J.; BALDWIN Jr., CLARK, V. Growth in loblolly pine plantations as a function of stand density and canopy properties. **Forest Ecology and management**, 82, p. 49-58, 1996.
- DESJARDINS, R.L.; SMITH, W.; GRANT, B.; CAMPBELL, C.; RIZNEK, R. Management strategies to sequester carbon in agricultural soils and to mitigate greenhouse gas emissions. **Climatic Change**, 70: 283–297, 2005.
- EMBRAPA. CNPS. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA. CNPS, 1997. 212p.
- FAO (Roma Itália). **The Global Forest Resources Assessment 2005: summary report**. Rome, 2005. 166 p. Disponível em: <http://www.fao.org/forestry/fra>. Acesso em 20 fev. 2006.
- FASSOLA, H.E.; FERRERE, P.; GELID, M.R. Crecimiento en área basal de plantaciones jóvenes de *Pinus taeda* L. origen Marion. INFORME TÉCNICO N° 30 INTA EEA Montecarlo. Misiones. Argentina. 12 p. 2001.
- FEARNSIDE, P. M. Plantation forestry in Brazil: projection to 2050. **Biomass and Bioenergy**, v. 15, n. 6, p. 437-450, 1998.
- FEARNSIDE, P. M. Plantation forestry in Brazil: the potential impacts of climatic change. **Biomass and Bioenergy**, v. 16, n. 2, p. 91-102, 1999.
- FIER, I.S. **Variação genética e métodos de melhoramento para *Pinus maximinoi* H.E. Moore em Telêmaco Borba (PR)**. Curitiba, 2001, 46p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná.
- FRANZLUEBBERS, A.J. Tillage and residue management effects on soil organic matter. In; **SOIL ORGANIC MATTER IN SUSTAINABLE AGRICULTURE** eds Fred Magdoff and Ray R. Weil. CRC PRESS, Boca Raton, 2004. 416 p
- GARTEN JR. C. Soil carbon storage beneath recently established tree plantations in Tennessee and South Carolina, USA. **Biomass and Bioenergy**, 23, p. 93-102, 2002.
- GHOLZ, H.L.; MARTIN, T. A.; STARR, G. **Long term dynamics of carbon, water and energy fluxes for managed and natural pine ecosystems in Florida**. 2001-2002 Annual Report. 11p. Não publicado.
- HENNESSEY, T.C.; DOUGHERTHY, P.M.; LYNCH, T.B.; WITWER, R.F.; LORENZI, E.M. Long term growth and ecophysiological responses of a

southeastern Oklahoma loblolly pine plantation to early rotation and thinning. **Forest Ecology and Management**, 192, p. 97-112, 2004.

JANDL, R. Secuestro de carbono en bosques: El papel del suelo. In: IUFRO TALLER INTERNACIONAL SOBRE SECUESTRO DE CARBONO, 2001, Mérida. Taller... Mérida: [[s.n.], 2001. 9 p.

JARVIS, P.G.; IBROM, A.; LINDER, S. "Carbon forestry": managing forests to converse carbon. In: the Carbon Balance of Forest Biomes. Eds: Griffiths, H. & Jarvis, P. Taylor and Francis. 2005. 356 p.

JOKELA, E.J.; MARTIN, T.A. Effects of ontogeny and soil nutrient supply on production, allocation, and leaf area efficiency in loblolly and slash pine stands. **Can. J. For. Res.**, 30: p. 1511-1524, 2000.

JOKELA, E.J.; DOUGHERTY, P.M.; MARTIN, T.A. Production dynamics of intensively managed loblolly pine stands in the southern United States: a synthesis of seven long-term experiments. **Forest Ecology and Management**, 192, p. 117-130, 2004.

JOHNSEN, K. H.; WEAR, DAVID N.; OREN, R.; TESKEY, R.O.; SANCHEZ, F.; WILL, RODNEY E.; BUTNOR, J.; MARKEWITZ, D.; RICHTER, D.; RIALS, T.; ALLEN, H.L.; SEILER, J.; ELLSWORTH, D.; MAIER, C.; KATUL, G.; DOUGHERTY, P.M. **Journal of Forestry**, 99(4): 14-21, 2001.

JOHNSEN, K.; TESKEY, B.; SAMUELSON, L. BUTNOR, J.; SAMPSON, D.; SANCHEZ, F.; MAIER, C.; McKEAND, S. Carbon sequestration in loblolly pine plantations: methods, limitations and research needs for estimating storage pools. In: Carbon sequestration. P. 373-383. 2005.

