



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
MUSEU PARAENSE EMILIO GOELDI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**ESTOQUES E FLUXOS DE CARBONO EM PLANTAÇÕES
FLORESTAIS JOVENS DE *Acacia mangium* E *Schizolobium parahyba*
var. *amazonicum* NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

JORGE FERNANDO BARROS DE FREITAS

Orientador: STEEL SILVA VASCONCELOS

**BELÉM
Pará – Brasil
2010**

JORGE FERNANDO BARROS DE FREITAS

**ESTOQUES E FLUXOS DE CARBONO EM PLANTAÇÕES
FLORESTAIS JOVENS DE *Acacia mangium* E *Schizolobium parahyba*
var. *amazonicum* NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi e Embrapa Amazônia Oriental como parte das exigências para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e dinâmica sócio-ambiental na Amazônia.

Linha de pesquisa: Ecossistemas amazônicos e dinâmicas sócio-ambientais.

Orientador: Steel Silva Vasconcelos

**BELÉM
Pará – Brasil
2010**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

F866e Freitas, Jorge Fernando Barros de

Estoques e fluxos de carbono em plantações florestais jovens de *Acacia mangium* e *Schizolobium parahyba* var. *Amazonicum* na Amazônia Oriental / Jorge Fernando Barros de Freitas; Orientadora: Steel Silva Vasconcelos - 2010.

97fl.: il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Belém, 2010.

1. Dióxido de carbono. 2. Fitomassa. 3. Plantação florestal. 4. Dom Eliseu (PA). I. Vasconcelos, Steel Silva, *orient.* II. Universidade Federal do Pará III. Título.

CDD 20° ed.: 577.144

JORGE FERNANDO BARROS DE FREITAS

**ESTOQUES E FLUXOS DE CARBONO EM PLANTAÇÕES
FLORESTAIS JOVENS DE *Acacia mangium* E *Schizolobium parahyba*
var. amazonicum NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi e Embrapa Amazônia Oriental como parte das exigências para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Data da Aprovação:

Conceito:

Banca Examinadora:

Steel Silva Vasconcelos
Doutor em Recursos e Conservação Florestais
pela Universidade da Flórida, Estados Unidos.
Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental

Raimundo Cosme de Oliveira Júnior
Doutor em Geologia e Geoquímica pela
Universidade Federal do Pará, Brasil.
Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental

José Henrique Cattânio
Doutor em Agronomia pela Universidade de
Goettingen, Alemanha.
Professor da Universidade Federal do Pará

Francisco de Assis Oliveira
Doutor em Geologia e Geoquímica pela
Universidade Federal do Pará, Brasil.
Professor da Universidade Federal Rural da
Amazônia.

Aos meus pais,
Jorge e Maria,
Pelos ensinamentos de trabalho, paciência e perseverança.

Às minhas irmãs,
Leila e Nelma e ao meu sobrinho João Pedro,
Pelo grande e fundamental apoio na luta diária.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, especialmente aos professores, pelos ensinamentos e orientações em sala de aula e à turma de 2008, pelas atividades interdisciplinares.

Ao Programa de bolsas da CAPES, pelo financiamento da bolsa de estudos.

Ao orientador Steel Silva Vasconcelos por todo o incentivo, apoio, crédito, e principalmente pela incansável orientação e paciência na condução de todo o processo.

Ao Projeto Florestar “Testes com espécies florestais em plantios homogêneos e em sistemas consorciados para uso madeireiro, energético e de mercado de créditos de carbono”, parceria entre a Embrapa Amazônia Oriental e Carbon Positive Gerenciamento de Projetos Brasil Ltda, pelo apoio logístico e financeiro em todas as etapas da pesquisa de campo e laboratório.

Ao Projeto Carbon Positive, em especial à Moira Adams Coordenadora do Projeto no Brasil pelo indispensável apoio de campo, e a todos os pesquisadores (Alexandre Mehl, Sônia Botelho, e outros) e demais bolsistas, e a todos os trabalhadores de campo envolvidos.

Às bolsistas Sofia Correa e Khety Oliveira, pela dedicação nas viagens de campo e pelo grande apoio no laboratório.

A Cláudio de Paula, pelo ajuste técnico decisivo na bateria do analisador de CO₂ e a Bruno Serrão, pelos momentos em que teve presente nas análises dos gases.

Aos funcionários do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Embrapa: Cléo de Souza e Everson Rocha, pelo apoio em algumas viagens de campo e em laboratório e a Neusa Ferreira e Ivanildo Trindade, pelo apoio no laboratório.

Ao funcionário da Embrapa Inocêncio Neto pelo grande e fundamental apoio e descontração nas viagens de campo.

Aos trabalhadores fixos de campo: Divino e Neto pelo apoio logístico e coordenação dos trabalhos contínuos no campo experimental.

Ao pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Moisés Mourão, pela paciência, apoio e orientação nas análises estatísticas.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pela concessão dos dados meteorológicos.

E a todos aqueles que não foram citados, que direta ou indiretamente fizeram com que esse trabalho fosse possível.

“As pessoas que vencem neste mundo são as que procuram as circunstâncias de que precisam e, quando não as encontram, as criam”

Bernard Shaw

RESUMO

Plantações florestais são consideradas como alternativas de uso da terra para mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, devido ao potencial de sequestro de carbono em espécies arbóreas. No entanto, há poucas informações sobre estoques e fluxos de carbono em espécies comumente usadas em plantações florestais, sobretudo na Amazônia. O objetivo deste estudo foi determinar o estoque de carbono na fitomassa e o efluxo de dióxido de carbono do solo em plantios de *Acacia mangium* Willd e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* em diferentes espaçamentos. O estudo foi conduzido em Dom Eliseu, Pará, cujo clima apresenta temperatura média anual em torno de 25 °C e precipitação anual de 2250 a 2500 mm; o solo predominante é Latossolo amarelo distrófico típico A moderado textura muito argilosa. Neste estudo foram selecionadas duas espécies (*A. mangium* e *S. parahyba*) em dois espaçamentos (4,0 m x 2,0 m e 4,0 m x 3,0 m), com duas repetições, totalizando 4 tratamentos e 8 parcelas, estudadas por um período de um ano, dos 2,5 aos 3,5 anos de idade. As parcelas mediram 48 m x 60 m. Mediram-se altura total, diâmetro à altura do peito, fluxo de CO₂ do solo, e estimou-se o estoque de carbono na fitomassa acima do nível do solo. O efluxo de CO₂ do solo nos plantios de *A. mangium* tiveram uma média global de $5,61 \pm 1,30$ Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, e, em *S. parahyba*, a média global foi $7,07 \pm 1,50$ Mg C ha⁻¹ ano⁻¹. O acúmulo anual de carbono na fitomassa acima do solo nos plantios de *A. mangium* foi $16,41 \pm 1,16$ e $14,03 \pm 0,82$ Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, no 4,0 x 2,0 m e 4,0 x 3,0 m, respectivamente. Em *S. parahyba* o acúmulo anual global foi $8,93 \pm 1,87$ Mg C ha⁻¹ ano⁻¹. O plantio de *A. mangium* acumulou mais carbono na fitomassa acima do solo em relação a *S. parahyba*, com efluxos anuais de CO₂ menores em relação ao plantio de *S. parahyba* em ambos espaçamentos. Dessa forma, plantios de *A. mangium*, no espaçamento 4,0 x 2,0 m, são recomendados para projetos de sequestro de carbono. Entre os espaçamentos de plantio testados para *S. parahyba*, 4,0 x 3,0 m seria recomendado devido a mesma eficiência no sequestro de carbono em relação a 4,0 x 2,0 m, porém com menor requerimento de mudas. A continuidade no monitoramento nessas plantações florestais é fundamental para que conclusões mais definitivas sejam feitas a respeito da dinâmica do carbono.

Palavras - chave: 1. Dióxido de carbono. 2. Fitomassa. 3. Plantação florestal. 4. Dom Eliseu (PA).

ABSTRACT

Forest plantations are considered as an alternative land use to mitigate the effects of climate change due to their potential for carbon sequestration in tree species. However, there is little information about carbon stocks and fluxes in forest plantations commonly used in the tropics, especially in the Amazon. The aim of this study was to quantify aboveground carbon stock and soil carbon dioxide (CO₂) efflux in *Acacia mangium* Willd and *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* at different spacings. The study was conducted in Dom Eliseu, Pará, whose climate has a mean annual temperature around 25 °C, annual rainfall varies from 2250 to 2500 mm; predominant soil is A moderate typic dystrophic Oxisol loamy soil. In this study we selected two species (*A. mangium* and *S. parahyba* var. *Amazonicum*) at two spacings (4.0 x 2.0 m and 4.0 x 3.0 m) with two replications, resulting in 4 treatments and 8 plots studied for a period of one year, from 2.5 to 3.5 years old. The plots measured 48 m x 60 m. We measured: height, diameter at breast height, soil CO₂ flux, and estimated aboveground carbon stock. Mean soil CO₂ efflux in plantations of *A. mangium* was 5.61 ± 1.30 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹, and for *S. parahyba* the overall average was 7.07 ± 1.50 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹. Annual accumulation of carbon in above-ground biomass *A. mangium* was 16.41 ± 1.16 and 14.03 ± 0.82 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹ in 4.0 x 2.0 m and 4.0 x 3.0 m and 3.0 m, respectively. In *S. parahyba* the annual accumulation rate was 8.93 ± 1.87 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹. *A. mangium* plantations accumulated more carbon in aboveground biomass than *S. parahyba*, with lower annual soil CO₂ efflux smaller in relation to *S. parahyba* in both spacings. Overall *A. mangium* plantations in the 4.0 x 2.0 m spacing are recommended for carbon sequestration projects. In relation to *S. parahyba*, the 4.0 x 3.0 m would be recommended due to the same efficiency in carbon sequestration with lower requirement of inputs (seedlings) compared to 4.0 x 2.0 m. Continuous monitoring of the studied plantations would be very suitable to better understand the carbon dynamics.

Key words: 1. Carbon dioxide. 2. Phytomass. 3. Planted forest. 4. Dom Eliseu (PA)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Componentes principais do balanço de energia, inerentes ao efeito estufa.....	19
Figura 2. Ciclo geral do carbono.....	21
Figura 3. Elementos básicos do ciclo do carbono associados à produtividade primária líquida de um ecossistema.....	25
Figura 4. Plantação avaliada de <i>Acacia mangium</i> Willd.....	39
Figura 5. Plantação avaliada de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	42
Figura 6. Mapa de localização da área de estudo.....	43
Figura 7. Modelo de estação meteorológica de observação de superfície automática do INMET.....	44
Figura 8. Valores de precipitação mensal e número de dias sem chuva e valores médios de temperatura e umidade relativa do ar.....	45
Figura 9. Croqui georreferenciado da área experimental com as diferentes espécies e espaçamentos avaliados no Projeto Florestar.....	47
Figura 10. Medição da altura total (m).....	49
Figura 11. Medição do diâmetro à altura do peito.....	50
Figura 12. Representação esquemática da distribuição de indivíduos arbóreos nas parcelas e subparcelas.....	51
Figura 13. Medição de dióxido de carbono.....	54
Figura 14. Coleta de solo para determinação da umidade do solo.....	55
Figura 15. Minitrincheira de amostras de coleta de solo para análise granulométrica.....	56
Figura 16. Valores da umidade do solo de plantios de <i>Acacia mangium</i> Willd, em função do espaçamento praticado e classes texturais do solo, ao longo dos meses de avaliação....	60
Figura 17. Valores médios dos efluxos de CO ₂ do solo nos plantios de <i>Acacia mangium</i> Willd, em função da interação espaçamento praticado e classes texturais do solo, ao longo dos meses de avaliação.....	63
Figura 18. Efluxo anual de CO ₂ do solo nos plantios de <i>Acacia mangium</i> Willd sob espaçamentos diferentes.....	68
Figura 19. Incremento médio diário do diâmetro à altura do peito (DAP) para o período de estudo em relação à precipitação mensal.....	74

Figura 20. Curva de acúmulo de carbono na fitomassa acima do solo para os espaçamentos de <i>Acacia mangium</i> Willd, em relação aos meses de avaliação.....	76
Figura 21. Valores médios de umidade gravimétrica do solo de plantios de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> ao longo dos meses de avaliação.....	78
Figura 22. Valores médios dos efluxos de CO ₂ do solo nos plantios de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> , em função dos espaçamentos praticados ao longo dos meses de avaliação.....	81
Figura 23. Efluxo anual de CO ₂ do solo nos plantios de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	82
Figura 24. Incremento médio diário do diâmetro à altura do peito (DAP), nos plantios de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> , para o período de estudo em relação à precipitação mensal.....	87
Figura 25. Curva de acúmulo de fitomassa para os espaçamentos de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> nos meses de avaliação.....	88

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Valores de algumas variáveis climáticas e classificação por cada período.....46
- Tabela 2. Tabela de análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre a umidade do solo de plantios de *Acacia mangium* Willd.....58
- Tabela 3. Valores médios de umidade do solo nos plantios de *Acacia mangium* Willd em função dos espaçamentos praticados e classes texturais de solo, ao longo dos meses de avaliação.....59
- Tabela 4. Tabela de análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre o efluxo de CO₂ do solo de plantios de *Acacia mangium* Willd.....61
- Tabela 5. Valores médios de efluxos de CO₂ do solo nos plantios de *Acacia mangium* Willd ao longo dos meses de avaliação, entre espaçamentos.....61
- Tabela 6. Estimativas de efluxo de CO₂ do solo em várias modalidades de uso da terra, em regiões tropicais e outras.....65
- Tabela 7. Tabela de análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre a altura de indivíduos de *Acacia mangium* Willd.....68
- Tabela 8. Valores médios de altura total individual de *Acacia mangium* Willd, em função dos espaçamentos praticados, ao longo dos meses de avaliação.....69
- Tabela 9. Quadro de análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre o DAP de indivíduos de *Acacia mangium* Willd.....70
- Tabela 10. Valores médios de DAP de *Acacia mangium* Willd, em função dos espaçamentos praticados, ao longo dos meses de avaliação.....71
- Tabela 11. Quadro de análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre o DAP diário de indivíduos de *Acacia mangium* Willd.....72
- Tabela 12. Valores médios de incremento médio diário em DAP de *Acacia mangium* Willd, em função dos espaçamentos ao longo dos meses de avaliação.....73
- Tabela 13. Alguns resultados de estoque de carbono na fitomassa acima do solo em plantios florestais.....77
- Tabela 14. Quadro de análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre a umidade do solo de plantios de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*.....78
- Tabela 15. Quadro de análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre o efluxo de CO₂ do solo de plantios de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*...79
- Tabela 16. Valores médios de efluxos de CO₂ do solo de plantios de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, em função dos espaçamentos praticados, ao longo dos meses de avaliação.....79

Tabela 17. Quadro de análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre altura individual de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	82
Tabela 18. Valores médios de altura individual de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> em função dos espaçamentos praticados, ao longo dos meses de avaliação.....	83
Tabela 19. Quadro de análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre o diâmetro à altura do peito de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	83
Tabela 20. Valores médios de DAP de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> em função dos espaçamentos praticados, ao longo dos meses de avaliação.....	84
Tabela 21. Quadro de análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre incremento médio diário de DAP de indivíduos de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	85
Tabela 22. Valores médios de incremento médio diário em DAP de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> , ordenados segundo o teste de Tukey ($\alpha=0,05$), em função dos espaçamentos e classes texturais ao longo dos meses de avaliação.....	86
Tabela 23. Valores das principais variáveis avaliadas nos plantios de <i>Acacia mangium</i> Willd e <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> nos espaçamentos testados ao longo do período de estudo.....	90

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	ELEMENTOS TEÓRICOS	18
2.1	EFEITO ESTUFA.....	18
2.2	CICLO GERAL DO CARBONO.....	20
2.3	CICLO DO CARBONO EM PLANTAÇÕES FLORESTAIS.....	23
2.4	EFLUXO DE DIÓXIDO DE CARBONO DO SOLO.....	26
2.5	DINÂMICA DE CRESCIMENTO VEGETAL.....	29
2.6	IMPORTÂNCIA DAS PLANTAÇÕES FLORESTAIS NO ESTADO DO PARÁ.	
3	OBJETIVO GERAL	34
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	34
4	PERGUNTA DE PESQUISA	35
5	HIPÓTESES	36
6	MATERIAL E MÉTODOS	37
6.1	DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES FLORESTAIS	37
6.1.1	<i>Acacia mangium</i> Willd.....	37
6.1.2	<i>Schizolobium parahyba var. amazonicum</i>	40
6.2	ÁREA DE ESTUDO.....	43
6.3	PREPARO DA ÁREA E CONDUÇÃO DOS PLANTIOS.....	47
6.4	MEDIÇÃO DE ALTURA TOTAL.....	49
6.5	MEDIÇÃO DE DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO.....	50
6.6	ESTOQUE DE FITOMASSA ACIMA DO SOLO.....	52
6.7	ESTOQUE DE CARBONO NA FITOMASSA ACIMA DO SOLO.....	52
6.8	EFLUXO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂) DO SOLO.....	53
6.8.1	Estimativa do efluxo anual de CO₂ do solo	54
6.9	UMIDADE DO SOLO.....	54
6.10	COLETA DE SOLO E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	55
7	ANÁLISE ESTATÍSTICA	57

8	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
8.1	<i>ACACIA MANGIUM</i> WILLD.....	58
8.1.1	Umidade do solo.....	58
8.1.2	Efluxo de CO ₂ do solo.....	60
8.1.3	Estimativa de efluxo anual de CO ₂ do solo.....	67
8.1.4	Crescimento em altura total.....	68
8.1.5	Crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP).....	70
8.1.6	Incremento médio diário de DAP.....	71
8.1.7	Carbono acumulado na fitomassa acima do solo.....	74
8.2	<i>SCHIZOLOBIUM PARAHYBA</i> VAR. <i>AMAZONICUM</i>	78
8.1.1	Umidade do solo.....	78
8.1.2	Efluxo de CO ₂ do solo.....	79
8.1.3	Estimativa do efluxo anual de CO ₂ do solo.....	81
8.1.4	Crescimento em altura total.....	82
8.1.5	Crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP).....	83
8.1.6	Incremento médio diário de DAP.....	85
8.1.7	Carbono acumulado na fitomassa acima do solo.....	87
9	COMPARAÇÃO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS ENTRE AS DUAS ESPÉCIES	89
10	CONCLUSÕES	91
	REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

Plantações florestais são sistemas indicados para recuperação de áreas degradadas e proteção de recursos hídricos e da biodiversidade local, constituindo formas apropriadas e menos impactantes de uso da terra, além do elevado potencial de fixação de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico (LIMA et al, 2002; POGGIANI; STAPE; GONÇALVES, 1998). O manejo de plantações florestais deve (a) ser sustentável nos aspectos econômico, ecológico, social e cultural, e (b) considerar uma vinculação recíproca entre os recursos florestais e processos do ecossistema, incluindo o fluxo de energia e a ciclagem de água e nutrientes (LIMA et al, op.cit.).

No Brasil, plantações florestais ocupam cerca de 53 mil km² (1 km² = 100 ha), representando aproximadamente 1% da cobertura florestal do país (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF), 2008). A maior área plantada (55%) é formada por eucalipto (*Eucalyptus spp*), ao passo que 35% são de pinus (*Pinus spp*). Os 10% restantes estão distribuídos entre paricá (*Schizolobium amazonicum*), acácia (*Acacia spp*), teca (*Tectona grandis*), seringueira (*Hevea brasiliensis*), entre outras (ABRAF, 2008). Nos últimos anos, a introdução de plantações florestais tem expandido na Amazônia brasileira (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 2003).

Devido ao potencial de fixação de CO₂, plantações florestais são indicadas como sistemas para flexibilização de compromissos de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), entre eles o CO₂, dos países com metas de redução, de acordo com a Convenção do Clima da Organização das Nações Unidas - ONU (CHANG, 2004). O reconhecimento do potencial das plantações florestais em contribuir para a mitigação de GEE gera demandas de informações sobre espécies florestais que agreguem altas

produtividades em fitomassa e fixação de carbono no sistema solo-planta (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2007). Recentemente tem sido reconhecida a importância da quantificação das emissões dos GEE, entre eles o CO₂, como componente importante na estimativa do potencial de fixação de carbono em plantações florestais (JACOVINE et al, 2006; IPCC, 2007).

No Brasil, não existem históricos de programas de reflorestamento integrando instituições de pesquisas e empresas do setor florestal, com exceção de atividades de pesquisa em zoneamento edafoclimático para plantações florestais de rápido crescimento, principalmente na Amazônia (EMBRAPA, 2003). São escassas, no Brasil, principalmente na Amazônia, informações referentes às plantações florestais no que tange a acúmulo de fitomassa, crescimento em altura e diâmetro, produção de serapilheira e densidade arbórea do povoamento.

O governo brasileiro, com o Plano Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) e por meio do inventário florestal nacional, recentemente estabeleceu iniciativas para reduzir a escassez de informações acerca de crescimento, volume de carbono e também informações de solos, biodiversidade, etc, existentes nas principais tipologias florestais em todo o País (BRASIL, 2008; FONTES, 2008). Também são necessários monitoramentos contínuos de parâmetros de crescimento vegetativo, ciclagem de elementos biogeoquímicos, uso da água e de fixação de carbono no sistema solo-planta em áreas de reposição florestal obrigatória (exemplo: áreas de preservação permanente), reflorestamentos, sistemas agroflorestais, enriquecimento de capoeiras e matas, reposição florestal em áreas de mineração, entre outras alternativas de cobertura vegetal no uso do solo, principalmente na Amazônia.

Para que respostas de pesquisas sobre fixação do carbono sejam acuradas, existe a necessidade de se avaliar um grande número de processos de entrada e saída de

carbono, tanto na parte aérea como no solo. Medições na parte aérea são indispensáveis e também de difícil execução, incluindo taxa fotossintética, respiração, determinações da fitomassa por métodos diretos e indiretos, entre outras. Parte da acumulação líquida do carbono acima do solo é transferida para o solo por meio da queda de galhos, folhas, flores e frutos - incluídos na produção de serapilheira (*litterfall*) - exsudados das raízes, transferência para simbioses, e também perdas por meio de herbivoria e distúrbios (derruba, queima, etc) (CHAPIN; MATSON; MOONEY, 2002). De modo complementar, parte deste carbono é liberado na forma de CO₂ do solo, tornando importante a quantificação desse gás para o entendimento do balanço de carbono em floresta, sobretudo na Amazônia, onde são poucas as informações pertinentes a tais medições em plantações florestais.

Deste modo, o estudo contínuo da dinâmica de crescimento em diversos tipos de reposições vegetais, desde a fase de implementação até seu estágio de clímax, torna-se importante para que informações de parâmetros de crescimento sejam geradas, e usadas no suporte de criação de modelos ecológicos, inerentes aos processos de ciclagem de nutrientes, uso de água, alocação de carbono, entre outros. Isto tornará os processos de previsões de crescimento vegetal mais eficazes, gerando ajustes de equações mais direcionadas e precisas, e conduzindo a recomendações de plantações florestais de baixo custo e alto aproveitamento.

Sendo assim, a proposta deste trabalho foi investigar a dinâmica de alocação de carbono acima do solo e os efluxos de CO₂ do solo em plantações jovens de *Acacia mangium* Willd e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* em diferentes espaçamentos.

2 ELEMENTOS TEÓRICOS

2.1 EFEITO ESTUFA

Três gases primários compõem 99,9% em volume da atmosfera da Terra: nitrogênio ou azoto (78,09%), oxigênio (20,95%) e argônio (0,93%) (BAEDE, et al., 2001; HARDY, 2003). No entanto, são os gases traço dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), clorofluorcarbonetos (CFC) e ozônio (O_3) que exercem o maior efeito no clima do planeta, sendo conhecidos como gases de efeito estufa (BAEDE et al, op.cit; HARDY, op. cit.; MOSIER, 1998). O vapor de água também tem um forte efeito sobre o clima, pois influencia o balanço de radiação ou o balanço líquido de calor da Terra (HARDY, op. cit.).

A radiação solar inclui a energia distribuída por meio de uma ampla faixa do espectro eletromagnético de comprimento de onda curto (visível), médio e longo (infravermelho), e cada partícula ou gás presente na atmosfera, com regiões específicas para cada comprimento de onda, poderão absorver ou emitir energia (HARDY, op. cit.; FOKEN et al, 2008). Os gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 , N_2O , entre outros) e o vapor de água atmosférico são transparentes aos comprimentos de onda visível e infravermelho próximo da luz solar e permitem que a maioria da luz visível atinja a superfície da Terra (HARDY, op. cit.; BAEDE, et al, op.cit; RAMANATHAN; FENG, 2009).

Após a absorção pela superfície da Terra, a energia visível é transformada e irradiada de volta na forma de infravermelho longo (calor), que será fortemente retida por gases de efeito estufa (HARDY, 2003; BAEDE, et al, op.cit) (Figura 1). Do total de energia solar que atinge a atmosfera da Terra (342 W m^{-2}), em média 30 % são

refletidos de volta para o espaço pela superfície superior das nuvens, partículas na atmosfera (poeiras e aerossóis) ou pela superfície da Terra; os 70 % restantes são absorvidos pela troposfera e pela superfície da Terra (FOKEN et al, 2008; HARDY, op. cit.; RAMANATHAN; FENG, 2009) (Figura 1).

