

ANTONIO DE ARRUDA TSUKAMOTO FILHO

**FIXAÇÃO DE CARBONO EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL COM
EUCALIPTO NA REGIÃO DO CERRADO DE MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

T882f
2003

Tsukamoto Filho, Antonio de Arruda, 1974-

Fixação de carbono em um sistema agroflorestral com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais / Antonio de Arruda Tsukamoto Filho. – Viçosa : UFV, 2003.
98p. : il.

Orientador: Laércio Couto

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa

1. Eucalipto - Carbono - Fixação. 2. Seqüestro de carbono - Minas Gerais. 3. Agrossilvicultura - Minas Gerais. 4. Cerrados - Minas Gerais. 5. Biomassa vegetal. 6. Sistemas agroflorestrais. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.916132

ANTONIO DE ARRUDA TSUKAMOTO FILHO

**FIXAÇÃO DE CARBONO EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL COM
EUCALIPTO NA REGIÃO DO CERRADO DE MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 17 de dezembro de 2003

Prof. Carlos Antonio A. Soares Ribeiro
(Conselheiro)

Prof. Márcio Lopes da Silva

Prof. Carlos Alberto Moraes Passos

Prof. Júlio César Lima Neves

Prof. Laércio Couto
(Orientador)

“O Senhor é meu pastor; nada me faltará”
“Bem-aventurados os que não viram e creram”
“Acreditar é sentir”
“Sentir é viver”
“Viver é amar”
“A vida”

Aos amigos de hoje e sempre.

Aos amigos que, direta ou indiretamente, me ajudaram na tese.

Aos irmãos do peito:
Dario Orlandini
Marcelo Dias Müller e
Rodrigo Silva do Vale.

Ao meu orientador e amigo, professor Laércio Couto.

À minha esposa, Sirlene;
ao meu filho, Vitor;
e também à minha filhinha, ainda se formando na
barriga da mamãe, com apenas 5 meses
de idade.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq,
pela concessão da bolsa de estudo.

Aos professores Júlio César Lima Neves, Helio Garcia Leite, Carlos Antonio
Alvares Soares Ribeiro, Carlos Alberto Moraes Passos e Márcio Lopes da Silva,
pelo apoio e pela orientação deste trabalho.

Ao amigo Laércio Couto, pelo apoio em todos os momentos, pela amizade, pela
confiança e pelos valiosos ensinamentos de vida.

ÍNDICE

	Página
HIPÓTESE DA TESE.....	VII
RESUMO	VIII
ABSTRACT	XI
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1. Mudanças climáticas	6
2.2. Conferência das partes - <i>COP</i>	9
2.3. Protocolo de Quioto.....	11
2.4. Mecanismo de flexibilização.....	12
2.5. Uso da terra, mudança do uso da terra e floresta.....	13
2.6. Comitê executivo.....	15
2.7. Certificado de redução de emissões	15
2.8. Ciclo de um projeto de MDL	16
2.9. Linha de base - <i>baseline</i>	18
2.10. O mercado de créditos de C	19
2.11. Projetos de MDL no Brasil.....	21
2.12. Estimativas do C fixado pelas florestas plantadas.....	23
2.13. Sistemas agrissilvipastoris no Brasil	25
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1. Caracterização do sistema agrissilvipastoril utilizado pela CMM .	32
3.2. O modelo 3-PG.....	34
3.3. Determinação da biomassa florestal e estimativa de C	35
3.4. Coleta e processamento de material vegetal.....	37
3.5. Coleta e análise de solo	39
3.6. Rotação econômica.....	40

	Página
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1. Rotação técnica.....	42
4.2. Rotação econômica.....	43
4.3. Determinação da biomassa florestal.....	44
4.4. Fixação de C pelo eucalipto no sistema agrissilvipastoril.....	48
4.5. Comparação da fixação de C pelo eucalipto no sistema agrissilvipastoril e no monocultivo	56
4.6. Incremento em C de eucalipto no sistema agrissilvipastoril e no monocultivo.....	64
4.7. Matéria seca de arroz, soja e pastagem no sistema agrissilvipastoril	68
4.8. Fixação de C pelo sistema agrissilvipastoril	70
4.9. Avaliação comparativa da fixação de C pelo sistema agrissilvipastoril, pela pastagem a céu aberto e pelos monocultivos florestal e agrícola	76
5. CONCLUSÕES.....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
APÊNDICE	88

HIPÓTESE DA TESE

O sistema agrissilvipastoril consegue fixar maior quantidade de carbono que os monocultivos tradicionais de eucalipto, os monocultivos de arroz e soja e as pastagens a céu aberto.

RESUMO

TSUKAMOTO FILHO, Antonio de Arruda, D.S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2003. **Fixação de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais.** Orientador: Laércio Couto. Conselheiros: Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro e Helio Garcia Leite.

O trabalho foi realizado no município de Paracatu, região de cerrado do Estado de Minas Gerais, na fazenda Riacho, pertencente à Companhia Mineira de Metais – CMM, com o objetivo de estudar a fixação de carbono (C) pelo sistema agrissilvipastoril com eucalipto, atento às possibilidades de esse sistema ser utilizado como alternativa de projeto de MDL (mecanismo de desenvolvimento limpo), envolvendo as atividades de uso da terra, recuperação de áreas degradadas, substituição de fonte energética, substituição de fonte de C, florestamento e reflorestamento. Esse sistema consiste no plantio escalonado no tempo de eucalipto (espaçamento 10 x 4 m) e culturas agrícolas (arroz e soja), na formação de pastagem e na criação de animais em uma mesma área. Para este estudo, determinou-se a biomassa florestal por meio do modelo 3-PG e, posteriormente, calculou-se a quantidade de C fixado na matéria seca do eucalipto. Para executar o modelo 3-PG foram utilizados dados de solo, clima e

do povoamento florestal. Foram coletadas amostras de material vegetal das culturas agrícolas e da pastagem em parcelas distribuídas em diferentes distâncias da linha de plantio de eucalipto (1, 2,8 e 4,6 m), em pontos de amostragem casualizados. O material coletado foi pesado e colocado para secar em estufa, para posterior determinação de C. Os resultados mostraram a rotação técnica e a rotação econômica (venda de madeira para energia), calculada em função do volume de madeira, ocorrendo aos 6 e 7 anos, respectivamente. Nessas idades, a madeira foi o componente da árvore que apresentou maior quantidade de biomassa, seguida pelo litter, pela raiz, pela casca + galho e pela folha. A quantidade de C fixado pelo eucalipto no sistema agrissilvipastoril foi de 52,82 t/ha na rotação técnica e de 59,25 t/ha na rotação econômica. O litter de eucalipto mostrou-se com grande potencial de fixação de C, aumentando em 16,57 e 16,36% o total fixado nas idades de rotação técnica e rotação econômica, respectivamente. Porém, o componente da árvore que mais contribuiu para a fixação de C no sistema agrissilvipastoril foi a madeira. Por isto, a parte aérea (madeira + folha + casca + galho) representou 73,26% do C total fixado (parte aérea + raiz + litter) na idade de rotação técnica e 74,65% na idade de rotação econômica. De modo geral, o eucalipto no sistema agrissilvipastoril conseguiu fixar maior quantidade de C que nos espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m. A rotação técnica, com base no C total do eucalipto, incluindo o litter, ocorreu aos 5 anos de idade tanto no sistema agrissilvipastoril como nos espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m, mostrando que esse sistema foi o mais indicado para projetos de MDL, uma vez que fixou maior quantidade de C nessa idade que aqueles dois espaçamentos. Com relação às culturas agrícolas e à pastagem, notou-se que a distância da linha de plantio de eucalipto não afetou a fixação de C. Por outro lado, essas culturas agrícolas provocaram a antecipação da rotação técnica de C no sistema agrissilvipastoril, que ocorreu aos 4 anos de idade. Quando se considerou somente o C da madeira, a rotação passou para o ano 5. Em comparação com o monocultivo de eucalipto (espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m), com os monocultivos de arroz e soja e com a pastagem a céu aberto, o sistema

agrissilvipastoril conseguiu fixar maior quantidade de C, tornando-se assim uma ótima opção para projetos de MDL no Brasil.

ABSTRACT

TSUKAMOTO FILHO, Antonio de Arruda, D.S., Universidade Federal de Viçosa, December 2003. **Carbon fixation an eucalypt agroforestry system in Minas Gerais the cerrado region.** Adviser: Laércio Couto. Committee Members: Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro and Helio Garcia Leite.

The work was carried out in the Municipality of Paracatu, in the cerrado region of Minas Gerais state, Brazil, in the Riacho farm, owned by the Companhia Mineira de Metais – CMM. The objective of this work was to study the carbon (C) fixation by the eucalypt agrosilvopastoral system, viewing the possibility of this system to be used as an alternative MDL (clean development mechanism) project, involving the land use, degraded area reclamation, energetic source substitution, C source substitution, forestation and reforestation activities. This system consists in planting eucalypt (spacing of 10 x 4 m) in various time periods and agricultural crops (rice and soybeans), in the pasture formation and cattle rising in the same area. For this study, the forest biomass was determined by means of the 3-PG model, and, later, the fixed C amount was calculated from the eucalypt dray matter. To perform the 3-PG model data from soil, climate and forest stand were used. Samples of the agricultural crops and pasture vegetal material were collected in plots distributed at various distances from the eucalypt

planting line (1, 2.8 and 4.6 m), in randomized sampling points. The collected material was weighed and oven dried to determined carbon content. The results showed the technic rotation and the economic rotation (wood sales for energy), which were calculated in function of wood volume, at 6 and 7 years, respectively. In these ages, the wood was the tree component that presented the greatest biomass amount, followed by the litter, roots, bark + branches and leaves. The amount of fixed C by the eucalypt in the agrosilvopastoral system was of 52.82 t/ha in the economic rotation. The eucalypt litter showed to have a great potential to fix carbon, increasing in 16.57 and 16.36% the total fixed C in the technic rotation and economic rotation ages, respectively. But the tree component that contributed the most for carbon fixation in the agrosilvopastoral system was the wood. Thus, the aerial part (wood + leaf + bark + branch) represented 73.26% of the total fixed C (aerial part + root + litter) in the technic rotation age, and 74.65% in the economic rotation age. In a general manner, the eucalypt in this system was able to fix a greater amount of C than in spacings of 3 x 2 and 3 x 3 m. The technic rotation, based of the eucalypt total C, including litter, occurred at the age of 5 year old, both in the agrosilvopastoral system and the other spacings, showing that this system was the best choice for the MDL projects, since it fixed a greater amount of C in this age than on the other two spacings. In relation to the agricultural crops and pasture, it was observed that the distance to the eucalypt planting line did not affect the C fixation. On the other hand, these crops caused the anticipation of the C technic rotation in the agrosilvopastoral system, which occurred at 4 years old. When only the wood carbon was considered, the rotation was at 5 years old. In comparison to the eucalypt monoculture (spacing of 3 x 2 and 3 x 3 m), to the monocultures of rice and soybean and to the pasture alone, the agrosilvopastoral system was able to fix the greatest amount of C, thus becoming one of the best choice for MDL projects in Brazil.

1. INTRODUÇÃO

A emissão de gases de efeito estufa – GEE na atmosfera tornou-se um dos mais graves problemas mundiais da atualidade, pelo fato de os GEE provocarem o aquecimento do Planeta. Pesquisas desenvolvidas por equipes de cientistas de todo o mundo, como do IPCC (*Intergovernmental Pannel on Climate Change*), têm demonstrado que o acúmulo desses gases traz conseqüências danosas ao meio ambiente e ao homem. Entre os efeitos esperados, os principais serão o descongelamento de geleiras (provocando o aumento do nível dos oceanos), a maior incidência de doenças tropicais, a desregulação climática, a perda e a migração de biodiversidade, o encurtamento do ciclo das culturas, a antecipação dos períodos de semeadura e colheita agrícola e o aumento dos riscos de salinização do solos e das incidências de pragas e ervas daninhas.

Com as evidentes conseqüências do aquecimento global, houve um aumento sensível nas discussões relacionadas às mudanças climáticas, principalmente a partir da década de 80. Essas discussões levaram à criação de alguns tratados, como o Protocolo de Quioto, em 1997, que dentre os tantos tratados lançados a respeito do meio ambiente foi o de maior importância, por convocar os países de todo o mundo, em especial aqueles desenvolvidos, a uma redução na

emissão de GEE, sobretudo o dióxido de carbono (CO₂) (SCARPINELLA, 2002).

O Protocolo de Quioto estabeleceu que os países industrializados devem reduzir suas emissões em 5,2% abaixo dos níveis observados em 1990, até o período de 2008 a 2012 – época de contabilização de créditos dentro do primeiro período de compromisso. Com isto, criou-se uma política de mercado de créditos de carbono (C), visando reduzir as emissões de GEE, que vem ganhando força com a iminência da ratificação do Protocolo de Quioto. A comercialização de créditos de C, na forma de certificados de redução de emissões, é proveniente de projetos de seqüestro de C, considerados “projetos limpos”, por reduzirem de alguma forma as emissões dos GEE ou por retirá-los da atmosfera.

Dentro do Protocolo de Quioto foram estabelecidos três mecanismos de flexibilização (Implementação Conjunta, Comércio de Emissões e MDL) para tentar viabilizar a redução de emissões de GEE dos países desenvolvidos, pertencentes ao Anexo I da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – UNFCCC. A participação brasileira se restringe ao MDL, mas com a possibilidade de trazer benefícios sociais, ambientais e econômicos ao País.

O objetivo do MDL é assistir às Partes não-incluídas no Anexo I, para que elas atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da UNFCCC, e às incluídas no Anexo I, para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, assumidos no Artigo 3 do Protocolo de Quioto¹. As Partes não-incluídas no Anexo I irão ser beneficiadas pelas atividades de projetos que resultem em reduções certificadas de emissões. As Partes incluídas no Anexo I podem utilizar as reduções certificadas de emissões, resultantes de tais atividades de projetos, para contribuir com o cumprimento de parte de seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, assumidos no Artigo 3 do Protocolo de Quioto, como determinado pela Conferência das Partes – COP, na qualidade de reunião das Partes do Protocolo.

¹ Para maiores informações sobre o Protocolo de Quioto consultar o site do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT: www.mct.gov.br.

No Brasil, algumas iniciativas estão sendo tomadas para o enquadramento de projetos dentro do MDL. A empresa Plantar, com o apoio do *Prototype Carbon Fund* do Banco Mundial, pretende substituir o carvão mineral, na produção de ferro-gusa, pelo carvão vegetal advindo de florestas plantadas de eucalipto. Neste caso, o reflorestamento é usado como um meio de processo, já que a atividade é de substituição de fonte C. A mesma iniciativa foi tomada pela V&M do Brasil, vendendo créditos de C para o governo holandês, com base em investimentos para assegurar o fornecimento de carvão vegetal produzido de modo sustentável. A carta de intenções foi firmada com o Fundo de Carbono dos Países Baixos, do Banco Mundial. A Peugeot, em parceria com as ONGs *Office National de Forêt e Pró-Natura*, está convertendo pastagem degradada em ecossistemas florestais, visando a geração de créditos de C. As ONGs Sociedade de Proteção da Vida Selvagem e *The Nature Conservancy*, em parceria com várias corporações transnacionais norte-americanas, executam três projetos no Estado do Paraná, visando preservação ecológica das áreas dos projetos e o seqüestro de C.

É importante ressaltar que para os projetos de MDL foram estabelecidas algumas definições e diretrizes relativas às atividades de Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas - LULUCF. Para o primeiro período de contabilização de créditos (2008-2012) são elegíveis as atividades de florestamento e reflorestamento². O tratamento das atividades de projeto de LULUCF no âmbito do Artigo 12 do Protocolo de Quioto, em períodos de compromisso futuros, deve ser decidido como parte das negociações sobre o segundo período de compromisso. As definições e modalidades de projetos de reflorestamento e florestamento ainda estão em discussão, principalmente no que

² Na COP 7, ficaram assim definidos florestamento e reflorestamento. 'Florestamento é a conversão induzida diretamente pelo homem de terra que não foi florestada por um período de pelo menos 50 anos em terra florestada por meio de plantio, sementeira e/ou a promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes. Reflorestamento é a conversão, induzida diretamente pelo homem, de terra não-florestada em terra florestada por meio de plantio, sementeira e/ou a promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes, em área que foi florestada mas convertida em terra não-florestada. Para o primeiro período de compromisso, as atividades de reflorestamento estarão limitadas ao reflorestamento que ocorra nas terras que não continham florestas em 31 de dezembro de 1989'.

se refere às questões de permanência (relacionado à quantidade de tempo que o C permanecerá fixado), adicionalidade (consiste na redução de emissões de GEE ou no aumento de remoções de C de forma adicional ao que ocorreria na ausência do projeto de MDL) e vazamento (o mesmo que *leakage*; significa a variação líquida das emissões de GEE que ocorre fora dos limites do projeto e que é mensurada e atribuída à atividade do projeto de MDL). Particularmente ao assunto da permanência, foram identificadas duas opções: 1^a) um seguro contra a destruição ou degradação da floresta; e a 2^a) criação de um tipo diferente de unidade de CER (Certificado de Redução de Emissões) para os projetos de seqüestro de C temporários na natureza (denominado TCER – certificado de redução de emissões temporárias). Esses CERs poderiam expirar ao término de cada período de compromisso e teriam de ser compensados, pelo país que os utiliza, por meio de créditos substitutos ou créditos reeditados se o projeto original ainda existir. Vale lembrar que, na COP 9, realizada em dezembro de 2003, essas questões foram muito discutidas e algumas decisões e conclusões sobre o assunto foram tomadas. Contudo, as discussões continuam e a tendência é de se prolongarem por mais tempo.

Embora as atividades de florestamento e reflorestamento sejam, a princípio e nas condições estabelecidas, aquelas elegíveis para projetos de MDL no primeiro período de compromisso, SCARPINELLA (2002) salienta que no MDL não há penalidades para as ações antecipadas. Pelo contrário, há incentivo para ação imediata no início de atividades que reduzam as emissões de GEE, para que os créditos relativos aos projetos possam futuramente ser contabilizados no período de compromisso correspondente. É pensando em inovação que os sistemas agroflorestais podem se tornar ferramentas valiosas, seja como uma atividade a ser considerada no MDL ou como uma forma de implantação dos reflorestamentos, nas condições mencionadas anteriormente.

Atualmente em Minas Gerais, com a expansão acelerada da atividade florestal, a região do cerrado passou a ter maior destaque no processo de reflorestamento, principalmente pelo fato de as condições edafoclimáticas e fisiográficas da região serem favoráveis ao estabelecimento de plantações

florestais, especialmente de eucalipto. Considerando que a forma desordenada de ocupação e exploração do cerrado vem acarretando prejuízos sociais, econômicos e ambientais para a sociedade em geral, mas principalmente para as pessoas que dependem, direta e indiretamente, desta região para o seu sustento, torna-se necessária a busca de alternativas de plantio e manejo técnica, ambiental e economicamente viáveis, que visem o aumento da produtividade das florestas plantadas, das pastagens e das plantações agrícolas e o uso sustentado dos recursos naturais, tendo como base o desenvolvimento limpo.

O sistema agrissilvipastoril é uma alternativa de uso racional da terra que vem se destacando na região do cerrado de Minas Gerais e que possui as características desejáveis citadas acima, consistindo no cultivo integrado de espécies florestais com espécies agrícolas e pastagem para criação de bovinos, de forma escalonada no tempo. Esse sistema é o mais utilizado no Brasil, em termos de tamanho de área efetivamente implantada. Sob a ótica da fixação de C, o sistema agrissilvipastoril pode ser mais eficiente que os tradicionais monocultivos e as pastagens a céu aberto, pelo fato de ser formado por diferentes componentes e se beneficiar das interações entre eles.

O objetivo deste trabalho foi estudar a fixação de C pelo sistema agrissilvipastoril com eucalipto implantado na região de cerrado do Estado de Minas Gerais, considerando-se a possibilidade de este sistema ser utilizado como alternativa de projeto de MDL, no âmbito do Protocolo de Quioto, envolvendo as atividades de mudança de uso da terra, recuperação de áreas degradadas, substituição de fonte energética, substituição de fonte de C, florestamento e reflorestamento³.

³ As modalidades e os procedimentos de projetos de florestamento e reflorestamento dentro do MDL, após alguns anos em debate, foram estabelecidos recentemente na COP 9, realizada em Milão, Itália.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Mudanças climáticas

Existem naturalmente na atmosfera gases conhecidos como “gases de efeito estufa – GEE” (CO_2 , metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hexafluoreto de enxofre (SF_6), entre outros). O vapor d’água, o CO_2 , o ozônio (O_3), o CH_4 e o N_2O conseguem reter a energia da mesma forma que os vidros de um carro fechado ou uma estufa. Esse efeito estufa natural tem mantido a atmosfera da Terra por volta de $30\text{ }^\circ\text{C}$ mais quente do que ela seria na ausência dele, possibilitando a existência de vida no Planeta (PACIORNIK e MACHADO FILHO, 2000).

Segundo SILVA (2000), as mudanças climáticas globais e suas prováveis repercussões na vida de todos estão entre as maiores preocupações mundiais no início deste novo milênio. O IPCC, que reúne mais de 2.000 cientistas, estima que, de acordo com as condições atuais, a temperatura da Terra deverá aumentar entre 1 e $3,5\text{ }^\circ\text{C}$ no próximo século, podendo provocar diversos eventos climáticos indesejáveis. Tanto essas alterações climáticas quanto as negociações internacionais devem ser consideradas prioritárias para o nosso País. Há fortes indícios de que o fenômeno El Niño está ocorrendo com maior frequência e intensidade em virtude dessas alterações. A seca, as chuvas fortes e inundações e, especialmente, o aumento assustador do fogo em nossas florestas podem ser

sintomas da mudança climática, que certamente se agrava durante o El Niño, como ficou claro durante o gigantesco incêndio em Roraima, em 1998.

Os gases, especialmente o CO₂, resultam principalmente do uso excessivo ou perdulário de combustíveis fósseis, como carvão e petróleo, e também da eliminação e queima de florestas, entre outros fatores. O IPCC estima que a concentração de CO₂ na atmosfera alcançará o dobro da verificada antes da Revolução Industrial⁴ até o ano de 2070.