KIMBLE, J.M. Soil Carbon Sequestration: Why In: Application of advanced soil carbon measurement methods on Brazil Carbon Projects Land, 2004, Matinhos. Proceedings: Curitiba [s.n.], 2006. CD.

KOEHLER, C.W. **Variação estacional da deposição da serapilheira e de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* na região de Ponta Grossa, PR.** 1989. Tese de Mestrado - Universidade Federal do Paraná.

KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R.H. **A cultura do Pinus no Brasil.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005, 156p.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management**, 220 91-3), p. 242-258, 2005.

LAL, R. The potential of Soil Carbon Sequestration in Forest Ecosystems to Mitigate the Greenhouse Effect. In: Soil Carbon Sequestration and the GreenhouseEffect. Rattan Lal ed. SSSA Special Publication Number 157. Soil Society of America, Inc. Madison, WI, USA. 2001. 236 p.

LARSON, P.R.; KRETSCHMANN, D.E.; CLARK III, A.; ISEBRANDS, J.G. Formation and properties of juvenile wood in southern pines. Sinopsis. **Unites States Department of Agriculture – Forest Service.** 2001. 42p.

LITTLE, E., JR., Atlas of United States trees. v. 1. Conifers and important hardwoods. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, 1971.

MAIER, C.A.; ALBAUGH T. J.; ALLEN L.H; DOUGHERTY, P.M. Respiratory carbon use and carbon storage in mid-rotation loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations: the effect of site resources on the stand carbon balance. **Global Change Biology**, 10, 1335–1350, 2004.

MARTIN, T.A.; JOKELA, E. J. Stand development and production dynamics of loblolly pine under a range of cultural treatments in north-central Florida USA. **Forest Ecology and Management**, 192, p. 39-58, 2004.

MARTINELLI L. M.; MOREIRA, M. Z.; BROWN, I. F.; VICTORIA. R. L. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂: Uma Nova Oportunidade de Negócio para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 198-221.

MONIZ, A.C. Elementos de Pedologia. USP, Polígono. São Paulo. 1972.

NAIDU, S.L.; DELUCIA, E.H.; THOMAS, R.B. Contrasting patterns of biomass allocation in dominant and suppressed loblolly pine. **Canadian Journal of Forestry Research**, 28, p.1116-1124, 1998.

OLIVEIRA, E.B. **Um sistema computadorizado de prognose de crescimento e produção de *Pinus taeda* L. Com critérios quantitativos para a avaliação técnica e econômica de regimes de manejo**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná. 1995. 126p. Tese Doutorado.

PAUL, K.I.; POLGLASE, P.J.; RICHARDS, G.P. Predicted change in soil carbon following afforestation or reforestation, and analysis of controlling factors by linking a C accounting model (CAMFor) to models of forest growth (3PG), litter decomposition (GENDEC) and soil C turnover (RothC). **Forest Ecology and Management**, 177, p. 485-501, 2003.

POST,W.M; IZAURRALDE, C.R.; JASTROW,J.D.; MCCARL, B.A.; AMONETTE,J.E.; BAILEY,V.L.; JARDINE, P.M.; WEST, T.O.; ZHOU, J. Enhancement of Carbon Sequestration in US Soils. **BioScience**, 54 (10), p. 895-908, 2004.

POST W.M.; KWON, K.C. Carbon soil sequestration and land use change: processes and potential. **Global Change Biology**, 6, 317-321, 2000.

REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; VALENTE, O. F.; FERNADES, H. A. C. Sequestro e armazenamento de carbono em florestas nativas e plantadas dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂: Uma Nova Oportunidade de Negócio para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 156-195.

SALAZAR, R.C. **Valuing the environmental service of permanent forests stands to the global climate: the case of Costa Rica**. 1999. 101 p. Thesis (Doctor of Design) Graduate School of Design – Harvard University, Cambridge, Massachusetts.

SAMPSON, D.A.; ALLEN, H.L. Regional influences of soil available water-holding capacity and climate, and leaf area index on simulated loblolly pine productivity. **Forest Ecology and Management**, 124, p. 1-12, 1999.

SAMUELSON, L.J. JOHNSEN, K.; STOKES, T. Production, allocation and stemwood growth efficiency of *Pinus taeda* L. stands in response to 6 years of intensive management. **Forest Ecology and Management**, 192, p. 59-70, 2004.

SAMUELSON, L.J. JOHNSEN, K.; STOKES, T., WEINNLUNG, L. Intensive management modifies soil CO₂ efflux in 6-year-old *Pinus taeda* L. stands. **Forest Ecology and Management**, 200, p. 335-345, 2004.