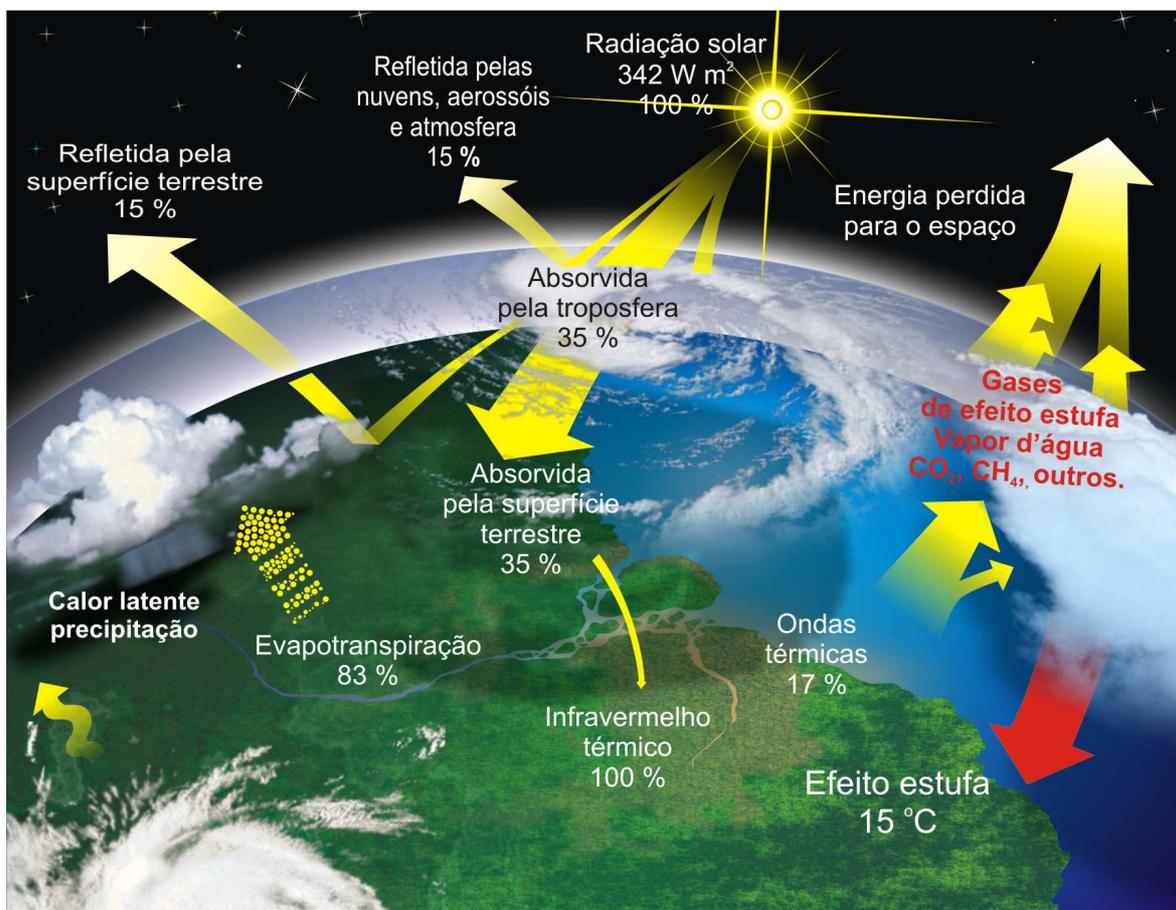


Figura 1. Componentes principais do balanço de energia, inerentes ao efeito estufa.
Fonte: Adaptado de Hardy (2003) e Baede et al (2001).

Depois de aquecidas, a Terra e a troposfera liberam a energia solar (onda curta) em forma de infravermelho térmico ou radiação de onda longa (calor) (RAMANATHAN; FENG, op.cit.). Do total de infravermelho térmico, 83 % são irradiados na forma de calor sensível, sendo a maior parte na forma de evapotranspiração, a qual será perdida como calor latente na precipitação; e os 17% restantes como radiação infravermelha térmica, ocasionando o efeito estufa (FOKEN et

al, 2008; HARDY, 2003), enquanto que parte dessas ondas escapa para o espaço (RAMANATHAN; FENG, 2009) (Figura 1).

Enquanto a quantidade de entrada de energia solar e a quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera permanecerem relativamente constantes, a temperatura da Terra continuará em equilíbrio (HARDY, op. cit.; RAMANATHAN; FENG, op.cit.). Esta energia que fica retida entre a superfície da Terra e a troposfera (baixa atmosfera) é que mantém sua temperatura atual em condições adequadas para a vida; sem o efeito estufa natural a temperatura média da superfície seria de cerca de -20°C ao invés de 15°C (BAEDE, et al., 2001; HARDY, op. cit.). No entanto, quanto maior a concentração de gases de efeito estufa, maior será a quantidade de radiação de ondas longas (calor) preso na baixa atmosfera (BAEDE, et al, op.cit; HARDY, op. cit.; RAMANATHAN; FENG, op.cit.). De fato, as atividades antropogênicas estão aumentando a concentração atmosférica de CO_2 em 3,3 Gt C a cada ano (HARDY, op. cit.).

2.2 CICLO GERAL DO CARBONO

O carbono está distribuído em quatro reservatórios: atmosfera, oceanos, terra (solo e vegetação), e rochas (CHAPIN; MATSON; MOONEY, 2002). É um dos constituintes dos tecidos vegetais, constantemente absorvido, liberado e reciclado por uma ampla faixa de processos químicos e biológicos e induzidos pelo homem (NIEDER; BENBI, 2008).

O carbono atmosférico, que consiste fundamentalmente de dióxido de carbono (CO_2), é o menor, porém mais dinâmico desses reservatórios (CHAPIN; MATSON; MOONEY, op. cit.). A atmosfera contém cerca de 750 Gt C (HARDY, 2003) (Figura 2). Nos oceanos, encontra-se na forma de carbono orgânico dissolvido (DOC), carbono inorgânico dissolvido (DIC) e carbono orgânico particulado (POC). A maior parte do

carbono em oceanos (98%) está na forma inorgânica, principalmente como bicarbonato e carbonato (90%) (CHAPIN; MATSON; MOONEY, 2002). As águas intermediárias e profundas do oceano contêm cerca de 38100 Gt C (HARDY, op. cit.) (Figura 2). O carbono nas rochas representa mais de 99% do carbono da Terra (10^7 petagrama (Pg); $1\text{Pg}=10^{15}$ g), apresentando um ciclo neste reservatório extremamente lento, com tempo de circulação de milhões de anos (MEDLYN et al, 2005) (Figura 2).

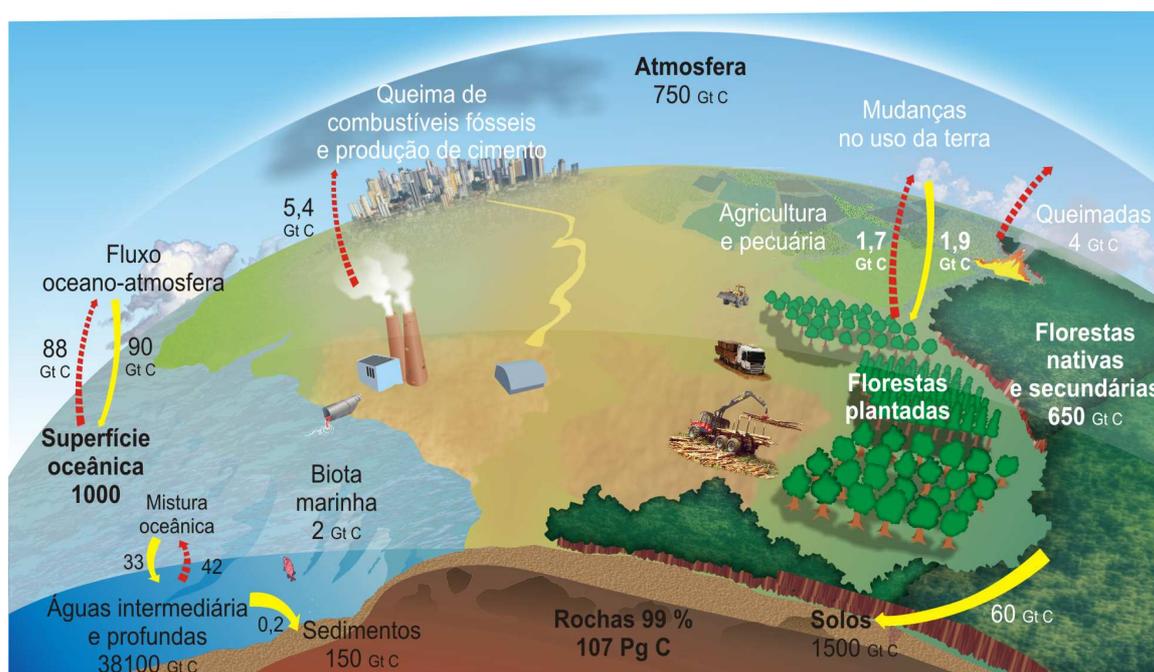


Figura 2. Ciclo geral do carbono tendo como cenário a Amazônia Oriental.
Fonte: Adaptado de Hardy (2003) e Chapin et al. (2002).

A vegetação terrestre e os solos representam o segundo maior reservatório, totalizando 2190 Gt C (HARDY, 2003). A terra e os oceanos armazenam em torno de 45% a 50% do carbono emitido anualmente pela emissão antrópica; a outra parte está acumulando na atmosfera (CHAPIN; MATSON; MOONEY, op. cit.; HARDY, op. cit.; LAMBERS; CHAPIN III; PONS, 2008) (Figura 2).

Na sua forma elementar o CO_2 é conhecido como carbono amorfo, grafite e diamante (NIEDER; BENBI, 2008). Os átomos de carbono podem mudar seu status de oxidação de +4 a -6, ocorrendo principalmente no estado +4 como carbonato, presente

em forma sólida na litosfera como carbonato de cálcio (CaCO_3), carbonato de cálcio magnésio ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e carbonato de ferro (FeCO_3) (NIEDER; BENBI, op.cit.). Entre os sete isótopos de carbono (^{10}C , ^{11}C , ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C , ^{15}C , ^{16}C) dois (^{12}C e ^{13}C) são estáveis e os restantes são radioativos com meia-vida. Estudos utilizando análise de ^{13}C estão sendo utilizados em dinâmica de carbono na vegetação e nos solos, nos trópicos e principalmente na Amazônia (BELLANGER et al, 2004; NIEDER; BENBI, op.cit.; PRESSEDA et al., 2004).

No histórico do ciclo do carbono, já foram encontradas concentrações de CO_2 atmosférico 10 vezes maiores do que nos dias atuais, com 3000 ppmv (partes por milhão por volume), ocorridos nos últimos 100 milhões de anos, e também concentrações menores nos últimos 20 milhões, comparados aos dias de hoje (379 ppmv) (TUCKETT, 2009; LAMBERS; CHAPIN III; PONS, 2008). O ciclo natural do CO_2 sempre manteve a atmosfera com cerca de 280 ± 10 ppmv durante milhares de anos, antes da industrialização em meados do século XIX (TUCKETT, op.cit.), e, se não perturbado, esse ciclo teria mantido a atmosfera com níveis de CO_2 relativamente estáveis por milênios, com aproximadamente 280 ± 10 ppmv (HARDY, 2003).

No entanto, durante os últimos 150 anos, emissões antrópicas aumentaram de forma drástica a concentração atmosférica de CO_2 por meio da queima do carbono fossilizado (carvão, petróleo e gás), alterando de forma significativa o ciclo do carbono (CHAPIN; MATSON; MOONEY, 2002); HARDY, op. cit.). Globalmente, mais de 80% das emissões de CO_2 são provenientes de meios de transporte, fontes industriais e carbonatos de rocha com a produção de cimento, sendo que os 20% restantes provêm principalmente do desmatamento e queima de biomassa (HARDY, 2003). As estimativas de $1,7 \pm 0,8 \text{ Pg ano}^{-1}$ de carbono emitido devido ao desmatamento são incertas, pois a extensão de área e a dinâmica de carbono, associadas com mudança de

uso da terra, não são bem documentadas (CHAPIN; MATSON; MOONEY, 2002; TIAN et al, 1998).

Fluxos de CO₂ provocados por mudanças de uso da terra podem incluir tanto, fontes líquidas de carbono para a atmosfera (desmatamento, conversão agrícola e uso do fogo, e outros), como sumidouros líquidos (regeneração florestal, plantações florestais, supressão de incêndios e mudanças no manejo agrícola, e outros) em diferentes biomas (HARDY, op. cit.; CARVALHO et al, 2010). Por meio de modelos de ecossistemas terrestres, incluindo produção primária líquida, respiração microbiana, produção líquida do ecossistema, enriquecimento com CO₂, fluxos de carbono foram estimados (CEULEMANS; JANSSENS; JACH, 1999; TIAN et al, op.cit.). Atualmente tem-se ajustado por meio da modelagem climática a criação de cenários para emissões globais dos principais gases antropogênicos por todo este século, considerando-se alternativas para mitigação (STRASSMANN; PLATTNER; JOOS, 2009).

2.3 CICLO DO CARBONO EM PLANTAÇÕES FLORESTAIS

A biosfera terrestre contém um amplo reservatório de carbono, devido a grande quantidade de vegetação e sua presença na atmosfera, e nos solos (CHAPIN; MATSON; MOONEY, op. cit.). A Terra contém cerca de 10⁸ petagramas de carbono (Pg C) (MEDLYN et al, 2005; NIEDER; BENBI, 2008). A soma dos reservatórios ativos próximos à superfície terrestre (carbono na vegetação e no solo) é de aproximadamente 3 x 10³ Pg C (NIEDER; BENBI, op.cit.).

O carbono em florestas é armazenado na fitomassa viva, incluindo lenho, folhas e raízes, e na fitomassa morta, incluindo serapilheira, galhos, troncos e matéria orgânica (CLARK et al, 2001; NIEDER; BENBI, 2008). Por meio da fotossíntese as plantas

utilizam a energia solar para transformar H_2O , CO_2 e minerais em oxigênio (O_2) e compostos orgânicos, principalmente carboidratos.

O carbono, fixado nos cloroplastos circula em escalas de segundos por meio da fotossíntese; já nas folhas e raízes, movimenta-se de semanas a anos, e no lenho, de décadas a séculos (CHAPIN; MATSON; MOONEY, 2002). No solo, os componentes da matéria orgânica diferem muito no tempo de circulação; matéria orgânica e húmus do solo apresentam tempo de circulação de décadas a séculos (CHAPIN; MATSON; MOONEY, op. cit.).

As mudanças de clima, incluindo temperatura, umidade e radiação, afetam o estoque de carbono por meio de seus efeitos sobre a entrada de carbono (fotossíntese) e de saída (respiração) (CHOUDHURY, 2000). O aumento na precipitação, por meio de influência na umidade do solo, pode causar respostas variadas no balanço de carbono nos ecossistemas, pois influencia no crescimento das plantas (CHAPIN; MATSON; MOONEY, op. cit.).

O carbono ingressa no ecossistema pela fotossíntese, ou seja, produtividade primária bruta (PPB ou GPP) (CHAPIN; MATSON; MOONEY, op. cit.; CHOUDHURY, op. cit.; CLARK et al, 2001; DELUCIA et al, 2007), e retorna pela respiração e distúrbios (corte, queima, herbivoria), ou pode ser movido lateralmente para outros ecossistemas (erosão, lixiviação e movimento de animais) (CHAPIN; MATSON; MOONEY, op. cit.). A produtividade primária líquida da planta (PPLp ou NPP), ou ganho de carbono pela planta, é a produtividade primária bruta da planta (PPBp) menos a respiração da planta (R_p) (BOISVENUE et al, 2006; (CHAPIN; MATSON; MOONEY, op. cit.; CLARK et al, op. cit.), ou seja, o total de novo material orgânico produzido durante um intervalo específico (CLARK et al, op. cit.). Parte deste carbono é transferido da planta para o solo por meio da produção de serapilheira

(*litterfall*) e por exsudados das raízes, o que originará a matéria orgânica do solo (MOS) (CHAPIN; MATSON; MOONEY, 2002). As plantas também liberam carbono como compostos orgânicos voláteis (COV's) ou durante queimadas (CHAPIN; MATSON; MOONEY, op. cit.); CLARK et al., 2001; NOBRE; NOBRE, 2002) (Figura 3).

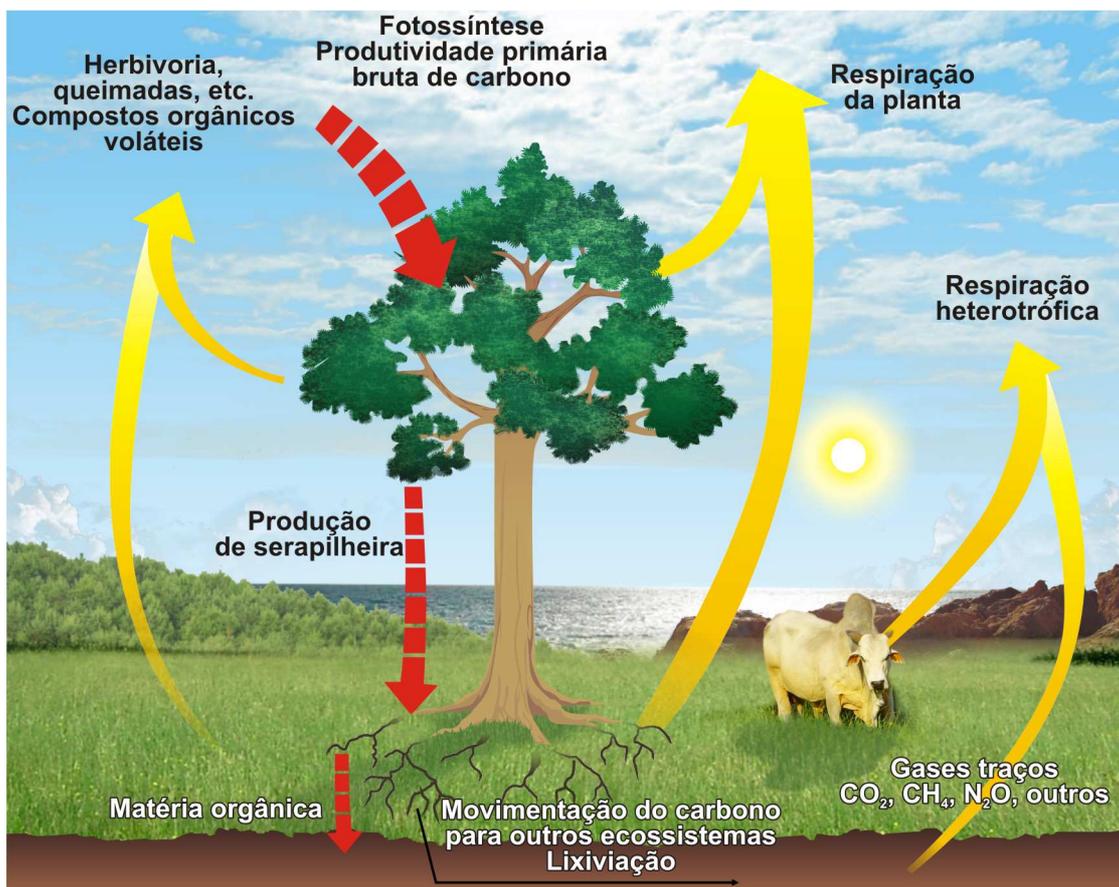


Figura 3. Elementos básicos do ciclo do carbono associados à produtividade líquida do ecossistema.

Fonte: Modificado de Chapin et al., 2002; Clark et al., 2001; Nieder; Benbi, 2008.

Deste modo, a produtividade líquida do ecossistema é seria a diferença entre a produtividade primária bruta (GPP) e as várias saídas de carbono do ecossistema (respiração da planta, respiração heterotrófica, perdas por distúrbios - herbivoria, queima, lixiviação, etc) (CLARK et al, op. cit.; BOISVENUE et al., 2006; CHAPIN III, et al, 2006; NIEDER; BENBI, 2008) (Figura 3).

A crescente demanda por dados de estoque de carbono nos diversos ecossistemas tem estimulado no mundo todo o monitoramento de estoques e fluxos de

carbono, os quais incluem: produção primária líquida (PPL ou NPP), produção líquida do bioma (PLB ou NBP), produção líquida do ecossistema (PLE ou NEP) e produção líquida do ecossistema (TLE ou NEE) (BOISVENUE et al, op.cit).

2.4 EFLUXO DE DIÓXIDO DE CARBONO DO SOLO (CO₂)

O efluxo de dióxido de carbono (CO₂) resulta quase que inteiramente da combinação das taxas de respiração autotrófica (raízes) e heterotróficas (microorganismos) (SOTTA et al, 2004; OLSSON et al, 2005), sendo frequentemente chamado de “respiração do solo” (SOTTA et al, op.cit.). Os solos são a fonte dominante de CO₂ terrestre liberado para a atmosfera devido principalmente à contínua oxidação da matéria orgânica do solo por organismos heterotróficos, respiração autotrófica e decomposição das raízes vivas, que são processos influenciados por fatores climáticos e edáficos (TATE et al, 2000; CHAPIN; MATSON; MOONEY, 2002; RYAN; LAW, 2005; NIEDER; BENBI, op.cit.).

A respiração do solo é uma combinação do metabolismo da planta e de microorganismos, os quais podem responder diferentemente a temperatura e quantidade de água (DAVIDSON et al, 2000). Compreender a relação entre respiração do solo e os fatores que a influenciam é tão importante quanto quantificar o CO₂ total emitido do solo (FANG et al, 1998).

As atividades autotróficas e heterotróficas abaixo do solo são controladas pela disponibilidade de substrato, sendo a respiração do solo fortemente ligada ao metabolismo da planta, fotossíntese e produção de serapilheira. De fato a respiração do solo é considerada como um indicador do metabolismo de cada ecossistema (RYAN; LAW, 2005). Mudanças no estoque de carbono acima do solo, como alocação na

fitomassa, podem afetar em muito o balanço de carbono e as trocas com a atmosfera (RYAN; LAW, op.cit.).

A influência de fatores climáticos (Por exemplo: precipitação) sobre as emissões de CO₂ do solo não são bem documentadas em plantios de ciclo longo e de ciclo curto (SMART; PENUELAS, 2005). Entretanto, períodos de precipitação distintos (por exemplo: seco e chuvoso) e disponibilidade de água no solo parecem ser a causa da grande variabilidade na respiração do solo, pois, influenciam diretamente na umidade do solo (RYAN; LAW, op.cit.; SMART; PENUELAS, op.cit.). Em relação à variável temperatura, a respiração do solo responde mais ao aquecimento de solo em áreas descobertas que em áreas plantadas em climas temperados (HARTLEY et al, 2007).

Os meios mais efetivos de caracterizar a respiração do solo ao longo do tempo e espaço seria uma combinação de medidas automáticas e periódicas e comparação com medidas de troca líquida entre o ecossistema e a atmosfera realizadas à noite por covariância de fluxos turbulentos (*eddy covariance*) (FOKEN et al, 2006; MYKLEBUST; HIPPS; RYEL, 2008; RYAN; LAW, op.cit.). Câmaras automáticas que medem o fluxo continuamente podem ajudar nas avaliações de um ecossistema e estimativas utilizando o método de gradientes pode resolver diferenças de fluxos entre florestas de diferentes idades, assim como aquelas que foram exploradas pelo método tradicional ou de impacto reduzido (DAVIDSON et al, 2000; KELLER et al.,2005; MYKLEBUST; HIPPS; RYEL, op.cit.).

Devido ao espaço poroso no solo e serapilheira, pode ocorrer a retenção de partes do CO₂ produzido e o efluxo medido pode não refletir a produção biológica. Por outro lado, também pode ocorrer um deslocamento de gases do espaço poroso pela água após a chuva ou o impedimento de saída dos gases por uma barreira de difusão pela chuva e à pressão de bombeamento, a qual poderá ser alterada pela turbulência

atmosférica, períodos de mudanças barométricas por meio do movimento das frentes e campos de pressão induzidas pelo vento em toda a topografia irregular (RYAN; LAW, 2005; SANER et al, 2009). De qualquer modo, devem-se evitar rochas, proximidade de troncos caídos e, se possível, faz-se necessário a utilização de várias câmaras ao longo da parcela, diminuindo a variabilidade entre as amostras, o que aumentará a precisão ao nível de cada parcela (DAVIDSON et al, 2000).

Padrões na alocação de carbono no sistema solo-planta são quantitativamente incertos, pois existem diferenças entre espécies perenes na alocação de carbono na construção de tecidos lenhosos (SMART; PENUELAS, 2005). Espécies arbóreas podem influenciar nos processos de respiração do solo por meio de uma variedade de mecanismos, essencialmente por controlar a quantidade e qualidade de fitomassa acima e abaixo do nível do solo (BRÉCHET et al, 2009). Segundo Almagro et al (2009), durante o período de crescimento vegetativo, geralmente observam-se as maiores taxas de respiração do solo, as quais estão relacionadas com as funções da fotossíntese, produtividade primária líquida e atividade microbiana.