Os impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes do aquecimento global afetarão todos os países, mas segundo dados do IPCC (2001) eles serão sentidos de maneira diferenciada, como descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Possíveis impactos decorrentes do aquecimento global

Região	Prováveis Impactos
1. África	a. Diminuição da produtividade agrícola. b. Diminuição da disponibilidade de água na região do Mediterrâneo e países do sul. c. Aumento de vetores de doenças. d. Aumento no processo de desertificação. e. Extinção de animais e plantas.
2. Ásia	a. Diminuição da produtividade agrícola. b. Diminuição da disponibilidade de água na região árida e semi-árida. c. Aumento do nível do mar, deslocando pessoas.
3. Austrália e Nova Zelândia	a. Diminuição da disponibilidade de água. b. Extinção de plantas e animais.
4. Europa	a. Desaparecimento de geleiras nos Alpes. b. Aumento da produção agrícola em algumas regiões. c. Impactos no turismo.
5. América Latina	a. Diminuição da produção agrícola. b. Aumento de vetores de doenças. c. Extinção de plantas e animais.
6. América do Norte	a. Aumento da produção agrícola em algumas regiões. b. Aumento de vetores de doenças.
7. Polar	a. Diminuição da calota polar. b. Extinção de plantas e animais.
8. Pequenas Ilhas	a. Aumento do nível do mar, deslocando pessoas. b. Diminuição da disponibilidade de água. c. Diminuição da atividade pesqueira. d. Diminuição do turismo.

Fonte: IPCC (2001).

⁴ A Revolução Industrial começou a partir dos meados do século XVIII, encerrando a transição entre Feudalismo e Capitalismo.

Com o advento da Revolução Industrial houve um sensível aumento na emissão de GEE, devido à substituição de trabalho manual por máquinas de produção em grande escala. A queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) e as queimadas decorrentes dos desmatamentos serviram, e ainda servem, ao homem em suas necessidades e para seu desenvolvimento. Mas, ao mesmo tempo, elas causaram alguns danos ao meio ambiente. Esse agravamento parece estar fortemente atrelado ao desenvolvimento econômico e ao consumo humano, e o meio ambiente começa a dar seus primeiros sinais de saturação (SCARPINELLA, 2002).

As atividades que contribuem para o aumento das concentrações de GEE podem ser observadas na Tabela 2. Mais da metade da contribuição dos GEE dá-se no setor de energia, onde é feita a queima dos combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) para as finalidades de transporte e obtenção de energia elétrica. Em segundo lugar está o CFC (clorofluorcarbono), que já vem sendo controlado através do Protocolo de Montreal. As atividades relacionadas à agricultura vêm logo em seguida, com a liberação de CH₄ para a atmosfera: o cultivo de arroz irrigado e a atividade pecuária estão entre as atividades que emitem CH₄ na agricultura. O desmatamento contribui bastante para a emissão dos GEE, através das queimadas. Em último lugar na contribuição dos GEE para a atmosfera estão as indústrias. Deve-se atentar que as indústrias estão atreladas à produção de energia e fabricação de CFC (SCARPINELLA, 2002).

Tabela 2 – Atividades que contribuem para a emissão de GEE na atmosfera terrestre

Atividade	Contribuição (%)
Energia	57
CFC	17
Agricultura	14
Desmatamento	9
Indústria	3
Total	100

Fonte: Goldemberg (1995), citado por SCARPINELLA (2002).

Segundo ROCHA (2002), um dos principais GEE é o CO₂, cujas emissões no Brasil, provenientes da utilização de diversos tipos de combustíveis, cresceram significativamente nos últimos 40 anos. Porém, é preciso salientar que os países desenvolvidos são os que mais contribuem para o aumento da concentração dos GEE. No entanto, quando são incluídas as emissões de gases oriundas das queimadas e dos desmatamentos, o Brasil passa a ser o quinto maior emissor de GEE do mundo.

2.2. Conferência das partes - COP

O efeito estufa e suas possíveis conseqüências sobre a humanidade foram discutidos durante a Rio-92, quando se estabeleceu a UNFCCC. Assinada pelo Brasil em 1992 e ratificada pelo Congresso em 28 de fevereiro de 1994, a Convenção tem como meta propor ações para os Países do Anexo I, isto é, os países desenvolvidos e em transição de economia⁵, para que estes estabilizem as concentrações atmosféricas dos GEE (ROCHA, 2002).

O objetivo central da UNFCCC é “a estabilização das concentrações de GEE na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema do clima. Esse nível deverá ser alcançado num prazo suficiente que permita aos ecossistemas adaptarem-se naturalmente à mudança do clima, que assegure que a produção de alimentos não seja ameaçada e que permita ao desenvolvimento econômico prosseguir de maneira sustentável”.

A UNFCCC entrou em vigor em 21 de março de 1994, contando atualmente com 186 “Partes” (países). Desde então, as Partes têm se reunido para discutir o assunto e tentar encontrar soluções para os problemas. Os encontros são denominados COP. A seguir, será feita uma breve descrição das decisões mais importantes tomadas em cada COP já realizada.

⁵ Alemanha, Austrália, Áustria, Belarus, Bélgica, Bulgária*, Canadá, Comunidade Européia, Croácia*, Dinamarca, Eslováquia*, Eslovênia*, Espanha, Estados Unidos, Estônia*, Federação Russa*, Finlândia, França, Grécia, Hungria*, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Letônia*, Liechtenstein, Lituânia* Luxemburgo, Mônaco, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos, Polônia*, Portugal, Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte, República Tcheca*, Romênia*, Suécia, Suíça, Turquia e Ucrânia* (* Países em processo de transição para uma economia de mercado).

Conferência das Partes 1 – COP 1: Realizada em 1995, em Berlim, Alemanha. Nesse evento foi elaborado o Mandato de Berlim, que pôs em marcha um processo de dois anos para a discussão de um Protocolo à Convenção que definisse novos compromissos legais, para possibilitar ações para a primeira década do século 21, tornando mais severas as obrigações dos países desenvolvidos.

Conferência das Partes 2 – COP 2: Ocorreu em 1996, em Genebra, Suíça. Na ocasião foi assinada a Declaração de Genebra, contemplando o acordo para a criação de obrigações legais com alusão à redução de GEE ainda a ser implementado na COP 3.

Conferência das Partes 3 – COP 3: Essa Conferência foi realizada em 1997, em Quioto, Japão, destacando-se como uma das mais importantes, uma vez que durante sua realização foi estabelecido entre as Partes um acordo onde se encontram definidas metas de redução da emissão de GEE para os países do Anexo I, além de critérios e diretrizes para a utilização dos mecanismos de mercado. Este acordo ficou conhecido como Protocolo de Quioto.

Conferência das Partes 4 – COP 4: Foi realizada em Buenos Aires, Argentina, em 1998. O Protocolo conseguiu implementar metas e obteve adesão dos EUA, que deu outro rumo aos objetivos propostos. Nesse evento, foi criado o Plano de Ação Buenos Aires, com o objetivo de colocar em prática as definições do Protocolo de Quioto, o que deveria ocorrer até o ano de 2000.

Conferência das Partes 5 – COP 5: Em cumprimento ao Plano de Ação Buenos Aires foram realizadas reuniões técnicas e processo de consulta nessa Conferência, que ocorreu em 1999 em Bonn, Alemanha.

Conferência das Partes 6 – COP 6: A COP 6 foi realizada em Haia, Holanda, em 2000. Não foi possível estabelecer as regras operacionais do Protocolo de Quioto, em especial devido a divergências entre os Estados Unidos e os países europeus. Em função do impasse criado a Conferência foi suspensa.

Conferência das Partes 6,5 – COP 6,5: Também conhecida como COP 6 - Bis, foi realizada em julho de 2001 em Bonn, Alemanha. Esse evento foi considerado uma continuação da COP 6. O Protocolo obteve novos rumos com a retomada das negociações, resultando no “Acordo de Bonn”. Esse acordo político garantiu a sobrevivência do Protocolo de Quioto. Esta Conferência foi considerada um sucesso. O Protocolo chega mais próximo à ratificação, mesmo sem o apoio dos EUA.

Conferência das Partes 7 – COP 7: As partes reuniram-se em Marrakesh, Marrocos, de 29 de outubro a 9 de novembro de 2001, para transformar em decisões práticas o “Acordo de Bonn” e definir regras operacionais do Protocolo de Quioto, resultando no chamado “Acordo de Marrakesh”. Como resultados da COP 7, merece destaque a declaração que foi enviada a RIO+10, realizada em 2002, na África do Sul, onde é enfatizada a estreita relação que existe entre o desenvolvimento sustentável e mudanças climáticas; são reafirmadas como prioridades dos países em desenvolvimento a erradicação da pobreza e o desenvolvimento; e, é chamada a atenção dos países para a sinergia que existe entre as UNFCCC, Biodiversidade e Desertificação (ROCHA, 2002). Outro resultado importante foi a indicação do Conselho Executivo do

MDL, do qual faz parte um brasileiro. Este Conselho estará autorizado a aprovar metodologias de “baseline”, planos de monitoramento e limites para projetos; designar entidades operacionais; e desenvolver e manter registros dos Projetos de MDL. Decidiu-se facilitar um pronto começo para o MDL antes mesmo da ratificação do Protocolo, permitindo as Partes da Convenção iniciar seus projetos e comercializar seus respectivos créditos no mercado, desde que estes tenham sido aprovados pelo Comitê Executivo. Foi estabelecido ainda que o Comércio de Emissões poderá ter a participação dos países que ainda não ratificaram o Protocolo, iniciando uma comercialização gradativa de créditos, permitindo uma contabilização futura.

***Conferência das Partes 8 – COP 8:** Foi realizada em Nova Delhi, Índia, em 2002. Não alcançou o sucesso desejado, embora tenha ocorrido acordo entre as Partes em torno da Declaração de Delhi, a qual reafirmou o desenvolvimento e a erradicação de pobreza como prioridades nos países em desenvolvimento, bem como a diferenciação das responsabilidades e prioridades de desenvolvimento nacionais e circunstâncias na implementação dos compromissos da UNFCCC. Outro fato importante foi o acordo das Partes em relação às regras e aos procedimentos do MDL, concluindo as diretrizes da revisão dos artigos 5, 7 e 8 do Protocolo de Quioto e proporcionando orientação adicional para o Fundo LDC – Least Developed Countries (recurso financeiro para as Partes não incluídas no Anexo I). Embora a Declaração de Delhi não tenha iniciado um diálogo formal sobre a ampliação dos compromissos futuros, informalmente as discussões começaram.*

***Conferência das Partes 9 – COP 9:** Realizada em Milão, Itália, em dezembro de 2003. Teve a participação de mais de 5000 pessoas, representando 166 países. Esse evento foi muito importante para o avanço das discussões e dos trabalhos em torno do MDL. As Partes tomaram numerosas decisões e concluíram vários assuntos, os quais incluíram: a) as definições e modalidades de inclusão de atividades de florestamento e reflorestamento sob o MDL; b) a orientação da boa prática sobre o LULUCF; c) o Fundo Especial para Mudanças Climáticas (SCCF); d) o Fundo para os países em desenvolvimento (Fundo LDC).*

2.3. Protocolo de Quioto

O Protocolo de Quioto foi o documento redigido de maior importância dentre os tratados acerca das questões relacionadas ao meio ambiente. Este Protocolo é uma extensão do texto lançado em 1992 pela UNFCCC. Estabelece políticas e medidas de redução, além dos prazos e comprometimentos entre os países – Partes da Convenção (SCARPINELLA, 2002).

É um acordo entre países para reduzir as emissões de gases causadores do efeito estufa em pelo menos 5,2% até o período de 2008 a 2012, tendo como base

os níveis de 1990. Ele foi adotado na terceira reunião da COP da UNFCCC, em 1997 na cidade de Quioto, no Japão.

Para entrar em vigor, o Protocolo precisa da assinatura de pelo menos 55 Partes da Convenção, somando no mínimo 55% das emissões totais de CO₂ em 1990. Em número de países, o mínimo necessário já foi alcançado, mas os que ratificaram o documento representam apenas 35,8% das emissões.

COSTA (1998) salientou que para facilitar o processo e atingir os objetivos, considerando o esforço econômico que será necessário para o cumprimento das metas estabelecidas no Protocolo, foram aprovados três “mecanismos de flexibilização”, sendo eles: Comércio de Cotas de Emissões, Implementação Conjunta e o MDL.

2.4. Mecanismo de flexibilização

A partir do estabelecimento dos mecanismos de flexibilização no Protocolo de Quioto, o foco da discussão tem migrado para o seqüestro de C florestal como uma das alternativas de compensação das emissões dos países industrializados. De acordo com REZENDE et al. (2001), estes mecanismos podem ser vistos como mecanismos financeiros que visam transformar os GEEs em *commodities* com valores monetários, os quais irão incentivar investimentos em atividades mitigadoras dos efeitos da mudança no clima. A seguir são descritos os três mecanismos, dando-se destaque ao MDL, que foi proposto pela delegação brasileira e o único que concebe a participação de países em desenvolvimento dentro do Protocolo de Quioto.

Comércio de Emissões:

As Partes incluídas no Anexo B do Protocolo de Quioto, correspondente ao Anexo I da Convenção, podem participar do comércio de emissões com o objetivo de cumprir os compromissos assumidos no Artigo 3 do Protocolo de Quioto. Tal comércio deve ser suplementar às ações domésticas com vistas a atender aos compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, assumidos sob esse artigo.

Implementação Conjunta:

A Implementação Conjunta (ou Joint Implementation) corresponde ao Artigo 6 do Protocolo de Quioto. Neste mecanismo, segundo o Protocolo, “qualquer Parte inclusa no Anexo I pode transferir para ou adquirir de qualquer outra dessas Partes, unidades de redução

de emissões resultantes de projetos visando à redução das emissões antrópicas por fontes ou o aumento das remoções antrópicas por sumidouros de GEE em qualquer setor da economia” (SCARPINELLA, 2002).

Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL:

O MDL teve origem na proposta apresentada pelo Brasil em maio de 1997 ao Secretariado da Convenção em Bonn, Alemanha, com o objetivo de estabelecer elementos para a definição do Protocolo à Convenção. A proposta brasileira consistia na criação de um Fundo de Desenvolvimento Limpo que seria formado por meio de contribuições dos países desenvolvidos que não cumprissem suas metas de redução. Tal fundo seria utilizado para desenvolver projetos em países em desenvolvimento. Em Quioto a idéia do fundo foi transformada, estabelecendo-se o MDL, que consiste na possibilidade de que um país que tenha compromisso de redução (Anexo I) financie projetos nos países em desenvolvimento como forma de cumprir parte de seus compromissos. A idéia consiste em que um projeto gere certificados de reduções de emissões, devendo estes implicar reduções de emissões adicionais àquelas que ocorreriam na ausência do projeto, garantindo assim benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo para a mitigação da mudança do clima (PACIORNICK e MACHADO FILHO, 2000).

Ficou definido que o MDL estará sujeito à COP e supervisionado por um Conselho Executivo. As reduções serão certificadas por entidades operacionais designadas pela COP, com base nos seguintes pontos: a) participação voluntária das Partes; b) benefícios relacionados à mitigação das mudanças climáticas reais, mensuráveis e de longo prazo; c) reduções em emissões que são adicionais àquelas que teriam ocorrido na ausência do projeto.

De acordo com o Fundo Brasileiro de Desenvolvimento Sustentável (FBDS), são aplicações potenciais dos projetos para o MDL: a) eficiência energética (eletricidade e combustíveis fósseis na indústria, no transporte e em usos públicos); b) planejamento urbano para a redução de emissão de combustíveis; c) fontes alternativas de energia: cogeração, gás natural, geração de energia de pequeno porte (pequenas e microcentrais hidroelétricas), energia eólica, solar térmica, fotovoltaica e biomassa; d) manejo sustentável de resíduos industriais urbanos e rurais; e) reflorestamento; f) recursos hídricos, matas ciliares e compensação ambiental.

2.5. Uso da terra, mudança do uso da terra e floresta

Os conceitos de floresta, florestamento e manejo de florestas são dados a seguir, com base naqueles emitidos nas reuniões da COP. As definições foram retiradas da categoria conhecida como *Land Use, Land-Use Change and Forestry* - LULUCF, que trata dos potenciais sumidouros, fontes e reservatórios relacionados às atividades agropecuárias e florestais, dentro do Protocolo de Quioto.

a) Floresta – “É a área mínima de terra de 0,05–1 ha com cobertura de árvore (ou nível equivalente de estoque) de mais de 10–30% com árvores com o potencial de alcançar uma altura mínima de 2–5 m na maturidade in situ. Uma floresta pode consistir em formações florestais fechadas, onde árvores de várias alturas e estágios de crescimento cobrem uma alta proporção do chão, ou em florestas abertas. Novas formações jovens e todas as plantações que

ainda estão por alcançar uma densidade de dossel de 10–30%, ou altura das árvores de 2–5 m, estão inclusas em florestas, assim como as áreas que normalmente formam parte de áreas florestais que estão temporariamente fora de condição, como resultado de intervenções humanas, como a colheita ou causas naturais, mas que se espera que revertam a florestas.”

b) Florestamento – “É a ação direta do homem na conversão de terras que não tenham sido florestadas por um período de no mínimo 50 anos para terras florestadas por plantação, semeadura e/ou ação humana promovendo semeadura natural.”

c) Manejo de Florestas – “É um sistema de práticas para manejo e uso de terras florestadas no sentido de realizar funções ecológicas (incluindo diversidade biológica), econômicas e sociais da floresta de maneira sustentável”.

d) Reflorestamento – “É a conversão, induzida diretamente pelo homem, de terra não-florestada em terra florestada por meio de plantio, semeadura e/ou a promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes, em área que foi florestada mas convertida em terra não-florestada. Para o primeiro período de compromisso, as atividades de reflorestamento estarão limitadas ao reflorestamento que ocorra nas terras que não continham florestas em 31 de dezembro de 1989”.

e) Revegetação – “É uma atividade induzida diretamente pelo homem para aumentar os estoques de C em determinados locais por meio do estabelecimento de vegetação que cubra uma área mínima de 0,05 ha e não se enquadre nas definições de florestamento e reflorestamento aqui contidas”.

f) Manejo de áreas de cultivo – “É o sistema de práticas tanto na terra em que as culturas agrícolas são cultivadas quanto na terra que é deixada de lado ou não é utilizada temporariamente para a produção dessas culturas”.

g) Manejo de pastagens – “É o sistema de práticas em terra utilizada para a produção pecuária, visando manipular a quantidade e o tipo da vegetação e do rebanho produzidos”.

Para que as atividades de LULUCF sejam aceitas no MDL, elas devem seguir alguns princípios básicos: a) o teor dessas atividades deve basear-se em ciência sólida, já comprovada; b) devem ser usadas metodologias consistentes ao longo do tempo para estimativa e relato de tais atividades; c) a mera presença de estoques de C deve ser excluída da contabilidade da redução das emissões; e d) a implementação das atividades LULUCF deve contribuir para a biodiversidade e o uso sustentável de recursos naturais.

As atividades LULUCF podem ser empregadas somente em terras que, desde 31 de dezembro de 1989, sejam pastagens ou terras abandonadas, sem a presença de florestas. Essa barreira surgiu para que se evitasse o desmatamento de áreas para o emprego de reflorestamento e, posteriormente, a participação dentro do MDL.

A contabilização de emissões de GEE antropogênicas por fonte e remoções por sumidouros resultantes de atividade de LULUCF devem começar com o início da atividade ou com o início do período de compromisso, aquele que vier mais tarde.

2.6. Comitê executivo

O Comitê Executivo é um órgão criado sob a autoridade e orientação da COP e que tem como funções: a) fazer recomendações à COP sobre procedimentos e modalidades para o MDL, quando necessário, bem como emendas ou adições às regras já estabelecidas; b) aprovar novas metodologias e monitorar planos e limites de projetos; c) ser responsável pela certificação de entidades operacionais; d) tornar públicas as informações disponíveis e não-confidenciais sobre os projetos de MDL já existentes; e e) desenvolver, manter e tornar disponível ao público um conjunto de regras aprovadas, procedimentos, metodologias e padrões.

O Comitê Executivo é formado por 20 membros, sendo 10 titulares e os outros 10 substitutos, com os mandatos variando de dois a três anos. A divisão foi feita da seguinte forma: três representantes de países do Anexo I; três representantes de países do não-Anexo I; e quatro representantes das Pequenas Ilhas (GARLIPP, 2001).

2.7. Certificado de redução de emissões

O certificado de redução de emissões (CER) é a forma de comercialização do C retido (ou evitado) nos projetos de MDL entre as Partes da Convenção. O CER é uma unidade publicada de acordo com as definições do Protocolo de Quioto, sendo emitido pelo Comitê Executivo.

O valor a ser pago pelo certificado de um projeto MDL está relacionado com as incertezas que este apresenta. Em outras palavras, quanto maior a incerteza de um projeto, menor será o valor a ser pago por seus certificados. Em um projeto florestal, as incertezas quanto à permanência do C são maiores. Por este

motivo, os projetos florestais partem de um valor médio da tonelada de C mais baixo, quando comparados a projetos não-florestais.

Cada certificado deve conter, além de um número de série, os seguintes elementos: a) período de compromisso para o qual o certificado foi emitido; b) Parte de origem: a Parte que hospedou o projeto de MDL; c) tipo: deve identificar a unidade como um CER; d) unidade: um único número para o período de compromisso do CER e a Parte de origem; e e) identificador do projeto: um número único para a atividade de projeto MDL para a Parte de origem.

A emissão dos certificados é feita pelo Comitê Executivo e dá-se somente após a verificação e certificação do projeto por parte da Entidade Operacional designada.

2.8. Ciclo de um projeto de MDL

Visando obter a redução das emissões de GEE e apresentar um desenvolvimento sustentável em seu processo, um projeto de MDL que irá oferecer uma comercialização de créditos de C deve oferecer benefícios a longo prazo, reais e mensuráveis. Para tanto, é necessário que o projeto passe por uma série de etapas, denominadas ciclo do projeto, que vão desde a apresentação do projeto ao Comitê Executivo até a emissão de certificados, feita também por esse comitê.

Tendo em vista as exigências anteriormente descritas, recomenda-se que os projetos sejam avaliados de forma binária (Sim/Não), para que se confira um caráter eliminatório aos critérios de elegibilidade. O projeto é considerado elegível quando atende integralmente às proposições de cada critério. Um critério não atendido é suficiente para torná-lo inelegível.