SANQUETTA, C.R.; ARCE, J.E.; MELLO, A.A.; SILVA E.Q.; BARTH FILHO, N.; MATOSKI, S.L.S. Produção de madeira livre de nós em povoamentos de *Pinus taeda* em função da densidade de plantio. **Cerne**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 129-140, jul./dez. 2003.

SCHUMACKER, M.V., BRUN, E.J., KÖNIG, F.G., KLEINPAUL, J.J., KLEINPAUL, I.S., 2004. Análise de nutrientes para sustentabilidade, **Revista da Madeira** 83, edição eletrônica (<http://www.remade.com.br/revista/materia>).

SCHUTZ, R. **Loblolly Pine: The ecology and culture of Loblolly Pine** (*Pinus taeda* L.). Agricultural Handbook n. 713. New Orleans, Louisiana, dec. 1997.

SHIMIZU, J. Y.; HIGA, A. R. Variação racial do *Pinus taeda* L. no sul do Brasil até o sexto ano de idade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 2, p. 1-25, 1981.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA (São Paulo, SP). **Estatísticas**. Disponível em: <http://www.sbs.org>. Acesso em 20 de ago de 2001.

SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T.; SUMNER, M.E. (eds.) **Methods of Soil Analysis. Part 3 Chemical Methods**. Madison, Wisconsin, USA. Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc. 1996. 1390 p.

SPRUGEL, D.G. Correcting for bias in log-transformed allometric equations. **Ecology**, 64 (1), p. 209-210, 1983.

STERBA, H.; L. AMATEIS, R.L. Crown efficiency in a loblolly pine (*Pinus taeda*) spacing experiment. **Can. J. For. Res.**, 28: p. 1344–1351, 1998.

SWORD SAYER, M.A.; GOELZ, J. C G.; CHAMBERS J. L.; TANG Z.; DEAN T. J.; HAYWOOD J. D.; LEDUC D. J. Long-term trends in loblolly pine productivity and stand characteristics in response to thinning and fertilization in the West Gulf region. **Forest Ecology and Management**, v. 192, n 1, 19, p.71-96, 2004.

VALERI, S. V. **Exportação de biomassa e nutrientes de povoamentos de *Pinus taeda* L. desbastados em diferentes idades**. Tese de doutorado. UFPR. 1988 164p.

WATZLAWICK, L.F. **Estimativa de biomassa e carbono em floresta ombrofila mista e plantacoes florestais a partir de dados de imagens de satellite Ikonos II**. Universidade Federal do Parana. Tese de Doutorado. 2003. 119 p.

WILL, R.E.; GREGORY T. MUNGER, G.T.; YUJIA ZHANG, Y.; BRUCE E. BORDERS, B.E. Effects of annual fertilization and complete competition control on current annual increment, foliar development, and growth efficiency of different aged *Pinus taeda* stands. **Can. J. For. Res.**, 32: p. 1728-1740, 2002.

WOODBURY, P. B.; SMITH, J. E.; WEINSTEIN, D. A.; LAURENCE, J. A. Assessing potential climate change effects on loblolly pine growth: A probabilistic regional modeling approach. **Forest Ecology and Management**, n. 107, p. 99-116, 1998.

XIAO, Y. **Crown structure, growth performance, nutritional characteristics, and their genetic parameter estimates in juvenile loblolly and slash pine.** Tese de Doutorado. University of Florida, Gainesville, FL, 221 p. 2000

ANEXOS

Tabela 1. Características dos solos das áreas experimentais amostradas em Rio Negrinho (SC).

Experimento: São Pedro

Coleta:17/0

9/2004 Trado-Itamar

Peneirado a 65 mesh/ 70 ASTM/ 212 mm

GRANULOMETRIA (CNPS)					
Tratamento	HORIZONTE	PROF	Areia	Silte	Argila
5	Ap	0 a 5	216	564	220
		5 a 10	242	538	220
		10 a 20	280	500	220
		20 a 30	274	546	180
	AB	30 a 40	248	572	180
	AB	40 a 50	250	590	160
	B	50 a 60	312	508	180
6	Ap	0 a 5	246	494	260
		5 a 10	240	500	260
		10 a 20	226	514	260
		20 a 30	206	554	240
	AB	30 a 40	250	510	240
	AB	40 a 50	244	516	240
	B	50 A 60	262	458	280
7	Ap	0 a 5	Quantidade insuficiente para análise		
		5 a 10	128	592	280
		10 a 20	132	588	280
		20 a 30	154	566	280
	AB	30 a 40	162	538	300
	AB	40 a 50	178	542	280
	B	50 A 60	242	498	260
8	Ap	0 a 5	314	326	360
		5 a 10	328	312	360
		10 a 20	292	348	360
		20 a 30	206	474	320
	AB	30 a 40	344	316	340