Os efluxos de CO₂ do solo apresentam grande variação espacial e temporal nos ecossistemas (NIEDER; BENBI, 2008). A respiração do solo ao longo dos meses pode variar, devido, principalmente a tipologia florestal, presença ou ausência de luz solar, além de outros fatores bióticos e abióticos (DAVIDSON et al, op. cit.). Densidade da população e estágio de desenvolvimento também são fatores importantes que afetam a respiração do solo em povoamentos florestais (ALMAGRO et al, op. cit.).

Para melhoria da representação dos padrões de alocação de carbono, mais estudos e aperfeiçoamento de técnicas serão necessários a fim de reduzir as incertezas nas estimativas anuais de carbono entre classes de idade de uma floresta (DAVIDSON et al, op. cit.). Consequentemente há um papel essencial para a modelagem no sentido

de ampliar observações feitas em áreas relativamente pequenas e prever em nível regional os efeitos das alterações ambientais e mudanças no uso da terra sobre as emissões futuras de CO₂ (CRAMER et al, 1999; CAO et al, 2005; DAN et al, 2007; NIEDER; BENBI, 2008).

2.5 DINÂMICA DE CRESCIMENTO VEGETAL

Mudanças na concentração atmosférica de CO₂ têm efeitos diretos e imediatos sobre a fisiologia das plantas, principalmente sobre a taxa fotossintética e a respiração (MEDLYN et al, 2005). Segundo Medlyn et al, op.cit, os efeitos das mudanças climáticas sobre as plantas podem ocorrer em quatro escalas de tempo. A primeira, de minutos a horas, é a fisiológica, ao nível de folhas, caule, raízes e órgãos reprodutivos. A segunda, de meses a anos, inclui absorção de nutrientes, alocação e padrões de crescimento da planta, geralmente na escala de experimentos de campo. A terceira, na escala de décadas, envolve a competição pela disponibilidade de nutrientes por espécies de ciclo longo e a quarta, a evolutiva, de séculos ou mais, refere-se à adaptação e respostas da planta aos níveis de CO₂ atmosféricos.

O processo de fundamental importância é a fotossíntese, que capta o carbono atmosférico e o converte em fitomassa (NIEDER; BENBI, op.cit.). Os caules representam um armazenamento de carbono de longo prazo. Assim um aumento na massa do caule poderá conduzir a um maior sequestro de carbono, enquanto que o aumento de carbono no sistema de raízes irá proporcionar um aumento na absorção de água e nutrientes (MEDLYN et al, 2005).

O crescimento dos indivíduos arbóreos em uma plantação florestal é um dos mais importantes fenômenos de alocação de carbono, e consiste no alongamento e engrossamento das raízes, troncos e galhos, o que irá influenciar em seu volume e

fitomassa. O crescimento em altura é proveniente do meristema primário, enquanto que o aumento em diâmetro é proveniente do meristema secundário ou do câmbio (SCOLFORO, 1998). Por meio da mensuração das variáveis de diâmetro e altura total, pode-se estimar o estoque de carbono (SCOLFORO, op.cit.). Os crescimentos em diâmetro e altura são influenciados por arranjos de densidade e também por fatores de clima e de solo.

Segundo Scolforo, op.cit., existem controvérsias relacionadas à variação no crescimento em diferentes espaçamentos, porém ele sugere que de maneira geral, podemos assumir que para espaçamentos menores as médias de diâmetro serão menores e existirá um maior crescimento em altura induzidos pela busca da luz solar. Porém, em plantios homogêneos a captação de luz colocará os indivíduos ao mesmo nível de competição (LACRAU, 2008), podendo ocorrer aumento tanto na média de altura total como em diâmetro, pois a produtividade de plantações florestais, além de ser consequência de determinada densidade de espaçamento, é influenciada por fatores edafoclimáticos.

O crescimento pode ser expresso de várias formas: incremento corrente anual (ICA), que é a diferença na produção do elemento dendrométrico, expresso em volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), DAP (cm), altura (m) ou fitomassa (Mg ha^{-1}) dentro de um ano; incremento médio total (IMT) que é a diferença entre a produção do elemento dendrométrico a partir do ano zero e a idade da população florestal; incremento periódico (IP), que é o crescimento do elemento dendrométrico durante um determinado período, podendo ser mensal (IPM), semanal (IPS) e diário (IPD) (SCOLFORO, op.cit.).

O crescimento dos indivíduos arbóreos em um arranjo silvicultural pode ser susceptível de ser limitado pela concorrência por recursos hídricos e nutrientes (LACRAU, 2008; NORGROVE; HAUSER, 2002). As espécies de rápido crescimento

exigem um grande suprimento de nutrientes do solo e outros recursos que podem ser rapidamente esgotados sem a efetiva reciclagem desses nutrientes (KIMARO et al, 2007). Logo, a compreensão das competições intraespecífica em plantios jovens, essenciais para se prever como as combinações de espaçamentos e espécies levarão a um aumento na produtividade de fitomassa (LACRAU, op.cit.).

2.6 IMPORTÂNCIA DAS PLANTAÇÕES FLORESTAIS NO ESTADO DO PARÁ

Segundo Ahrens (2000) a implementação de plantações florestais em propriedades rurais é uma excepcional forma de uso da terra, porque proporciona benefícios diretos e indiretos, como: produção de madeira, capital acumulado na forma de uma “poupança verde”, proteção do solo contra erosões, proteção de mananciais e cursos d’água contra assoreamento, proteção de culturas agrícolas contra o vento, diminuição da pressão sobre as florestas nativas, utilização da mão-de-obra local. Plantações de árvores de crescimento rápido desempenham um papel significativo na crescente demanda por madeira, lenha e outros produtos de madeira nos trópicos (KIMARO et al, op.cit.). Reflorestamento de áreas degradadas nos trópicos é considerado como uma medida para atenuar as alterações climáticas, sequestrar carbono e aumentar a oferta de madeira (KUNERT, 2010).

Existem várias estratégias para a gestão do carbono florestal. A primeira seria a redução das emissões por meio da substituição do carbono na forma de combustível fóssil por alternativas limpas e renováveis (ex: energia eólica) e de modo complementar a aquisição de tecnologias de ponta e melhoria nos sistemas de transporte (JACOVINE et al, 2006; NIDER et al, 2008), aumento do uso da madeira por meio da conversão da fitomassa em produtos duráveis (exemplo: mesas, cadeiras, portas, etc), uso de biocombustível com estabelecimento de plantações de florestas bioenergéticas no lugar

de materiais que demandam elevada intensidade energética na sua produção (NIEDER; BENBI, 2008) (exemplo: produtos químicos, cimento, etc). A segunda, conservação de carbono, reduzindo ou evitando-se a taxa de liberação de carbono dos sumidouros existentes por meio da conservação da fitomassa e matéria orgânica do solo e proteção contra queimadas. A terceira consiste em aumentar a taxa de acumulação por meio da criação de sumidouros de carbono, que incluem reflorestamento, florestamento e restauração de áreas degradadas, assim como aperfeiçoamento de técnicas silviculturais para aumentar a taxa de crescimento (NIEDER; BENBI, op.cit.). Todas essas estratégias são intrínsecas aos projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), inseridas no protocolo de Quioto, enquanto que a terceira consiste em atividades de uso da terra, mudanças no uso terra e florestas (*land use, land-use change and forestry* - LULUCF) (JACOVINE et al, 2006).

As taxas de sequestro de carbono como consequência de reflorestamentos dependem das características do local de estudo, espécies envolvidas, adubação, espaçamento, entre outros. Taxas típicas de sequestro de carbono em plantações florestais são 0,8-2,4 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ para regiões de florestas boreais, 1-10 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ em regiões temperadas e 2-19 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ nos trópicos, sendo que um milhão de árvores plantadas nos trópicos poderão fixar 0,9 Tg C durante um ciclo típico de 40 anos (IEA, 2008; NIEDER; BENBI, op.cit.).

Em Dom Eliseu, de 2008 até meados de 2010, já foram licenciados 13.325,74 ha de plantações florestais, com um total de 11.717.546 mudas, e em todo o Pará já foram licenciados 227.585,4017 ha com um total de 266.860.000 mudas (SEMA 2010, comunicação pessoal). De modo geral, 25 espécies estão sendo utilizadas para atividades de reflorestamento no Estado do Pará, como: acácia (*Acacia mangium* Willd), paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*), teca (*Tectona grandis* L.f.),

mogno (*Swietenia macrophylla* King), tachi (*Sclerolobium paniculatum* Vogel), eucalipto (*Eucalyptus spp*), sumaúma (*Ceiba pentandra* Gaertn.), andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), jatobá (*Hymenaea courbarii* L.), virola (*Virola surinamensis* Warb.), parapará (*Jacaranda copaia* D. Don), faveira (*Parkia paraensis* Ducke), morototó (*Didymopanax morototoni* Decn. & Planch.), freijó (*Cordia goeldiana* Huber), ipê (*Tabebuia serratifolia* Rolfe.), seringueira (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.), marupá (*Simarouba amara* Aubl.), maçaranduba (*Manilkara huberi* Ducke), copaíba (*Copaifera* sp), tamboril (*Enterolobium maximum* Ducke), cedro (*Cedrela odorata* Ruiz & Pav.), guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess), e espécies agrofloretais, como: açáí (*Euterpe oleracea*), dendê (*Elaeais guineensis* Jaquim), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), com grande variedade em densidade de espaçamentos (SEMA 2010, comunicação pessoal).

Sendo assim, podemos considerar que o Pará apresenta um grande potencial na prestação de serviços ambientais, no que tange ao sequestro de carbono por plantações florestais, além de agregar outros serviços como: redução das taxas de erosão; regulação climática; manutenção da qualidade de água superficial; produção de madeira e geração de benefícios econômicos, por meio da geração de emprego e renda na zona rural.

3 OBJETIVO GERAL

- Determinar o estoque de carbono na fitomassa acima do solo e o efluxo de dióxido de carbono do solo em plantações florestais de *Acacia mangium* Willd (acácia) e *Schizolobium parahyba* var.*amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá), sob dois espaçamentos.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar o estoque de carbono na fitomassa acima do solo de plantações de *Acacia mangium* Willd e *Schizolobium parahyba* var.*amazonicum*, sob dois espaçamentos;
- Determinar o efluxo anual e mensal de dióxido de carbono (CO₂) do solo de plantações de *Acacia mangium* Willd e *Schizolobium parahyba* var.*amazonicum*, sob dois espaçamentos.

4 PERGUNTAS DE PESQUISA

- Qual o potencial de armazenamento de carbono na parte aérea em plantações jovens de *Acacia mangium* Willd e *Schizolobium parahiba* var. *amazonicum*?
- Quais os fatores determinantes de efluxo de carbono em plantações jovens de *Acacia mangium* Willd e *Schizolobium parahiba* var. *amazonicum*?
- Qual a influência da densidade de plantio sobre estoques e fluxos de carbono em plantações jovens de *Acacia mangium* Willd e *Schizolobium parahiba* var. *amazonicum*?

5 HIPÓTESES

- O aumento da densidade de indivíduos aumenta o acúmulo de carbono no sistema solo-planta em plantações jovens de *Schizolobium parahiba* var. *amazonicum* e *Acacia mangium* Willd.
- Plantações florestais jovens com espaçamentos mais adensados irão emitir menores efluxos de CO₂ do solo para atmosfera em relação a espaçamentos menos adensados.

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES FLORESTAIS

6.1.1 *Acacia mangium* Willd.

Segundo TROPICOS (2010), pertence ao grupo das dicotiledôneas, classe *Equisetopsida* C. Agardh, subclasse *Magnoliidae* Novak ex Takht., superordem *Rosanae* Takht. ordem *Fabales* Bromhead, família *Fabaceae* Lindl., gênero *Acacia* Mill., e combinações para *Racosperma mangium* (Willd.) Pedley (Austrobaileya). Nome comum *Acacia glaucescens*, *Acacia holosericea*, *Mangium montanum*, *Racosperma mangium*, acácia-australiana (INSTITUTO HORUS, 2010).

A *Acacia mangium* Willd. (sin. *Racosperma mangium*) é uma fabácea nativa da região que abrange e as províncias indonésias de Irian Jaya e Maluku, Papua Nova Guiné e norte da Austrália, muito utilizada em planos e programas de reflorestamento e recuperação de áreas alteradas e/ou degradadas, como de encostas e mineração, utilizada para produção de madeira, carvão, celulose (EMBRAPA, 1992; JOKER, 2000). É uma espécie leguminosa e nitrificadora, que vem sendo amplamente utilizada em reflorestamento em virtude de seu rápido crescimento e boa capacidade de restauração dos solos tropicais (VIEIRA et al., 2000).

É uma espécie florestal perenifólia, podendo atingir 15m de altura. Apresentar cor do tronco cinza-pardo, folhas simples e alternadas, (que são de fato filódios permanentes que não evoluíram para folhas verdadeiras que deveriam ser pinadas). Apresenta inflorescências brancas, axilares, sem atrativo ornamental, com flores globulares brancas e estames numerosos (PEREIRA; HALFELD-VIEIRA; NECHET, 2003). Seu fruto é do tipo vagem, espiralado, marrom, deiscente com sementes pretas, pequenas, pendentes na vagem por um filamento amarelo, é formado de setembro a novembro (PEREIRA; HALFELD-VIEIRA; NECHET, op.cit.).

A *A. mangium* tem-se destacado pela sua adaptação, resistência e sobrevivência em condições edafoclimáticas desfavoráveis, solos ácidos (pH 4,5 - 6,5), inclusive, tolerando solos de baixa fertilidade ou com baixa drenagem onde apresenta crescimento acelerado e alta produção de fitomassa, além de formar associações simbióticas com os microorganismos, sua vida média e em torno de 40 anos (COLONNA et al, 1991; JOKER, 2000).

Utiliza-se a *A. mangium*, espécie de rápido crescimento (em torno de 32 cm de altura por mês) em consórcio com mandioca em áreas de agricultura familiar e em sistemas de enriquecimento de capoeira, podendo produzir de 50 a 55 Mg ha⁻¹ de fitomassa seca acumulada aos 30 meses, em espaçamento de 2 m x 2 m com densidade de 2500 árvores/ha (BRIENZA JÚNIOR, 2003). Entretanto, o pouco conhecimento sobre a cultura e seu manejo, a baixa fertilidade do solo, e a ocorrência de pragas, principalmente associações fúngicas (podridão do lenho) e o ataque de lagartas desfolhadoras, com destaque para *Norape sp.* (Lepidoptera: Megalopygidae), fazem com que a cultura, em alguns casos, não apresente o crescimento esperado (PEREIRA; HALFELD-VIEIRA; NECHET, 2003).

O gênero *Acacia* possui considerável importância social e industrial no reflorestamento tropical, com cerca de 2.000.000 ha plantados em todo o mundo. As espécies de maior utilização são *A. mangium* e *A. auriculiformis* e a produção é direcionada, principalmente, para polpa de celulose. Os outros usos incluem madeira para movelaria e construção, matéria-prima para compensados, combustível, controle de erosão, quebra-vento e sombreamento (PEREIRA; HALFELD-VIEIRA; NECHET, op.cit).

Seu fruto é do tipo vagem, espiralado, marrom, deiscentes com sementes pretas, pequenas, pendentes na vagem por um filamento amarelo, é formado de setembro a

novembro (PEREIRA; HALFELD-VIEIRA; NECHET, op.cit). A *Acacia mangium* Willd, está entre os gêneros de espécies mais amplamente plantada nos trópicos (LACRAU et al., 2008) (Figura 4).



Figura 4. Plantação avaliada de *Acacia mangium* Willd, em (a) parcela com espaçamento 4,0 x 2,0 m, (b) espaçamento 4,0 x 3,0 m, (c) caule levemente sulcado longitudinalmente, (d) flor, fruto e folha.

6.1.2 *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*

Segundo TROPICOS (2010), pertence ao grupo das dicotiledôneas, classe: *Equisetopsida* C. Agardh, subclasse *Magnoliidae* Novak ex Takht., superordem *Rosanae* Takht. Ordem: *Fabales* Bromhead, família: *Fabaceae* Lindl., gênero *Schizolobium* Vogel, e combinações para *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (*Brittonia*).

Carvalho (2007) descreveu o paricá, segundo a classificação botânica de Cronquist para plantas angiospérmicas, a qual o *Schizolobium amazonicum* pertencente a divisão *Magnoliophyta* (*Angiospermae*), classe *Magnoliopsida* (*Dicotyledonae*), ordem *Fabales*; família *Caesalpinaceae* (*leguminosae: Caesalpinioideae*); gênero *Schizolobium*; espécie *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke. Esta espécie apresenta diferentes nomes vulgares de acordo com o local de ocorrência, Pará: paricá, faveira, paricá-grande; Distrito Federal: guapuruvu-da-amazônia; Acre: canafista, canafístula e fava-canafístula; Mato Grosso: paricá-da-amazônia, paricá-da-terra-firme e pinho cuiabano; Rondônia: bandararra. Nomes vulgares no exterior – Bolívia: cerebó; Colômbia: tambor; Costa Rica: gavilán; Equador: pachaco; México: palo de judío; Peru: pashaco (CARVALHO, 2007; SOUSA et al., 2005). Com ocorrência principalmente em solos argilosos de florestas primárias e secundárias, de terra firme e várzea alta (SOUSA et al., 2005).

As folhas do paricá são longipeciouladas, bipinadas com folíolo e foliolulo, com flores de coloração amarela-clara; o seu fruto é uma criptosâmara e a semente coberta por um endocarpo papiroso (CARVALHO, op.cit). As folhas são alternadas, compostas e bipinadas, com folíolos opostos, e hemafrodita. O fruto mede de 10-16 cm de comprimento e 6 cm de largura, sua semente mede 2 cm de comprimento e 1,3 cm de largura (SOUSA et al, 2005).

É uma espécie monóica, com floração de junho a julho, e frutificação de agosto a outubro, no Pará. Pode atingir 40 m de altura e 100 cm de DAP, na idade adulta, 12 a 15 anos aproximadamente. Seu tronco na fase jovem é verde, e na fase adulta sua casca externa é lisa a finamente fissurada de coloração cinza-clara (CARVALHO, op.cit).

É classificada de acordo com seu grupo ecológico ou sucessional como uma espécie pioneira, heliófila, que não tolera baixas temperaturas, apresentando crescimento monopodial, com fuste reto e limpo (CARVALHO, op.cit). Inclusive Rondon (2002), sugere que o *Schizolobium amazonicum* deve ser plantado a pleno sol nos espaçamentos 4,0 x 3,0 m ou 4,0 x 4,0 m.

SOUSA et al. (2005) também propõem o *Schizolobium amazonicum* para reflorestamento de áreas degradadas e/ou alteradas, sistemas agroflorestais (SAF's), plantios comerciais homogêneos ou consorciados, devido principalmente ao seu rápido crescimento, podendo ser implementada em arborização e paisagismo. Pode também ser consorciado com o café e milho e gramíneas forrageiras (MARQUES, 1990).

Pode ser utilizada para chapas e compensados, lenha, promissora para pasta de celulose, devido ao seu fácil branqueamento, apresenta alto teor de lignina e por apresentar um potencial de uso na indústria devido sua facilidade de desdobro. (CARVALHO, 2007; MARQUES, op.cit.). O *Schizolobium amazonicum* apresenta uma madeira mole e leve, com boa propriedade de acabamento, sendo utilizados para confecção de palitos de fósforo, saltos de calçados, brinquedos, maquetes, embalagens leves, canoas, forros, miolo de painéis e portas, formas de concreto, laminados, compensados entre outros (SOUSA et al., 2005).

Na década de 70, diversas instituições de pesquisa, por meio do Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal (Prodepef), já indicavam várias espécies, entre

elas o *Schizolobium amazonicum*, como alternativas viáveis para recomposição florestal no uso da terra (MARQUES, op.cit.) (Figura 5).



Figura 5. Plantação avaliada de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, em (a) plantio, (b) folha, (d) indivíduo arbóreo para determinação de fitomassa (c) detalhe do caule, com a presença do cerne e alburno.

6.2 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido em área experimental do Projeto Florestar “Testes com espécies florestais em plantios homogêneos e em sistemas consorciados para uso madeireiro, energético e de mercado de créditos de carbono (parceria entre Embrapa Amazônia Oriental e Carbon Positive), estabelecida na fazenda Gêneses, município de Dom Eliseu, BR-222, km 49, latitude $4^{\circ}33'13''$ S, longitude $47^{\circ}49'01''$ W, distante aproximadamente 500 km da capital Belém, PA. O município de Dom Eliseu pertence à microrregião Paragominas e à mesorregião sudeste do Estado do Pará, ao norte do Brasil (Figura 6).

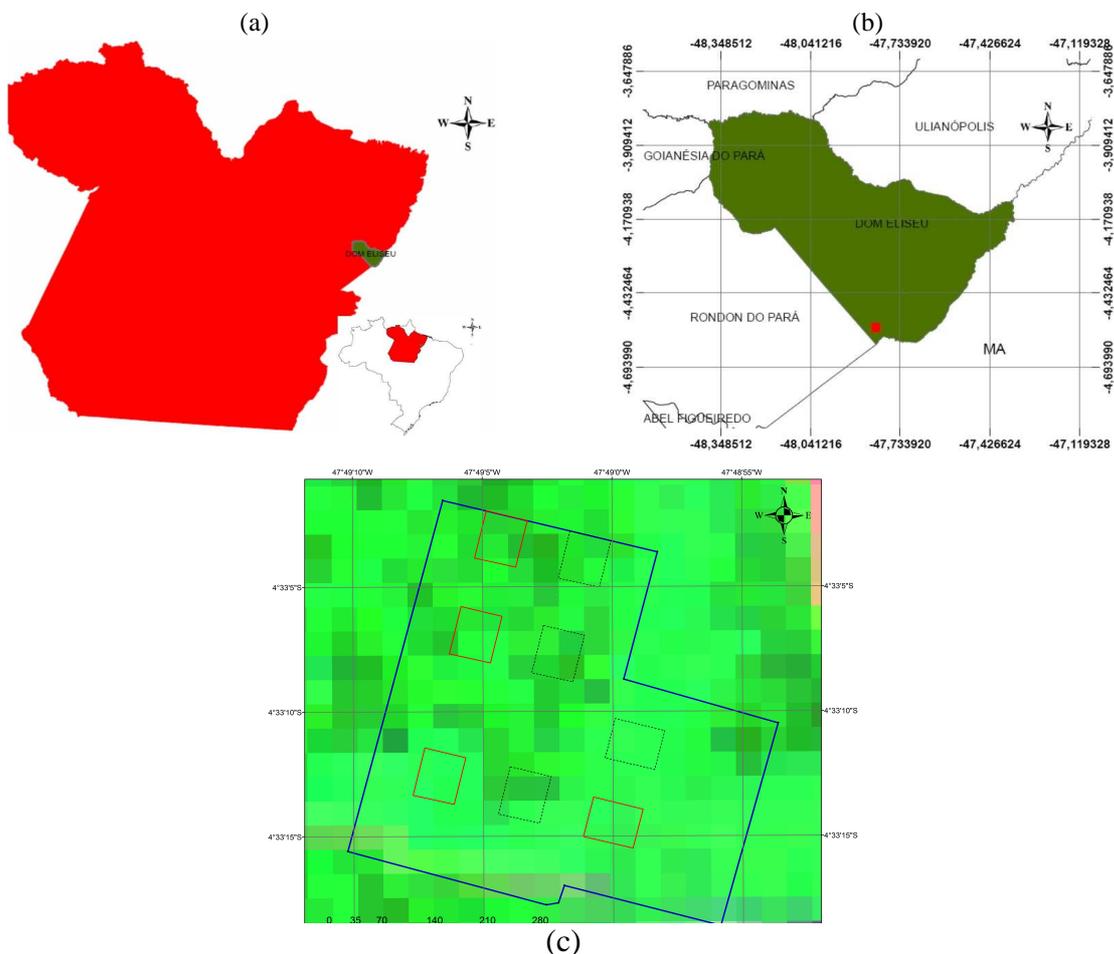


Figura 6. Área de estudo, em (a) O estado do Pará localizado na parte norte do Brasil, (b) município de Dom Eliseu no sudeste do Pará, (c) a área experimental com os plantios de *Acacia mangium* Willd, e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*.

O clima de Dom Eliseu apresenta temperatura média anual em torno de 25 °C e temperaturas médias mínimas diárias de aproximadamente 20 °C, a precipitação anual varia de 2250 a 2500 mm, sendo 80% concentrada entre janeiro e junho (SEPOF, 2008). Na interpretação dos resultados deste estudo, foram usados dados diários de precipitação, temperatura do ar e umidade relativa do ar, obtidos por meio de uma estação meteorológica de superfície automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no município de Rondon do Pará, cerca de 37,7 km da área experimental (Figura 7b). Devido a ativação da estação meteorológica ter ocorrido somente em maio de 2008, não foi possível obter uma série climática completa para a região.

As estações meteorológicas de superfície automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 7a) são compostas de uma unidade de memória central (“*data logger*”), conectada a sensores de parâmetros meteorológicos (precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc), a qual integra os valores observados minuto a minuto e a cada hora (INMET, 2010).