De acordo com RIBEIRO et al. (2002), os projetos considerados inelegíveis são: a) conservação florestal e qualquer mudança no uso da terra e floresta que não seja florestamento e reflorestamento; b) energia nuclear; c) geração não-sustentável de energia proveniente de recursos de biomassa; e d) centrais hidrelétricas de capacidade instalada superior a 30 MW ou com reservatórios de

dimensões superiores a 3,0 km², salvo se os projetos de centrais apresentarem densidade de potência instalada superior ou igual a 10 W/m².

Os projetos que não foram supracitados seriam passíveis de elegibilidade, prioritariamente os ligados a setores que utilizam tecnologia/técnicas que poderão contribuir para: a) eficiência energética no uso final, em suas diversas formas e setores; b) eficiência energética na expansão da oferta de energia, incluindo a redução de perdas na cadeia de produção, transporte e armazenamento de energia; c) suprimento de serviços energéticos através de energia renovável ou do uso de gás natural em substituição de combustíveis fósseis com maior teor de C; d) aproveitamento energético de emissões de CH₄ provenientes da disposição de resíduos; e) redução das emissões de GEE no setor industrial; f) florestamento e reflorestamento a longo prazo, objetivando a expansão da base florestal para o fornecimento de insumos industriais, o florestamento urbano ou a recuperação de áreas degradadas, abandonadas ou desmatadas; e g) redução nas emissões de GEE provenientes da fermentação entérica de rebanhos.

O projeto, ao candidatar-se à participação no MDL, é apresentado ao Comitê Executivo, que por sua vez designa uma Entidade Operacional para estudar os moldes do projeto. Se estes estiverem de acordo com o conjunto de regras da COP, o projeto passará então por cinco etapas:

*a) **Preparação:** A preparação dos projetos envolve o estabelecimento do cenário de referência e o preparo do Plano de Monitoração. Nesta fase os participantes deverão gerar um documento de preparação do projeto.*

*b) **Validação/Registro:** É o processo de avaliação independente de uma atividade de MDL por uma Entidade Operacional designada, que deverá primeiramente, antes de submeter o relatório de validação para o Conselho Executivo, ter recebido dos Participantes do Projeto uma aprovação escrita da Autoridade Nacional designada, indicando a participação voluntária de cada Parte envolvida e a confirmação de que tal projeto contribui para o desenvolvimento sustentável do país hospedeiro. O registro é a aceitação formal por parte do Comitê Executivo de um projeto validado como um projeto de MDL. É um pré-requisito para a verificação, certificação e promulgação dos certificados deste projeto.*

*c) **Monitoramento:** Deve constar no esboço do projeto um plano de monitoramento. Neste plano, deve haver a coleção de todos os dados de relevância do projeto para que a Entidade Operacional possa acompanhar o andamento das atividades e verificar a precisão dos dados relatados. O plano de monitoramento pode ser baseado em uma metodologia de monitoramento já existente ou em uma nova metodologia. A Entidade Operacional pode*

sugerir a metodologia mais adequada às circunstâncias do projeto, que tenha sido aplicada em outro projeto com sucesso. Tal metodologia deve ainda refletir uma prática de bom monitoramento, adequada ao tipo de projeto de MDL.

*d) **Verificação:** A verificação é a revisão independente, periódica e posterior de um projeto de MDL pela Entidade Operacional designada.*

*e) **Certificação/Emissão do certificado:** Baseando-se no relatório de verificação, a certificação é a garantia por escrito, feita pela Entidade Operacional designada, de que, durante um período de tempo específico, o projeto de MDL atingiu as reduções de emissões de GEE, como verificado. Ambos os relatórios (verificação e certificação) devem se tornar públicos, sendo o de certificação um requisito imprescindível para a emissão dos Certificados de Redução de Emissões. O certificado é emitido pela empresa que gerencia o projeto, sob a autorização do Comitê Executivo. Isto somente quando o projeto for verificado e certificado por parte da Entidade Operacional designada, afirmando que a atividade de MDL está dentro das conformidades verificadas, tendo seguido o procedimento de monitoração acordado entre a Entidade Operacional e as Partes integrantes do projeto.*

2.9. Linha de base - *baseline*

A linha de base (*baseline*) é um cenário de referência necessário para que os projetos possam ingressar no MDL, representando significativamente as emissões antropogênicas de fontes de GEE que ocorreriam na ausência da atividade do projeto proposto. Esta deve ser estabelecida pelos participantes do projeto e deve ser apresentada de maneira transparente, levando-se em conta a escolha das aproximações, as suposições, as metodologias, os parâmetros, a fonte dos dados e as adicionalidades, incluindo as incertezas do projeto (SCARPINELLA, 2002).

Na linha de base do projeto devem ser apresentados dois cenários: o primeiro deve descrever as emissões antes do projeto; e o segundo, as reduções das emissões após a instalação do projeto.

Para projetos florestais, pode haver uma contabilidade do conteúdo de matéria (e conseqüentemente do C nela retido) da parte aérea e subterrânea da floresta. A parte aérea, neste caso, corresponde ao tronco, à copa (ramos e folhas) e à serapilheira. A parte subterrânea corresponde às raízes das árvores e ao C retido no solo. Quanto maior a abrangência nesta contabilidade, maiores serão os custos, pois em cada caso deve ser provado que o C está presente e retido no material.

2.10. O mercado de créditos de C

A comercialização dos créditos de C dá-se na forma de CER e deve ocorrer nas bolsas de valores, visando auxiliar os países do Anexo I a cumprirem suas metas de redução definidas no Protocolo de Quioto. Diante do fato de que o Protocolo ainda não foi ratificado, e ainda haver uma grande quantidade de créditos a serem comercializados, as operações de compra e venda dos certificados estão passando por uma fase de experimentação. Esta etapa deve se estender até a ratificação do Protocolo, pois, a partir de então, o volume de transação de certificados deve aumentar consideravelmente.

Segundo NUTTO et al. (2002) o modelo de negociação de certificados de C até hoje não chegou a uma definição, por razões que incluem questões de protecionismo e moral. De um lado, os países de grande influência internacional como os Estados Unidos, o Canadá, a Rússia e o Japão insistem que suas florestas, independentemente de serem nativas ou plantações manejadas de forma sustentável ou não, sejam consideradas no balanço para o cálculo dos certificados. Do outro, está a maioria dos países em desenvolvimento, que têm consciência de que somente novas florestas, em áreas onde não existiam anteriormente florestas e reflorestamentos de áreas desmatadas ou degradadas, contribuirão significativamente para o seqüestro de C, baixando assim o nível de CO₂ na atmosfera.

Foi estabelecido em Chicago, na segunda metade de 2001, um plano piloto de comércio voluntário de créditos provenientes de emissões evitadas de GEE. Este plano, conhecido como *Chicago Climate Exchange* (CCE), está sendo desenvolvido em alguns estados do centro-oeste dos Estados Unidos, para se testar sua viabilidade e posterior aplicação em escala global. Esse plano piloto trabalha com créditos de diferentes setores, além de auxiliar na determinação do preço a ser pago por estes certificados. O CCE também poderá ajudar a desenvolver um padrão para o monitoramento de emissões e comercialização de créditos, necessários para um mercado bem estruturado.

Nesse novo mercado, o Brasil pode desempenhar um importante papel, pois além de ter solo e clima favoráveis ainda possui tecnologia disponível tanto

para realizar plantios florestais quanto para otimizar o uso do álcool como combustível e a biomassa como fonte de energia elétrica. Recentes estimativas demonstram que a comercialização internacional de créditos de seqüestro ou redução na emissão de CO₂ pode atingir uma demanda de US\$ 20 bilhões anualmente, quando este mercado estiver totalmente regulamentado. Sendo assim, um país como o Brasil, grande seqüestrador de C, tem na venda de créditos uma chance de concretizar um desenvolvimento econômico e social até então nunca visto (ETCHECOIN, 2000). Para o Brasil, estima-se que o volume interno de negociações dos créditos de C seja de US\$ 60 milhões por ano, após a ratificação do Protocolo de Quioto (GAZETA MERCANTIL, 2002).

NORDHAUS (2000) enumera algumas dificuldades que precisam ser superadas para que um mercado internacional de C possa ser implementado. O autor baseia seus argumentos na transformação econômica de Chicago, com a mudança para uma economia centrada na *commodity* C. Essa mudança deve compreender um programa que funcione adequadamente em um único país (onde existe um governo bem estruturado, regras bem definidas, uma *commodity* padronizada e um sólido sistema de implementação doméstica), para uma arena internacional.

SANDOR e WALSH (2000) procuraram definir o processo necessário para que o mercado de C possa evoluir. Para eles os passos são: 1^o) ocorrência de mudanças estruturais que gerem demanda por capital; 2^o) criação de uma padronização uniforme para a *commodity* C; 3^o) desenvolvimento de instrumentos legais que garantam o direito de propriedade; 4^o) desenvolvimento de mercados *spot* informais e de entrega futura; 5^o) criação de novas bolsas; 6^o) criação de mercados futuros organizados; e 7^o) proliferação de mercados *over-the-counter*.

Os mesmo autores concluem que um processo de 12 etapas precisará ser conduzido para que o mercado internacional de C seja criado pelo setor privado: 1^o) definir claramente a *commodity* C; 2^o) estabelecer uma supervisão do mercado; 3^o) definir *linha de base*; 4^o) alocar as permissões e monitorar emissões; 5^o) estabelecer permissões uniformes e não-segmentadas; 6^o) criar uma câmara de

compensação internacional; 7^o) empregar as bolsas exteriores; 8^o) desenvolver leilões; 9^o) refinar a documentação sobre as transações; 10^o) fomentar a harmonização entre fóruns de transação; 11^o) preparar procedimentos de contabilidade; e 12^o) lançar um esforço internacional para que os participantes de mercados emergentes possam transacionar o quanto antes.

Segundo SELING et al. (2002), é importante mencionar que os reflorestamentos induzidos com a finalidade de obter créditos de C necessitam de uma certificação, ou seja, de um selo verde. Na Europa existem dois sistemas concorrentes, sendo eles: 1^o) PEFC (*Pan European Forest Certificate*, conhecido também como Certificado Europeu) - certificado de uma cooperação europeia de diversos proprietários de florestas (particular, comunal, estadual); e 2^o) FSC (*Forest Steward Councilship*) – certificado de uma organização mundial que tem o subsídio de organizações como o *Greenpeace* e *World Wide Life Fund for Nature*, como também de partidos verdes.

2.11. Projetos de MDL no Brasil

Segundo YU (2002), no Brasil existem sete projetos de seqüestro de C em andamento, conforme descrito a seguir:

- **Empresa PLANTAR S.A.:** Executa seu próprio projeto enquadrado como MDL, através do Fundo Protótipo do Carbono (PCF). Este projeto se qualifica em parte como substituição energética e em parte como seqüestro de C florestal. A empresa pretende, após 21 anos, retirar mais de 12 milhões de toneladas de CO₂ do ambiente, que serão negociadas com países desenvolvidos que não conseguirem cumprir a meta de Quioto na redução de emissões.
- **Instituto Ecológica:** Na Ilha do Bananal executa, sem mediação, dois projetos de caráter predominantemente desenvolvimentista, que priorizam os aspectos sociais junto com os ambientais e têm intenção de unir as necessidades de redução de emissão de transnacionais às necessidades das comu-

nidades locais. Os projetos são: 1) “Projeto de Seqüestro de C da Ilha do Bananal”; e 2) “Projeto de Seqüestro de C em Carmo Rio”. Ambos os projetos são realizados em Tocantins.

- **Sociedade de Proteção da Vida Selvagem – SPVS:** Executa, sob a mediação da ONG americana *The Nature Conservancy* – TNC, três projetos de caráter predominantemente conservacionista, que respondem à necessidade de redução das emissões de várias corporações transnacionais. Os projetos são: 1) “Ação Contra Aquecimento Global na Serra do Itaqui”, em Guaraqueçaba – PR; 2) “Projeto de Reflorestamento da Floresta Atlântica em Cachoeira”, em Guaraqueçaba – PR; e 3) “Projeto Piloto de Reflorestamento no Morro da Mina”, em Antonina – PR.

- **Office National de Forêt/Pró-Natura:** Executa o “Projeto de Reflorestamento Para o Seqüestro de C da Peugeot”, em Cotriguaçu/Juruena – MT. O projeto, de caráter predominantemente mercantilista, prioriza a geração de certificados de redução de emissões e responde à necessidade de redução de emissões da corporação transnacional investidora.

Dentre os projetos apresentados, o da empresa Plantar foi o único que passou pelo crivo da aprovação da Comissão Interministerial de Mudança do Clima. Para o projeto da Plantar ser financiado pelo PCF, entidade formalmente constituída dentro do Banco Mundial para estimular e fomentar projetos para evitar ou seqüestrar emissões, ele teve que passar por todas as etapas formais exigidas pelo banco, inclusive a aprovação formal do governo brasileiro.

Outros projetos para estudar a fixação de C em plantações florestais começaram a ser desenvolvidos mais recentemente. Um exemplo é o projeto "Estoque de C e de nutrientes e crescimento de florestas submetidas à exploração convencional e de baixo impacto e em assentamentos, na região noroeste do Estado de Mato Grosso", executado pela *Cornell University* (USA) e pela Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT. Esse projeto foi aprovado pela

NASA e faz parte do programa LBA-ECO II. Outro exemplo é o projeto de “Determinação de biomassa e conteúdo de C em seringais de três idades”, executado pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em parceria com outras instituições internacionais de pesquisa e ensino. Esse projeto compara a fixação de C pela seringueira e pela pastagem. A escolha pela seringueira decorreu do grande volume de informações que o IAPAR dispõe sobre a cultura. A pastagem, por sua vez, foi selecionada por ser a linha de base mais utilizada na área florestal em projetos de MDL.

2.12. Estimativas do C fixado pelas florestas plantadas⁶

O Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) traz na sua página da internet⁷ uma série de informações sobre o atual cenário de discussões em torno das mudanças climáticas globais. Alguns trabalhos técnicos também encontram-se disponíveis nessa página, como por exemplo: “as estimativas de C fixado pelas florestas plantadas”. Um resumo desse trabalho será apresentado a seguir.

a) Estimativas do C fixado pelas florestas do gênero Pinus⁸

As estimativas foram realizadas separadamente para cada parte da árvore, sendo apresentada também a soma das estimativas. A análise da Tabela 3 mostra que a estimativa de C fixado pelas florestas plantadas de *Pinus*, no período de 1990 a 1994, apresentou um saldo positivo de 3,04 milhões de toneladas de C. Nesse período, as florestas mostraram-se em processo de aumento de fixação de C.

O tronco de pinus foi a parte que apresentou os maiores valores de C fixado, em torno de 63%; já a parte da árvore composta pela copa e pelas raízes contribuiu com cerca de 37% do total dos valores estimados.

⁶ O objetivo do estudo foi estimar a quantidade de C capturado e fixado pelas florestas de eucalipto e pinus para uso industrial no Brasil. No processo de estimativa considerou-se 1 ha de área, sendo o plantio feito em 1985. O estudo não considerou o local/região de implantação dos plantios, as espécies por gênero (pinus e eucalipto) e também não informou o espaçamento entre as árvores. Para estimar as unidades de C por hectare, valores obtidos de matéria seca foram multiplicados pelo teor C.

⁷ www.mct.gov.br.

⁸ Aos 8 anos de idade, em 1993, considerou-se o primeiro desbaste de pinus, tendo sido retiradas 19,3 t/ha de matéria seca.

Tabela 3 – Estimativa de C fixado pelas florestas do gênero *Pinus* no Brasil, em milhões de toneladas, segundo o MCT (2002)

Ano	Tronco	Copa	Raízes	Soma
1990	12,52	3,13	4,38	20,03
1991	13,11	3,28	4,59	20,98
1992	13,56	3,39	4,75	21,70
1993	14,22	3,55	4,98	22,75
1994	14,42	3,60	5,05	23,07

Fonte: MCT (2002).

b) Estimativas do C fixado pelas florestas do gênero Eucalyptus⁹

O processo de estimativa para o gênero *Eucalyptus* também foi desenvolvido para cada parte da árvore, como ilustra a Tabela 4. A estimativa de C fixado pelas florestas plantadas do gênero *Eucalyptus*, no período de 1990 a 1994, apresentou um saldo positivo de 40,70 milhões de toneladas de C. Da mesma forma que para o *Pinus*, as florestas plantadas de eucalipto também mostraram-se em processo de aumento de fixação de C.

Tabela 4 – Estimativa de C fixado pelas florestas plantadas de *Eucalyptus* no Brasil, em milhões de toneladas, segundo o MCT (2002)

Ano	Tronco	Copa	Raízes	Soma
1990	69,23	13,85	24,23	107,31
1991	75,87	15,17	26,55	117,59
1992	81,10	16,22	28,38	125,70
1993	87,45	17,49	30,61	135,55
1994	95,49	19,10	33,42	148,01

Fonte: MCT (2002).

⁹ No caso das plantações de eucalipto, em vez de desbaste, foram considerados o corte raso e toda a produção do tronco, da copa e das raízes, diminuída nas idades de 7, 14 e 21 anos, idades estimadas dos cortes rasos.

O tronco de eucalipto foi a parte que apresentou os maiores valores de C fixado, em torno de 65%; já a contribuição da parte da árvore composta pela copa e pela raiz foi responsável por cerca de 35% dos valores estimados para o C fixado.

Considerando a fixação de C dos dois gêneros conjuntamente, estimou-se que o tronco das árvores foi responsável, em média, por cerca de 65% da quantidade total estimada de C fixado. A contribuição das raízes na fixação de C correspondeu a cerca de 22% e a contribuição da copa foi estimada em torno de 13%. Destaca-se que o saldo do período de estudo de 1990 a 1994 foi positivo em 43,74 milhões de toneladas.

As plantações de seringueira também estão sendo estudadas sob o aspecto da fixação de C. Um projeto¹⁰ de comparação do fluxo de calor e do acúmulo de CO₂ em uma área cultivada com seringueiras e outra ocupada com pastagem, iniciado em outubro de 2002 no Paraná, indicou que, como primeira estimativa, árvores de 15 anos de idade retiram anualmente da atmosfera 16,6 t/ha de C, enquanto áreas com pastagem, apenas 14,3 t/ha.

2.13. Sistemas agrissilvipastoris no Brasil

De modo geral, os sistemas agrissilvipastoris, até o presente momento, não foram suficientemente estudados. No entanto, além das vantagens gerais comuns a todos os sistemas agroflorestais, esse sistema potencializa o lado econômico, ambiental e de aproveitamento de recursos naturais e de insumos (COUTO et al., 1998).

Para POTTIER (1984), os sistemas agrissilvipastoris são particularmente importantes para os cultivadores de eucalipto, pois: apresentam maior biodiversidade, qualquer que seja o intervalo de tempo considerado; propiciam o melhor aproveitamento dos recursos edáficos, em nível horizontal e vertical; e os insumos aplicados podem ser mais eficientemente aproveitados pelas plantas

¹⁰ Esse projeto é de iniciativa do *Inter American Institute for Global Change Research* (IAI), em parceria com o Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar), a Universidade de Guelph (Canadá) e a Universidade da Geórgia (EUA).

florestais e agrícolas e pelos animais. Além disto, do ponto de vista econômico, o produtor poderá obter receitas intermediárias importantes para o abatimento de custos florestais, além dos desbastes (se realizados). COUTO et al. (1998) acrescentam que pode ocorrer até mesmo superávit ao longo do ciclo das rotações programadas para as árvores.

O lado econômico dessa modalidade de sistema agroflorestal, nos moldes de obtenção de receitas intermediárias, pode torná-lo capaz de incentivar os produtores rurais a plantarem árvores de espécies nativas, de crescimento lento, porém de qualidade superior de madeira. Os custos com as espécies florestais são diluídos ao longo do tempo e os agrossilvicultores praticamente “esquecem” das árvores, para se lembrarem delas somente quando estiverem em ponto de abate (COUTO et al., 1998).

Os exemplos de sistemas agrissilvipastoris com eucalipto são raros no Brasil. Um dos poucos trabalhos conhecidos foi desenvolvido por MARQUES (1990), que avaliou o crescimento e o desenvolvimento de paricá (*Schizolobium amazonicum* Hub Ducke), tatajuba (*Bagassa guianensis* Aubl.) e eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*), até 36 meses, em combinação com milho e capim-marandu, em Paragominas – PA. Nesse trabalho, as árvores foram cultivadas em faixas formadas por três linhas de plantio, no espaçamento de 3 x 3 m. A distância entre faixas foi de 12 m. Os resultados e as conclusões para os tratamentos com eucalipto foram: a) não houve diferença na sobrevivência, na altura e no DAP das árvores, entre o monocultivo e o sistema agrissilvipastoril; b) houve ganho de mais de 110% em matéria seca total e de 59% de matéria seca do lenho das árvores no sistema agrissilvipastoril, em virtude do aproveitamento dos resíduos de fertilizantes aplicados no milho; c) a produtividade de milho foi de 1.086, 738 e 335 kg/ha, respectivamente, para o primeiro, segundo e terceiro ano, que embora baixa abateu os custos de plantio e condução das árvores, no primeiro e segundo anos, em 21 e 64%, respectivamente; d) a produtividade de matéria seca do capim-marandu, 12 meses após a semeadura, foi de 9.029 kg/ha, valor que está dentro da faixa média da região; e) a semeadura do capim-marandu deve

ser antecipada para o segundo ano e os animais soltos no ano seguinte, devido ao baixo rendimento do milho no terceiro ano.

Outro sistema que tem apresentado bons resultados é o utilizado pela Companhia Mineira de Metais – CMM, nos municípios de Vazante e Paracatu – MG, denominado agrissilvipastoril rotativo (OLIVEIRA e MACEDO, 1996). Em 1987, a CMM começou a fazer experiências bem-sucedidas com plantios raleados de eucalipto (espaçamento 10 x 4 m), que, ao contrário do que se pensa, aumentam em 40% a produção de madeira por hectare, com redução de 51% nos custos. Logo após o plantio das mudas de eucalipto em local definitivo, faz-se a semeadura do arroz. Na safra seguinte, efetua-se o plantio da soja. Na terceira safra, ainda seria possível fazer um último cultivo, mas as experiências da empresa nesse sentido foram insatisfatórias. Tentou-se plantar sorgo e consorciar capim com milho, pelo sistema Barreirão, mas a produtividade obtida foi muito baixa e os pastos ficaram malformados (FRANCO, 1998).