AB	40 a 50	332	308	360
B	50 A 60	358	262	380

Valério

Coleta:17/09/2004

Solo peneirado a 65 mesh

9	0 a 5	52	468	480
	5 a 10	64	456	480
	10 a 20	52	488	460
	20 a 30	54	466	480
	30 a 40	52	448	500
	40 a 50	56	424	520
	50 A 60	42	438	520
	10	0 a 5	172	448
5 a 10		176	424	400
10 a 20		172	468	360
20 a 30		204	376	420
30 a 40		236	364	400
40 a 50		236	364	400
50 A 60		232	348	420
11		0 a 5	150	470
	5 a 10	128	492	380
	10 a 20	120	500	380
	20 a 30	162	478	360
	30 a 40	178	442	380
	40 a 50	168	372	460
	50 A 60	130	390	480

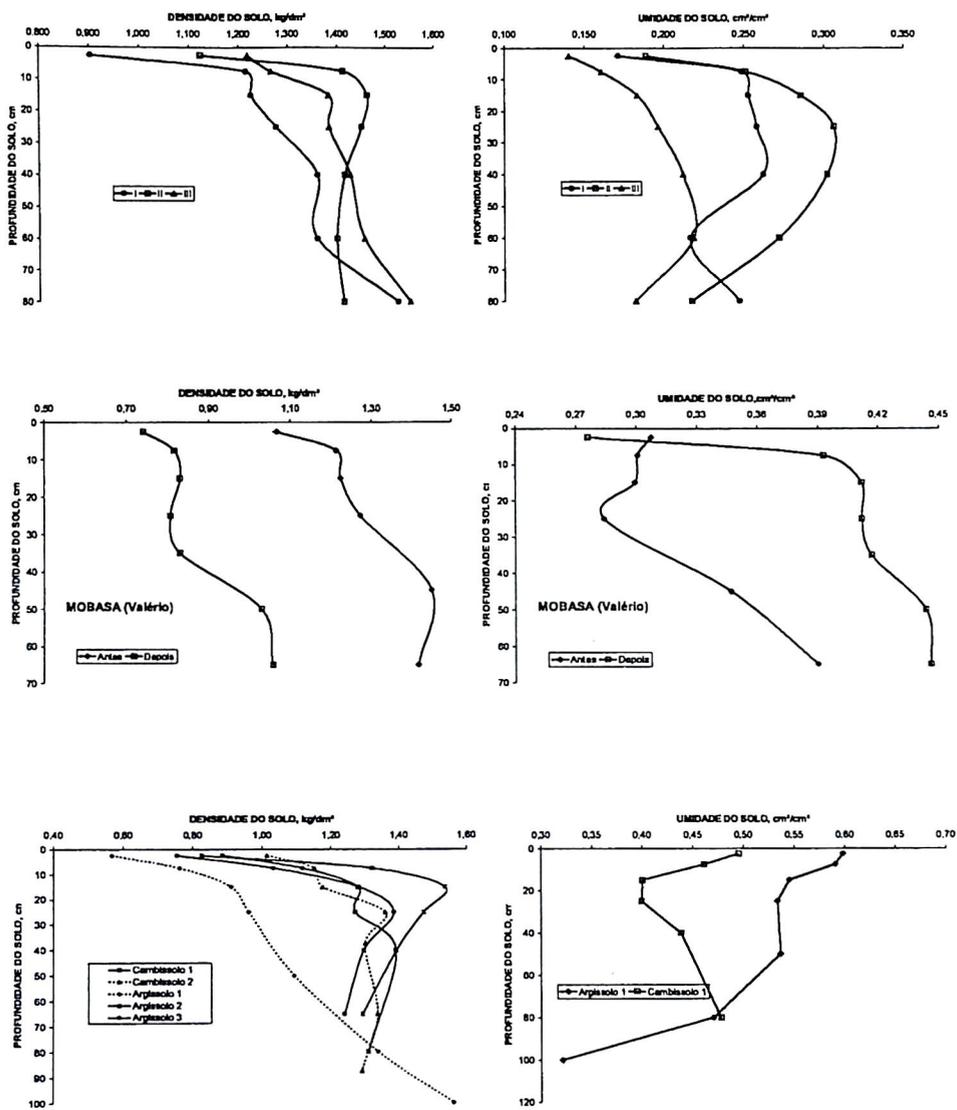


Figura 1. Densidade dos solos da áreas experimentais amostradas em Rio Negrinho (SC).