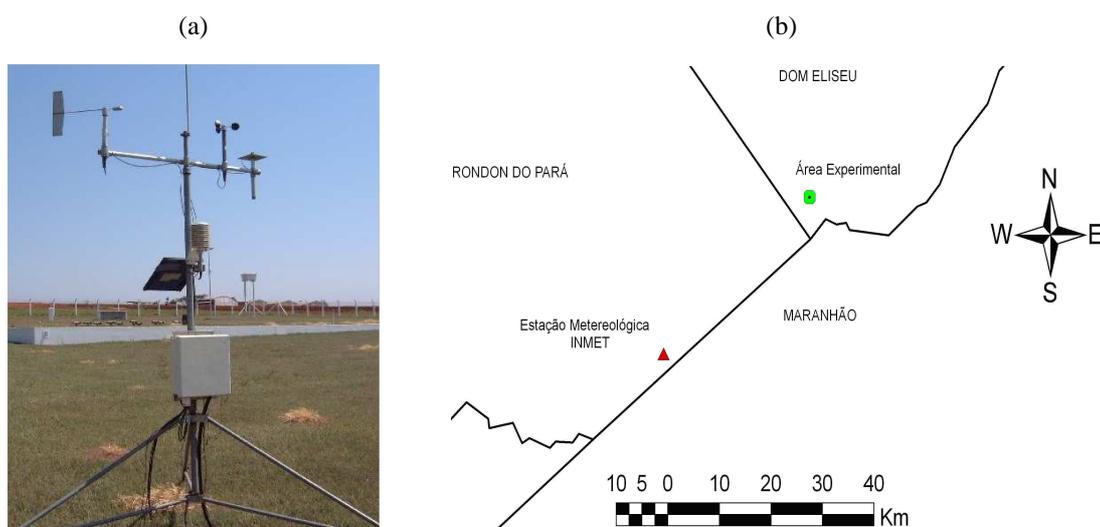


Figura 7. (a) Modelo de estação meteorológica de observação de superfície automática do INMET, (b) localização da estação em relação ao experimento.

Os dados de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar apresentados são relativos ao período experimental somente (julho de 2008 a agosto de 2009) (Figura 8). Foram definidos os seguintes períodos de precipitação: (a) período seco (junho a outubro), (b) transição seco-chuvoso (novembro a janeiro), (c) chuvoso (fevereiro a maio).

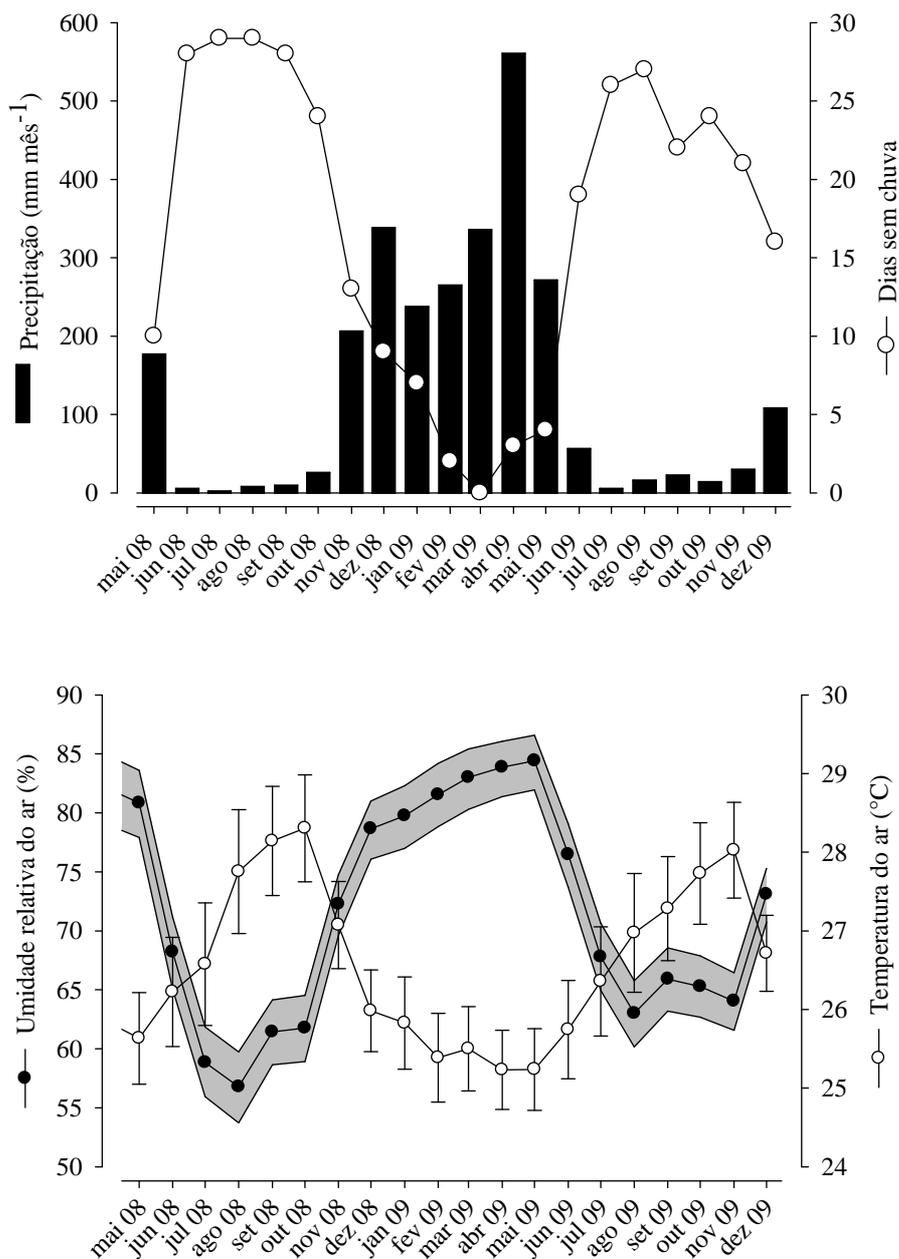


Figura 8. Valores de (a) precipitação mensal e número de dias sem chuva e (b) valores médios de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%), ambos com suas mínimas e máximas no período de maio de 2008 a dezembro de 2009.

Fonte: INMET, 2010.

A precipitação total no período de estudo foi 2321 mm. No período seco (junho a outubro de 2008 e junho a agosto de 2009) a precipitação total foi 123,8 mm (Tabela 1). No período seco-chuvoso (novembro a janeiro) a precipitação total foi 782,4 mm. No período chuvoso (fevereiro a maio) a precipitação foi 1433,2 mm. A temperatura média para todos os períodos foi 26,37°C. A umidade relativa do ar média para todo o período foi de 73,97 % (INMET, 2010).

Tabela 1. Valores de algumas variáveis climáticas para o período de estudo e a classificação por cada período.

Ano	Mês	PM (mm)	NDSC	TMA (°C)	URA (%)	Período	PP (mm)
2008	julho	2,2	29	26,5	58,9	seco	123,8
	agosto	8,0	29	27,7	56,8	seco	
	setembro	9,6	28	28,1	61,5	seco	
	outubro	25,8	24	28,3	61,8	seco	
	novembro	206,4	13	27,1	72,3	seco-chuvoso	782,4
	dezembro	338,2	9	25,9	78,6	seco-chuvoso	
2009	janeiro	237,8	7	25,8	79,7	seco-chuvoso	1433,2
	fevereiro	265	2	25,4	81,5	chuvoso	
	março	335,8	0	25,5	82,9	chuvoso	
	abril	560,8	3	25,2	83,9	chuvoso	
	maio	271,6	4	25,3	84,4	chuvoso	
	junho	56,6	19	25,7	76,5	seco	
	julho	5,4	26	26,4	67,8	seco	
	agosto	16,2	27	27,0	63,0	seco	

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2010). Onde PM – precipitação mensal; NDSC – nº de dias sem chuva; TMA – temperatura média do ar; URA – umidade relativa do ar; PP – precipitação por período.

Entre as classes de solos predominantes em Dom Eliseu estão Latossolo Amarelo (SEPOF, 2008). A descrição da área experimental foi feita segundo Falesi (2006) comunicação pessoal, conforme descrição abaixo:

Classificação: latossolo amarelo distrófico típico A moderado textura muito argilosa; litologia e formação geológica: terciário, formação barreiras; material originário: sedimentos argilosos; pedregosidade: não pedregoso; rochosidade: não rochoso; relevo geral: ondulado com pequenas colinas alongadas; relevo – plano – terraço; erosão: laminar ligeira; drenagem: bem drenado; vegetação: floresta equatorial sub-perenifólia;

uso atual: floresta. A clima da região é do tipo Aw, segundo classificação de Köppen (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007).

6.3 PREPARO DA ÁREA E CONDUÇÃO DOS PLANTIOS DE *Acacia mangium* Willd e *Schizolobium parahyba* var. *Amazonicum*.

O Projeto Florestar incluiu um experimento destinado à avaliação do desempenho de cinco espécies florestais em diversos espaçamentos. Para o presente estudo, foram selecionadas duas espécies (*S. parahyba* e *A. mangium*) em dois espaçamentos (4,0 m x 2,0 m e 4,0 m x 3,0 m), com duas repetições, totalizando 4 tratamentos e 8 parcelas. As parcelas mediram 48 m x 60 m (Figura 9).

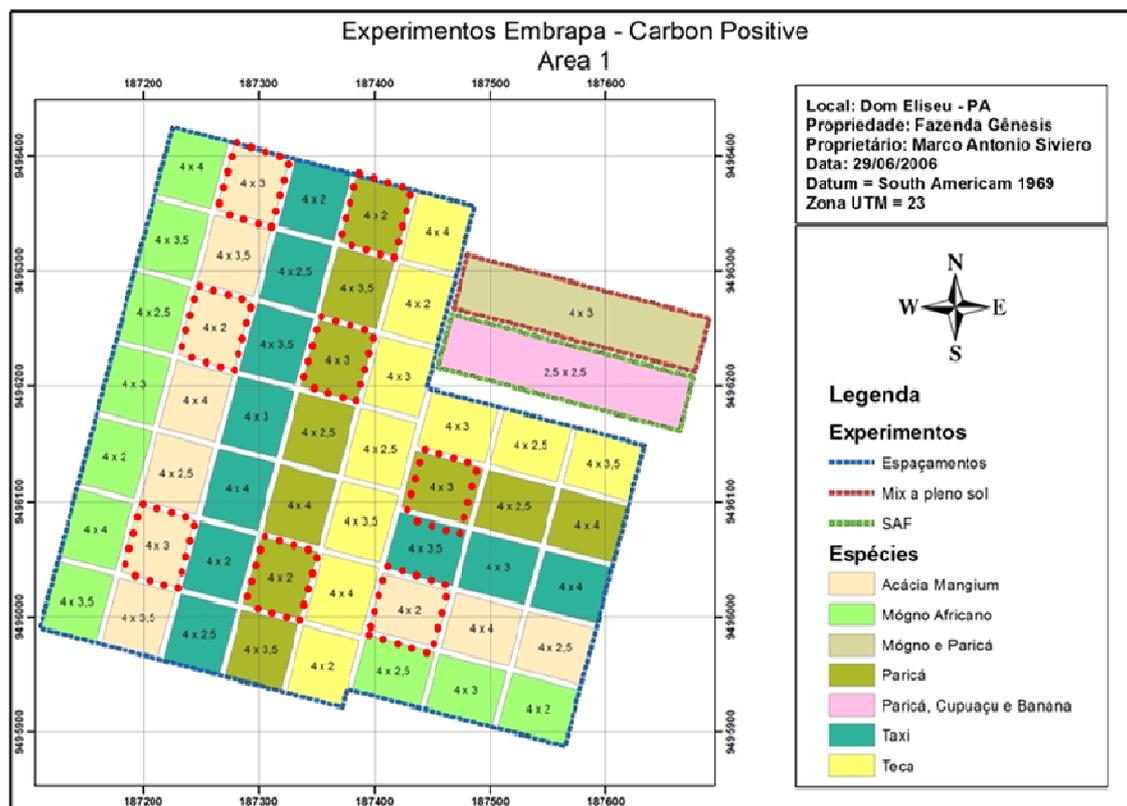


Figura 9. Parcelas georreferenciadas da área experimental com as diferentes espécies e espaçamentos avaliados no Projeto Florestar. As parcelas utilizadas no presente estudo, estabelecidas nos espaçamentos 4,0 m x 2,0 m e 4,0 m x 3,0 m, estão indicadas com retângulos vermelhos pontilhados.

Na área onde os plantios foram instalados, existia uma área de floresta nativa já explorada e com um ecossistema sucessional de floresta remanescente, o qual foi demarcado e derrubado. Em seguida ocorreu a limpeza do terreno, a fim de retirar a vegetação existente, realizada por meio de máquinas e também manualmente com utilização de motosserras, machados, terçados e outros. Na delimitação da área, procedia-se o combate às formigas cortadeiras, entre as quais a dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex*, extremamente prejudiciais às plantações florestais.

Após a remoção, enleiramento e queima do ecossistema dominante na região (capoeirão), ocorreu a marcação para a abertura das covas, de acordo com os espaçamentos projetados para serem testados, entre eles o 4,0 x 2,0 m e o 4,0 x 3,0 m, tanto para *A. mangium*, quanto para *S. parahyba*.

O plantio foi realizado manualmente. A adubação ocorreu em 3 etapas: a primeira (adubação de arranque) no momento do plantio (2006), com aplicação em grama por planta de 350 g de nitrogênio (N) - Uréia (45% N), 525 g de fósforo (P) - Arad (28% P₂O₅) e 245 g de potássio (K) - (60% KCl), 100 g de sulfato de magnésio (MgSO₄) e 50 g de micronutrientes (FTE Br 13), a segunda (adubação de manutenção), em 2007 foram aplicados 333 g de nitrogênio, 250 g de fósforo, 170 g de potássio, 30 g de sulfato de magnésio; e a terceira (adubação de manutenção), com aplicação igual à segunda adubação.

As espécies florestais foram plantadas em fevereiro de 2006, período chuvoso. Em alguns talhões ou parcelas onde ocorreram índices de mortalidade de mais de 10% até os 30 dias após o plantio, o replantio foi efetuado, para se manter a densidade do plantio (número de indivíduos/unidade de área).

Práticas de poda ou desrama que, segundo Ahrens (2000), consiste no corte dos ramos da copa da árvore objetivando produção de madeira de qualidade ou livre de nós, foram realizadas no final do inverno do segundo ano de plantio (junho de 2008).

6.4 MEDIÇÃO DE ALTURA TOTAL

Na determinação da altura foi utilizado um hipsômetro *Vertex IV* da *Haglof Sweden*, conhecido também por *Forestor Vertex* (CAMPOS et al, 2006).

O *Forestor Vertex* é um aparelho para medição de altura, ângulos de inclinação, distância e temperatura do ar, composto por um hipsômetro e um emissor (*transponder*). O operador, no momento da medição, deve estar a uma distância aproximadamente igual a altura total da árvore, onde possa visualizar o topo da árvore e o emissor. Dessa forma, a altura é determinada utilizando-se dois ângulos e uma distância, por meio de pulsos ultra-sônicos entre o emissor e o hipsômetro (CAMPOS et al, op.cit) (Figura 10).

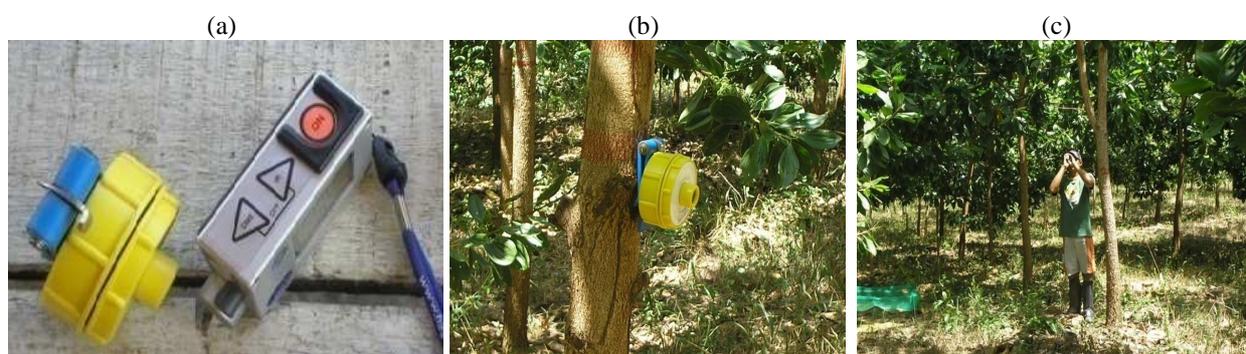


Figura 10. Medição da altura total (m): na sequência, (a) emissor (ou *transponder*) e hipsômetro, (b) emissor fixado na árvore a uma altura de 1,3 m do solo, (c) operador no momento da medição da altura total.

Foram realizadas medidas trimestralmente, em agosto e outubro de 2008, e janeiro, abril e julho de 2009. Em cada subparcela 33,34 % dos indivíduos foram medidos (24 indivíduos) nessas datas, totalizando 192 indivíduos para 8 subparcelas, no espaçamento 4,0 x 2,0 m e 120 indivíduos para 8 subparcelas, no espaçamento 4,0 x 3,0 m (Figura 12).

6.5 MEDIÇÃO DE DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO - DAP

Mensalmente o diâmetro à altura do peito (DAP, medido a 1,30 m acima do nível do solo) foi medido com fita diamétrica (Figura 11). Em cada subparcela de 20,0 x 28 m, 33,34 % dos indivíduos foram medidos (Figura 12), totalizando 192 indivíduos para 8 subparcelas, no espaçamento 4,0 x 2,0 m e 120 indivíduos para 8 subparcelas, no espaçamento 4,0 x 3,0 m (Figura 12).



Figura 11. Medição do diâmetro à altura do peito (1,30 m do solo), com a utilização de fita diamétrica.

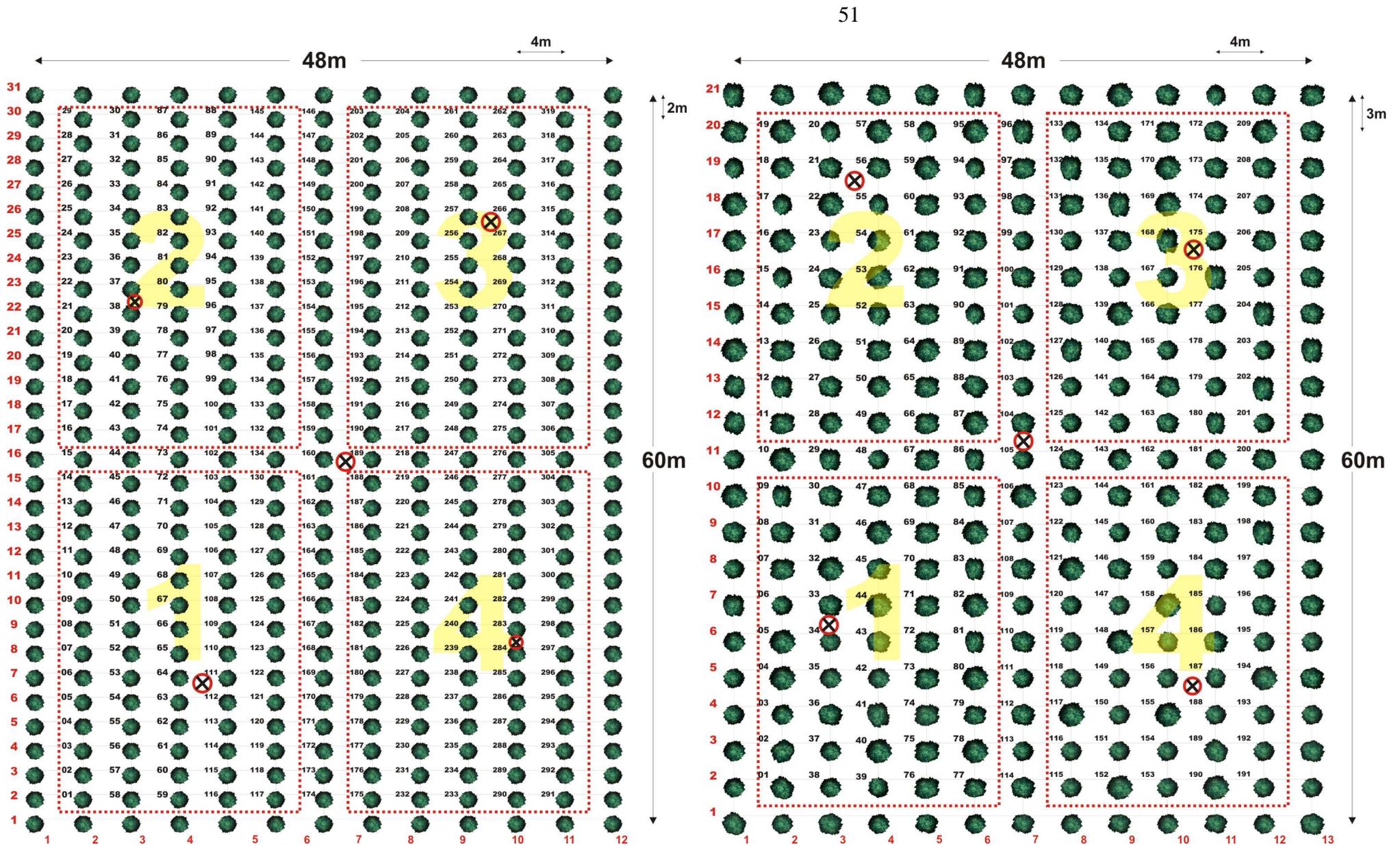


Figura 12. Representação esquemática da distribuição de indivíduos arbóreos nas parcelas de 48 x 60 m; e nas 4 subparcelas de 20 x 28 m. Para ambos espaçamentos.

O símbolo \otimes indica o local de distribuição das câmaras de PVC no solo dentro das parcelas de 48 x 60 m.

O incremento médio diário do diâmetro à altura do peito foi determinado calculando-se a média de DAP por parcela para cada mês de medição, considerando-se o número de dias de cada mês, entre medidas consecutivas.

6.6 ESTOQUE DE FITOMASSA ACIMA DO SOLO

O estoque de fitomassa acima do solo dos plantios de *A. mangium* e *S. parahyba* foi estimado por meio de equações alométricas geradas a partir de medições de diâmetro à altura do peito (DAP) e fitomassa nos espaçamentos 4,0 m x 2,0 m e 4,0 x 3,0 m, no âmbito do projeto Florestar. Foi utilizado o método destrutivo para determinação da fitomassa seca de indivíduos.

Para *A. mangium*, na determinação da fitomassa seca, utilizou-se a equação exponencial: $\exp(2,6193 \times \ln(\text{DAP})^{-2,6991})$ com $R^2 = 0,9775$, para o *S. parahyba*, utilizou-se, $\exp(2,4497 \times \ln(\text{DAP})^{-2,8848})$ com $R^2 = 0,9663$ (VASCONCELOS et al, em preparação).

6.7 ESTOQUE DE CARBONO NA FITOMASSA ACIMA DO SOLO

Para converter fitomassa em estoque de carbono acima do solo, utilizou-se o fator 0,5 (IPCC, 2007), ou seja, para cada unidade de biomassa, considerou-se a metade composta por carbono. Também levou-se em consideração o percentual de sobrevivência dos indivíduos arbóreos em cada subparcela, ou seja, a razão entre os indivíduos plantados e os que permaneceram vivos ao longo do período de estudo.

Portanto, o estoque de carbono na fitomassa acima do solo = fitomassa seca x 0,50 x sobrevivência (%).

6.8 EFLUXO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) DO SOLO

As medidas de respiração do solo foram realizadas pelo método das câmaras estáticas, que utiliza câmaras de policloreto de vinil (*polyvinyl chloride* - PVC) rígido de 10 cm de altura x 10 cm de diâmetro interno, inseridas cerca de 2 cm no solo. O efluxo de CO₂ do solo foi medido acoplado-se na câmara de 10 cm x 10 cm uma câmara (*Soil Respiration Chamber* - SRC 1) da PPSystems (Hitchin, UK) interligada a um analisador portátil de gás por infravermelho (*Environment Gas Monitor* - EGM 4).

A medição do efluxo de CO₂ do solo ocorreu mensalmente entre os meses de julho de 2008 a agosto de 2009, exceto em julho e outubro de 2008, devido a problema com a bateria do aparelho. Foram instalados cinco (5) anéis por parcela, totalizando 10 anéis por tratamento (Figura 12). Os anéis para medição dos efluxos de CO₂ foram alocados por sorteio nas linhas e entre linhas de cada parcela e ficaram fixos no solo durante o período experimental.

A concentração de CO₂ foi medida automaticamente a cada oito (8) segundos após a colocação no anel. O efluxo de CO₂ foi calculado por meio de ajuste de uma equação quadrática com valores em g m² h⁻¹. A medida da respiração do solo terminava automaticamente quando a concentração de CO₂ no sistema ultrapassava 60 ppm (parte por milhão) ou após 120 segundos da colocação da câmara no solo (LUO; ZHOU, 2002).

A medição da concentração de CO₂ se baseia em técnicas de infravermelho, em que moléculas diatômicas como as de CO₂ absorvem fortemente fótons de ondas longas, na faixa do infravermelho de 4,26 microns, os quais são detectados por um sensor sensível a esses fótons, quantificando o número de moléculas de CO₂ (LUO; ZHOU, op.cit.). Medidas de efluxo de CO₂ são automaticamente corrigidas por temperatura

superficial do solo e pressão atmosférica, cujos sensores localizam-se no EGM e na câmara SRC-1, respectivamente (LUO; ZHOU, 2002).