Assim, para o melhor aproveitamento do amplo espaço entre as linhas de eucalipto, cultivam-se arroz e soja até o segundo ano e introduz-se uma gramínea forrageira em seguida, com pastejo da área até o corte dos eucaliptos, no 11^o ano, quando se recomeça o ciclo. Esse sistema teve início em 1993 e continua sendo implantado pela empresa¹¹.

OLIVEIRA e MACEDO (1996) esclarecem que no estabelecimento das fileiras das culturas agrícolas é mantida a distância mínima de 1 m das linhas de eucalipto, para facilitar os tratos culturais e amenizar a competição, e que as cercas divisórias de cada módulo de 200 ha são feitas mediante a utilização das próprias árvores.

Nesse sistema, o ganho bovino é de 625 g/cab/dia, o que após três anos corresponde a aproximadamente 16 arrobas. A produtividade da lavoura não é muito boa (25 sacos de arroz e 28 sacos de soja/ha) comparada à media dos monocultivos da região, mas ajuda a diminuir os custos de plantio das árvores e

¹¹ A CMM pretende implantar cerca de 2.000 ha por ano desse sistema nas suas fazendas, localizadas na região noroeste de Minas Gerais.

prepara o solo para introdução das pastagens melhoradas (braquiárias, tanzânia e mombaça) (FRANCO, 1998).

O custo de produção caiu muito com a utilização da nova técnica de plantio. Antes, a empresa gastava R\$ 747,50 para formar 1 ha de floresta; atualmente apenas R\$ 383,10. Grande parte dessa redução deve-se à economia de mão-de-obra, principalmente na implantação do sistema. O custo de produção de arroz fica em R\$ 218,22/ha e o de soja, em R\$ 269,16/ha. Calcula-se que a taxa interna de retorno (TIR) seja de 18% ao ano, considerando o pior desempenho das três culturas ao mesmo tempo. Se 20% da madeira obtida por hectare for destinada para serraria e 80% para carvão, colhem-se 23 sacos de arroz e 25 sacos de soja/ha, comercializados a R\$ 7,00 e R\$ 11,00 o saco, respectivamente; e se o boi for vendido a US\$ 18 a arroba, já é possível alcançar a TIR. No entanto, há grande possibilidade de obter lucratividade maior. A floresta, dependendo do mercado, poderá ser quase que integralmente comercializada como madeira nobre (para uso em serraria), que alcança preço de R\$ 150,00/m³ (FRANCO, 1998).

OLIVEIRA e MACEDO (1996) concluíram que o sistema utilizado pela CMM é viável economicamente, com base nos indicadores valor presente líquido (VPL), razão benefício/custo (B/C) e TIR. Também verificaram que o sistema é bastante sensível a aumento de custos. Nas simulações que realizaram na época, constataram que um aumento de 15% tornaria o sistema inviável.

Uma outra análise mostrou que níveis baixos de produtividade do eucalipto inviabilizam economicamente o investimento no sistema agrissilvipastoril rotativo e que a lucratividade do sistema aumenta significativamente à medida que se eleva a proporção da quantidade de madeira vendida para serraria em relação à proporção da quantidade de madeira vendida para energia (OLIVEIRA et al., 1996).

Também fizeram análise econômica desse mesmo sistema agrissilvipastoril OLIVEIRA et al. (2000) e DUBÈ et al. (2000). Aqueles autores concluíram que: a) implantar sistemas agrissilvipastoris com eucalipto em região de cerrado é uma opção viável economicamente, desde que, pelo menos, 5% da madeira produzida seja usada para serraria e o restante para energia ou para outro fim que

alcance valor igual ou mais alto no mercado; b) algumas situações que podem fazer com que o sistema agrissilvipastoril com eucalipto dê prejuízo são: taxas de desconto maiores que 11,45% ao ano; preço da terra acima de US\$ 200,98/ha; produtividade do eucalipto inferior a 20,86 st/ha/ano; preço da arroba do boi menor que US\$ 16,75; preço da madeira para serraria abaixo de US\$ 5,24/st; preços do saco de soja e de arroz inferiores a US\$ 6,34 e US\$ 5,96, respectivamente; e aumento de mais de 5,38%, simultaneamente, em todos os custos de produção. Já DUBÈ et al. (2000) concluíram que: a) os custos de implantação e manutenção de 1 ha de eucalipto representam mais de um terço dos custos totais de implantação, manutenção e colheita dos componentes do sistema; b) mais da metade do valor da receita é proveniente da venda dos produtos madeireiros obtidos ao longo da rotação de 11 anos; c) uma alocação de madeira para serraria superior a 40% proporcionaria melhor retorno; e d) o sistema agrissilvipastoril adotado pela empresa é economicamente mais atrativo que a monocultura de eucalipto.

Ao analisar as conclusões desses dois trabalhos, percebe-se que um complementa o outro. O ponto comum entre eles refere-se ao uso da madeira. Como foi informado, DUBÈ et al. (2000) sugerem 40% de madeira para serraria para melhor retorno econômico do sistema, enquanto OLIVEIRA et al. (2000) citam pelo menos 5% para o sistema ser viável economicamente; contudo com um lucro muito pequeno de US\$ 0,67. Neste caso, os autores afirmam que se 35% da madeira produzida puder ser aproveitada para serraria o VPL aumenta cerca de 50%, se comparado ao VPL obtido quando somente 25% da madeira é destinada a este fim.

O problema para as empresas reflorestadoras que normalmente utilizam eucalipto para energia é aumentar a produção de madeira para serraria, sem prejudicar o plano de manejo da floresta e a logística operacional implantada. As condições técnicas e econômicas estabelecidas para a mudança no sistema de produção, em certas circunstâncias sem o devido planejamento, podem até se tornar inviáveis para as empresas. Em outras situações, em que tal mudança é desejável por uma questão de adequação das empresas a uma nova realidade, a

produção de madeira para serrarias através dos sistemas agrissilvipastoris é, sem dúvida, viável.

MACEDO et al. (2000) concluíram este assunto, dizendo que o manejo das florestas de clones de *Eucalyptus* para usos múltiplos através de sistemas agroflorestais com cultivos anuais nas entrelinhas, durante os primeiros anos da instalação da floresta, seguido posteriormente da instalação de pastagens perenes para engorda de gado de corte, apresenta-se como uma das alternativas potenciais para amortizar os custos iniciais de implantação e manutenção da floresta, permitir um fluxo de caixa contínuo ao longo do período de maturação da floresta e, ainda, fornecer rendas adicionais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado na fazenda Riacho, pertencente à Companhia Mineira de Metais (CMM), no município de Paracatu, região noroeste do Estado de Minas Gerais. Esse município encontra-se na região bioclimática 6 desse Estado, segundo GOLFARI (1975), entre as coordenadas 17°13'00" S e 46°52'00" O. O clima da região é do tipo Aw - tropical úmido de savana, com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média máxima anual é de 29°C e a mínima, de 17°C. A precipitação média anual é de 1.438 mm, concentrando-se no semestre mais quente, sendo no mês mais seco inferior a 60 mm. O período seco ocorre de abril a outubro. A evapotranspiração potencial anual atinge entre 1.000 e 1.200 mm. A altitude média é de 550 m e o relevo varia de plano a suave-ondulado. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa (16,25% de areia, 21,50% de silte e 62,25% de argila), fase cerrado, de baixa fertilidade e alta acidez.

A vegetação é constituída por cerrados em suas várias tipologias, desde campos a cerradões e florestas ciliares subperenifólias, principalmente nas proximidades dos rios, desenvolvida sobre solos derivados de basalto (GOLFARI, 1975).

3.1. Caracterização do sistema agrissilvipastoril utilizado pela CMM

Esse é um tipo de sistema agroflorestal que consiste no plantio integrado de clones de híbridos naturais de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) com arroz¹² (*Oriza sativa* L. cv. Guarany), soja (*Glycine max* (L.) Merr. cv. Conquista) e braquiária (*Braquiária brizantha* Stapf.), em uma escala temporal adequada, visando a produção de madeira para energia e serraria, produtos agrícolas e carne bovina. A CMM começou a utilizar essa tecnologia em 1993, com o plantio de clones de híbridos de eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus tereticornis*) bem adaptados às condições edafoclimáticas locais, produtivos e apresentando madeira de qualidade superior para fins de multi-produtos.

Os clones foram plantados no espaçamento 10 x 4 m, para possibilitar o cultivo agrícola nas entrelinhas nos primeiros anos (ano 1 e 2) e o pastejo animal¹³ a partir do terceiro ano. O espaçamento de plantio do arroz e da soja foi de 0,45 m entre as linhas, utilizando 80 e 24 sementes por metro linear, respectivamente. Para evitar competição, respeitou-se um espaçamento mínimo de 1 m entre as linhas de plantio de eucalipto e as linhas de arroz e soja e a área de semeadura da gramínea.

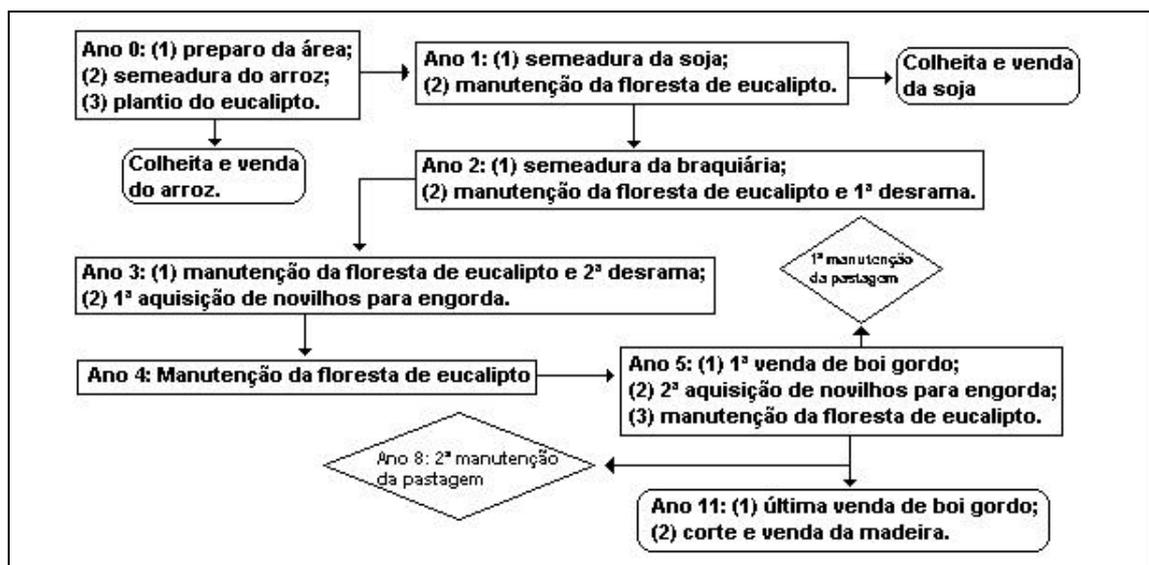
O preparo do solo consistiu, basicamente, de aração e gradagem antes do plantio de arroz e eucalipto, com a realização de calagem, aplicando-se 4 t/ha de calcário Zincal 200 MMA (PRNT 85%). A adubação mineral para o plantio de arroz consistiu de 200 kg/ha de NPK 05-25-15. Para o eucalipto, foram aplicados 150 g por cova de NPK 10-28-06 ou 06-30-06. Antes do plantio da soja, foram realizadas uma gradagem aradora e duas gradagens niveladoras. Nessa ocasião, foram incorporadas ao solo 3 t/ha de calcário Zincal 200 MMA (PRNT 85%),

¹² Atualmente, a empresa estuda a possibilidade de começar o sistema com o plantio de soja em vez de arroz, porque o preço da soja no mercado é melhor que o do arroz. Para isto, a empresa deverá aumentar os gastos com adubação do solo.

¹³ As pastagens são formadas para engorda de gado de corte, com capacidade de suporte estimada em 1 U.A./ha no inverno e 2 U.A. no verão. U.A. = unidade animal. As unidades de manejo para o gado são compostas por piquetes de 37,5 ha cada, dispostos lado a lado em áreas contíguas.

com a aplicação de 300 kg/ha de 02-20-20. Para formação da pastagem, efetuou-se uma gradagem pesada à profundidade de 20 cm, seguida de uma gradagem niveladora. Na calagem foi aplicada 1 t/ha de calcário Zinco 200 MMA (PRNT 85%). No plantio, as sementes de braquiária foram misturadas a fosfato natural (400 kg/ha) e superfosfato simples (100 kg/ha). Após a implantação da pastagem, de três em três anos, foram realizadas manutenções que consistiram da aplicação de 1 t/ha de calcário Zinco 200 MMA (PRNT 85%), 300 kg/ha de fosfato natural, 200 kg/ha de superfosfato simples e 80 kg/ha de cloreto de potássio.

As principais operações do sistema agrissilvipastoril até a comercialização dos produtos podem ser observadas na Figura 1. Outros detalhes desse sistema, referentes principalmente ao preparo de solo, à adubação, às práticas silviculturais e à produção, podem ser encontrados em DUBÈ (1999).



Fonte: Adaptado de DUBÈ et al. (2000).

Figura 1 – Fluxograma das principais operações realizadas no sistema agrissilvipastoril implantado pela CMM, na região noroeste do Estado de Minas Gerais (adaptado de DUBÈ et al., 2000).

Comparado aos monocultivos, esse sistema é mais eficiente na ciclagem de nutrientes e proteção do solo, além da capacidade de otimizar o uso do local com a ocupação das entrelinhas de plantio. Na prática, isto significa diminuição do uso de insumos externos, uso mais eficiente dos recursos naturais e maior

proteção dos recursos solo e água. Indiretamente, significa a redução do desmatamento da vegetação nativa do cerrado, que normalmente está associado à abertura de novas fronteiras agrícolas.

3.2. O modelo 3-PG

O 3-PG (*Physiological Principles in Predicting Growth*) é um modelo dinâmico de predição de crescimento florestal (LANDSBERG e WARING, 1997; SANDS e LANDSBERG, 2002). Esse modelo é baseado em vários princípios bem-estabelecidos e em algumas constantes que simplificam bastante os cálculos, exigindo poucos ajustes para se obter as estimativas realísticas do crescimento florestal.

A interface do modelo se dá via planilha Microsoft Excel, sendo codificado em Visual Basic. O uso do 3-PG é relativamente simples, estando prontamente disponível à entrada de tabelas de crescimento de espécies, latitude, registros de tempo, variáveis edáficas, idade do povoamento e densidade de plantio, para derivar as estimativas mensais de produtividade primária bruta e crescimento florestal.

O 3-PG tem um submodelo biofísico que estima a evaporação mensal e a transpiração do dossel da floresta. A condutância do dossel é controlada por um fator restritivo que regula a abertura estomática: déficit de pressão de vapor (VPD) ou limitação de água no solo. O modificador de déficit de pressão de vapor é negativo e exponencialmente relacionado com a média mensal do VPD por meio do coeficiente de resposta estomatal do VPD. O balanço de água no solo é a diferença entre precipitação e evapotranspiração. A água é drenada se a capacidade de ação da água na zona da raiz for excedida. O modificador de água do solo é inversamente relacionado com a umidade do solo e depende da sua textura (STAPE, 2002).

Outro submodelo do 3-PG é o de produção florestal, que estima a produção primária bruta (GPP) com base na interceptação mensal da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), a uma eficiência máxima teórica reduzida por

modificadores fisiológicos (idade, água do solo ou déficit de pressão de vapor) e ambientais (temperatura, fertilidade do solo ou geada). A interceptação da PAR é calculada de acordo com a Lei de Beer Lambert's e o índice de área foliar, conforme a biomassa de folhas e a área foliar específica. A fertilidade do solo é expressa como um fator de avaliação simples. A produção primária líquida (NPP) é dada pela relação NPP:GPP, que é notavelmente constante, sendo em média $0,45 \pm 0,05$. A NPP é primeiramente alocada para o compartimento raiz, inversamente proporcional à dureza do ambiente (definido como o valor mínimo entre o modificador de déficit de pressão de vapor e o modificador de água no solo) e fertilidade do solo, dentro de limites mínimos e máximos de alocação definidos para a espécie. A fração de NPP alocada acima do solo é dividida entre o crescimento do caule e o da folhagem, em uma proporção que conserva a relação alométrica das árvores, mas variando com o tamanho delas (STAPE, 2002).

Para obter outras informações sobre o 3-PG, recomenda-se consulta aos trabalhos de LANDSBERG e WARING (1997), SANDS e LANDSBERG (2002) e STAPE (2002).

3.3. Determinação da biomassa florestal e estimativa de C

Para determinação da biomassa florestal do eucalipto utilizou-se o modelo 3-PG, com o auxílio do Programa Normais 2.0, que fornece dados climáticos. Para executar o 3-PG é necessária uma série de informações relacionadas, principalmente, ao clima (precipitação, temperatura, evaporação¹⁴ e radiação solar¹⁵) (Tabela 5), ao solo (fertilidade, textura, capacidade de campo – CC e ponto de murcha permanente – PM) e ao povoamento florestal (idade do povoamento, densidade de plantio, espaçamento e densidade da madeira)¹⁶. Os dados de

¹⁴ Os dados de precipitação, temperatura e evaporação foram fornecidos pelo Programa Normais 2.0 para o município de Paracatu – Minas Gerais, considerando os valores médios dos últimos 30 anos.

¹⁵ A radiação solar foi calculada por um software denominado “Programa Radiação”, que utiliza como inputs, para gerar os dados, informações de latitude e albedo.

¹⁶ O sistema foi implantado em 1999, com as árvores plantadas no espaçamento 10 x 4 m (250 árvores/ha). Densidade da madeira = 445,05 kg/m³.

inventário florestal¹⁷ necessários para a análise foram cedidos pela empresa CMM.

O modelo 3-PG fornece estimativas da biomassa de litter (de origem exclusiva de folhas) e de diferentes partes da árvore, incluindo raiz. Na estimativa dos dados de biomassa também foram utilizados, de forma complementar, equações e dados obtidos por BERNARDO (1995), LADEIRA (1999), MARQUEZ (1997) e NEVES (2000).

Tabela 5 – Dados climáticos médios do município de Paracatu, região Noroeste de Minas Gerais, utilizados pelo modelo 3-PG para determinar a biomassa florestal de eucalipto

Mês	T. Máxima (°C)	T. Mínima (°C)	Precipitação (mm)	Pan Evap. (mm/d)	Radiação Solar (Mj/m ² /d)
Jan.	29,50	19,30	260,3	3,00	19,66
Fev.	30,00	19,30	179,3	2,88	19,20
Mar.	30,20	19,10	149,3	2,75	18,30
Abr.	29,60	18,00	66,7	3,04	17,21
Mai	28,20	15,70	29,3	3,28	14,68
Jun.	27,20	13,30	6,7	3,46	13,84
Jul.	27,10	13,10	15,1	4,17	15,05
Ago.	29,10	15,00	15,6	5,18	15,90
Set.	30,50	17,50	35,9	5,43	15,58
Out.	29,10	19,00	132,8	4,69	18,05
Nov.	29,60	18,50	223,6	3,34	18,27
Dez.	28,60	19,40	324,1	2,59	17,37

Na conversão da biomassa seca para C adotou-se o fator 0,49, conforme resultado de pesquisa realizada pela CMM para a madeira de eucalipto. De modo geral, o teor médio de C na madeira é de 50%, porcentual aceito mundialmente após constatação desse valor em vários trabalhos, como de DEWAR e CANNELL (1992) e NUTTO et al. (2002). Para outros componentes da árvore adotaram-se os fatores 0,525, 0,503, 0,507 e 0,510, respectivamente, folha, casca + galho, raiz e litter, tomando-se por referência NEVES (2000).

¹⁷ Esses dados foram utilizados para calcular a biomassa inicial dos diferentes componentes da árvore e para comparar os valores observados com os estimados, no caso valores de volume de madeira.

O modelo 3-PG calcula o volume de madeira a partir da sua biomassa¹⁸ e densidade, incluindo a fração de casca e galho. Essa fração de casca e galho é determinada conjuntamente e separada do volume pela fórmula $V = (1 - p_{BB})Ws / p$, em que V = volume de madeira (m³/ha), p_{BB} = fração de casca e galho (t/ha), Ws = biomassa de madeira (t/ha) e p = densidade da madeira (t/m³). Por isto, a biomassa de casca e galho foi especificada na análise como casca + galho.

Os valores dos parâmetros do modelo 3-PG, após calibração para o eucalipto no sistema agrissilvipastoril, encontram-se na Tabela 6.

3.4. Coleta e processamento de material vegetal

Neste estudo, considerou-se o material vegetal de arroz e soja que é comumente deixado na área após a colheita e que, posteriormente, é incorporado ao solo. Para a pastagem, considerou-se o material instantâneo disponível na área no momento da avaliação. Raízes de arroz e braquiária foram desconsideradas, dada à pouca representatividade para o objetivo deste trabalho. O estudo não abrangeu os processos físicos-químicos de fixação e emissão de C, relacionados principalmente ao tempo de permanência do C fixado no material vegetal e ao C no perfil do solo. Também não foram incluídas as emissões de gases pelos animais, a biomassa animal, a biomassa de grãos, as emissões de gases decorrentes do preparo do solo e o efeito da incorporação de calcário no solo.

Foram coletadas amostras de material vegetal de arroz, soja e pastagem, para determinação de matéria seca e C. Para arroz e soja o tamanho da parcela foi de 0,5 m x 1 m e para pastagem, de 0,3 m x 0,3 m. A amostragem foi feita em três pontos casualizados, tendo sido coletadas cinco amostras em cada ponto, distribuídas em diferentes distâncias da linha de plantio de eucalipto (1; 2,8 e 4,6 m). No ponto de amostragem, traçou-se com uma trena uma linha transversal à linha de eucalipto. De um lado da linha de eucalipto foram coletadas três amostras e do outro duas, obedecendo às distâncias estabelecidas. No lado com duas amostras as distâncias consideradas foram 1 e 2,8 m (Figura 2).

¹⁸ Para a estimativa de volume e biomassa de eucalipto no sistema agrissilvipastoril, adotou-se o ciclo de corte de 11 anos.