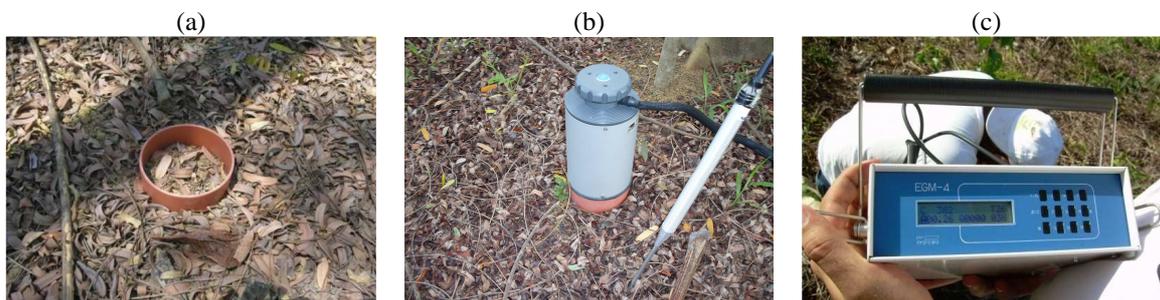


Figura 13. Medição de dióxido de carbono (CO_2): (a) anel de PVC rígido inserida no solo, (b) câmara SRC-1 acoplada ao anel de PVC rígido no momento da determinação do efluxo de CO_2 ao lado o sensor de temperatura, e (c) analisador portátil de gás CO_2 por infravermelho EGM-4.

6.8.1 Estimativa do efluxo anual de CO_2 do solo

Para estimar o efluxo anual de CO_2 , tomaram-se como base os valores (em $\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) medidos de setembro de 2008 a agosto de 2009. Em seguida, considerou-se que os valores obtidos eram constantes para as 24 h de cada dia (DAVIDSON et al 2000; METCALFE et al, 2007; VERCHOT et al, 2008), extrapolando-se para todos os dias de cada mês. Deste modo, transformaram-se todos os valores de efluxo para $\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$. Para a estimativa anual de efluxo em $\text{g CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, somaram-se todos os valores mensais, sendo que os valores de outubro de 2008 foram gerados a partir de interpolação linear dos resultados obtidos em setembro e novembro de 2008.

Para estimar os efluxos de dióxido de carbono ($\text{g CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em megagramas de carbono ($\text{Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), considerou-se que uma molécula de CO_2 equivale a 0,2727 átomo de carbono.

6.9 UMIDADE DO SOLO

Para a determinação da umidade do solo, utilizou-se o método gravimétrico segundo Embrapa (1979). Em cada parcela foi coletada 1 amostra composta de solo (0-

10 cm) próximo de cada conjunto de anéis, resultando em 10 amostras por tratamento. Cada amostra foi composta de três (3) amostras simples coletadas a 1 m de cada anel. O ponto de coleta da amostra simples foi sorteado mensalmente, evitando-se coletar amostras próximo a locais previamente amostrados (Figura 14). A massa úmida das amostras compostas foi determinada no campo com balança digital da marca OHAUS, modelo Scout Pro, com precisão de 0,01 g. No laboratório, após secagem em estufa (marca FANEM, modelo Orion 520) por 24 horas, a 105-110 °C, a massa seca foi determinada.



Figura 14. Coleta de solo (0 a 10 cm) para determinação da umidade do solo. (a) momento da coleta e (b) pesagem no campo para determinação da massa úmida.

6.10 COLETA DE SOLO E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica foi determinada segundo (EMBRAPA, 1979). Em 5 (cinco) campanhas de medição de respiração do solo (julho e outubro de 2008, janeiro, abril e julho de 2009), foi coletada 1 amostra composta de 3 amostras simples por anel, resultando em 5 amostras compostas de solo na profundidade de 0 a 10 cm em cada parcela (Figura 15). Os locais de coleta de solo em cada parcela foram definidos por sorteio em relação a cada um dos anéis de PVC (Figura 12), o que totalizou dez (10) amostras por tratamento, perfazendo quarenta (40) amostras por coleta e duzentas (200) amostras para todo o período (Figura 15).

Devido à variação temporal não-significativa de textura em curto prazo, amostras das 5 coletas foram reunidas de acordo com os locais de coleta em cada parcela, totalizando 40 amostras que foram usadas para análise granulométrica.



Figura 15. Minitrincheira para coleta de solo usado na análise granulométrica

7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial (fator 1 = efeito sazonal, fator 2 = espaçamento). Consideraram-se diferentes unidades experimentais de acordo com a variável analisada: (1) parcela, para textura, umidade do solo, altura total e DAP; (2) indivíduo, para análise de crescimento; e (3) anel, para respiração do solo. As variáveis de análise para cada unidade experimental foram: classes texturais (n=10), umidade gravimétrica do solo (n=10), efluxo de CO₂ do solo (n=10), incremento em altura total (n=8), incremento em DAP (n=8), fitomassa e carbono acima no solo (n=8).

Primeiramente, foi testado se as parcelas dos tratamentos apresentaram diferença em textura do solo, tendo em vista a importância dessa variável na dinâmica de água do solo e fluxo de gases (METCALFE et al, 2007; VERCHOT et al., 2008). Usou-se o modelo linear geral com aplicação do teste F para avaliar os teores de areia, silte e argila total, bem como a relação silte:argila, gerando uma classificação textural. Não houve diferença significativa em classe textura entre parcelas.

Com base em espaçamento e época de coleta, procedeu-se a análise de variância (ANOVA) para cada variável de interesse (umidade, respiração do solo, altura total, diâmetro à altura do peito, carbono na fitomassa acima do solo); as análises foram feitas para cada espécie separadamente. Quando a ANOVA indicou efeitos significativos, as médias foram comparadas com o teste Tukey, com nível de probabilidade de $p < 0,05$. Foi utilizado o software STATISTICA 6.0 (StatSoft, Inc. 1984-2007)

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1 ACACIA MANGIUM WILLD.

8.1.1 Umidade do solo

A análise de variância da umidade do solo nos plantios de *A. mangium*, estudados rejeitou a hipótese de nulidade, indicando, deste modo, uma diferença significativa entre espaçamentos em função dos meses de estudo, assim como entre classes texturais em função do tempo de estudo (Tabela 2). Devido a diferença entre as classes texturais ter ocorrido somente em duas parcelas, consideramos somente um tipo de solo, o argiloso.

Tabela 2. Análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre a umidade do solo (0 a 10cm) de plantios de *A. mangium*.

Fatores	SQ	g.l.	QM	F	p
Intercepto	304473,9	1	304473,9	9555,728	< 0,0001
Espaçamento	73,5	1	73,5	2,307	n.s
Textura	0,1	1	0,1	0,003	n.s
Espaçamento x textura	172,5	1	172,5	5,413	< 0,05
ε_1	509,8	16	31,9		
τ	11175,4	11	1015,9	94,174	< 0,0001
τ x espaçamento	209,9	11	19,1	1,769	< 0,05
τ x textura	243,5	11	22,1	2,052	< 0,05
τ x espaçamento x textura	91,9	11	8,4	0,774	n.s
ε_2	1898,7	176	10,8		

Onde: τ - efeito do tempo; ε - erro ou resíduo; SQ - soma de quadrado; g.l - grau de liberdade; QM - quadrado médio.

Para as diferenças significativas detectadas de umidade do solo entre datas de coleta nos espaçamentos 4,0 x 2,0 m e 4,0 x 3,0 m (Tabela 3), também compararam-se as diferenças de umidade do solo dentro de cada mês e entre meses dentro de cada espaçamento. Os valores médios totais de umidade do solo foram maiores em abril de 2009 ($47,65 \pm 4,48$ %), mês de maior precipitação (período chuvoso) (Tabela 3). Os menores valores médios globais de umidade do solo foram detectados nos meses de julho ($27,14 \pm 1,54$ %) e setembro de 2008 e julho e agosto de 2009 ($29,41 \pm 4,57$ %) (Tabela 3).

Entre os espaçamentos as únicas diferenças significativas encontradas ocorreram em janeiro e julho de 2009.

Tabela 3. Valores médios de umidade do solo (%) (\pm desvio padrão; n=10) na camada de 0 a 10 cm nos plantios de *A. mangium*, ordenados segundo o teste de Tukey ($\alpha=0,05$), em função dos espaçamentos praticados e classes texturais de solo, ao longo dos meses de avaliação.

Data	Período	Espaçamento		Total
		4,0 x 2,0 m	4,0 x 3,0 m	
jul 08	seco	26,65 \pm 0,81 gh 1	27,63 \pm 1,95 e 1	27,14 \pm 1,54 e
set 08	seco	27,97 \pm 3,16 h 1	27,84 \pm 2,12 e 1	27,91 \pm 2,62 e
nov 08	seco-chuvoso	31,46 \pm 4,93 cd 1	30,86 \pm 2,38 cd 1	31,16 \pm 3,78 d
dez 08	seco-chuvoso	30,40 \pm 3,45 de 1	31,49 \pm 2,44 cd 1	30,95 \pm 2,96 d
jan 09	seco-chuvoso	34,53 \pm 6,61 c 2	40,69 \pm 5,72 c 1	37,61 \pm 6,79 c
fev 09	chuvoso	43,17 \pm 3,56 b 1	41,54 \pm 2,41 b 1	42,35 \pm 3,07 b
mar 09	chuvoso	43,48 \pm 3,74 b 1	44,16 \pm 3,78 ab 1	43,82 \pm 3,68 ab
abr 09	chuvoso	46,52 \pm 4,23 a 1	48,79 \pm 4,64 a 1	47,65 \pm 4,48 a
mai 09	chuvoso	43,26 \pm 5,03 ab 1	43,83 \pm 4,34 ab 1	43,55 \pm 4,58 ab
jun 09	seco	34,99 \pm 1,88 c 1	35,03 \pm 3,04 cd 1	35,01 \pm 2,46 d
jul 09	seco	29,96 \pm 1,40 ef 2	31,53 \pm 1,73 e 1	30,75 \pm 1,73 e
ago 09	seco	27,98 \pm 3,06 fg 1	30,83 \pm 1,84 de 1	29,41 \pm 4,57 e

Onde: Alfabeto latino minúsculo, na vertical – efeito dos meses; algarismos arábicos, na horizontal - efeito dos espaçamentos. Valores precedidos de mesmas letras ou números, não diferem significativamente no nível de 5%, segundo o teste de Tukey.

A umidade do solo entre espaçamentos também foi, de forma geral, significativamente maior no período chuvoso. De julho a dezembro de 2008 e de fevereiro a agosto de 2009, com exceção de julho de 2009, não houve diferença significativa na umidade do solo entre os espaçamentos. Logo, o padrão de distribuição da umidade do solo ao longo do ano apresentou um comportamento associado aos períodos de precipitação pluviométrica (Figura 16).

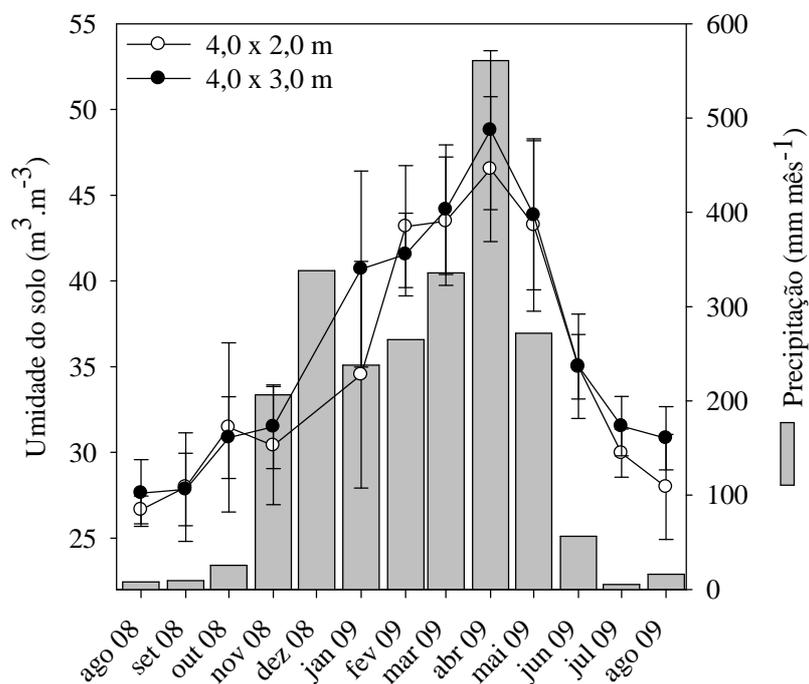


Figura 16. Valores médios e desvio padrão da umidade do solo (profundidade 0- 10 cm) de plantios de *A. mangium*, em função do (a) espaçamento praticado e precipitação mensal, ao longo dos meses de avaliação.

A umidade do solo nos tratamentos mais adensados (4,0 x 2,0 m) com 0,125 indivíduo por m^2 , e menos adensados (4,0 x 3,0 m), com 0,083 indivíduo por m^2 em ambas classes texturais, variou significativamente somente em dois meses, indicando que possíveis diferenças em interceptação de precipitação e radiação pelo dossel e atividade radicular superficial (0-10 cm) entre espaçamentos, de forma geral, não alteraram o teor médio da umidade do solo.

8.1.2 Efluxo de CO_2 do solo

O efluxo de CO_2 do solo foi afetado significativamente por tempo e pela interação entre tempo, espaçamento e textura (Tabela 4). Não existiram diferenças significativas de efluxos entre as linhas e entrelinhas em cada parcela ($p > 0,05$). Logo,

os dados obtidos nas linhas e entrelinhas foram agrupados para o teste de médias, resultando em n=10 para cada combinação de espécie e espaçamento.

Tabela 4. Análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre o efluxo de CO₂ do solo de plantios de *A. mangium*.

Fatores	SQ	g.l	QM	F	p
Intercepto	14,58	1	14,577	358,837	< 0,0001
Espaçamento	0,03	1	0,032	0,785	n.s
Textura	0,08	1	0,084	2,073	n.s
Espaçamento x textura	0,00	1	0,000	0,000	n.s
ϵ_1	0,65	16	0,041		
τ	1,11	10	0,111	9,053	< 0,0001
τ x espaçamento	0,10	10	0,010	0,826	n.s
τ x textura	0,06	10	0,006	0,457	n.s
τ x espaçamento x textura	0,25	10	0,025	2,073	< 0,05
ϵ_2	1,96	160	0,012		

Onde: τ – efeito do tempo; ϵ_1 – erro

De modo geral, o efeito de tempo sobre o efluxo de CO₂ foi mais evidente dentro das combinações entre espaçamentos. Os valores máximos e mínimos de efluxo de CO₂ do solo foram $0,40 \pm 0,09 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e $0,11 \pm 0,07 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios \pm desvio padrão (n=10) de efluxos de CO₂ do solo em $\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ nos plantios de *A. mangium*, ordenados segundo o teste de Tukey ($\alpha=0,05$), ao longo dos meses de avaliação, nas interações entre espaçamentos.

Data	Período	Efluxo de CO ₂ do solo ($\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)						Total	
		4,0 x 2, 0 m		4,0 x 3, 0 m					
jul 08	seco	0,15 \pm 0,15	bcd	2	0,22 \pm 0,07	abcd	1	0,18 \pm 0,12	cd
set 08	seco	0,11 \pm 0,07	d	1	0,14 \pm 0,09	d	1	0,13 \pm 0,08	d
nov 08	seco-chuvoso	0,27 \pm 0,16	abc	1	0,31 \pm 0,21	abcd	1	0,29 \pm 0,18	ab
dez 08	seco-chuvoso	0,36 \pm 0,13	ab	1	0,40 \pm 0,09	a	1	0,38 \pm 0,11	a
jan 09	seco-chuvoso	0,35 \pm 0,21	a	1	0,38 \pm 0,12	ab	1	0,37 \pm 0,17	a
fev 09	chuvoso	0,28 \pm 0,15	abc	1	0,32 \pm 0,14	abc	1	0,30 \pm 0,15	ab
mar 09	chuvoso	0,26 \pm 0,15	abc	1	0,33 \pm 0,12	abc	1	0,30 \pm 0,14	ab
abr 09	chuvoso	0,20 \pm 0,09	abcd	1	0,21 \pm 0,10	bcd	1	0,21 \pm 0,09	bcd
mai 09	chuvoso	0,25 \pm 0,13	abc	1	0,27 \pm 0,08	abcd	1	0,26 \pm 0,11	abc
jun 09	seco	0,21 \pm 0,07	abcd	1	0,22 \pm 0,06	abcd	1	0,21 \pm 0,06	bcd
jul 09	seco	0,15 \pm 0,05	cd	2	0,26 \pm 0,14	abcd	1	0,21 \pm 0,12	cd
ago 09	seco	0,15 \pm 0,06	cd	1	0,14 \pm 0,03	d	1	0,15 \pm 0,05	cd
Média		0,23 \pm 0,14			0,27 \pm 0,13			0,25 \pm 0,14	

Onde: alfabeto latino minúsculo, na vertical – efeito dos meses dentro de espaçamentos, algarismos numéricos na horizontal – efeito da interação entre espaçamentos. Valores precedidos de mesmas letras, não diferem significativamente no nível de 5%, segundo o teste de Tukey.

Os valores médios de efluxos de CO₂ do solo nos espaçamentos testados de *A.mangium* apresentaram uma grande variação ao longo do tempo, com um comportamento alterado pelos períodos das primeiras chuvas (seco-chuvoso), que resultaram em efluxos mais altos, e pela continuidade das chuvas (período chuvoso), associados com uma diminuição dos efluxos; valores ainda menores foram observados no período seco (Figura 19).

Os maiores efluxos de CO₂ do solo ocorreram no período de transição seco-chuvoso e variaram de $0,31 \pm 0,21$ a $0,40 \pm 0,09$ g m⁻² h⁻¹ (Tabela 5). Muito provavelmente, isso ocorreu devido ao início do período chuvoso, que favoreceu a respiração das raízes e decomposição da serapilheira pelos microorganismos, acumulada acima do solo por meio da deposição da serapilheira, durante o período seco. Nesses meses a precipitação pluviométrica total foi 338,2 mm, com temperatura média do ar de 25,9 °C e umidade relativa do ar de 78,6 % (Tabela 1), ainda nesse período, a umidade do solo variou de $30,86 \pm 2,38$ a $40,69 \pm 5,78$ % nos meses de novembro de 2008 e janeiro de 2009, respectivamente (Tabela 3).

Os menores efluxos de CO₂ do solo foram medidos no início do período seco, principalmente nos meses de setembro de 2008 e agosto de 2009, e variaram de $0,11 \pm 0,07$, no 4,0 x 2,0 m a $0,14 \pm 0,09$ g m⁻² h⁻¹, no 4,0 x 3,0 m (Tabela 5). A umidade do solo em julho de 2008 foi $27,14 \pm 1,54$ % (Tabela 3).

Os resultados mostraram que os efluxos de CO₂ do solo nos plantios de *A.mangium* foram indiretamente influenciados pelas condições edafoclimáticas periódicas, quando os maiores efluxos ocorreram no início e durante o período seco-chuvoso, com taxas máximas de $0,40 \pm 0,09$ g m⁻² h⁻¹. Logo, houve uma redução em torno de 80 % no efluxo de CO₂ do solo no período seco (Figura 17).

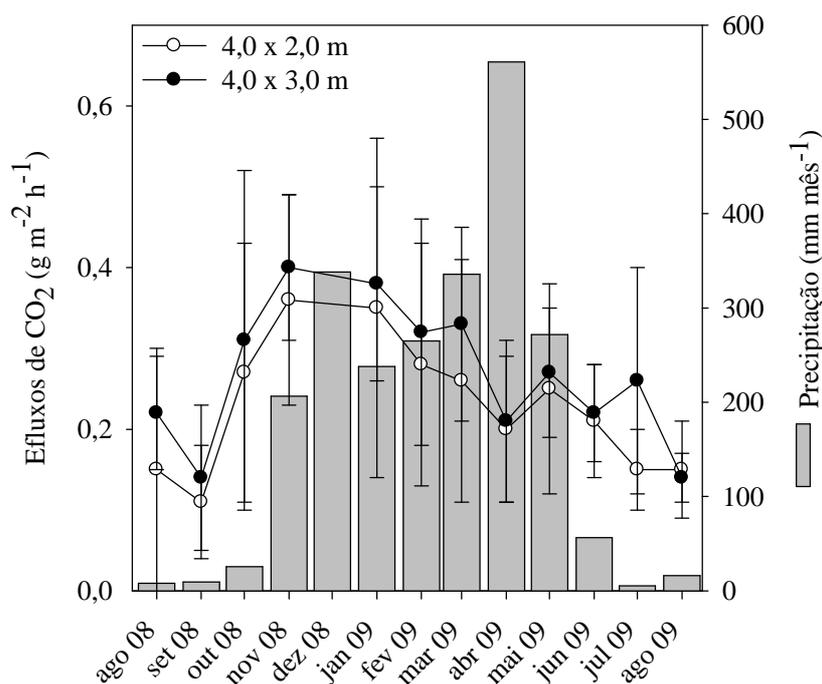


Figura 17. Valores médios \pm desvio padrão ($n=10$) dos efluxos de CO_2 do solo nos plantios de *A. mangium*, em função da interação espaçamento praticados e precipitação mensal, ao longo dos meses de avaliação.

Os valores de CO_2 encontrados neste estudo estão de acordo com aquele relatado ($0,43 \pm 0,11 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) em plantio de *A. mangium* (espaçamento $4,0 \times 2,0 \text{ m}$) na Indonésia (KONDA et al, 2008). Em recentes estudos, Bréchet et al (2009) registraram efluxos de CO_2 variando de $0,44$ a $1,08 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ em plantios monoespecíficos de 16 espécies (Tabela 6).

Em Manaus, Sotta et al. (2004) encontraram valores de efluxo de CO_2 do solo de florestas tropicais de $1,02 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Em florestas secundárias na Amazônia, Vasconcelos et al (2004) encontraram valores médios de efluxos de CO_2 de $0,98 \pm 0,04 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ em solo irrigado, e mínimo de $0,37 \pm 0,03 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ em solo não-irrigado, ambos no período seco (Tabela 6). Cattânio et al (2002) relataram valores de efluxos de CO_2 variando de $0,08 \pm 0,01$ a $0,15 \pm 0,01 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e $0,09 \pm 0,02 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ a $0,17 \pm 0,04 \text{ gCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ em área de floresta nativa com e sem exclusão de precipitação,

respectivamente. Davidson et al (2000), estudando a relação entre a respiração do solo e tipos de cobertura vegetal e uso do solo na Amazônia oriental, encontraram efluxos de CO₂ variando de 0,42 a 0,83 g m⁻² h⁻¹ (Tabela 6). Entretanto, há poucos estudos de efluxos de CO₂ do solo em plantios homogêneos de *A. mangium* nos trópicos, principalmente na Amazônia Oriental para comparação.

Tabela 6. Estimativas de efluxo de CO₂ do solo em várias modalidades de uso da terra, em regiões tropicais e outras.

Tipologia ou ecossistema	Idade (ano)	Local	Precipitação anual (mm)	Temperatura (°C)	Tipo de solo	Método	Efluxo de CO ₂ do solo		Fonte
							g CO ₂ m ⁻² h ⁻¹	Mg C ha ⁻¹ ano ⁻¹	
<i>A. mangium</i> (4,0 x 2,0 m)	3,5 H = 11,65 m, DAP = 12,4 cm						0,23 ± 0,14 (n=10)	5,13 ± 1,33	
<i>A. mangium</i> (4,0 x 3,0 m)	3,5 H = 11,97 m, DAP = 13 cm	Dom Eliseu PA	2321	26	latossolo amarelo distrófico	Câmara estática	0,27 ± 0,13	6,08 ± 1,14	Presente estudo
<i>S. parahyba</i> (4,0 x 2,0 m)	3,5 H = 15,7 m, DAP = 12,6 cm						0,27 ± 0,04	6,62 ± 1,00	
<i>S. parahyba</i> (4,0 x 3,0 m)	3,5 H = 18 m, DAP = 16 cm						0,31 ± 0,07	7,52 ± 1,82	
Florestas plantadas monoespecíficas com 16 espécies nativas	21	Guiana Francesa	3041	26	Acrisol hipoferrálico	Câmara estática	0,44 a 1,08 (n=96)	-	Bréchet et al. (2009)
<i>A. mangium</i> 4,0 x 2,0 m	H= 23,6 m, DAP = 22,5 cm	Indonésia	2750	27,3	Acrisols Rocha sedimentar terciária	Câmara estática	0,43 ± 0,11 a 0,56 ± 0,27	-	Konda et al. (2008)
Floresta nativa tropical	-	Manaus	2200		latossolo amarelo argiloso	Sistema dinâmico aberto de câmaras estáticas	1,02	-	Sotta et al. (2004)
Floresta secundária Solo irrigado	12	Castanhal PA	2539	24 a 27	latossolo amarelo distrófico	Câmara estática	0,98 ± 0,04	4,34 ± 0,20	Vasconcelos et al. (2004)
Floresta secundária controle	12						0,37 ± 0,03	6,10 ± 0,43	
Floresta madura com exclusão de precipitação	-	Paragominas PA	1800	22 a 25	latossolo amarelo	Câmara estática	0,08 ± 0,01 a 0,15 ± 0,01 (n=8)	-	Cattânio et al. (2002)
Floresta madura controle	-						0,09 ± 0,02 a 0,17 ± 0,04	-	
Floresta primária	-			22 a 24			0,83	20	
Floresta secundária	21	Paragominas PA	1800		latossolo amarelo	Câmara estática	0,75	18	Davidson et al. (2000)
Pastagem ativa	26			24 a 28			0,63	15	
Pastagem degradada	26						0,42	10	

Diferentes unidades foram utilizadas nos estudos: $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em Bréchet et al. (2009), Sotta et al. (2004) e Vasconcelos et al. (2004); $\text{g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ em Konda et al. (2008); $\text{mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ em Cattânio et al. (2002); e $\text{Kg C m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ em Davidson et al. (2000). H = altura total; DAP = diâmetro à altura do peito.

Davidson et al (2000), estudando o efluxo de CO₂ do solo em florestas e pastagens na Amazônia oriental, perceberam que o conteúdo ideal de água no solo para que ocorra um processo de respiração em seu potencial máximo é aquele próximo da capacidade de campo, em que os espaços dos macroporos estão na sua maioria preenchidos por ar, o que facilita a difusão do O₂, e os espaços dos microporos estão cheios de água, o que facilita a difusão de substratos solúveis. Entretanto, não se conhece o valor exato deste conteúdo de água no solo nos ecossistemas amazônicos, devido à ampla variedade de solos e classes texturais.

A umidade e a temperatura do solo podem ser fatores limitantes à respiração do solo. De acordo com Almagro et al (2009), baixa umidade e elevada temperatura do solo podem diminuir as taxas de respiração do solo, a qual poderá aumentar brusca e rapidamente durante eventos de chuva, principalmente durante o período seco. Nos estudos de Almagro et al op. cit. foi constatada covariância entre umidade e temperatura, ou seja, as altas temperaturas ocorreram quando o conteúdo de água no solo foi baixo e vice-versa.

O teor de umidade do solo depende diretamente do padrão de distribuição pluviométrica local (intensidade e duração diária da precipitação), da existência ou não de cobertura vegetal, da taxa de evapotranspiração, entre outros. A vegetação pode camuflar a resposta da respiração à temperatura e flutuações de umidade do solo por meio de uma ampla gama de mecanismos, incluindo o sombreamento do dossel, interceptação de precipitação e a atividade radicular (ALMAGRO et al, op. cit.). A espécie *A.mangium*, em um estudo de dinâmica sazonal da chuva no Panamá (KURNET, 2010), apresentou alto uso da água do solo e alta taxa de transpiração durante a estação seca, provavelmente devido ao aumento da demanda evaporativa.

Segundo Almagro et al (2009), relacionar medidas de precipitação com respiração do solo não é fácil, pois a disponibilidade de água no solo depende também da capacidade de armazenamento de água pelo solo. A dinâmica da precipitação também pode alterar a respiração do solo, pois eventos de secagem e umedecimento podem ocasionar pulsos de CO₂ (DAVIDSON et al, 2000).

8.1.3 Estimativa de efluxo anual de CO₂ do solo

O efluxo anual de CO₂ do solo dos plantios de *A. mangium* foi $5,13 \pm 1,33$ e $6,08 \pm 1,14$ Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ para os espaçamentos 4,0 x 2,0 m e 4,0 x 3,0 m, respectivamente (Figura 18), porém sem diferença significativa ($p = 0,65$) entre eles, gerando um valor médio total de $5,61 \pm 1,30$ Mg C ha⁻¹ ano⁻¹. Esperava-se uma diferença significativa em efluxo de CO₂ entre os espaçamentos, devido à diferença de fitomassa por área em cada espaçamento e, conseqüentemente, provavelmente maior alocação e respiração de raízes, assim como maior queda e decomposição de serapilheira pelos microorganismos no espaçamento mais adensado. Os dados obtidos não permitem inferir sobre possíveis causas da ausência de diferença significativa entre espaçamentos, mas provavelmente as mesmas condições de umidade do solo entre espaçamentos (Tabela 3) exerceram um maior controle sobre o efluxo.

As estimativas de efluxo anual de CO₂ do solo neste estudo são inferiores àqueles estimados por Davidson et al (2000) para floresta primária (20 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹), floresta secundária (18 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹), pastagem ativa (15 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹), pastagem degradada (10 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹) na Amazônia Oriental. Em floresta secundária na Amazônia Oriental, o efluxo anual variou de $4,34 \pm 0,20$ a $6,10 \pm 0,43$ Mg C ha ano⁻¹) (VASCONCELOS et al, 2004). Nossos resultados de efluxo anual foram diferentes de

alguns citados na literatura, provavelmente devido à existência de diferenças edafoclimáticas, de espécies, idade de plantio ou cobertura vegetal, entre outros.

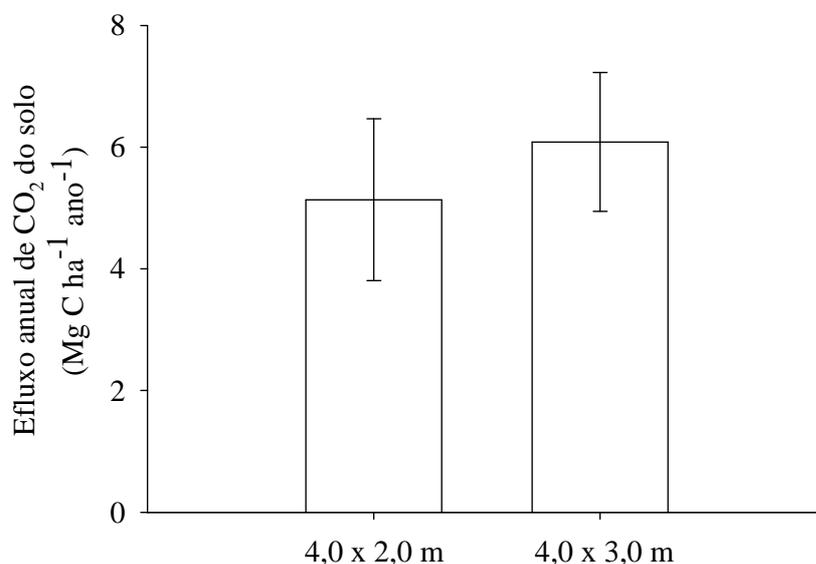


Figura 18. Efluxo anual de CO₂ do solo (média ± desvio padrão, n=10) nos plantios de *A. mangium* sob espaçamentos diferentes.

8.1.4 Crescimento em altura total

Houve efeito significativo isolado de tempo e da interação tempo x espaçamento sobre a altura total dos indivíduos arbóreos (Tabela 7).

Tabela 7. Tabela de análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre a altura de indivíduos (m) de *A. mangium*.

Fatores	SQ	g.l	QM	F	P
Intercepto	130658,5	1	130658,5	18379,98	< 0,001
Espaçamento	6,1	1	6,1	0,85	n.s
Textura	1,7	1	1,7	0,24	n.s
Espaçamento x textura	0,3	1	0,3	0,04	n.s
ε_1	1848,3	260	7,1		
τ	2008,3	4	502,1	1562,13	< 0,001
τ x espaçamento	39,2	4	9,8	30,47	< 0,001
τ x textura	1,1	4	0,3	0,87	n.s
τ x espaçamento x textura	0,2	4	0,0	0,13	n.s
ε_2	334,3	1040	0,3		

Onde: τ – efeito do tempo; ε_1 – erro

No espaçamento 4,0 x 2,0 m, o valor médio de altura total foi $8,68 \pm 1,44$ m aos 30 meses e $11,65 \pm 1,23$ m aos 42 meses; no espaçamento 4,0 x 3,0 m, o valor médio de altura total foi $8,22 \pm 1,51$ m aos 30 meses e aos 42 meses $11,97 \pm 1,13$ m (Tabela 8).

Nos 29^o e 32^o meses, a altura total foi significativamente maior no espaçamento 4,0 x 2,0 m do que no 4,0 x 3,0 m, o que não ocorreu nos meses subsequentes (Tabela 8).

Tabela 8. Valores médios \pm desvio padrão (n=8) de altura total individual (m) de *A. mangium*, ordenados segundo o teste de Tukey ($\alpha=0,05$), em função dos espaçamentos praticados, ao longo dos meses de avaliação.

Data	Idade (meses)	Período	4,0 x 2,0 m		4,0 x 3,0 m	
jul/2008	29	Seco	8,68 \pm 1,44	a	8,22 \pm 1,51	b
out/2008	32	Seco	9,14 \pm 1,42	a	8,77 \pm 1,43	b
jan/2009	36	seco-chuvoso	10,55 \pm 1,52	a	10,45 \pm 1,30	a
abr/2009	39	Chuvoso	10,99 \pm 1,43	a	11,28 \pm 1,19	a
jul/2009	42	Seco	11,65 \pm 1,23	a	11,97 \pm 1,13	a

Onde: alfabeto latino minúsculo, na horizontal – efeito dos espaçamentos. Valores precedidos de mesmas letras ou números, não diferem significativamente, no nível de 5%, segundo o teste de Tukey.

O crescimento médio mensal em altura dos indivíduos arbóreos de *A. mangium* foi semelhante ao longo do período de estudo, em ambos espaçamentos (Tabela 8). Porém, foram detectadas algumas diferenças entre os espaçamentos para os valores médios de altura total dos indivíduos de *A. mangium*, ocorridas aos 29 meses, julho de 2008 (início do período seco) e aos 32 meses, outubro de 2008 (final do período seco) (Tabela 8).

A competição intraespecífica (entre os indivíduos da mesma espécie) nos plantios de *A. mangium* promoveu um dossel homogêneo e não-estratificado aos 3,5 anos de plantio com altura média total de $11,65 \pm 1,23$ m e $11,97 \pm 1,13$ m nos espaçamentos 4,0 x 2,0 m e 4,0 x 3,0 m, respectivamente.

No período de estudo, as médias de altura total variaram de $9,14 \pm 1,42$ a $10,55 \pm 1,52$ m no espaçamento 4,0 x 2,0 m e de $8,77 \pm 1,43$ a $10,45 \pm 1,30$ m no 4,0 x 3,0 m (Tabela 8). Os efluxos de CO₂ neste período variaram de $0,20 \pm 0,03$ a $0,34 \pm 0,11$ g m⁻²

h^{-1} no espaçamento 4,0 x 2,0 m, respectivamente, e de $0,37 \pm 0,14$ a $0,24 \pm 0,04$ gCO_2 $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ no espaçamento 4,0 x 3,0 m, respectivamente, em novembro de 2008 (Tabela 5). O aumento do efluxo de CO_2 do solo coincidiu com o aumento em altura total dos indivíduos de *A. mangium*, associados ao início do período chuvoso.

8.1.5 Crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP)

O diâmetro à altura do peito (DAP) dos indivíduos arbóreos de *A. mangium* foi afetado significativamente por tempo e pelas interações, tempo x espaçamento, e tempo x espaçamento (Tabela 9).

Tabela 9. Quadro de análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre o DAP de indivíduos de *A. mangium*.

Fatores	SQ	g.l	QM	F	p
Intercepto	374584,5	1	374584	5554	< 0,001
Espaçamento	123,7	1	124	2	n.s
Textura	14,9	1	15	0	n.s
Espaçamento x textura	77,9	1	78	1	n.s
ε_1	17536,3	260	67		
τ	5306,2	11	482	2652	< 0,001
τ x espaçamento	37,0	11	3	18	< 0,001
τ x textura	2,3	11	0	1	n.s
τ x espaçamento x textura	7,9	11	1	4	< 0,001
ε_2	520,1	2860	0		

Onde: τ – efeito do tempo; ε_1 – erro

Para os resultados de DAP consideraram-se somente as diferenças de DAP entre os espaçamentos durante o período de estudo (Tabela 10). Os dados permitiram identificar dois períodos distintos de crescimento em DAP para o espaçamento 4,0 x 2,0 m, ou seja, de julho a novembro de 2008 (período seco predominante) e de janeiro a agosto de 2009 (período chuvoso predominante); para o espaçamento 4,0 x 3,0 m, observou-se somente um período contínuo de crescimento em todo o período de estudo (Tabela 10).

O DAP não diferiu significativamente ao longo do ano nos espaçamentos testados de *A. mangium* (Tabela 10), provavelmente devido à diferença entre os

espaçamentos não ter sido ampla e, também, a uma provável similaridade de área basal entre os espaçamentos. A área basal é um parâmetro de densidade de plantios, expresso em $m^2 ha^{-1}$ e fornece o grau de ocupação de determinada área pelo lenho (SOARES et al, 2007). Neste estudo a área basal não foi avaliada.

Tabela 10. Valores médios±desvio padrão de DAP (cm) (n= 8) de *A. mangium*, ordenados segundo o teste de Tukey ($\alpha=0,05$), em função dos espaçamentos praticados, ao longo dos meses de avaliação.

Data	Idade (meses)	Período	DAP (cm)			
			4,0 x 2,0 m		4,0 x 3,0 m	
jul/08	29	seco	9,11±2,11	a 1	9,17±2,48	a 1
set/08	31	seco	9,21±2,11	a 1	9,37±2,44	a 1
out/08	32	seco	9,28±2,12	a 1	9,58±2,44	a 1
nov/08	33	seco-chuvoso	9,39±2,14	a 1	9,70±2,44	a 1
jan/09	35	seco-chuvoso	10,54±2,35	b 1	11,05±2,46	a 1
fev/09	36	chuvoso	10,87±2,43	b 1	11,42±2,52	a 1
mar/09	37	chuvoso	11,33±2,48	b 1	11,99±2,58	a 1
abr/09	38	chuvoso	11,78±2,62	b 1	12,42±2,63	a 1
mai/09	39	chuvoso	11,91±2,65	b 1	12,65±2,69	a 1
jun/09	40	seco	12,25±2,58	b 1	12,86±2,71	a 1
jul/09	41	seco	12,30±2,62	b 1	12,93±2,74	a 1
ago/09	42	seco	12,43±2,66	b 1	13,10±2,79	a 1

Onde: alfabeto latino minúsculo, na horizontal – efeito dos espaçamentos, algarismos numéricos na vertical – efeito dos meses. Valores precedidos de mesmas letras ou números não diferem significativamente no nível de 5%, segundo o teste de Tukey.

8.1.6 Incremento médio diário de diâmetro à altura do peito (DAP)

A ANOVA para o incremento médio diário (IMD) de diâmetro à altura do peito (DAP) dos indivíduos arbóreos de *A. mangium* mostrou um efeito significativo das interações tempo x textura, tempo x espaçamento e espaçamento x textura (Tabela 11). Porém, desconsiderou-se a diferença entre as classes texturais. O efeito isolado do fator tempo também foi significativo.

Tabela 11: Quadro de análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre o DAP diário de indivíduos de *A. mangium*.

Fatores	SQ	g.l	QM	F	p
Intercepto	0,192578	1	0,192578	2202,334	< 0,001
Textura	0,000003	1	0,000003	0,037	n.s
Espaçamento	0,002285	1	0,002285	26,135	< 0,001
Textura x espaçamento	0,000487	1	0,000487	5,569	< 0,05
ε_1	0,022735	260	0,000087		
τ	0,070782	10	0,007078	189,701	< 0,001
τ x textura	0,000903	10	0,000090	2,421	< 0,01
τ x espaçamento	0,002286	10	0,000229	6,128	< 0,01
τ x textura x espaçamento	0,000654	10	0,000065	1,753	n.s
ε_2	0,097012	260	0,000037		

Onde: τ – efeito do tempo; ε_i – erro

O IMD_{DAP} de setembro de 2008 a agosto de 2009 apresentou um padrão que variou em função das precipitações mensais, com valores mais altos em fevereiro de 2009 e mais baixos em julho de 2009 (Tabela 12). O IMD_{DAP} em fevereiro foi $0,17 \pm 0,01$ mm dia⁻¹ no espaçamento 4,0 x 3,0 m e $0,16 \pm 0,008$ mm dia⁻¹ no 4,0 x 2,0 m. Em contrapartida, o menor IMD_{DAP} foi observado em julho de 2009 (início do período seco) com $0,02 \pm 0,003$ mm dia⁻¹ no espaçamento 4,0 x 2,0 m e $0,02 \pm 0,003$ mm dia⁻¹ no 4,0 x 3,0 m (Tabela 12). Em todos os meses, o IMD_{DAP} foi maior no espaçamento 4,0 x 3,0 m do que no 4,0 x 2,0 m, com diferença significativa em alguns meses.

No espaçamento 4,0 x 3,0 m os incrementos médios diários foram significativamente maiores de janeiro a março de 2009 (período chuvoso) em relação aos outros meses avaliados (Tabela 12). No espaçamento 4,0 x 2,0 m, os maiores incrementos médios diários ocorreram no mês de fevereiro de 2009 (Tabela 12).

Tabela 12: Valores médios±desvio padrão de incremento médio diário em DAP (mm d^{-1}) ($n=8$) de *A.mangium*, ordenados segundo o teste de Tukey ($\alpha=0,05$), em função dos espaçamentos ao longo dos meses de avaliação.

Data	Idade (meses)	Período	Espaçamento (m)	
			4,0 x 2,0	4,0 x 3,0
set/08	31	seco	0,02±0,003	e 2 0,05±0,004 de 1
out/08	32	seco	0,02±0,004	e 2 0,07±0,004 cd 1
nov/08	33	seco-chuvoso	0,04±0,003	de 1 0,04±0,004 de 1
jan/09	35	seco-chuvoso	0,15±0,003	ab 2 0,17±0,004 a 1
fev/09	36	chuvoso	0,16±0,008	a 1 0,17±0,01 a 1
mar/09	37	chuvoso	0,12±0,005	c 2 0,16±0,06 a 1
abr/09	38	chuvoso	0,13±0,007	bc 1 0,12±0,08 b 1
mai/09	39	chuvoso	0,05±0,008	de 2 0,08±0,01 c 1
jun/09	40	seco	0,05±0,005	d 1 0,05±0,006 de 1
jul/09	41	seco	0,02±0,003	e 1 0,03±0,004 e 1
ago/09	42	seco	0,05±0,004	de 2 0,06±0,005 cd 1

Onde: Alfabeto latino minúsculo, na vertical – efeito dos meses; algarismos numéricos, na horizontal - efeito dos espaçamentos. Valores precedidos de mesmas letras ou números, não diferem significativamente no nível de 5%, segundo o teste de Tukey.

Em suma, o espaçamento 4,0 x 3,0 m de *A. mangium*, sempre apresentou valores médios do IMD_{DAP} significativamente maiores e algumas vezes sem diferença significativa em relação ao espaçamento 4,0 x 2,0 m, porém, em nenhum momento foi significativamente menor. Os maiores valores médios de IMD_{DAP} no espaçamento 4,0 x 3,0 m em relação ao 4,0 x 2,0 m ocorreram nos meses de setembro e novembro de 2008 e janeiro, março, maio e agosto de 2009, e o meses sem diferença significativa foram, dezembro de 2008, fevereiro, abril, junho e julho de 2009 (Tabela 12 e Figura 19).

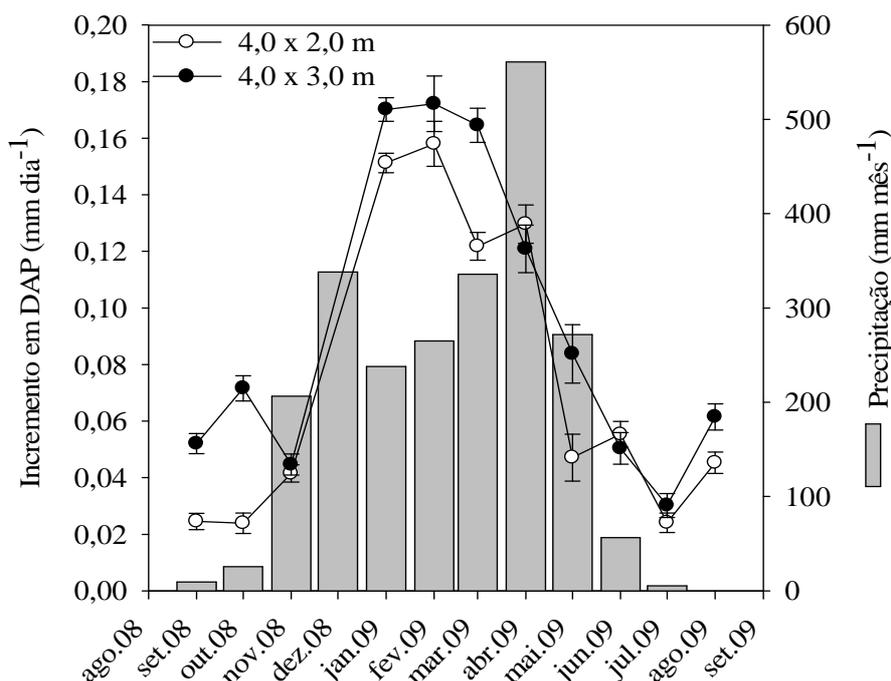


Figura 19. Incremento médio diário do diâmetro à altura do peito (DAP) para o período de estudo em relação à precipitação mensal. Dados são média \pm desvio padrão (n=8).

8.1.7 Carbono acumulado na fitomassa acima do solo

A ANOVA indicou diferença significativa de carbono acumulado na fitomassa entre espaçamentos em todos os meses ($p < 0,01$). O acúmulo de carbono foi significativamente maior no espaçamento 4,0 x 2,0 m em relação ao 4,0 x 3,0 m para todo o período de estudo (Figura 20).

Aos 29 meses de plantio (julho de 2008), o estoque de carbono na fitomassa era $13,97 \pm 0,68 \text{ Mg C ha}^{-1}$ no espaçamento 4,0 x 2,0 m e $10,25 \pm 0,67 \text{ Mg C ha}^{-1}$ no espaçamento 4,0 x 3,0 m (Figura 20). Aos 42 meses de plantio (agosto de 2009), também no período seco, o estoque de carbono no espaçamento 4,0 x 2,0 m foi $30,38 \pm 1,59 \text{ Mg C ha}^{-1}$ e no 4,0 x 3,0 m foi $24,28 \pm 1,42 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Figura 20). A taxa de acúmulo anual de carbono foi $16,41 \pm 1,16 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no espaçamento 4,0 x 2,0 e $14,03 \pm 0,82 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no 4,0 x 3,0 m.

De julho a novembro de 2008 (período seco), o estoque de carbono na fitomassa acima do solo variou de $13,97 \pm 0,68$ a $15,08 \pm 0,74$ Mg C ha⁻¹ no espaçamento 4,0 x 2,0 m, com taxa de acúmulo de carbono de $1,11 \pm 0,24$ Mg C ha⁻¹; no espaçamento 4,0 x 3,0 m, o estoque de carbono variou de $10,25 \pm 0,67$ a $11,69 \pm 0,75$ Mg C ha⁻¹, com taxa de acúmulo de carbono de $1,44 \pm 0,10$ Mg C ha⁻¹ (Figura 20). De janeiro a agosto de 2009 (predomínio do período chuvoso), o estoque de carbono na fitomassa acima do solo variou de $20,20 \pm 0,91$ a $30,38 \pm 1,59$ Mg C ha⁻¹ no espaçamento 4,0 x 2,0 m, com taxa de acúmulo de carbono de $10,18 \pm 0,79$ Mg C ha⁻¹ e de $15,71 \pm 0,99$ a $24,28 \pm 1,42$ Mg C ha⁻¹ no espaçamento 4,0 x 3,0 m, com taxa de acúmulo de carbono de $8,57 \pm 0,55$ Mg C ha⁻¹ (Figura 20).

A dinâmica de estocagem de carbono mostrou-se fortemente influenciada pelos períodos pluviométricos, sendo que os acúmulos mais altos de carbono ocorreram nos períodos de índices pluviométricos mais elevados. Em relação à diferença entre espaçamentos, o número de indivíduos arbóreos de *A. mangium* por hectare influenciou fortemente o estoque de carbono, levando os indivíduos, no espaçamento 4,0 x 2,0 m, provavelmente a uma melhor captação, aproveitamento e eficiência dos recursos disponíveis (água, nutrientes, luz solar, etc.) refletindo em sua máxima produtividade em fitomassa.