Tabela 6 – Valores dos parâmetros do modelo 3-PG, após calibração para a plantação de eucalipto no sistema agrissilvipastoril, na região noroeste do Estado de Minas Gerais

SIGNIFICADO/COMENTÁRIO	Nome	Unidades	Eucalipto
1) Allometric relationships & partitioning			
Foliage:stem partitioning ratio @ D=2 cm	pFS2	-	1
Foliage:stem partitioning ratio @ D=20 cm	pFS20	-	0,175
Constant in the stem mass v. diam. relationship	StemConst	-	0,095
Power in the stem mass v. diam. relationship	StemPower	-	2,4
Maximum fraction of NPP to roots	pRx	-	0,5
Minimum fraction of NPP to roots	pRn	-	0,1
2) Temperature modifier (Ft)			
Minimum temperature for growth	Tmin	deg. C	8
Optimum temperature for growth	Topt	deg. C	25
Maximum temperature for growth	Tmax	deg. C	40
3) Frost modifier (fFRost)			
Days production lost per frost day	kF	days	0
4) Soil water modifier (fSW)			
Moisture ratio deficit for $f_q = 0.5$	SWconst	-	0,4
Power of moisture ratio deficit	SWpower	-	3
5) Fertility effects			
Value of 'm' when FR = 0	m0	-	0
Value of 'fNutr' when FR = 0	fN0	-	0,5
6) Age modifier (fAge)			
Maximum stand age used in age modifier	MaxAge	years	200
Power of relative age in function for fAge	nAge	-	4
Relative age to give fAge = 0.5	rAge	-	0,95
7) Litterfall & root turnover			
Maximum litterfall rate	gammaFx	1/month	0,100
Litterfall rate at t = 0	gammaF0	1/month	0,001
Age at which litterfall rate has median value	tgammaF	month	12
Average monthly root turnover rate	Rttover	1/month	0,015
8) Conductance			
Maximum canopy conductance	MaxCond	m/s	0,02
LAI for maximum canopy conductance	LAIgcx	-	3,33
Defines stomatal response to VPD	CoeffCond	1/mBar	0,05
Canopy boundary layer conductance	BLcond	m/s	0,2
9) Stem numbers			
Max. stem mass per tree @ 1000 trees/hectare	wSx1000	kg/tree	300
Power in self-thinning rule	thinPower	-	1,5
Fraction mean single-tree foliage biomass lost per dead tree	mF	-	0
Fraction mean single-tree root biomass lost per dead tree	mR	-	0,2
Fraction mean single-tree stem biomass lost per dead tree	mS	-	0,2
10) Canopy structure and processes			
Specific leaf area at age 0	SLA0	m ² /kg	11
Specific leaf area for mature leaves	SLA1	m ² /kg	6
Age at which specific leaf area = (SLA0+SLA1)/2	tSLA	years	3
Extinction coefficient for absorption of PAR by canopy	k	-	0,5
Age at canopy cover	fullCanAge	years	0
Maximum proportion of rainfall evaporated from canopy	MaxIntcptn	-	0,12
LAI for maximum rainfall interception	LAImaxIntcptn	-	3
Canopy quantum efficiency	alpha	molC/molPAR	0,055
11) Branch and bark fraction (fracBB)			
Branch and bark fraction at age 0	fracBB0	-	0,75
Branch and bark fraction for mature stands	fracBB1	-	0,096
Age at which fracBB = (fracBB0+fracBB1)/2	tBB	years	0,8
12) Various			
Ratio NPP/GPP	Y	-	0,5
Basic density	Density	t/m ³	0,44
13) Conversion factors			
Intercept of net v. solar radiation relationship	Qa	W/m ²	-90
Slope of net v. solar radiation relationship	Qb	-	0,8
Molecular weight of dry matter	gDM_mol	gDM/mol	24
Conversion of solar radiation to PAR	molPAR_MJ	mol/MJ	2,3

O material coletado nas parcelas foi pesado em balança de precisão, para determinação da massa verde, e colocado para secar em estufa a 65°C, até peso constante. No caso específico da soja, separaram-se vagens e raízes do material coletado antes da pesagem. Para determinação da biomassa de raízes, tirou-se de cada parcela uma amostra aleatória de raiz e para a biomassa de vagens, uma amostra de 50 g com grãos (as vagens foram separadas dos grãos para pesagem). O fator de conversão adotado para as culturas agrícolas foi de 0,45.

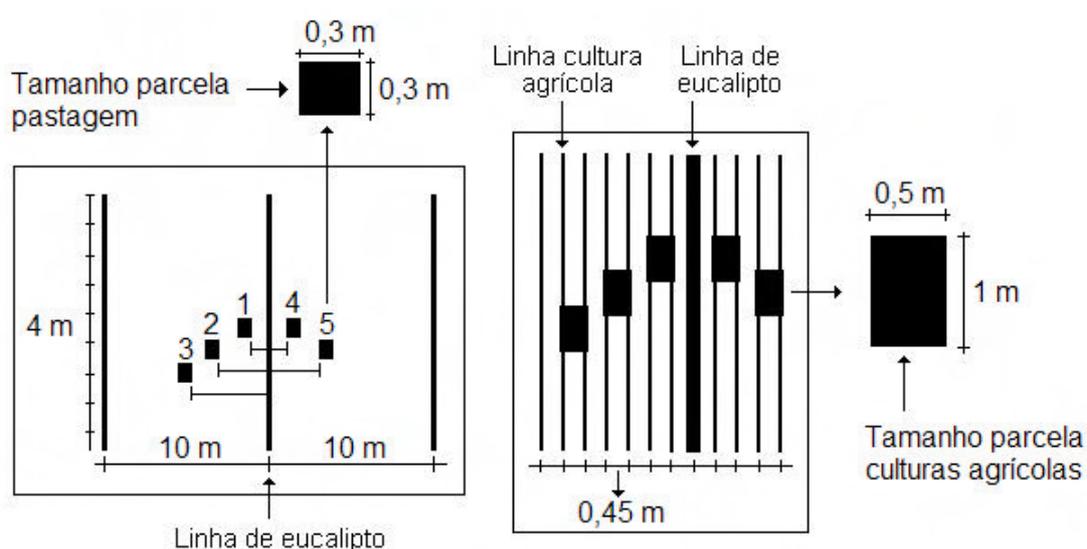


Figura 2 – Tamanho de parcela e esquema de coleta de material vegetal de arroz, soja e pastagem, para determinação de matéria seca e C.

3.5. Coleta e análise de solo

Para as análises química e física e para determinação da capacidade de campo e ponto de murcha permanente do solo em cada ambiente formado pela escala temporal do sistema agrissilvipastoril, foi coletada uma amostra composta de solo (profundidade 0-20 cm), advinda da mescla de 15 subamostras, correspondentes ao somatório de subamostras tiradas nos três pontos de amostragem

utilizados para coleta de material vegetal¹⁹, tendo em cada parcela sido coletada uma subamostra de solo.

A máxima disponibilidade de água no solo, calculada com base na CC e PM, para a profundidade de 20 cm, foi posteriormente estimada para 1,5 m de profundidade (considerada a profundidade de abrangência representativa da raiz de eucalipto no sistema agrissilvipastoril). A disponibilidade de água no solo é dada pela fórmula:

$$ASW_{(0-20\text{ cm})} = (CC - PM) \times d \times PSR, \text{ onde:}$$

d = densidade do solo, em g/cm^3 ;

PSR = profundidade do sistema radicular, em mm;

CC e PM , em kg/kg.

3.6. Rotação econômica²⁰

Para determinar a rotação econômica do sistema agrissilvipastoril, utilizou-se o critério $B(c)PE$ de análise econômica de projetos, que é dado pela fórmula: $B(c)PE = \frac{VPL[(1+i)^t - 1](1+i)^{nt}}{(1+i)^{nt} - 1}$, em que VPL = valor presente líquido; i = taxa de desconto; n = duração do projeto; e t = número de períodos de capitalização.

A taxa de desconto escolhida foi de 10% ao ano, por esta ser uma das mais utilizadas pelo setor florestal brasileiro, que tradicionalmente trabalha com taxas entre 6 e 12%, embora seja mais coerente a aplicação de taxas de longo prazo, mais condizentes com o tempo de maturação dos projetos, calculadas em função de seus fatores formadores, como afirma JÚNIOR et al. (1997).

Foram estabelecidas duas situações para determinação da rotação econômica. Na primeira, considerou-se a utilização da madeira para energia, a um preço de ²¹US\$ 9,20/st. Na segunda, considerou-se o uso de parte da madeira para

¹⁹ Os detalhes do esquema de coleta de material vegetal encontram-se na Figura 2.

²⁰ O valor do C não foi incluído na análise.

²¹ Preço por metro estéreo da árvore em pé.

energia e de parte para serraria²² a partir do oitavo ano²³, a um preço de US\$ 14/st. Os dados de custos e receitas agrícolas foram parte cedidos pela CMM e parte tirados de OLIVEIRA et al. (2000). A Tabela 1A traz esses dados atualizados.

²² Considerou-se o preço da madeira em tora em pé.

²³ Adotou-se que 10, 20, 30 e 40% da madeira será utilizada para serraria aos 8, 9, 10 e 11 anos de idade, respectivamente, e o restante para energia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Rotação técnica

As estimativas realizadas pelo modelo 3-PG mostraram um volume de madeira de 263,92 m³/ha ao final do ciclo de 11 anos e a idade ótima de rotação técnica em torno de 6 anos. Os dados de H e DAP coletados nos inventários realizados até 7 anos de idade indicam a mesma tendência de aumento em volume observado em relação ao volume estimado, como mostra a Figura 3, que traz também as curvas de ICA e IMA²⁴. No trabalho de DUBÈ (1999), o volume é 10,85% menor aos 11 anos e a idade técnica de corte ocorre três anos depois, aos 9 anos. Nesse estudo, o autor utilizou a equação $LnV = 6,27793 - 8,98803 * I^{-1}$ para determinar o volume de madeira e estabelecer a rotação técnica, aplicando a derivada da equação, em que V = volume em m³/ha; e I = idade em anos.

No modelo 3-PG as análises partem da biomassa inicial²⁵ estabelecida para a idade considerada e determinada pelos dados de inventário, somada a outros fatores de igual importância, como o solo e o clima. Dessa forma, a determinação

²⁴ Os dados detalhados do volume de madeira, IMA - incremento médio anual e ICA - incremento corrente anual, estão na Tabela 2A.

²⁵ Partição da biomassa em folha, raiz e caule, para o primeiro ano após plantio, considerando outubro como o mês de início das atividades.

da rotação técnica é resultado da determinação de volume a partir da biomassa e da interação dos fatores edafoclimáticos considerados na análise.

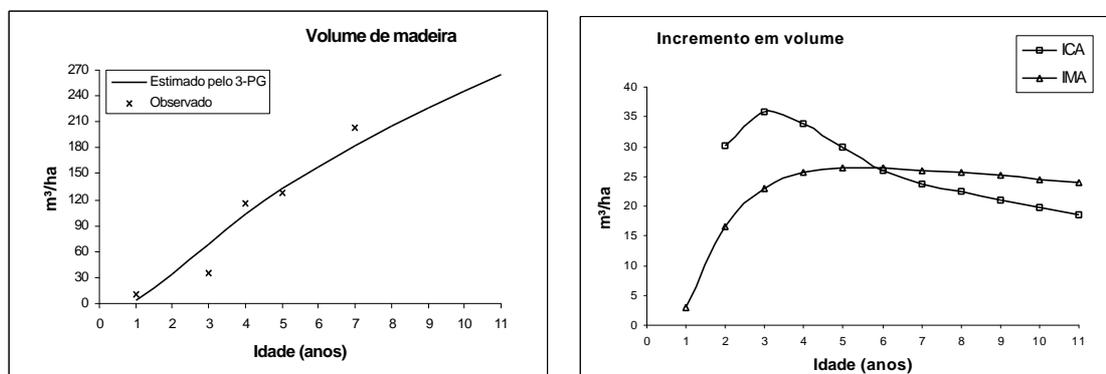


Figura 3 – Volume de madeira e incremento em volume de eucalipto no sistema agrissilvipastoril.

4.2. Rotação econômica

De posse dos dados de volume de madeira, calculados ano a ano até o final de ciclo (11 anos), verificou-se que a rotação econômica ótima ocorreu aos 7 anos, com B(C)PE de US\$ 17,82/ha/ano, considerando a venda de madeira para energia. Até essa idade, foram efetuadas apenas duas vendas de boi gordo, aos 5 e 7 anos, metade do que se teria com o ciclo de 11 anos.

Em uma outra situação, com venda de madeira para serraria a partir do oitavo ano, a rotação econômica ocorreu aos 11 anos, com B(C)PE de US\$ 21,02/ha/ano. Nota-se que a geração de receitas mais altas com a comercialização de madeira para serraria retardou a rotação econômica ótima. Por outro lado, as receitas geradas pela venda de arroz e soja no início do ciclo tenderam a antecipar a rotação. Em ambos os casos de venda de cultura agrícola, a influência das receitas na análise representou a tendência de elas forçarem uma nova ocorrência ao longo do ciclo, ou seja, a repetição das receitas mais vezes.

No caso específico de uso da madeira para energia, a diferença entre a rotação técnica e a rotação econômica representou um ganho financeiro de US\$ 28,30/ha/ano, com o corte sendo realizado aos 7 anos de idade, o que foi devido

principalmente à receita gerada com a segunda venda de boi gordo. Em volume de madeira, houve aumento de 14,98% dos 6 (158,4 m³/ha) para os 7 anos (182,14 m³/ha).

Essas considerações mostraram a viabilidade econômica do sistema agrissilvipastoril, conforme as condições estabelecidas neste trabalho e independentemente do uso final da madeira (energia e, ou, serraria), embora seja mais adequada a utilização de parte para serraria para obter retorno financeiro maior. A CMM, no entanto, está redirecionando o seu sistema de produção florestal para atender aos seus interesses comerciais. Com isto, as plantações florestais da empresa serão basicamente utilizadas para suprir a sua demanda por madeira para energia.

4.3. Determinação da biomassa florestal

A Figura 4 e a Tabela 3A trazem a biomassa de caule²⁶, folha, raiz, galho + casca e de litter de eucalipto. Na idade de 6 anos (idade técnica de corte), o percentual de biomassa total na madeira foi de 65,47%, na casca + galho de 7,24%, na raiz de 12,24%, na folha de 1,20% e no litter de 13,84%. Aos 7 anos (rotação econômica), os valores foram de 67,07, 7,25, 11,04, 0,97 e 13,67%, respectivamente. Em ambas as idades, a maior quantidade relativa de biomassa estava presente na madeira, depois no litter, seguido pela raiz, pela casca + galho e pela folha. Essa mesma seqüência foi encontrada por MARQUEZ (1997), para *Eucalyptus camaldulensis* com 7 anos de idade. Aos 6 e 7 anos, considerando o espaçamento 10 x 4 m do sistema agrissilvipastoril e as condições edafoclimáticas do cerrado, esperava-se maior quantidade de biomassa na raiz e folha, o que no entanto não ocorreu, devido às particularidades do sistema agrissilvipastoril, principalmente no que se refere ao efeito residual das adubações realizadas nas culturas agrícolas e pastagem, que indiretamente beneficiou o

²⁶ Neste caso, caule = madeira = fuste.

eucalipto. Com a disponibilidade de nutrientes no solo²⁷, a planta passou a alocar maior quantidade de biomassa no fuste. A proporção de biomassa total alocada para o sistema radicular aumenta para sítios de pior qualidade, como constataram REIS et al. (1985).

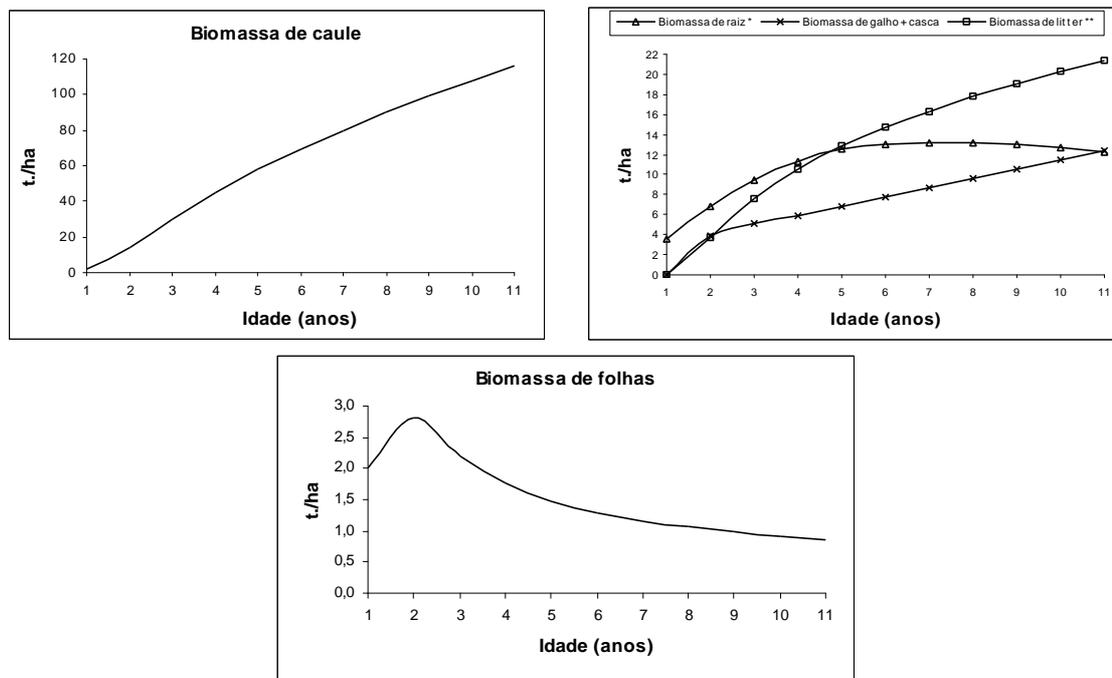


Figura 4 – Biomassa de eucalipto no sistema agrissilvipastoril. *Raiz = pivotante + raízes laterais; e **litter formado por material vegetal da folha de eucalipto.

A biomassa de madeira, litter e galho + casca aumentou com a idade, já a biomassa de folha diminuiu a partir do ano 2, o mesmo ocorrendo com a biomassa de raiz após o ano 7. PEREIRA et al. (1984), trabalhando com *Eucalyptus grandis*, constataram que a proporção de madeira na formação da biomassa total aumentou com a idade, diminuindo a de casca, galho e folha. Na região de cerrado a tendência da planta é alocar mais biomassa para o sistema radicular nos primeiros anos, mas à medida que as plantas crescem a contribuição das raízes para a formação da biomassa total diminui.

²⁷ As condições de fertilidade do solo foram verificadas pelos resultados da análise química e expressas no 3-PG de forma subjetiva, numa escala de 0 a 1, devendo-se ressaltar que quanto melhor o solo mais próximo de 1 é o valor.

A proporção de biomassa total na raiz no ano 1 foi de 46,67%, maior que na madeira, que foi apenas de 26,67%, como mostra a Tabela 7. No ano 2, a madeira passou a acumular maior quantidade de biomassa e a planta começou a alocar biomassa para a casca + galho e o litter. A partir do ano 2 até o ano 11, o aumento porcentual médio anual da biomassa total na madeira foi de 5,29%. A biomassa de casca + galho começou a aumentar sua participação porcentual na biomassa total a partir do ano 6, devido à diminuição da produção de biomassa de raiz e folha. O aumento relativo médio da biomassa total na casca + galho, a partir de então, foi de 0,89% por ano. No caso da biomassa de raiz e folha, a tendência foi sempre a diminuição da participação porcentual na biomassa total ao longo dos anos. No caso específico de folhas, LELES (1995) afirma que a proporção decresce, substancialmente, com o aumento da idade, o que ficou também constatado neste trabalho. A biomassa de litter apresentou aumento relativo na biomassa total até o ano 4, em função da diminuição da biomassa de folha²⁸. Após essa idade, o porcentual manteve-se em torno dos 13% até o final de ciclo. Aos 11 anos, 71,26% de toda a biomassa era madeira, 7,57% era casca + galho, 7,55% era raiz, 0,52% era folha e 13,10% era litter, o que pode ser constatado na Tabela 7.

Tabela 7 – Distribuição do valor relativo (%) da biomassa nos diferentes componentes do eucalipto no sistema agrissilvipastoril

Componente	Idade (anos)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Madeira	26,67	45,48	55,35	60,38	63,40	65,47	67,07	68,38	69,48	70,43	71,26
Casca + galho	0,00	12,21	9,36	7,96	7,41	7,24	7,25	7,32	7,40	7,49	7,57
Raiz	46,67	21,57	17,37	15,19	13,59	12,24	11,04	9,99	9,08	8,27	7,55
Folha	26,67	8,86	4,00	2,36	1,61	1,20	0,97	0,82	0,70	0,60	0,52
Litter	0,00	11,88	13,92	14,11	13,99	13,84	13,67	13,49	13,34	13,21	13,10
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

²⁸ Com a queda de folhas ocorre diminuição da biomassa de folhas e aumento da biomassa de litter sobre o solo.

Em plantios de *Eucalyptus grandis*, BELLOTE (1979) observou que o tronco representava 33% da matéria seca da parte aérea no primeiro ano e que, aos 7 anos, essa proporção aumentou para 95%. Para o presente estudo, a madeira representou 88,58 e 89,09% da biomassa da parte aérea aos 6 e 7 anos, respectivamente. Aqui, o cálculo não considerou a parte da biomassa de litter na biomassa total.

MORAIS (1988), MOLICA (1992), SOARES (1995), dentre outros, mostraram que em povoamentos de eucalipto a madeira contribui com o maior percentual de biomassa da parte aérea das árvores, seguida por casca, galhos e folhas. BELLOTE (1979) relatou que essa distribuição é variável de acordo com o porte da árvore. Árvore de grande diâmetro acumula grande proporção da biomassa no tronco e pouca biomassa nas folhas. Nas árvores com diâmetro pequeno é, grande a proporção de casca e de copa.

Com o aumento da idade há maior acúmulo de biomassa na madeira, independentemente do espaçamento, o que reduz a participação dos demais componentes, principalmente folhas, sendo a redução na proporção de folhas mais elevada para *Eucalyptus camaldulensis*, comparada às espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus pellita* (BERNARDO, 1995).

Os dados do trabalho de FERREIRA (1984), referentes ao litter de plantações em monocultivo de eucalipto com idades de 67 e 73 meses, mostraram uma proporção de biomassa de litter, em relação à biomassa total²⁹, de 30,6% (Carbonita-MG) e 24,6% (Bom Despacho - MG), respectivamente. A produção de litter foi de 22 t/ha, em Carbonita, e de 32 t/ha, em Bom Despacho. No presente estudo, a produção foi de 14,74 t/ha, na idade de 6 anos (72 meses), correspondendo a 13,84% da biomassa total, como mencionado anteriormente. Esses dados demonstraram a importância do litter na formação da biomassa total de eucalipto, tanto no sistema agrissilvipastoril como no monocultivo³⁰.

²⁹ Biomassa viva (parte aérea + raiz) + biomassa de litter (galhos + folhas).

³⁰ Refere-se aos dados das plantações em monocultivo de eucalipto apresentados no trabalho de FERREIRA (1984).

4.4. Fixação de C pelo eucalipto no sistema agrissilvipastoril

O CO₂ seqüestrado da atmosfera pelo processo da fotossíntese é fixado e usado para a construção dos tecidos das plantas. São formados os tecidos poucos duráveis, como folha e casca, e os tecidos duráveis, como a madeira, que consiste de duas substâncias básicas: a celulose e a lignina, que contêm moléculas baseadas em C, sendo estas de alta durabilidade. Os tecidos não-duráveis são logo decompostos e o C vai sendo liberado para a atmosfera, principalmente na forma de CO₂. Na madeira encontram-se átomos de diferentes elementos, na seguinte composição: C (45-51%), oxigênio (42%), hidrogênio (5-7%), nitrogênio (1-2%) e minerais (1-5%). Sabe-se que um átomo de C tem um peso atômico de 12 e o oxigênio de 16, assim 1 t de C corresponde a 3,66 t de CO₂ (NUTTO et al., 2002).

O interesse nas florestas plantadas para fixação de C tem aumentado em razão de estas apresentarem crescimento rápido, o que significa grande capacidade de remover CO₂ da atmosfera. As espécies do gênero *Eucalyptus*, de modo geral, possuem elevada eficiência fotossintética, representando um grupo de espécies bastante eficientes no seqüestro de C.

REIS et al. (1994) estudaram o seqüestro de C em plantações de eucalipto. Para uma situação de produtividade média de 35 m³/ha/ano, com densidade de madeira de 400 kg/m³, determinaram o seqüestro total de C de 10,32 t/ha/ano, sendo 65% provenientes da biomassa do tronco, 13% da copa e 22% de raízes. Segundo os autores, pode-se ainda acrescentar ao valor total pelo menos 20%, que é referente ao valor armazenado na biomassa viva, correspondendo à produção média de matéria orgânica morta ao longo de uma rotação de 7 anos, o que resultou na capacidade de seqüestro de 12,38 t/ha/ano.

Os dados do C fixado pelo eucalipto nos seus diferentes componentes, bem como do CO₂ seqüestrado para formação dos tecidos da planta, considerando o sistema agrissilvipastoril implantado na região do cerrado de Minas Gerais, encontram-se na Tabela 8. Na rotação técnica de volume de madeira (6 anos), a quantidade total de C fixado foi de 45,30 t/ha, referente ao somatório

Tabela 8 – Fixação de C e seqüestro de CO₂ pelo eucalipto no sistema agrissilvipastoril, em ³¹t/ha

Espç.	Idade (anos)	Componentes da Árvore					Litter	Parte Aérea ^{2/}	Raiz	Total ^{3/}	Total + litter
		Madeira	Folha	Raiz	Galho + casca	Total ^{1/}					
C fixado	1	0,9800000	1,0500000	1,7745000	0,0000000	3,8045000	0,0000000	2,0300000	1,7745000	3,8045000	3,8045000
	2	7,0888988	1,4791807	3,4781253	1,9512771	13,9974819	1,9273264	10,5193566	3,4781253	13,9974819	15,9248083
	3	14,8316938	1,1482415	4,8168860	2,5713478	23,3681691	3,8838906	18,5512831	4,8168860	23,3681691	27,2520597
	4	22,1169455	0,9264380	5,7575402	2,9889643	31,7898880	5,3796733	26,0323478	5,7575402	31,7898880	37,1695614
	5	28,5392479	0,7778775	6,3302455	3,4187255	39,0660962	6,5567999	32,7358508	6,3302455	39,0660962	45,6228961
	6	34,1541667	0,6707861	6,6052310	3,8749836	45,3051674	7,5168367	38,6999365	6,6052310	45,3051674	52,8220042
	7	39,2697643	0,6066363	6,6897054	4,3516062	50,9177121	8,3292793	44,2280067	6,6897054	50,9177121	59,2469914
	8	44,0896065	0,5660341	6,6658280	4,8368839	56,1583525	9,0523111	49,4925246	6,6658280	56,1583525	65,2106637
	9	48,6327980	0,5244881	6,5726073	5,3126863	61,0425797	9,7179263	54,4699724	6,5726073	61,0425797	70,7605060
	10	52,9042339	0,4839211	6,4261260	5,7689652	65,5832463	10,3295661	59,1571203	6,4261260	65,5832463	75,9128124
	11	56,9017765	0,4445865	6,2378549	6,2002059	69,7844238	10,8906633	63,5465689	6,2378549	69,7844238	80,6750870
Seqüestro de CO ₂	1	3,5868000	3,8430000	6,4946700	0,0000000	13,9244700	0,0000000	7,4298000	6,4946700	13,9244700	13,9244700
	2	25,9453697	5,4138013	12,7299386	7,1416741	51,2307836	7,0540147	38,5008451	12,7299386	51,2307836	58,2847983
	3	54,2839994	4,2025638	17,6298028	9,4111330	85,5274989	14,2150396	67,8976962	17,6298028	85,5274989	99,7425386
	4	80,9480206	3,3907630	21,0725971	10,9396094	116,3509901	19,6896044	95,2783930	21,0725971	116,3509901	136,0405946
	5	104,4536472	2,8470315	23,1686984	12,5125352	142,9819122	23,9978876	119,8132139	23,1686984	142,9819122	166,9797998
	6	125,0042503	2,4550772	24,1751453	14,1824401	165,8169128	27,5116225	141,6417675	24,1751453	165,8169128	193,3285353
	7	143,7273373	2,2202887	24,4843217	15,9268785	186,3588263	30,4851622	161,8745045	24,4843217	186,3588263	216,8439885
	8	161,3679599	2,0716848	24,3969303	17,7029952	205,5395703	33,1314588	181,1426400	24,3969303	205,5395703	238,6710291
	9	177,9960406	1,9196266	24,0557429	19,4444317	223,4158418	35,5676102	199,3600989	24,0557429	223,4158418	258,9834519
	10	193,6294962	1,7711514	23,5196213	21,1144127	240,0346815	37,8062119	216,5150603	23,5196213	240,0346815	277,8408934
	11	208,2605019	1,6271865	22,8305488	22,6927537	255,4109910	39,8598275	232,5804421	22,8305488	255,4109910	295,2708185

$$^{1/} \sum (\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot ^{2/} \sum (\text{madeira} : \text{folha} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot ^{3/} \sum (\text{parte aérea} : \text{raiz})$$

³¹ Uma t. C = 3,66 t. CO₂.

de madeira, folha, raiz, galho + casca. Com a inclusão do litter esse valor passou para 52,82 t/ha. Em termos de seqüestro de CO₂, foram retiradas 165,82 t/ha sem a inclusão do litter e 193,33 t/ha com a inclusão do litter. Na rotação econômica (7 anos), o total de C fixado foi de 50,92 t/ha, sem litter, e de 59,25 t/ha, com litter, correspondendo a 186,36 e 216,84 t/ha de CO₂ seqüestrado, sem e com litter, respectivamente. A contribuição do litter representou um aumento de 16,59% na fixação de C e no seqüestro de CO₂ total + litter na rotação técnica de volume de madeira e de 16,36% na rotação econômica.

A diferença de um ano de produção entre a rotação técnica de volume de madeira e a rotação econômica representou ganho de C de 5,61 t/ha (sem litter) e de 6,42 t/ha (com litter), e de CO₂ de 20,54 t/ha (sem litter) e de 23,52 t/ha (com litter). O aumento foi de 12,39%, sem litter, e de 12,16%, com litter. Embora o ganho relativo em C e CO₂ tenha sido menor com a inclusão do litter, a diferença absoluta aumentou do sexto para o sétimo ano, em comparação ao total sem litter. Com o preço da tonelada de C cotado atualmente a US\$ 10³² no mercado internacional, esperar mais um ano³³ para explorar a floresta significaria obter um ganho econômico expressivo de US\$ 64,20³⁴/ha.

É importante considerar que as plantações florestais que não se enquadram dentro dos conceitos de florestamento e reflorestamento estabelecidos na COP 7 continuam fora da categoria de projetos considerados projetos de MDL. Algumas empresas do setor florestal brasileiro, no entanto, estão incluindo suas florestas de eucalipto em projetos de MDL como meio de substituição de fonte energética³⁵ ou de substituição de fonte de C. Nestes casos, os projetos entram na categoria de substituição de uso de recursos de origem fóssil por fontes renováveis ou de baixo potencial emissor, atendendo a um dos interesses prioritários para o âmbito nacional de projetos de MDL. Uma outra forma seria substituir áreas de

³² Estimativas do Banco Mundial mostram preço da tonelada de C variando entre US\$ 5 e 15.

³³ Realizar a exploração da floresta na idade de rotação econômica (7 anos), e não na idade de rotação técnica (6 anos).

³⁴ Para determinar esse valor, multiplicou-se 6,42 t. de C por US\$ 10, que é o preço da tonelada de C cotado atualmente no mercado internacional.

³⁵ Substituição de carvão mineral (mais poluente) pelo carvão vegetal (menos poluente) no processo produtivo.

pastagens degradadas por plantações florestais, caracterizando assim mudança de uso da terra. Em ambas as situações, o importante é estabelecer uma linha de base³⁶ consistente e determinar criteriosamente a adicionalidade do projeto.

A participação média anual de C dos componentes raiz e litter na formação do C total fixado, considerando o ciclo de 11 anos, foi de 15,91 e 12,56%, respectivamente. Essa maior participação relativa apresentada pela raiz se deve aos altos valores de C registrados nos dois primeiros anos de idade (Tabela 8), comparados ao do litter, que começou a ser produzido somente no segundo ano. Nessa ocasião, a quantidade relativa de C alocada na raiz superou a alocada no litter em 80,46%. A produção relativa de C no litter passou a ser maior que na raiz a partir do ano 5. Até essa idade, a quantidade relativa média anual de C na raiz correspondeu a 23,10% do C total, no litter a 11,04% e na parte aérea a 65,86% (sendo 49,35% na madeira, 9,06% na folha e 7,44% na casca + galho).

O C no litter, em t/ha, aumentou com o tempo, ao contrário do que aconteceu com a raiz e com a folha. O incremento corrente anual médio relativo de C no litter foi de 23,9% (para o ciclo de 11 anos). Esse valor caiu para 14,2% quando o incremento porcentual do ano 2 para o ano 3 não foi considerado, por representar aumento maior que 100%³⁷. Para o ciclo de 6 anos, o incremento corrente anual médio relativo foi de 44,14%, e para o ciclo de 7 anos, de 37,47%. Excluindo-se o incremento porcentual do ano 2 para o ano 3, os valores médios foram de 25,01 e 21,46%, respectivamente.

No estudo desenvolvido por FERREIRA (1984) com *Eucalyptus grandis*, nos municípios de Bom Despacho e Carbonita no Estado de Minas Gerais, a quantidade relativa média de C alocado para produção de litter foi de 27,6% do total (biomassa morta + biomassa viva da parte aérea e raízes), o que elevaria o seqüestro total de CO₂ dos plantios. O autor concluiu que o C retido no litter deve, também, ser considerado no balanço de CO₂ em ecossistemas florestais.

³⁶ É um cenário que representa as emissões antropogênicas de fontes de GEE que ocorreriam na ausência do projeto. São apresentados dois cenários: 1^o) descrição das emissões antes do projeto; 2^o) reduções de emissões após a implantação do projeto.

³⁷ Esse valor foi considerado um outlier, pelo fato de os demais valores variarem somente de 5 a 38%.

No sistema agrissilvipastoril, a madeira foi a parte da árvore que mais contribuiu para a fixação de C (Tabelas 9 e 10). Independentemente da inclusão ou não do litter, a madeira sempre apresentou os maiores percentuais de C fixado, exceto no primeiro ano, quando a raiz e a folha foram os que mais contribuíram.

Na rotação técnica de volume de madeira (6 anos), 64,66% do C total estava alocado na madeira, 1,27% na folha, 12,50% na raiz, 7,34% no galho + casca e 14,23% no litter. Na rotação econômica (7 anos), esses valores foram de 66,28, 1,02, 11,29, 7,34 e 14,06%, respectivamente (Tabela 10). A partir do ano 6, a participação relativa de folha, raiz e litter na formação do C total diminuiu, em função da maior alocação de biomassa para a madeira e para a casca + galho. Aos 11 anos, a participação da folha restringiu-se a 0,55%, da raiz a 7,73% e do litter a 13,50% do C total.

Tabela 9 – Quantidade relativa (%) de C fixado pelos diferentes componentes da árvore de eucalipto no sistema agrissilvipastoril, não incluindo a parte do litter

Idade (anos)	Componentes da Árvore					Parte Aérea ^{2/}	Raiz	Total ^{3/}
	Madeira	Folha	Raiz	Galho + Casca	Total ^{1/}			
1	25,76	27,60	46,64	0,00	100	53,36	46,64	100
2	50,64	10,57	24,85	13,94	100	75,15	24,85	100
3	63,47	4,91	20,61	11,00	100	79,39	20,61	100
4	69,57	2,91	18,11	9,40	100	81,89	18,11	100
5	73,05	1,99	16,20	8,75	100	83,80	16,20	100
6	75,39	1,48	14,58	8,55	100	85,42	14,58	100
7	77,12	1,19	13,14	8,55	100	86,86	13,14	100
8	78,51	1,01	11,87	8,61	100	88,13	11,87	100
9	79,67	0,86	10,77	8,70	100	89,23	10,77	100
10	80,67	0,74	9,80	8,80	100	90,20	9,80	100
11	81,54	0,64	8,94	8,88	100	91,06	8,94	100

^{1/} $\sum (madeira : folha : raiz : (galho + casca)) \cdot$ ^{2/} $\sum (madeira : folha : (galho + casca)) \cdot$ ^{3/} $\sum (parte aérea : raiz) \cdot$

Tabela 10 – Partição (%) de C fixado pelos diferentes componentes da árvore de eucalipto no sistema agrissilvipastoril, incluindo a parte do litter

Idade (anos)	Componentes da Árvore						Parte Aérea ^{2/}	Raiz	Litter	Total ^{3/}
	Madeira	Folha	Raiz	Galho + Casca	Litter	Total ^{1/}				
1	25,76	27,60	46,64	0,00	0,00	100	53,36	46,64	0,00	100
2	44,51	9,29	21,84	12,25	12,10	100	66,06	21,84	12,10	100
3	54,42	4,21	17,68	9,44	14,25	100	68,07	17,68	14,25	100
4	59,50	2,49	15,49	8,04	14,47	100	70,04	15,49	14,47	100
5	62,55	1,71	13,88	7,49	14,37	100	71,75	13,88	14,37	100
6	64,66	1,27	12,50	7,34	14,23	100	73,26	12,50	14,23	100
7	66,28	1,02	11,29	7,34	14,06	100	74,65	11,29	14,06	100
8	67,61	0,87	10,22	7,42	13,88	100	75,90	10,22	13,88	100
9	68,73	0,74	9,29	7,51	13,73	100	76,98	9,29	13,73	100
10	69,69	0,64	8,47	7,60	13,61	100	77,93	8,47	13,61	100
11	70,53	0,55	7,73	7,69	13,50	100	78,77	7,73	13,50	100

^{1/} $\sum(\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca}) : \text{litter}) \cdot$ ^{2/} $\sum(\text{madeira} : \text{folha} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot$
^{3/} $\sum(\text{parte aérea} : \text{raiz} : \text{litter}) \cdot$

Nas idades de rotação técnica e rotação econômica de volume de madeira, a madeira fixou maior quantidade de C, seguida, em ordem decrescente, pelo litter, pela raiz, pelo galho + casca e pela folha. Essa seqüência mudou para madeira > raiz > litter > folha > galho + casca, considerando a média porcentual do ano 1 ao 6. No período de um a sete anos, houve somente a inversão da posição entre folha e galho + casca. Com esse tipo de informação, fica mais fácil estabelecer práticas de manejo e atividades silviculturais que permitam a otimização do uso do material vegetal disponível, visando o aumento da fixação de C pelo eucalipto no sistema agrissilvipastoril.

Na parte aérea encontrou-se a maior quantidade relativa de C fixado, com 88,25% desse C correspondendo à madeira, 1,73% à folha e 10,01% à casca + galho, na idade de 6 anos (Figura 5)³⁸. Esses valores mudaram muito pouco na idade de 7 anos, quando os percentuais de folha e casca + galho diminuíram para 1,37 e 9,84%, respectivamente, e o de madeira aumentou para 88,79%. Em

³⁸ A Figura 1A mostra os gráficos da fixação de C na madeira, na folha, no galho + casca e total, e a Figura 2A os gráficos do seqüestro de CO₂ pelo eucalipto no sistema agrissilvipastoril.

relação ao C total, a parte aérea deteve 73,26% do C fixado aos 6 anos, 74,65% aos 7 anos e 78,77% aos 11 anos (Tabela 10). O incremento corrente anual médio de C na parte aérea foi de 7,33 t/ha até 6 anos, de 7,03 t/ha até 7 anos e de 6,15 t/ha até 11 anos de idade. Embora tenha ocorrido diminuição do crescimento médio anual com o aumento da idade, não existe tendência de estabilização da produção de C na parte aérea, o que reflete a eficiência do aparelho fotossintético do eucalipto em converter energia em C, principalmente na madeira, apesar da pouca produção de folhas.

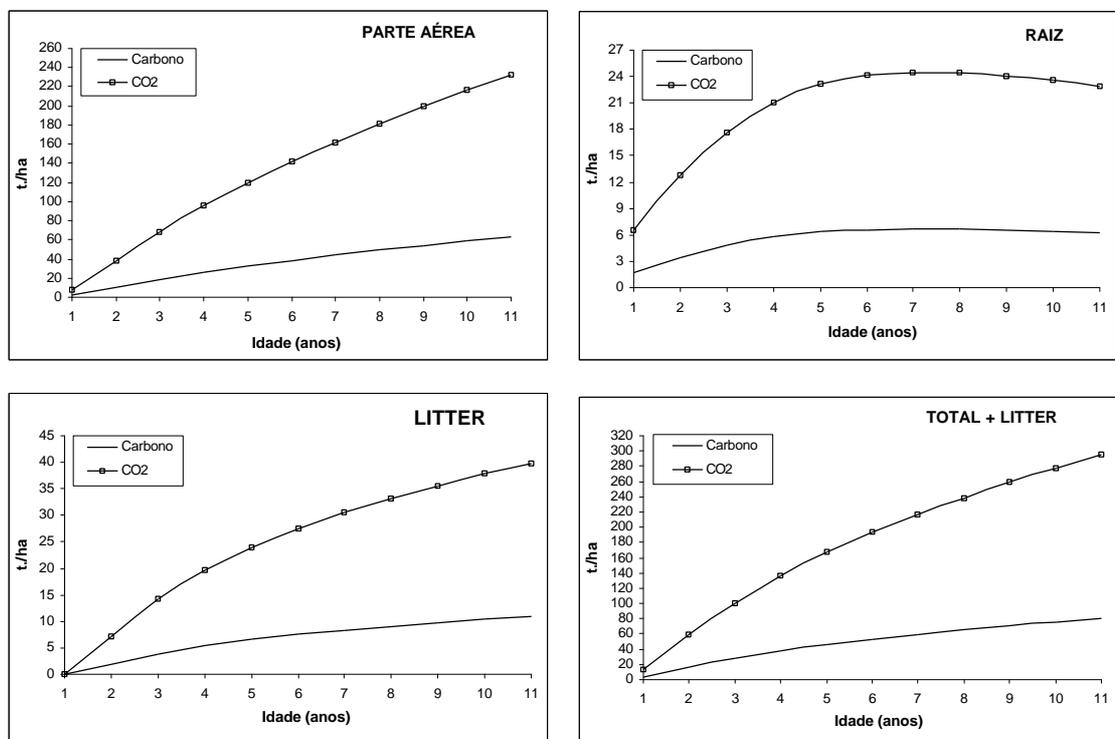


Figura 5 – Fixação de C e seqüestro de CO₂ pelos principais componentes do eucalipto no sistema agrissilvipastoril.

Com relação à raiz, a produção de C praticamente se estabilizou em 6 t a partir do ano 5, apresentando leve tendência de redução com o tempo. O C no litter e no galho + casca apresentou aumento gradativo ao longo dos anos, ao contrário do que ocorreu com o C na folha. A proporção de C alocada na folha diminuiu devido à arquitetura da copa do eucalipto, que é um híbrido de

Eucalyptus camaldulensis. Essa espécie possui galhos pendentes e folhas mais expostas ao sol, mesmo em espaçamentos mais reduzidos. Isto significa menor quantidade de folhas e maior eficiência fotossintética.

Essa eficiência fotossintética também é observada pela relação C de folha/madeira (F/MA). Quanto menor for o resultado dessa relação mais eficiente será a planta em converter energia em C. Na Figura 6 constatam-se valores baixos para a relação F/MA, o que significou alta capacidade de produzir C em madeira utilizando poucas folhas. A produção de menor quantidade de folhas implica uma menor fixação de C nesse componente da árvore. BERNARDO (1995) verificou que a espécie *Eucalyptus camaldulensis* foi mais eficiente em converter energia em madeira que as espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus pellita*, nos espaçamentos 3 x 1,5 m, 3 x 3 m e 4 x 3 m, aos 41 meses de idade. Vale lembrar que quanto maior a biomassa de madeira maior será a quantidade de C fixado e maior a eficiência da planta em sequestrar CO₂.