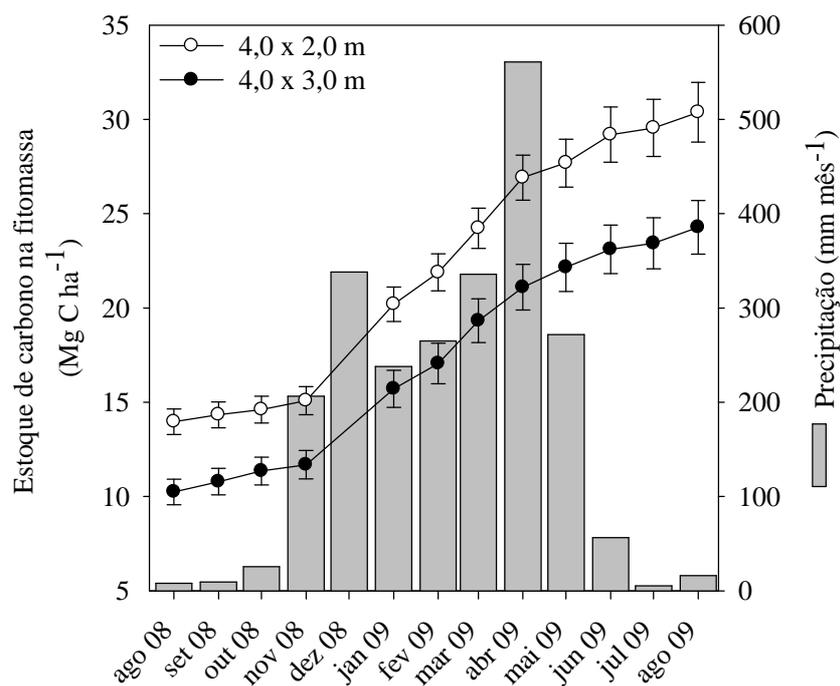


Figura 20. Curva de acúmulo de estoque de carbono na fitomassa acima do solo (Mg C ha^{-1}), média global \pm erro padrão nos espaçamentos de *A. mangium*, em relação aos meses de avaliação e precipitação mensal.

Tabela 13: Alguns resultados de estoque de carbono na fitomassa acima do solo em plantios florestais

Sistema	Idade (anos)	Local	Precipitação (mm)	Temperatura °C	Tipo de solo	Método	Estoque de carbono na fitomassa		Fonte
							(Mg C ha ⁻¹)	(Mg C ha ⁻¹ ano ⁻¹)	
<i>A. mangium</i> 4,0 x 2,0 m	2,5	Dom Eliseu PA	2321	26	Latossolo amarelo distrófico	Destrutivo	13,97	-	Presente estudo
<i>A. mangium</i> 4,0 x 3,0 m	2,5	Dom Eliseu PA					10,25	-	
<i>A. mangium</i> 4,0 x 2,0 m	3,5	Dom Eliseu PA					30,38	16,41	
<i>A. mangium</i> 4,0 x 3,0 m	3,5	Dom Eliseu PA					24,28	14,03	
<i>S. parahyba</i> 4,0 x 2,0 m	2,5	Dom Eliseu PA					13,71	-	
<i>S. parahyba</i> 4,0 x 3,0 m	2,5	Dom Eliseu PA					13,16	-	
<i>S. parahyba</i> 4,0 x 2,0 m	3,5	Dom Eliseu PA					21,84	8,13	
<i>S. parahyba</i> 4,0 x 3,0 m	3,5	Dom Eliseu PA					22,89	9,73	
<i>A. mangium</i> 3,0 x 3,0 m	2,5	São Paulo	1316	19	Latossolo arenito cretáceo	Destrutivo	-	12,5	Lacrau et al. (2008)
<i>Eucalyptus grandis</i> 3,0 x 3,0 m	2,5						-	18,5	
<i>Terminalia ivorensis</i> + cultura agrícola	9	Sul de Camarões	1513	25	Isohipertermico	Destrutivo	71,2	11	Norgrove; Hauser., 2002
<i>Terminalia ivorensis</i> + cultura agrícola	20						84,1	7,9	

8.2. *SCHIZOLOBIUM PARAHYBA* VAR. *AMAZONICUM*

8.2.1 Umidade do solo

Nos plantios de *S. parahyba*, a ANOVA detectou efeito significativo do fator tempo sobre a umidade do solo (Tabela 14). O maior valor médio de umidade do solo foi $46,46 \pm 2,71$ % em abril de 2009, mês mais chuvoso, e o menor valor foi $26,01 \pm 1,44$ %, em julho de 2008, mês mais seco (Figura 21).

Tabela 14. Quadro de análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre a umidade do solo de plantios de *S. parahyba*.

	SQ	g.l	QM	F	p
Intercepto	290222,1	1	290222,1	20410,93	< 0,0001
Espaçamento	151,4	1	151,4	10,64	< 0,0001
ϵ_1	255,9	18	14,2		
τ	12188,8	11	1108,1	203,33	< 0,0001
τ x espaçamento	87,3	11	7,9	1,46	n.s
ϵ_2	1079,0	198	5,4		

Onde: τ – efeito do tempo; ϵ_1 - erro

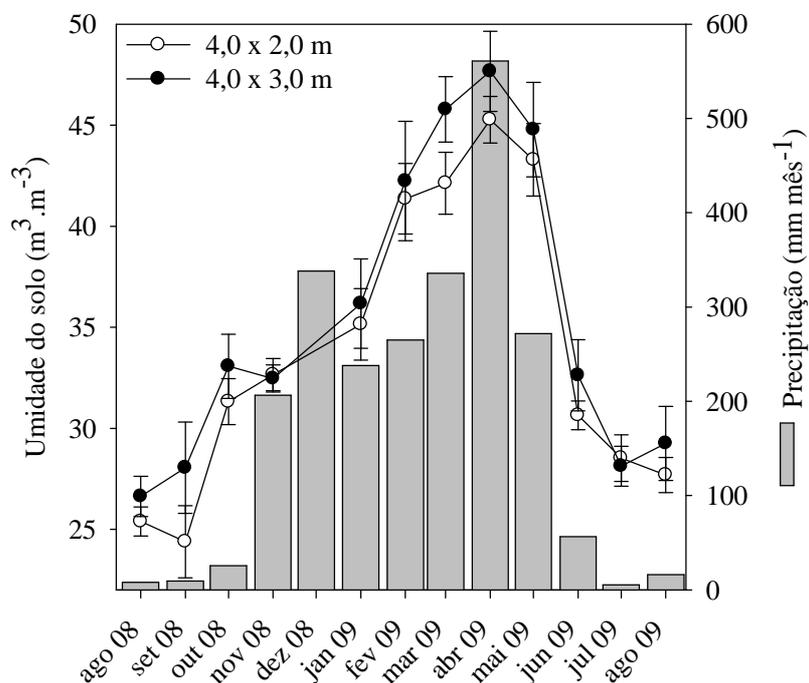


Figura 21. Valores médios de umidade gravimétrica do solo ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) \pm desvio padrão ($n=20$) de plantios de *S. parahyba* ao longo dos meses de avaliação e á precipitação pluviométrica.

8.2.2 Efluxo de CO₂ do solo

O efluxo de CO₂ do solo foi afetado significativamente somente pelo efeito de tempo (Tabela 15). O teste de média segundo Tukey, ao nível de 5% de probabilidade mostra as diferenças significativas detectadas no efluxo de CO₂ do solo ao longo do tempo (Tabela 16).

Tabela 15. Análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre o efluxo de CO₂ do solo de plantios de *S. parahyba*.

Fatores	SQ	g.l	QM	F	p
Intercepto	9,542291	1	9,542291	292,9610	< 0,001
Espaçamento	0,015800	1	0,015800	0,4851	n.s
ϵ_1	0,293147	9	0,032572		
Tempo	1,011501	11	0,091955	11,7651	< 0,001
Tempo x espaçamento	0,096429	11	0,008766	1,1216	n.s
ϵ_2	0,773770	99	0,007816		

Onde: τ – efeito do tempo; ϵ_i – erro

Tabela 16. Valores médios de efluxos de CO₂ do solo \pm desvio padrão (n=10) em g m⁻² h⁻¹ de plantios de *S. parahyba*, ordenados segundo o teste de Tukey ($\alpha=0,05$), em função dos espaçamentos praticados, ao longo dos meses de avaliação.

Data	Idade (meses)	Período	4,0 x 2,0 m		4,0 x 3,0 m		Média total	
jul/08	29	seco	0,20 \pm 0,08	bc 1	0,21 \pm 0,11	bc 1	0,20 \pm 0,09	cd
set/08	31	seco	0,16 \pm 0,02	c 1	0,12 \pm 0,06	c 1	0,14 \pm 0,04	d
nov/08	33	seco-chuvoso	0,40 \pm 0,09	a 1	0,39 \pm 0,11	ab 1	0,39 \pm 0,10	ab
dez/08	34	seco-chuvoso	0,38 \pm 0,12	a 1	0,46 \pm 0,12	a 1	0,42 \pm 0,13	a
jan/09	35	seco-chuvoso	0,37 \pm 0,09	ab 1	0,47 \pm 0,14	a 1	0,42 \pm 0,12	a
fev/09	36	chuvoso	0,23 \pm 0,08	abc 2	0,35 \pm 0,15	abc 1	0,29 \pm 0,13	abcd
mar/09	37	chuvoso	0,37 \pm 0,24	a 1	0,39 \pm 0,22	ab 1	0,38 \pm 0,22	ab
abr/09	38	chuvoso	0,25 \pm 0,11	abc 1	0,34 \pm 0,12	abc 1	0,30 \pm 0,12	abc
mai/09	39	chuvoso	0,25 \pm 0,09	abc 1	0,29 \pm 0,18	abc 1	0,27 \pm 0,14	bcd
jun/09	40	seco	0,34 \pm 0,15	abc 1	0,37 \pm 0,16	ab 1	0,35 \pm 0,15	ab
jul/09	41	seco	0,17 \pm 0,06	c 1	0,22 \pm 0,10	bc 1	0,19 \pm 0,09	cd
ago/09	42	seco	0,19 \pm 0,03	c 1	0,20 \pm 0,06	bc 1	0,20 \pm 0,05	cd

Onde: alfabeto latino minúsculo, na vertical - efeito dos meses; algarismos numéricos, na horizontal - efeito dos espaçamentos. Valores precedidos de mesmas letras ou números, não diferem significativamente, no nível de 5%, segundo o teste de Tukey.

Os maiores efluxos de CO₂ do solo variaram de 0,38 \pm 0,12 g m⁻² h⁻¹ no 4,0 x 2,0 m em dezembro de 2008 a 0,47 \pm 0,14 g m⁻² h⁻¹ no 4,0 x 3,0 m em janeiro de 2009, ambos no período de transição seco-chuvoso (34 meses) (Tabela 16). Em contrapartida,

os menores efluxos de CO₂ variaram entre $0,12 \pm 0,06 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ no 4,0 x 3,0 m, setembro de 2008 (31 meses) e $0,19 \pm 0,03 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ no 4,0 x 2,0 m, julho de 2009 (41 meses), ambos no período seco (Tabela 16).

Os efluxos de CO₂ máximos ocorreram geralmente na transição do período seco para o início do período chuvoso, novembro de 2008 a janeiro de 2009. Durante o período chuvoso foram observados valores médios de efluxo de CO₂ enquanto que os efluxos mínimos ocorreram no início do período seco (Figura 22). As diferenças espaciais e sazonais de efluxos de CO₂ do solo (Figura 22) estão diretamente relacionadas com períodos de precipitação e disponibilidade de água no solo (RYAN; LAW, 2005), produtividade primária e atividade microbiana e aos períodos de crescimento vegetativo, onde observam-se as maiores taxas de efluxos de CO₂ do solo (ALMAGRO et al, 2009). A disponibilidade de substrato também controla as atividades autotróficas e heterotróficas abaixo do solo, sendo a respiração do solo fortemente ligada ao metabolismo da planta, fotossíntese e produção de serapilheira, (RYAN; LAW, op.cit.; ALMAGRO et al. op. cit).

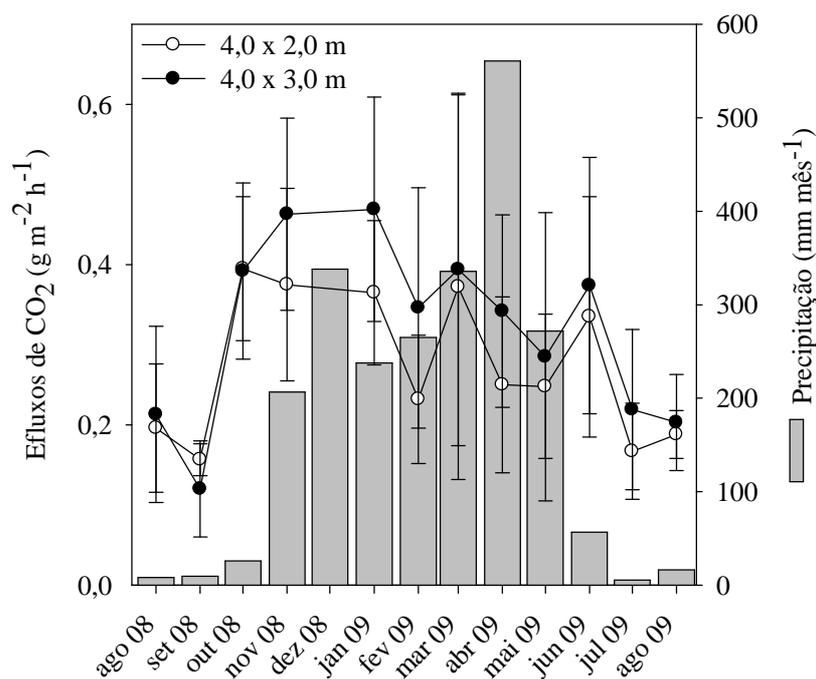


Figura 22. Valores médios \pm desvio padrão ($n=10$) padrão dos efluxos de CO₂ do solo nos plantios de *S. parahyba*, em função dos espaçamentos praticados e à precipitação pluviométrica ao longo dos meses de avaliação.

8.2.3 Estimativa do efluxo anual de CO₂ do solo

Os efluxos anuais de CO₂ do solo estimados nos plantios de *S. parahyba* foram $6,62 \pm 0,99$ Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ no espaçamento 4,0 x 2,0 m e $7,52 \pm 1,81$ Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ no espaçamento 4,0 x 3,0 m (Figura 23), porém não foram significativamente diferentes entre si ($p = 0,09$), gerando uma média global de $7,07 \pm 1,5$ Mg C ha⁻¹ ano⁻¹. Tais valores são inferiores àqueles estimados para ecossistemas florestais na Amazônia Oriental (Davidson et al, 2000).

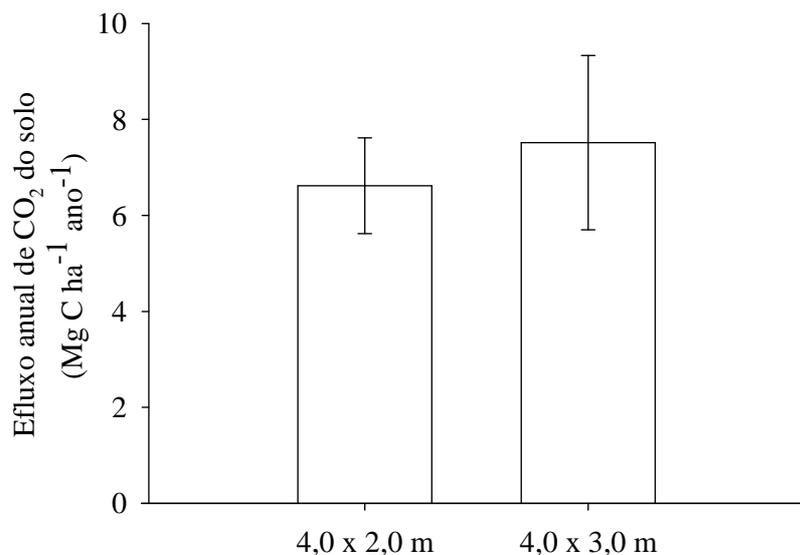


Figura 23. Efluxo anual de CO₂ do solo (média ± desvio padrão, n=10) nos plantios de *S. parahyba* em relação a dois diferentes espaçamentos.

8.2.4 Crescimento em altura total

A interação tempo x espaçamento afetou significativamente a altura total de indivíduos de *S. parahyba* (Tabela 17). Os valores médios de altura dos indivíduos arbóreos foram significativamente maiores no espaçamento 4,0 x 3,0 m do que no 4,0 x 2,0 m em todas as datas de medição (Tabela 18). Tais resultados contrastam com o padrão de crescimento em altura total em que plantios mais adensados apresentam maior crescimento em altura que plantios menos adensados (SCOLFORO, 1998). Os resultados sugerem que o nível de competição nos espaçamentos avaliados não foi suficientemente intenso para afetar o crescimento em altura total.

Tabela 17. Análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre altura individual de *S. parahyba*.

	SQ	g.l	QM	F	p
Intercepto	271218,4	1	271218,4	2989,48	< 0,001
Espaçamento	852,8	1	852,8	9,40	< 0,001
ε_1	24677,0	272	90,7		
τ	4860,4	4	1215,1	1713,29	< 0,001
τ x espaçamento	52,9	4	13,2	18,66	< 0,001
ε_2	771,6	1088	0,7		

Onde: τ – efeito do tempo; ε_1 – erro

Tabela 18. Valores médios \pm desvio padrão de altura individual de *S. parahyba*, ordenados segundo o teste de Tukey ($\alpha=0,05$), em função dos espaçamentos praticados, ao longo dos meses de avaliação.

Data	Idade (meses)	Período	Altura total (m)			
			4,0 x 2,0 m	4,0 x 3,0 m		
ago/2008	30	Seco	10,96 \pm 3,74	b	11,97 \pm 3,49	a
out/2008	32	Seco	12,65 \pm 4,23	b	13,77 \pm 3,82	a
jan/2009	35	seco-chuvoso	14,40 \pm 4,76	b	16,04 \pm 4,03	a
abr/2009	38	Chuvoso	15,23 \pm 4,92	b	17,04 \pm 4,08	a
jul/2009	42	Seco	15,74 \pm 5,09	b	18,04 \pm 4,24	a

Onde: alfabeto latino minúsculo, na horizontal – efeito dos espaçamentos. Valores precedidos de mesmas letras ou números, não diferem significativamente, no nível de 5%, segundo o teste de Tukey.

Os maiores incrementos em altura total ocorreram na transição do período seco-chuvoso, mesmo período dos maiores pulsos de CO₂ do solo (Figura 19). Na transição de altura total média de 12,65 \pm 4,23 m para 14,40 \pm 4,76 m (32 aos 35 meses) no espaçamento 4,0 x 2,0 m (Tabela 18), registraram-se valores máximos de efluxos de CO₂ de 0,40 \pm 0,09 g m⁻² h⁻¹ no 4,0 x 2,0 m (Tabela 16). Em relação ao espaçamento 4,0 x 3,0 m a média de altura total passou de 13,77 \pm 3,82 (aos 32 meses) para 16,04 \pm 4,03 m (aos 35 meses), quando ocorreram os efluxos máximos de CO₂ (0,46 \pm 0,12 g m⁻² h⁻¹) (Tabela 16 e Tabela 18).

8.2.5 Crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP)

Houve efeito significativo de espaçamento, tempo e espaçamento x tempo sobre o DAP individual de *S. parahyba* (Tabela 19).

Tabela 19. Quadro de análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre o diâmetro à altura do peito de *S. parahyba*.

	SQ	g.l	QM	F	p
Intercepto	520448,2	1	520448,2	3132,65	< 0,001
Espaçamento	4825,6	1	4825,6	29,05	< 0,001
ϵ_1	45189,1	272	166,1		
τ	3756,2	11	341,5	1230,47	< 0,001
τ x espaçamento	113,6	11	10,3	37,23	< 0,001
ϵ_2	830,3	2992	0,3		

Onde: τ – efeito do tempo; ϵ_i - erro

O DAP foi significativamente maior no espaçamento 4,0 x 3,0 m em todo o período (Tabela 20). No período seco, o crescimento em diâmetro foi mínimo, entretanto, com a intensificação das chuvas, principalmente a partir do final do período seco-chuvoso (36 meses) e em todo o período chuvoso (37 aos 40 meses) o crescimento em DAP nos plantios de *S. parahyba* foi maior.

Tabela 20. Valores médios±desvio padrão (n=8) de DAP (cm) de *S. parahyba*, ordenados segundo o teste de Tukey ($\alpha=0,05$), em função dos espaçamentos praticados, ao longo dos meses de avaliação.

Data	Período	Idade (meses)	4,0 x 2,0 m	4,0 x 3,0 m	Total
jul/08	seco	29	10,65 ± 3,61 b	12,64 ± 3,48 a	11,37 ± 3,68
set/08	seco	31	10,68 ± 3,59 b	12,66 ± 3,48 a	11,39 ± 3,67
out/08	seco	32	10,71 ± 3,59 b	12,68 ± 3,49 a	11,42 ± 3,67
nov/08	seco-chuvoso	33	10,85 ± 3,54 b	12,82 ± 3,50 a	11,56 ± 3,65
jan/09	seco-chuvoso	35	11,38 ± 3,60 b	13,69 ± 3,41 a	12,22 ± 3,70
fev/09	chuvoso	36	11,63 ± 3,64 b	13,99 ± 3,43 a	12,49 ± 3,73
mar/09	chuvoso	37	12,02 ± 3,79 b	14,53 ± 3,51 a	12,94 ± 3,88
abr/09	chuvoso	38	12,46 ± 3,97 b	15,16 ± 3,61 a	13,45 ± 4,05
mai/09	chuvoso	39	12,64 ± 4,09 b	15,48 ± 3,73 a	13,67 ± 4,19
jun/09	seco	40	12,91 ± 4,27 b	15,94 ± 3,87 a	14,02 ± 4,37
jul/09	seco	41	12,92 ± 4,28 b	15,97 ± 3,88 a	14,03 ± 4,38
ago/09	seco	42	12,96 ± 4,30 b	16,03 ± 3,89 a	14,08 ± 4,40

Onde: alfabeto latino minúsculo, na horizontal – efeito dos espaçamentos. Valores precedidos de mesmas letras ou números, não diferem significativamente, no nível de 5%, segundo o teste de Tukey.

O crescimento em diâmetro foi em alguns momentos leve e, em outros, fortemente influenciado pelos períodos de precipitação. A comparação de crescimento entre espaçamentos foi detalhada no item 8.2.6 incremento médio diário de diâmetro.

8.2.6 Incremento médio diário de DAP

A ANOVA para o incremento médio diário de DAP mostrou efeito significativo da interação entre tempo e espaçamento (Tabela 21).

Tabela 21. Quadro de análise de variância para o modelo de medidas repetidas no tempo, sobre incremento médio diário de DAP de indivíduos de *S. parahyba*.

Fatores	SQ	g.l	QM	F	p
Intercepto	520448,2	1	520448,2	3132,65	< 0,001
Espaçamento	4825,6	1	4825,6	29,05	< 0,001
ε_1	45189,1	272	166,1		
Tempo	3756,2	11	341,5	1230,47	< 0,001
Tempo x espaçamento	113,6	11	10,3	37,23	< 0,001
ε_2	830,3	2992	0,3		

Onde: τ – efeito do tempo; ε_i - erro

Os maiores incrementos médios diários em diâmetro (IMD_{DAP}) foram detectados no espaçamento 4,0 x 3,0 m, de novembro de 2008 a maio de 2009 (período chuvoso predominante), com incremento máximo em abril de 2009 (Tabela 22). Em relação ao espaçamento 4,0 x 2,0 m, os maiores IMD_{DAP} ocorreram de fevereiro a abril de 2009 (período chuvoso) (Tabela 22).

O maior IMD_{DAP} no espaçamento 4,0 x 3,0 m, detectado em fevereiro de 2009 foi $0,14 \pm 0,008 \text{ mm dia}^{-1}$ e no 4,0 x 2,0 m foi $0,12 \pm 0,008 \text{ mm dia}^{-1}$. Em relação aos menores IMD_{DAP} detectado no espaçamento 4,0 x 3,0 foi $0,01 \pm 0,003 \text{ mm dia}^{-1}$ m, e no 4,0 x 2,0 m foi $0,01 \pm 0,002 \text{ mm dia}^{-1}$, ambos em julho de 2009 (início do período seco) (Tabela 22).

Tabela 22. Valores médios±desvio padrão de incremento médio diário em DAP (mm d^{-1}) ($n=8$) de *S. parahyba*, ordenados segundo o teste de Tukey ($\alpha=0,05$), em função dos espaçamentos ao longo dos meses de avaliação.

Data	Idade (meses)	Período	Espaçamentos				Total
			4,0 x 2,0 m		4,0 x 3,0 m		
set/08	31	seco	0,01±0,002	d 1	0,01±0,001	f 1	0,01±0,002
out/08	32	seco	0,01±0,003	cd 1	0,01±0,002	f 1	0,01±0,002
nov/08	33	seco-chuvoso	0,03±0,014	c 2	0,05±0,005	e 1	0,04±0,012
jan/09	35	seco-chuvoso	0,08±0,004	b 2	0,10±0,004	d 1	0,09±0,004
fev/09	36	chuvoso	0,12±0,008	a 2	0,14±0,008	c 1	0,13±0,008
mar/09	37	chuvoso	0,11±0,007	a 2	0,16±0,006	bc 1	0,13±0,007
abr/09	38	chuvoso	0,13±0,009	a 2	0,18±0,008	a 1	0,15±0,009
mai/09	39	chuvoso	0,06±0,007	b 2	0,11±0,009	d 1	0,08±0,008
jun/09	40	chuvoso-seco	0,07±0,006	b 1	0,11±0,007	d 1	0,08±0,007
jul/09	41	seco	0,01±0,002	d 1	0,01±0,003	f 1	0,01±0,002
ago/09	42	seco	0,01±0,002	c 1	0,02±0,003	f 1	0,02±0,002

Onde: Alfabeto latino minúsculo, na vertical - efeito dos meses; algarismos numéricos, na horizontal - efeito dos espaçamentos. Valores precedidos de mesmas letras ou números, não diferem significativamente no nível de 5%, segundo o teste de Tukey.