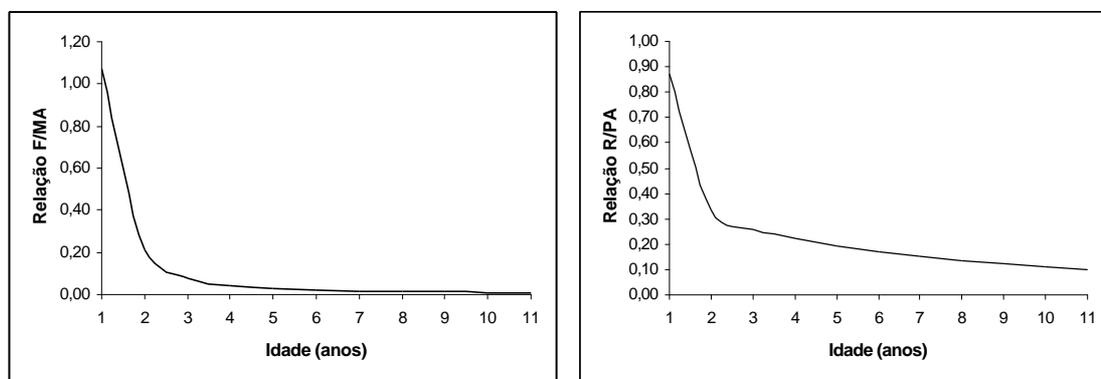


Figura 6 – Relação C de folha/madeira (F/MA) e raiz/parte aérea (R/PA) de eucalipto no sistema agrissilvipastoril.

A relação raiz/parte aérea (R/PA) diminuiu com o aumento da idade (Figura 6), assim como ocorreu com a relação F/MA. De modo geral, a relação R/PA foi baixa, exceto para o ano 1, que atingiu o valor de 0,87. Entretanto, foi possível manter as taxas de crescimento da parte aérea, o que pode estar associado à sensibilidade estomática com o aumento da temperatura na parte da tarde, o que certamente implicou maior capacidade de sequestro de CO₂ pela planta.

Quando a relação R/PA é alta, possivelmente o sistema radicular da planta é bem ramificado lateralmente e a raiz pivotante cresce a grandes profundidades.

Conhecer a distribuição de C entre os componentes da árvore de eucalipto no sistema agrissilvipastoril, ao longo do tempo, é de fundamental importância para o contexto atual de discussão sobre o enquadramento de projetos florestais e agroflorestais dentro do MDL. O trabalho de quantificar o C fixado pelo sistema agrissilvipastoril pode auxiliar na tomada de decisão sobre a melhor forma de garantir o máximo aproveitamento do sistema, no que diz respeito à fixação do recurso C e ao ganho econômico diante do mercado emergente de comercialização de créditos de C. Além disto, pode garantir o estabelecimento de linhas de base consistentes e a determinação mais precisa de adicionalidades, transmitindo a segurança necessária que todo projeto dessa natureza deve apresentar.

4.5. Comparação da fixação de C pelo eucalipto no sistema agrissilvipastoril e no monocultivo

No sistema agrissilvipastoril em estudo, o espaçamento de plantio adotado pela empresa foi de 10 x 4 m (40 m² por planta de eucalipto). Nos monocultivos, os espaçamentos comumente utilizados são 3 x 2 m e 3 x 3 m. Quando a produção de madeira se destina à serraria, o tamanho mínimo recomendável de área de plantio por planta é de 9 m², embora as condições específicas de cada lugar sejam muito importantes na tomada de decisão. Existe uma diferença significativa entre o espaçamento 10 x 4 m e os espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m com relação à densidade de plantio e à área ocupada por árvore. Para verificar o efeito do espaçamento sobre a fixação de C nos diferentes componentes do eucalipto, executou-se o modelo 3-PG para os espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m³⁹, mantendo-se inalterados os dados básicos da análise feita para o sistema agrissilvipastoril, exceção aos dados de fertilidade do solo, reajustados de acordo com as condições de fertilidade do solo, e de densidade de árvores e biomassa inicial de madeira, folha e raiz, reajustados de acordo com o espaçamento. A Tabela 4A mostra os

inputs obrigatórios do modelo 3-PG, relacionados principalmente com os fatores do local e os dados do povoamento florestal.

As Tabelas 11 e 12 trazem os dados da fixação de C e de seqüestro de CO₂ pelo eucalipto em monocultivo, plantado nos espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m, respectivamente¹. Na idade de rotação técnica de volume de madeira (6 anos), o total de C fixado foi de 48,02 t/ha no espaçamento 3 x 3 m, enquanto na rotação econômica (7 anos) o total foi de 54,4 t/ha. Comparado ao eucalipto no sistema agrissilvipastoril (Tabela 8), o total de C fixado no espaçamento 3 x 3 m foi 4,81 t/ha menor na rotação técnica. Na rotação econômica, o valor total fixado foi 4,85 t/ha menor. O espaçamento 3 x 2 m apresentou maior capacidade de fixação de C (51,61 t/ha na rotação técnica e 58,42 t/ha na rotação econômica) que o espaçamento 3 x 3 m, porém fixou menos que o sistema agrissilvipastoril, embora a diferença em favor desse sistema tenha sido de apenas 1,21 t/ha na rotação técnica e de 0,82 t/ha na rotação econômica. Com aumento da idade, mais precisamente a partir do ano 10, a fixação de C foi maior no espaçamento 3 x 2 m, comparado ao sistema agrissilvipastoril. Tal fato ocorreu devido à maior quantidade de C alocada na folha, na raiz e, principalmente, no litter. No ano 1, o eucalipto no espaçamento 3 x 2 m também fixou maior quantidade de C que no sistema agrissilvipastoril, sendo 12,73% a mais. A fixação de 0,37 e de 0,56 t a mais de C na folha e na raiz, respectivamente, foi a responsável por essa diferença. No caso do espaçamento 3 x 3 m, a quantidade de C fixado foi 6,79% maior que no sistema agrissilvipastoril, nessa idade, em função da maior quantidade de C na raiz (0,81 t a mais).

⁴⁰ As Figuras 3A e 4A trazem, respectivamente, os gráficos da fixação de C e do seqüestro de CO₂ pelo eucalipto, no espaçamento 3 x 2 m; e as Figuras 5A e 6A trazem esses mesmos gráficos, mas para o espaçamento 3 x 3 m.

Tabela 11 – Fixação de C e sequestro de CO₂ pelo eucalipto em monocultivo, plantado no espaçamento 3 x 2 m, em t/ha

Espç.	Idade (anos)	Componentes da Árvore					Litter	Parte Aérea ^{2/}	Raiz	Total ^{3/}	Total + Litter
		Madeira	Folha	Raiz	Galho + casca	Total ^{1/}					
C fixado	1	0,5390000	1,4175000	2,3322000	0,0000000	4,2887000	0,0000000	1,9565000	2,3322000	4,2887000	4,2887000
	2	5,0794296	2,1999014	4,0341737	1,3981543	12,7116591	2,8165582	8,6774854	4,0341737	12,7116591	15,5282173
	3	11,3176754	1,8115707	5,4334796	1,9621279	20,5248535	5,8524884	15,0913740	5,4334796	20,5248535	26,3773419
	4	17,3301562	1,4563363	6,3959739	2,3420602	27,5245266	8,2952202	21,1285527	6,3959739	27,5245266	35,8197467
	5	22,8874156	1,2310853	7,0225072	2,7416907	33,8826988	10,2729614	26,8601916	7,0225072	33,8826988	44,1556602
	6	27,9899270	1,0831129	7,4243313	3,1756157	39,6729870	11,9347930	32,2486556	7,4243313	39,6729870	51,6077799
	7	32,7654678	0,9858407	7,6551561	3,6308446	45,0373093	13,3851436	37,3821531	7,6551561	45,0373093	58,4224529
	8	37,2791211	0,9096434	7,7731475	4,0897344	50,0516464	14,6911015	42,2784990	7,7731475	50,0516464	64,7427479
	9	41,6177325	0,8529650	7,8123466	4,5463548	54,8293989	15,8900445	47,0170523	7,8123466	54,8293989	70,7194434
	10	45,8410227	0,8109429	7,7987325	4,9987543	59,4494524	17,0102998	51,6507198	7,7987325	59,4494524	76,4597521
	11	49,9862251	0,7789509	7,7506746	5,4466646	63,9625151	18,0714188	56,2118405	7,7506746	63,9625151	82,0339339
Sequestro de CO ₂	1	1,9727400	5,1880500	8,5358520	0,0000000	15,6966420	0,0000000	7,1607900	8,5358520	15,6966420	15,6966420
	2	18,5907125	8,0516391	14,7650757	5,1172449	46,5246722	10,3086031	31,7595965	14,7650757	46,5246722	56,8332753
	3	41,4226918	6,6303488	19,8865352	7,1813880	75,1209638	21,4201076	55,2344287	19,8865352	75,1209638	96,5410714
	4	63,4283717	5,3301907	23,4092643	8,5719405	100,7397672	30,3605058	77,3305029	23,4092643	100,7397672	131,1002730
	5	83,7679411	4,5057723	25,7023762	10,0345880	124,0106775	37,5990387	98,3083013	25,7023762	124,0106775	161,6097162
	6	102,4431327	3,9641933	27,1730527	11,6227535	145,2031322	43,6813423	118,0300795	27,1730527	145,2031322	188,8844745
	7	119,9216122	3,6081770	28,0178715	13,2888912	164,8365519	48,9896255	136,8186804	28,0178715	164,8365519	213,8261774
	8	136,4415832	3,3292950	28,4497197	14,9684280	183,1890260	53,7694313	154,7393062	28,4497197	183,1890260	236,9584573
	9	152,3209009	3,1218519	28,5931886	16,6396586	200,6756001	58,1575627	172,0824114	28,5931886	200,6756001	258,8331628
	10	167,7781429	2,9680511	28,5433610	18,2954406	217,5849956	62,2576972	189,0416346	28,5433610	217,5849956	279,8426928
	11	182,9495838	2,8509601	28,3674689	19,9347923	234,1028051	66,1413929	205,7353362	28,3674689	234,1028051	300,2441980

$$^{1/} \sum (\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot ^{2/} \sum (\text{madeira} : \text{folha} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot ^{3/} \sum (\text{parte aérea} : \text{raiz}) \cdot$$

Tabela 12 – Fixação de C e sequestro de CO₂ pelo eucalipto em monocultivo, plantado no espaçamento 3 x 3 m, em t/ha

Espç.	Idade (anos)	Componentes da Árvore					Litter	Parte aérea ^{2/}	Raiz	Total ^{3/}	Total + Litter
		Madeira	Folha	Raiz	Galho + casca	Total ^{1/}					
C fixado	1	0,6370000	0,8400000	2,5857000	0,0000000	4,0627000	0,0000000	1,4770000	2,5857000	4,0627000	4,0627000
	2	4,8273958	1,6943366	4,0275168	1,3287800	11,8780291	2,0749097	7,8505123	4,0275168	11,8780291	13,9529388
	3	10,8474263	1,5081030	5,3029444	1,8806015	19,5390753	4,5494696	14,2361309	5,3029444	19,5390753	24,0885449
	4	16,6836984	1,2513217	6,1769465	2,2546956	26,3666621	6,6149133	20,1897156	6,1769465	26,3666621	32,9815755
	5	22,0931138	1,0792283	6,7840526	2,6465411	32,6029358	8,3066905	25,8188832	6,7840526	32,6029358	40,9096263
	6	27,0879055	0,9625499	7,1497703	3,0732763	38,2735020	9,7421447	31,1237317	7,1497703	38,2735020	48,0156467
	7	31,6824510	0,8669518	7,3468933	3,5108321	43,4071281	10,9948100	36,0602348	7,3468933	43,4071281	54,4019381
	8	36,0087213	0,7974569	7,4218969	3,9503643	48,1784393	12,1125084	40,7565424	7,4218969	48,1784393	60,2909477
	9	40,1718231	0,7492480	7,4180505	4,3884025	52,7275241	13,1358811	45,3094737	7,4180505	52,7275241	65,8634053
	10	44,2294799	0,7150924	7,3723508	4,8230229	57,1399460	14,0919569	49,7675952	7,3723508	57,1399460	71,2319029
	11	48,2184591	0,6895361	7,3025366	5,2540429	61,4645748	14,9989572	54,1620382	7,3025366	61,4645748	76,4635319
Sequestro de CO ₂	1	2,3314200	3,0744000	9,4636620	0,0000000	14,8694820	0,0000000	5,4058200	9,4636620	14,8694820	14,8694820
	2	17,6682685	6,2012718	14,7407115	4,8633347	43,4735864	7,5941694	28,7328749	14,7407115	43,4735864	51,0677558
	3	39,7015804	5,5196571	19,4087765	6,8830016	71,5130155	16,6510588	52,1042390	19,4087765	71,5130155	88,1640743
	4	61,0623360	4,5798375	22,6076242	8,2521858	96,5019835	24,2105828	73,8943593	22,6076242	96,5019835	120,7125663
	5	80,8607967	3,9499756	24,8296326	9,6863402	119,3267451	30,4024873	94,4971125	24,8296326	119,3267451	149,7292324
	6	99,1417341	3,5229327	26,1681594	11,2481912	140,0810174	35,6562495	113,9128580	26,1681594	140,0810174	175,7372669
	7	115,9577705	3,1730436	26,8896294	12,8496454	158,8700889	40,2410045	131,9804595	26,8896294	158,8700889	199,1110934
	8	131,7919198	2,9186921	27,1641427	14,4583332	176,3330878	44,3317808	149,1689451	27,1641427	176,3330878	220,6648686
	9	147,0288727	2,7422478	27,1500647	16,0615532	192,9827384	48,0773248	165,8326737	27,1500647	192,9827384	241,0600632
	10	161,8798965	2,6172383	26,9828038	17,6522638	209,1322024	51,5765623	182,1493986	26,9828038	209,1322024	260,7087647
	11	176,4795603	2,5237023	26,7272838	19,2297971	224,9603436	54,8961832	198,2330597	26,7272838	224,9603436	279,8565268

^{1/} $\sum (\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot$ ^{2/} $\sum (\text{madeira} : \text{folha} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot$ ^{3/} $\sum (\text{parte aérea} : \text{raiz}) \cdot$

A madeira é o principal componente da árvore no que diz respeito à fixação de C, sendo por isto muito importante verificar a influência que o espaçamento pode ter no processo de conversão de energia lumínica em C na madeira. Os resultados mostraram que a redução do espaçamento acarretou em diminuição da quantidade de C fixado. No sistema agrissilvipastoril, a quantidade de C fixado foi 22,02% maior que no espaçamento 3 x 2 m e 26,09% maior que no espaçamento 3 x 3 m, na idade de rotação técnica de volume de madeira. Na rotação econômica (ano 7), as diferenças diminuíram um pouco, passando de 22,02 para 19,85% e de 26,09 para 23,95%. É verdade que o espaçamento 3 x 2 m fixou mais C que o espaçamento 3 x 3 m (Tabelas 11 e 12), o que ocorreu devido à necessidade da planta em também produzir biomassa na folha e na raiz, por causa da competição entre plantas. Com a planta produzindo maior quantidade de folha, tem-se, conseqüentemente, um acréscimo maior na produção de litter. A madeira no espaçamento 3 x 2 m representou 54,24 e 56,08% do C total na idade de 6 e 7 anos, respectivamente (Tabela 8A). No espaçamento 3 x 3 m, os valores foram de 56,41% (rotação técnica) e 58,24% (rotação econômica) (Tabela 12A). Essa menor participação relativa da madeira na formação do C total no espaçamento 3 x 2 m, em comparação ao espaçamento 3 x 3 m, se deve à participação do litter naquele espaçamento, que na idade de 6 anos representou 23,13% do C total e na idade de 7 anos, 22,91% (Tabela 8A). No sistema agrissilvipastoril a madeira teve a maior participação na formação do C total, em todas as idades.

O C da parte aérea no sistema agrissilvipastoril representou 73,26% do C total no ano 6 e 74,65% no ano 7 (Tabela 10). No espaçamento 3 x 3 m, constatou-se 64,82% de C aos 6 anos e 66,28% aos 7 anos (Tabela 12A), enquanto no espaçamento 3 x 2 m constatou-se 62,49% (6 anos) e 63,99% (7 anos) (Tabela 8A). Esses dados foram calculados, considerando a participação do litter na formação do C total⁴¹. A madeira foi o componente que mais contri-

⁴¹ Os dados com o percentual de C fixado pelos diferentes componentes da árvore de eucalipto, não incluindo a parte do litter, encontram-se nas Tabelas 7A e 11A, referindo-se, respectivamente, aos espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m.

buiu com a fixação de C na parte aérea do eucalipto, seguida pela casca + galho e por último pela folha. A Tabela 13 mostra a participação relativa desses componentes da árvore de eucalipto na formação do C na parte aérea. A participação da madeira aumentou com o tempo. Já em relação à folha e à casca + galho, houve redução da participação, sendo esta maior no sistema agrissilvipastoril, seguido pelo espaçamento 3 x 2 m e pelo espaçamento 3 x 3 m.

Tabela 13 – Participação porcentual da madeira, da folha e do galho + casca na formação do C na parte aérea do eucalipto no sistema agrissilvipastoril e nos espaçamentos 3 x 2 e 3 x 3 m

Especificação	Idade (anos)	Madeira (%)	Folha (%)	Casca + Galho (%)
Sistema Agrissilvipastoril	1	48,28	51,72	0,00
	2	67,39	14,06	18,55
	3	79,95	6,19	13,86
	4	84,96	3,56	11,48
	5	87,18	2,38	10,44
	6	88,25	1,73	10,01
	7	88,79	1,37	9,84
	8	89,08	1,14	9,77
	9	89,28	0,96	9,75
	10	89,43	0,82	9,75
	11	89,54	0,70	9,76
Espaçamento 3 x 3 m	1	43,13	56,87	0,00
	2	61,49	21,58	16,93
	3	76,20	10,59	13,21
	4	82,63	6,20	11,17
	5	85,57	4,18	10,25
	6	87,03	3,09	9,87
	7	87,86	2,40	9,74
	8	88,35	1,96	9,69
	9	88,66	1,65	9,69
	10	88,87	1,44	9,69
	11	89,03	1,27	9,70
Espaçamento 3 x 2 m	1	27,55	72,45	0,00
	2	58,54	25,35	16,11
	3	74,99	12,00	13,00
	4	82,02	6,89	11,08
	5	85,21	4,58	10,21
	6	86,79	3,36	9,85
	7	87,65	2,64	9,71
	8	88,18	2,15	9,67
	9	88,52	1,81	9,67
	10	88,75	1,57	9,68
	11	88,92	1,39	9,69

A fixação de C na parte aérea aumentou com o tempo nos espaçamentos 3 x 3 m e 3 x 2 m e no sistema agrissilvipastoril, devido, em grande parte, ao C presente na madeira.

Nos dois primeiros anos (ano 1 e ano 2) (Tabela 13), a folha apresentou maior participação porcentual que a casca + galho nos espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m. No sistema agrissilvipastoril, tal fato ocorreu somente no primeiro ano. Em todos os espaçamentos, ao longo tempo, observou-se redução da participação relativa do C da folha no C total da parte aérea, mostrando que o espaçamento não exerceu influência nessa redução, estando esse fato mais relacionado com as características genéticas da árvore.

O efeito do espaçamento ficou mais evidente sobre a fixação de C no litter. No espaçamento 3 x 2 m o eucalipto fixou maior quantidade que no espaçamento 3 x 3 m e no sistema agrissilvipastoril. Esse resultado era esperado, pelo fato de o eucalipto, no espaçamento 3 x 2 m, produzir maior quantidade de biomassa de folhas que no sistema agrissilvipastoril e no espaçamento 3 x 3 m.

O eucalipto no sistema agrissilvipastoril foi mais eficiente na conversão de energia em C que nos demais espaçamentos (Tabela 14, e Figura 7A). A relação C F/MA apresentou os maiores valores no espaçamento 3 x 2 m, que produziu maior quantidade de biomassa de folhas (Tabela 5A) que o espaçamento 3 x 3 m (Tabela 9A) e o sistema agrissilvipastoril (Tabela 3A). Embora com uma densidade de plantio de apenas 250 árvores de eucalipto por hectare, o sistema agrissilvipastoril conseguiu fixar maior quantidade de C na madeira que os espaçamentos 3 x 3 m (1.111 árvores/ha) e 3 x 2 m (1.666 árvores/ha), utilizando menor quantidade de folhas. Outro fato interessante é que com o aumento da idade a relação F/MA diminuiu tanto nos espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m como no sistema agrissilvipastoril, o que mostrou que, independentemente do espaçamento, a tendência da planta com o tempo é concentrar a fixação de C na madeira, sendo feito, porém, com maior eficiência nos espaçamentos mais amplos, como no caso do eucalipto no sistema agrissilvipastoril.

A relação C R/PA (Tabela 14, Figura 7A) também diminuiu com o aumento da idade nos espaçamentos 3 x 3 m e 3 x 2 m e no sistema agrissilvipastoril,

sendo este o que apresentou os menores valores, ou seja, as árvores neste sistema possuem mais C na parte aérea que na raiz, comparado aos espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m. Normalmente, nos espaçamentos mais reduzidos a contribuição das raízes para a biomassa total vai diminuindo, enquanto nos espaçamentos mais amplos grande parte dos fotoassimilados é alocada para a produção do sistema radicular. No presente trabalho ocorreu o inverso, a biomassa de raiz contribuiu mais com a biomassa total no menor espaçamento (3 x 2 m) (ver produção de biomassa e sua distribuição porcentual nas diferentes partes do eucalipto nas Tabelas 5A e 6A, respectivamente), seguido pelo espaçamento 3 x 3 m (ver produção de biomassa e sua distribuição porcentual nas diferentes partes do eucalipto nas Tabelas 9A e 10A, respectivamente), e, por, último, pelo sistema agrissilvipastoril (ver produção de biomassa e sua distribuição porcentual nas diferentes partes do eucalipto nas Tabelas 7 e 3A).