Segundo Lacrau et al (2008) e Norgrove; Hauser (2002) o crescimento dos indivíduos arbóreos em um arranjo silvicultural pode ser limitado pela concorrência por recursos hídricos. Isto está de acordo com os menores valores em incremento detectados no período seco, quando a disponibilidade de água foi menor.

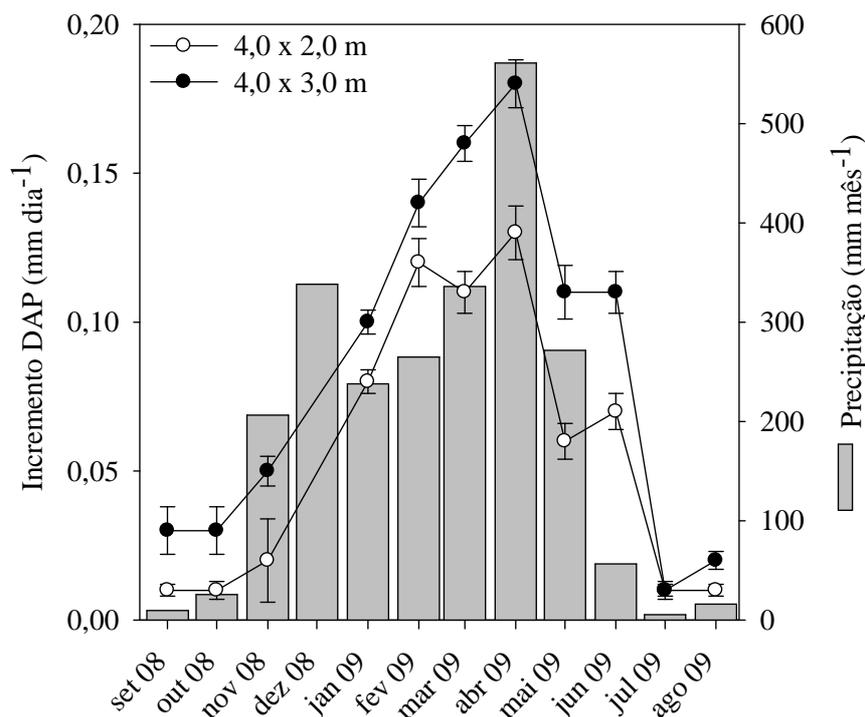


Figura 24. Incremento médio diário do diâmetro à altura do peito (DAP), média \pm desvio padrão, nos plantios de *S. parahyba*, para o período de estudo em relação à precipitação mensal.

8.2.7 Carbono acumulado na fitomassa acima do solo

O carbono acumulado na fitomassa não apresentou diferença significativa entre os espaçamentos ao longo do tempo nos plantios de *S. parahyba* ($p < 0,60$) (Figura 25).

Aos 29 meses de plantio (julho de 2008), o estoque médio de carbono na fitomassa foi $13,43 \pm 0,61 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Figura 25). Aos 42 meses de plantio (agosto de 2009), período seco, o estoque médio de carbono no espaçamento passou para $22,37 \pm 0,81 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Figura 25). A taxa de acúmulo anual de carbono na fitomassa de $8,93 \pm 1,87 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 25).

De julho a novembro de 2008 (período seco), o carbono na fitomassa acima do solo variou de $13,43 \pm 0,61$ a $13,85 \pm 0,62 \text{ Mg C ha}^{-1}$, com taxa de acúmulo de carbono de $0,41 \pm 0,04 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Figura 25). De janeiro a agosto de 2009 (predominantemente período chuvoso), o estoque de carbono na fitomassa acima do solo variou de $15,60 \pm$

0,64 a $22,37 \pm 0,81 \text{ Mg C ha}^{-1}$, com uma taxa de acúmulo de carbono de $6,77 \pm 0,64$ (Figura 25). A dinâmica de crescimento e alocação de carbono sofreu influência dos períodos pluviométricos, como podemos observar na Figura 25, com maior crescimento e estocagem de carbono nos períodos com maiores índices de chuva.

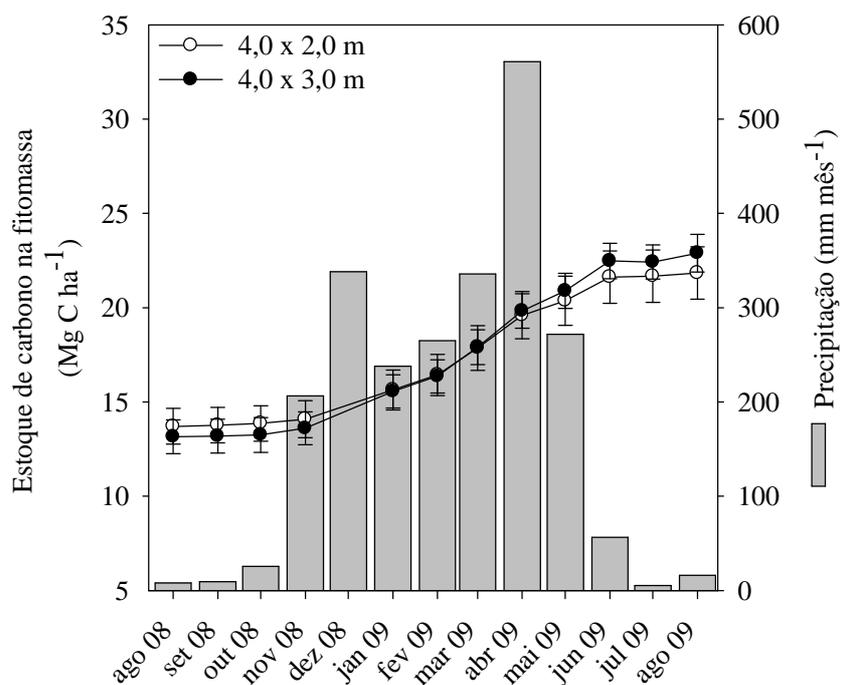


Figura 25. Curva de acúmulo de carbono na fitomassa acima do solo (Mg C ha^{-1}), média global \pm erro padrão dos espaçamentos de *S. parahyba* nos meses de avaliação.

9 COMPARAÇÃO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS ENTRE AS DUAS ESPÉCIES FLORESTAIS

Os plantios das duas espécies estudadas apresentaram diferenças nas variáveis umidade, efluxos de CO₂ do solo, altura total, diâmetro à altura do peito (DAP), carbono na fitomassa acima do solo e taxa de acúmulo de carbono (Tabela 23).

Devido a grande diferença na arquitetura da copa e área foliar das espécies, verificadas visualmente em campo, a umidade do solo superficial (0-10 cm) diferiu entre plantios.

Os padrões de efluxo de CO₂ do solo em relação aos períodos pluviométricos, ou seja, valores mais altos no período chuvoso e mais baixos no seco, foram semelhantes nos plantios de *S. parahyba*, e de *A. mangium*. No entanto, os efluxos tenderam a ser mais altos nos plantios de *S. parahyba*, tanto no espaçamento 4,0 x 2,0 m quanto no 4,0 x 3,0 m (Tabela 23).

Diâmetro à altura do peito e altura total de *S. parahyba* foram maiores em relação à *A. mangium*. Entretanto, o estoque de carbono na fitomassa e a taxa de acúmulo de carbono da parte aérea foram maiores nos plantios de *A. mangium*, provavelmente devido a duas características não avaliadas neste estudo: (1) dimensão da copa e (2) densidade básica da madeira. *S. parahyba* apresenta madeira de densidade leve (em torno de 300 kg m⁻³) e copa com folhagem aberta, na fase jovem. Por outro lado, *A. mangium* apresenta madeira com densidade dura (cerca de 500 kg m⁻³) e copa com folhagem bastante densa, mesmo na fase jovem de desenvolvimento (HORUS, 2010; CARVALHO, 2007). Logo, características de copa e densidade da madeira podem ter refletido diretamente na maior quantidade de carbono fixado na fitomassa acima do solo, assim como na maior taxa de acúmulo de carbono nos plantios de *A. mangium*, mais evidente no tratamento mais adensado.

Tabela 23. Valores das principais variáveis avaliadas nos plantios de *A. mangium* e *S. parahyba* nos espaçamentos 4,0 x 2,0 m e 4,0 x 3,0 m ao longo do período de estudo.

Tratamento	Idade (anos)	Espaçamento (m)	Altura total (m) média ± desvio padrão	DAP (cm) média ± desvio padrão	Efluxos CO ₂ (MgC ha ⁻¹ ano ⁻¹) média ± desvio padrão	Estoque de carbono na fitomassa (MgC ha ⁻¹) média ± erro padrão	Taxa anual de acúmulo de carbono (MgC ha ⁻¹ ano ⁻¹) média ± erro padrão
<i>A. mangium</i>	2,5	4,0 x 2,0 m	8,68 ± 1,44	9,11 ± 2,11	-	13,97 ± 0,68	-
		4,0 x 3,0 m	8,22 ± 1,51	9,17 ± 2,48	-	10,25 ± 0,67	-
	3,5	4,0 x 2,0 m	11,65 ± 1,23	12,43 ± 2,66	5,13 ± 1,33	30,38 ± 1,59	16,41 ± 1,16
		4,0 x 3,0 m	11,97 ± 1,13	13,10 ± 2,79	6,08 ± 1,14	24,28 ± 1,42	14,03 ± 0,82
<i>S. parahyba</i>	2,5	4,0 x 2,0 m	10,96 ± 3,74	10,65 ± 3,61	-	13,71 ± 0,65	-
		4,0 x 3,0 m	11,97 ± 3,49	12,64 ± 3,48	-	13,16 ± 0,61	-
	3,5	4,0 x 2,0 m	15,74 ± 5,09	12,96 ± 4,30	6,62 ± 1,00	21,84 ± 0,95	-
		4,0 x 3,0 m	18,04 ± 4,24	16,03 ± 3,89	7,52 ± 1,82	22,89 ± 0,68	8,93 ± 1,87

10 CONCLUSÕES

➤ **Em relação a *A. mangium***

- O plantio de *A. mangium*, no espaçamento 4,0 x 2,0 m, apresentou maior taxa de acúmulo anual de carbono na fitomassa acima do solo e emitiu os menores efluxos anuais de CO₂ do solo para a atmosfera em relação ao espaçamento 4,0 x 3,0 m;

➤ **Em relação a *S. parahyba***

- Os plantios de *S. parahyba*, em ambos espaçamentos, apresentaram a mesma taxa de acúmulo de carbono na fitomassa acima do solo;
- O efluxo de CO₂ do solo para a atmosfera no plantio de *S. parahyba*, no espaçamento 4,0 x 2,0 m, foi menor do que no espaçamento 4,0 x 3,0 m.

➤ **Em relação a *A. mangium* e a *S. parahyba***

- Os plantios de *A. mangium*, em ambos espaçamentos, apresentaram maior estoque de carbono na fitomassa acima do solo em relação aos plantios de *S. parahyba*;
- O efluxo anual de CO₂ do solo para a atmosfera foi menor no plantio de *A. mangium*, do que no plantio de *S. parahyba*, em ambos espaçamentos;
- Plantios de *A. mangium*, no espaçamento 4,0 x 2,0 m, são mais recomendados para projetos de sequestro de carbono do que aqueles com espaçamento 4,0 x 3,0 m; já plantios de *S. parahyba*, no espaçamento 4,0 x 3,0 m, seriam os mais recomendados, por produzir a mesma eficiência no sequestro de carbono utilizando menor número de mudas por unidade de área em relação ao 4,0 x 2,0 m;

REFERÊNCIAS

- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF) Brasília, DF. 2008. Ano base 2007 / ABRAF. 90 p.
- AHRENS, S. Manejo e silvicultura de plantações de *pinus* na pequena propriedade rural. In: GALVÃO, A. P. M. (org.) **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**: um guia para ações municipais e regionais. Embrapa comunicação para transferência de tecnologias; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2000. 351p.
- ALMAGRO, M. et al. Temperature dependence of soil CO₂ efflux is strongly modulated by seasonal patterns of moisture availability in a Mediterranean ecosystem. **Soil Biology & Biochemistry**, v.41, n.3, p.1 594-605. 2009.
- BAEDE, A.P.M. et al. Climate system: an overview. **Climate Change 2001**. Working Group I: The Scientific Basis. Third Assessment Report (TAR) of the IPCC. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/pdf/TAR-01.PDF>>. Acessado em 15 de novembro de 2009.
- BELLANGER, B. et al. Monitoring soil organic carbon erosion with $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ on experimental field plots in the Venezuelan Andes. **Catena**, v.58, n.2, p. 125–150. 2004.
- BOISVENUE, C.; RUNNING, S. W. Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20th century. **Global Change Biology**, v.12, n.5, p. 862-882. 2006.
- BRASIL. Casa Civil da Presidência da República, Secretaria de Assuntos Estratégicos. Plano Nacional de Mudança do Clima (PNUMA). Brasília, DF. 2008. **Governo Federal comitê interministerial sobre mudança do clima**. Decreto nº 6.263, de 21 de novembro de 2007.
- BRÉCHET, L. et al. Do tree species characteristics influence soil respiration in tropical forests? A test based on 16 tree species planted in monospecific plots. **Plant Soil**, v.319, n.1-2, p. 235-246. 2009
- BRIENZA JÚNIOR, S. Uso de árvores leguminosas para melhorar a agricultura familiar da Amazônia Oriental Brasileira. Belém, PA. **Circular técnica 32**. jun, 2003.
- CARVALHO, P. E. R. Paricá (*Schizolobium amazonicum*). Colombo – PR. **Circular Técnica 142**. nov, 2007.
- CARVALHO, J. L. N. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, v.34, n.2, p. 277-289. 2010
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, G. H. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. 2^a ed. rev. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 470p.

- CAO, M. et al. Regional pattern and interannual variations in global terrestrial carbon uptake in response to changes in climate and atmospheric CO₂. **Tellus**, v.57, n.3, p. 210-217. 2005.
- CATTÂNIO, J. H.; et al. Unexpected results of a pilot throughfall exclusion experiment on soil emissions of CO₂, CH₄, N₂O, and NO in eastern Amazonia. **Biology Fertility Soils**, v.36, n.2, p. 102-108. 2002.
- CEULEMANS, R.; JANSSENS, I. A.; JACH, M. E. Effects of CO₂ enrichment on trees and forests: lessons to be learned in view of future ecosystem studies. **Annals of Botany**, v.84, n.5, p. 577-590. 1999.
- CHANG, M.Y. Sequestro florestal de carbono no Brasil - dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas. Curitiba. 2004. In: SANQUETA, C. R.; BALBINOT, Z (Org.). **Fixação do carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. 205 p.
- CHAPIN, F. S.; MATSON, P. A.; MOONEY, H. A. Principles of terrestrial ecosystem ecology. New York. Springer. 2002. 455p.
- CHAPIN III, F. S. et al. Reconciling carbon-cycle concepts, terminology and methods. **Ecosystems**, v.9, n.7, p. 1041-1050. 2006.
- CLARK, D. A. et al. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. **Ecological applications**, v.11, n.2, p. 356-370. 2001.
- COLONNA, J. P., et al. Comparative effects of *Glomus etunicatum* and P fertilizer on foliar mineral composition of *Acacia senegal* seedlings inoculate with *Rhizobium*. Mycorrhiza. **Berlin**, v.1, n.2, p. 35-38. 1991.
- CHOUDHURY, B. J. Carbon use efficiency, and net primary productivity of terrestrial vegetation. **Adv. Space Res**, v.26, n.7, p.1105-1108. 2000.
- CRAMER, W. et al. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): overview and key results. **Global Change Biology**, v.5, n.S1, p. 1-15. 1999.
- DAVIDSON, E. A. et al. An integrated greenhouse gas assessment of an alternative to slash-and-burn agriculture in eastern Amazonia. **Global change biology**, v.14, n.5, p. 998-1007. 2008.
- DAVIDSON, E.; et al. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. **Biogeochemistry**, v.48, n.1, p. 53- 69. 2000.
- DAN, L.; JI, J. The surface energy, water, carbon flux and their intercorrelated seasonality in a global climate-vegetation coupled model. **Tellus**, v.59, n.5, p. 425-438. 2007.
- DeLUCIA, E. H. et al. Forest carbon use efficiency: is respiration a constant fraction of gross primary production? **Global Change Biology**, v.13, n.6, p. 1157-1167. 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Diagnóstico dos projetos de reposição florestal no Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 2003. 33p. (Documentos, 169).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa solos. 2006. (Ed.) SANTOS, H. G dos. 2 ed. 306p.

FANG, C. et al. Soil CO₂ efflux and its spatial variation in a Florida slash pine plantation. **Plant and Soil**, v.205, n.2, p. 135-146. 1998.

FONTES, P. J. P de. **Proposta de um sistema de informação florestal para o Brasil**. 2008. 226f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília,DF, 2008.

FOKEN, T. **Micrometeorology**. Tradução de C. Nappo: (SI). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. 2008. 320 p.

HARDY, J. T. Climate change - cause, effects and solutions. England. Ed. John Wiley e Sons Ltd. 2003. 260 p.

HARTLEY, I.; et al. The effect of soil warming on bulk soil vs. rhizosphere respiration. **Global Change Biology**, v.13, n.12, p. 2654-2667. 2007.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **CO₂ capture and storage** - a key carbon abatement option. [S.l.]: OECD, 2008. 266p.(Energy technology analysis.).

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Mudança do clima**: mitigação da mudança do clima. Bancoc, Tailândia, 2007. (8ª sessão do grupo de trabalho III do IPCC).

INSTITUTO HORUS (Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental / The Nature Conservancy). *Acacia mangium*. Disponibilidade: http://www.institutohorus.org.br/download/fichas/Acacia_mangium.htm.(Acessado em 19 de março de 2010).

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Rede de estações: monitoramento das estações automáticas. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/html/rede_obs/rede_obs.html> em 13 de janeiro de 2010.

JACOVINE, L. A. G., et al. A seringueira no contexto das negociações sobre mudanças climáticas globais. In: ALVARENGA, A. P.; CARMO, C. A. F. S (Ed.). **Sequestro de carbono**: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural. Viçosa, MG: UFV, 2006 p.

KELLER, M., et al. Soil-Atmosphere Exchange of Nitrous Oxide, Nitric Oxide, Methane, and Carbon Dioxide in Logged and Undisturbed Forest in the Tapajos National Forest, Brazil. **Earth Interactions**. v.9, n.23, p. 1-29. 2005.

JOKER, D. *Acacia mangium* Willd. Danida forest seed centre. Denmark. Seed leaflet. 2000. n.3, 2 p.

KIMARO et al. Nutrient use efficiency and biomass production of tree species for rotational woodlot systems in semi-arid Morogoro, Tanzania. **Agroforest Syst**, v.71, n.3, p. 175-184. 2007.

KONDA, R., et al. Spatial structures of N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes from *Acacia mangium* plantation soils during a relatively dry in Indonesia. **Soil biology & Biochemistry**, v.40, n.12, p. 3021-3030. 2008.

KURNET, N.; SCHWENDENMANN, L.; HÖLSCHER, D. Seasonal dynamics of tree sap flux and water use in nine species in Panamanian forest plantations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.150, n.3, p. 411- 419. 2010.

LACRAU et al. Mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis* in Brazil: Growth dynamics and aboveground net primary production. **Forest Ecology and Management**, v.255, n.12, p. 3905-3917. 2008.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S. PONS, T. L. Plant Physiological Ecology. Second Edition. USA. Springer, 2008. 623 p.

LIMA, W de P.; ZAKIA, M. J. B.; CÂMARA, C. D. Implicações na colheita florestal e do preparo de solo na erosão e assoreamento de bacias hidrográficas. In: GONÇALVES, J. L de M.; STAPE, J. L (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. 498 p.

LUO, Y.; ZHOU, X. **Soil respiration and the environment**. San Diego, California: Elsevier, 2002. Disponível: <http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=BILt0bdU6AsC&oi=fnd&pg=PP2&dq=Soil+respiration+and+the+environment&ots=r2uxTee_kb&sig=TIFVkw3gurlFoT0i-7-E_K6U19k#v=onepage&q&f=false>. Acesso em 25/03/2009

MARQUES, L. C. T.; YARED, J. A. G.; SIVIERO, M, A. **A evolução do conhecimento sobre o paricá para reflorestamento no estado do Pará**. Embrapa, 2006. (Comunicado Técnico, 158).

MARQUES, L. C. T. Comportamento inicial do paricá, tatajuba e eucalipto, em plantios consorciados com milho e capim-marandu, em Paragominas, Pará. 1990. 92 f, Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. 1990.

MEDLYN, B, E.; MCMURTRIE, R. E . Effects of CO₂ on plants at different timescales. In: EHLERINGER, J. R.; CERLING, T. E.; DEARING, M, D (Ed). **A History of atmospheric CO₂ and its effects on plants, animals and ecosystems**. 2005. Ecological studies, vol. 177. Analysis and synthesis. Springer, 454 p.

METCALFE, D. B., et al. Factors controlling spatio-temporal variation in carbon dioxide efflux from surface litter, roots and soil organic matter at four rain forest sites in the eastern Amazon. **Journal of Geophysical Research**. v. 12, n.4 2007.

MOSIER, A. R. Soil processes and global change. **Biol Fertil Soils**, v.27, n. 3, p. 221 - 229. 1998.

MYKLEBUST, M. C.; HIPPS, L. E.; RYEL, R. J. Comparison of eddy covariance, chamber and gradient methods of measuring soil CO₂ efflux in an annual semi-arid

grass, *Bromus tectorum*. **Agricultural and forest meteorology**, v.148, n.11, p. 1894 - 1907. 2008.

NIEDER, R.; BENBI, D. K. Carbon and nitrogen in the terrestrial environment. Germany. Springer. 2008. 434p.

NOBRE, C. A.; NOBRE, A. D. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. **Estudos avançados**, v. 16, n. 45. 2002.

NORGROVE, L.; HAUSER, S. Measured growth and tree biomass estimates of *Terminalia ivorensis* in the 3 years after thinning to different stand densities em na agrisilvicultural system in southern Cameroon. **Forest Ecology and Management**, v.166, n.1-3, p. 261-270. 2002.

OLSSON, P.; et al. Fertilization of boreal forest reduces both autotrophic and heterotrophic soil respiration. **Global Change Biology**, v.11, n.10, p. 1745-1753. 2005.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; McMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v.4, n.2, p. 439-473. 2007.

PEREIRA, P. R. V. S.; HALFELD-VIEIRA, B. A.; NECHET, K. L. *Norape sp.* (Lepidoptera: Megalopygidae): lagarta desfolhadora em plantios comerciais de *Acacia mangium*. **Comunicado Técnico**. Boa Vista, RR, 2003.

POGGIANI, F.; STAPE, J. L.; GONÇALVES, J. L de M. Indicadores de sustentabilidade das plantações florestais. **Série técnica IPEF**. v.12, n.31, p. 33-34. 1998.

RAMANATHAN, V.; FENG, Y. Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives. **Atmospheric Environment**, v.43, n.1, p. 37-50. 2009.

RONDON, E. V. Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região da mata. Viçosa. **Revista Árvore**, v.26, n.5, p. 573-576. 2002

RYAN, M. G.; LAW, E. B. Interpreting, measuring and modeling soil respiration. **Biogeochemistry**, v.73, n.1, p. 3-27. 2005.

SANER, P., et al. Reduced soil respiration in gaps in logged lowland dipterocarp forests. **Forest Ecology and Management**, v.258, n.9, p. 2007-2012. 2009.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem de crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. 1998. 463f. Monografia (Especialização à distância em Manejo de Florestas Plantadas e Florestas Nativas) – UFLA, FAEPE, Lavras, 1998.

SMART, D. R.; PEÑUELAS, J. Short-term CO₂ emissions from planted soil subject to elevated CO₂ and simulated precipitation. **Applied Soil Ecology**, v.28, n.3, p. 247-257. 2005.

SOTTA, E. D., et al. Soil CO₂ efflux in a tropical Forest in the central Amazon. **Global Change Biology**, v.10, n.5, p. 610-617. 2004.

STRASSMANN, K. M.; PLATTNER, G. K.; JOOS, F. CO₂ and non-CO₂ radiative forcings in climate projections for twenty-first century mitigation scenarios. **Clim Dyn**, v.33, n.6, p.737-749. 2009.

TATE, K.R., et al. A multi-scale analysis of a terrestrial carbon budget: Is New Zealand a source or sink of carbon? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.82, n.1-3, p. 229-246. 2000.

TIAN, H. et al. Effect of interannual climate variability on carbon storage in Amazonian ecosystems. **Nature**, v.396. 1998.

TROPICOS. Acacia mangium. Disponível em: <<http://www.tropicos.org/Name/13006411>>. Acessado em 30 de abril de 2010.

TUCKETT, R. P. **The role of atmospheric gases in global warming**. In: LETCHER, T. M (ed.). **Climate change: observed impacts on planet Earth**. [S.l.]: Elsevier, 2009. p. 3-19.

VASCONCELOS, S. S., et al. Moisture and substrate availability constrain soil trace gas fluxes in an eastern Amazonian regrowth forest. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 18. 2004.

VERCHOT, L. V., et al. Fluxes of CH₄, CO₂ and N₂O in an improved fallow agroforestry system in eastern Amazonia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.126, n.1-2, p. 113-121. 2008.