Tabela 14 – Relação C de folha/madeira (F/MA) e raiz/parte aérea (R/PA) de eucalipto no espaçamento 3 x 2 m e 3 x 3 m e no sistema agrissilvipastoril

Espç.	Idade	Espaçamento (m)		Sistema Agrissilvipastoril
		3 x 2	3 x 3	
Relação folha/madeira (F/MA)	1	2,62987013	1,31868132	1,07142857
	2	0,43310008	0,35098356	0,20866156
	3	0,16006562	0,13902865	0,07741809
	4	0,08403480	0,07500266	0,04188815
	5	0,05378874	0,04884908	0,02725641
	6	0,03869653	0,03553431	0,01963995
	7	0,03008780	0,02736379	0,01544792
	8	0,02440088	0,02214621	0,01283827
	9	0,02049523	0,01865108	0,01078466
	10	0,01769033	0,01616778	0,00914712
	11	0,01558331	0,01430025	0,00781323
Relação raiz/parte aérea (R/PA)	1	1,192026578	1,750643196	0,87413793
	2	0,464901238	0,513025986	0,33064050
	3	0,36003876	0,372498991	0,25965244
	4	0,302717084	0,305945196	0,22116869
	5	0,261446651	0,262755463	0,19337348
	6	0,230221422	0,229720858	0,17067808
	7	0,204781039	0,203739474	0,15125496
	8	0,183855805	0,182103203	0,13468353
	9	0,166159856	0,163719634	0,12066478
	10	0,150989813	0,148135564	0,10862811
	11	0,137883309	0,134827581	0,09816195

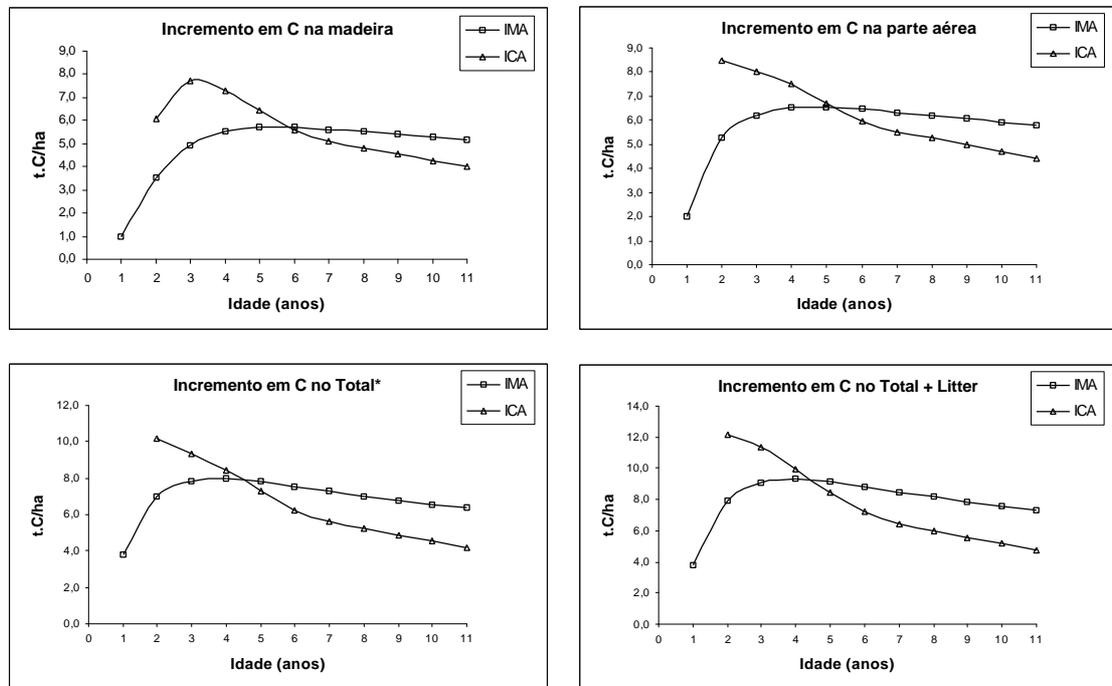
Atualmente, a madeira é o principal produto explorado comercialmente das florestas plantadas. No entanto, o C fixado na madeira pode se tornar, a médio prazo, um produto de alto preço no mercado internacional. Assim, um projeto de MDL com base na adicionalidade proveniente da fixação de C pela madeira terá um valor adicional com a comercialização de créditos de C, que poderá ser maior que o próprio valor da madeira. Neste contexto, o uso do sistema agrissilvipastoril garantirá maior retorno econômico, uma vez que conseguiu fixar maior quantidade de C na madeira que os espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m e, também, maior quantidade de C total + litter, exceto nos anos 1, 10 e 11, quando foi superado pelo espaçamento 3 x 2 m.

4.6. Incremento em C de eucalipto no sistema agrissilvipastoril e no monocultivo

As plantações florestais e agroflorestais poderão ser manejadas com base na sua produção de C. As decisões de quando explorar a floresta do ponto de vista técnico e econômico, considerando a fixação de C, poderão estar dentro das práticas mais comuns de manejo florestal. A nova perspectiva será associar a produção volumétrica de madeira com a produção de C, de modo a obter ganhos econômicos com a venda de dois produtos distintos em um mesmo produto, e ganhos ambientais locais e globais.

Para determinação da rotação técnica de C da plantação de eucalipto no sistema agrissilvipastoril e nos espaçamentos 3 x 3 m e 3 x 2 m, foram utilizados o IMA e o ICA em C. No sistema agrissilvipastoril, a rotação com base no C da madeira coincidiu com a rotação técnica baseada no volume de madeira, sendo em torno dos 6 anos de idade. Considerando o C da parte aérea, a rotação caiu para 5 anos, devido, principalmente, aos valores decrescentes do C fixado na folha ao longo do tempo. A contabilização do C presente no litter no C total praticamente não alterou a idade de rotação técnica de C, que ficou entre 4 e 5 anos, como mostra a Figura 7. O significado disso é que a contribuição do C do litter para a formação do C total, resultado do aumento do C fixado no litter ao

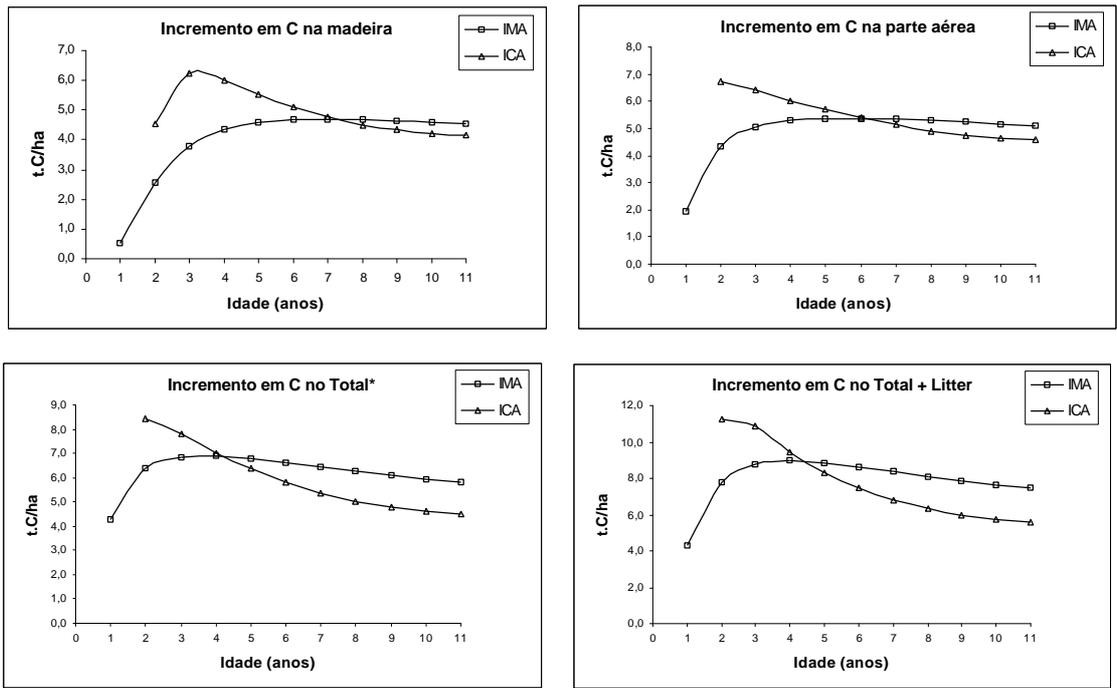
longo do tempo, não foi expressiva a ponto de aumentar consideravelmente os valores do ICA.



$$* \sum (\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot$$

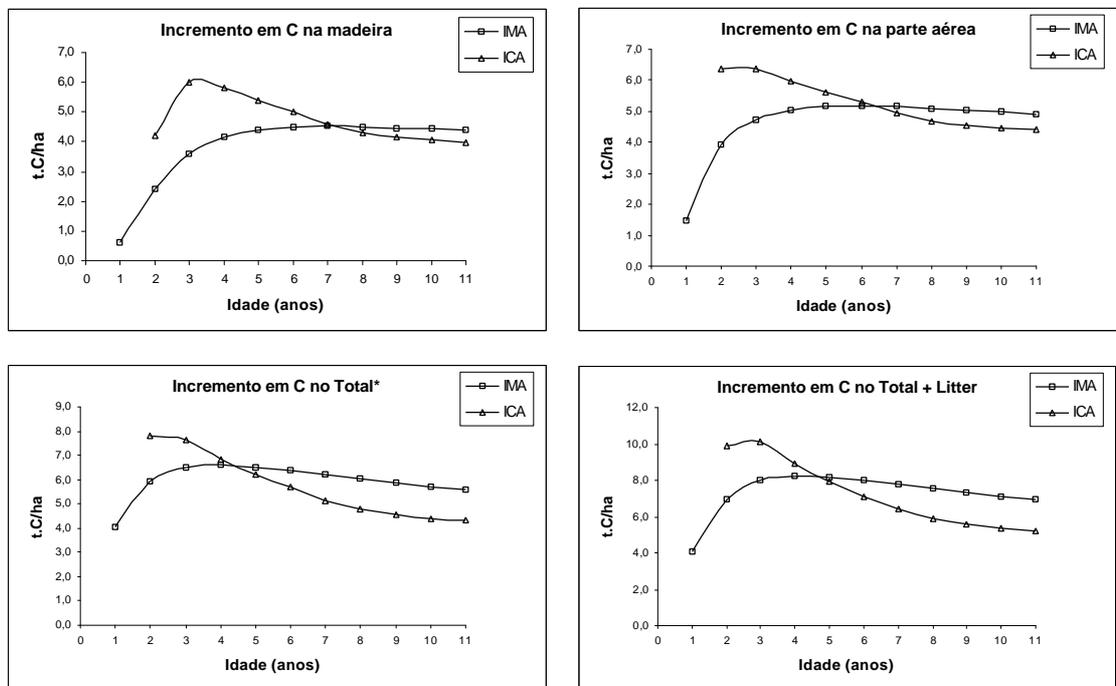
Figura 7 – Incremento em C de eucalipto no sistema agrissilvipastoril.

No espaçamento 3 x 2 m (Figura 8), a rotação técnica de C ocorreu aos 7 anos de idade, considerando o C presente na madeira. A rotação caiu para 6 anos, levando em conta o C na parte aérea. A redução foi mais acentuada em relação ao C total, incluindo o litter, ficando entre os anos 4 e 5. Nesse espaçamento, a inclusão do C do litter no C total também não alterou a rotação técnica de C. No espaçamento 3 x 3 m (Figura 9), foram encontrados esses mesmos valores (anos) para a rotação técnica de C, apesar de o eucalipto, no espaçamento 3 x 2 m, fixar maior quantidade de C na madeira e na parte aérea que naquele espaçamento. Essa diferença, na prática, não implicou mudança na idade de rotação, mostrando que a decisão de utilizar um desses espaçamentos está fundamentada na sua maior capacidade de fixar C, em cada ano.



$$* \sum (\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot$$

Figura 8 – Incremento em C de eucalipto no espaçamento 3 x 2 m.



$$* \sum (\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot$$

Figura 9 – Incremento em C de eucalipto no espaçamento 3 x 3 m.

A participação da raiz no C total foi de 13,88% na idade de rotação técnica (considerando a rotação determinada pelo C total com a inclusão do litter)⁴², no sistema agrissilvipastoril (Tabela 10). Nos espaçamentos 3 x 2 m (Tabela 8A) e 3 x 3 m (Tabela 12A), os valores foram de 15,90 e 16,58%, respectivamente. O C fixado na raiz praticamente se estabilizou logo nos primeiros anos, como mostraram as Tabelas 8 (sistema agrissilvipastoril), 11 (espaçamento 3 x 2 m) e 12 (espaçamento 3 x 3 m).

Para determinar a idade de rotação técnica, o gerente florestal pode optar pelo C na madeira ou pelo C total, com a inclusão do litter. Contudo, é importante estar ciente que os demais componentes da árvore, que não a madeira, provocaram a antecipação da rotação, principalmente por apresentarem baixo ICA. Optar pela madeira pode ser mais prático, pela dificuldade de determinar o C fixado em outros componentes da árvore e no litter, quando não se dispõe de ferramentas adequadas de coleta e análise de dados, e pelo aspecto do tempo de permanência do C estocado. Vale lembrar que, no ano 5, o C fixado na madeira, em relação ao C total + litter, foi de 62,55% no sistema agrissilvipastoril (Tabela 10), 51,83% no espaçamento 3 x 2 m (Tabela 8A) e 54% no espaçamento 3 x 3 m (Tabela 12A). Portanto, optar somente pelo C fixado na madeira pode implicar redução de 37,45% da quantidade total de C possível de ser fixado pelo sistema agrissilvipastoril e de 48,17 e 46% pelos espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m, respectivamente.

Uma outra questão importante diz respeito ao espaçamento mais indicado para obter o máximo em fixação de C. Neste trabalho, o sistema agrissilvipastoril, onde o eucalipto foi plantado no espaçamento 10 x 4 m, foi a melhor opção, considerando o C na madeira, uma vez que a rotação técnica de volume de madeira coincidiu com a rotação técnica de C e, nesse sistema, houve maior quantidade de C fixado na madeira que nos demais espaçamentos, mesmo na idade de 7 anos. O sistema agrissilvipastoril também foi a melhor opção quando a

⁴² A idade de rotação técnica com base no C total + litter ficou estabelecida entre os anos 4 e 5, conforme as curvas de ICA e IMA. Contudo, adotou-se o ano 5 como a idade ótima por esta melhor representar o momento de intervir na floresta, uma vez que verdadeiramente a curva do ICA, nessa idade, encontra-se abaixo da curva do IMA.

rotação técnica de C foi determinada pelo C total + litter, pois a idade de rotação técnica de C entre esse sistema e os demais espaçamentos foi a mesma (5 anos), e nessa idade o sistema agrissilvipastoril fixou maior quantidade de C que os espaçamentos 3 x 2 e 3 x 3 m.

4.7. Matéria seca de arroz, soja e pastagem no sistema agrissilvipastoril

A produção de matéria seca de soja foi menor que a de arroz e a de pastagem nos três pontos de amostragem e em todas as cinco parcelas, como mostra a Figura 10. No caso do arroz, somente em três parcelas, uma no ponto de amostragem 2 e duas no ponto 1, a produção de matéria seca foi maior que na pastagem. No ano 1⁴³, a produção estimada de matéria seca de arroz foi de 4,84 t/ha, 101,67% a mais que a produção de soja (2,4 t/ha no ano 2). Do ano 3 ao ano 11, a pastagem produziu 8,24 t/ha/ano de matéria seca, uma quantidade 70,25% a mais que no arroz e 243,33% que na soja. As estimativas feitas para a pastagem a céu aberto⁴⁴ mostraram uma produção de 7,11 t/ha de matéria seca, 15,89% a menos que no sistema agrissilvipastoril, o que indica que a presença das árvores não prejudicou a produção de matéria seca da forrageira no sub-bosque. No Amapá, MOCHIUTTI e MEIRELLES (2000) verificaram que árvores de eucalipto, além de não afetarem a produção de matéria seca, também não modificaram o teor de proteína bruta das pastagens.

No sistema agrissilvipastoril, a presença das árvores pode trazer uma série de vantagens, associadas principalmente aos efeitos do sombreamento, para os demais componentes do sistema (culturas agrícolas, pastagem e gado de corte), como por exemplo: a) reduções da temperatura do ar e do solo; b) diminuição nas taxas de evaporação e manutenção de maior teor de umidade no solo; c) aumento das atividades biológicas do solo; d) controle biológico de pragas; e) aumento na infiltração de água no solo; f) aumento dos teores de nutrientes no solo, principalmente N; g) ampliação da estação de pastejo; e h) maior ganho de peso

⁴³ Adotou-se o ciclo florestal como referência para idade. O ano 1 refere-se aos dados coletados exatamente um ano após o plantio das mudas, contabilizados de outubro de um ano a outubro de outro.

⁴⁴ Foram coletadas amostras de material vegetal de pastagem a céu aberto em quatro parcelas de 0,3 m x 0,3 m cada, distribuídas aleatoriamente em uma área correspondente a 1 ha de plantio.

animal. CARVALHO et al. (2002) concluíram que, entre outras coisas, o sombreamento proporcionado pelas árvores pode contribuir para a conservação e o melhoramento da fertilidade do solo, aumentar a produção e melhorar a qualidade das pastagens.

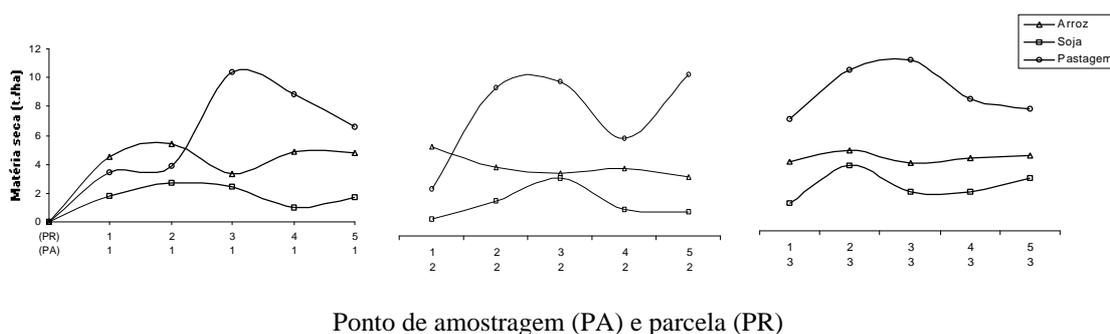


Figura 10 – Produção de matéria seca de arroz, soja e pastagem, conforme o escalonamento temporal do sistema agrissilvipastoril.

A produção de matéria seca de arroz e soja no monocultivo⁴⁵ aumentou em comparação à do sistema agrissilvipastoril. A diferença foi de 0,85 t/ha na produção de arroz e de 2,46 t/ha na de soja. Nas áreas de monocultivo de soja e arroz foram realizadas irrigações por meio de pivô central, daí o motivo de as plantas produzirem maior quantidade de matéria seca que no sistema agrissilvipastoril. A influência da irrigação também foi constatada na produtividade das culturas, sendo esta bem maior que nas áreas não-irrigadas.

Um aspecto muito importante relacionado ao sistema agrissilvipastoril é a influência que as árvores exercem sobre as culturas agrícolas e a pastagem, conforme a distância de plantio entre as culturas. Normalmente, espera-se que quanto mais próximo às árvores, menos as culturas produzam em termos de matéria seca e grãos, devido, principalmente, à competição e ao sombreamento.

⁴⁵ Para determinação da matéria seca de arroz e soja em monocultivo foram coletadas amostras em quatro parcelas, de 0,5 m x 1 m cada, distribuídas aleatoriamente em uma área correspondente a 1 ha de plantio de cada uma dessas culturas.

Pelos gráficos mostrados na Figura 10, constatou-se que não houve relação da distância com a produção de matéria seca. Este resultado, de certa forma, reforça o que já foi comentado anteriormente sobre as vantagens proporcionadas pelas árvores aos demais componentes do sistema agrissilvipastoril. O que ficou mais evidente em relação ao efeito da distância sobre a produção de matéria seca foi apenas os altos valores contabilizados na parcela 3 da pastagem, exatamente aquela do centro entre duas linhas de eucalipto⁴⁶. No trabalho desenvolvido por MACEDO et al. (1996), que estudaram o recobrimento do solo pelo capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. var. *Tanzânia*) em plantações de *Eucalyptus urophylla*, no espaçamento 10 x 4 m, verificou-se que o índice de recobrimento foi maior nas regiões centrais das entrelinhas de plantio, onde ocorreu maior incidência de luz, apresentando valores decrescentes à medida que se aproximou das linhas de plantio.

4.8. Fixação de C pelo sistema agrissilvipastoril

Até o momento, nenhum estudo avaliou a fixação de C em um sistema agrissilvipastoril, nem existe nada semelhante a isso no Brasil e no exterior. Portanto, este trabalho é pioneiro e pode marcar o início de uma série de outros trabalhos nessa área. Muitas discussões ainda deverão acontecer até que todas as diretrizes básicas sobre a comercialização de créditos de C e os projetos de MDL, sobretudo os de florestamento e reflorestamento para fixação de C, sejam definidas. Mas o importante é que iniciativas, como a deste trabalho, marquem o início da formação de uma base científica de conhecimentos sobre a fixação de C em plantações florestais e agroflorestais, podendo auxiliar nas atuais e futuras discussões sobre o assunto.

Os resultados da fixação de C e do sequestro de CO₂ pelo sistema agrissilvipastoril estão na Tabela 15. Os dados estão apresentados por componentes do sistema, conforme o seu escalonamento temporal. Os números mostraram a

⁴⁶ As considerações feitas sobre a relação distância e produção de matéria seca, indiretamente, podem também ser utilizadas para explicar a relação distância e fixação de C, pois na conversão de matéria seca para C usou-se um único fator.

fixação de C variando de 5,98 t/ha no ano 1 a 84,38 t/ha no ano 11, e o seqüestro de CO₂ variando de 21,90 (ano 1) a 308,85 (ano 11) t/ha. Nas idades de rotação com base no volume de madeira, os valores fixados de C foram de 56,23 t/ha aos 6 anos (rotação técnica) e de 62,96 t/ha aos 7 anos (rotação econômica). Com relação ao seqüestro de CO₂, os valores foram de 206,9 e 230,42 t/ha aos 6 e 7 anos, respectivamente. Até o presente momento, a empresa CMM maneja o sistema agrissilvipastoril com base no ciclo de corte de 11 anos. Sendo assim, o C fixado pelo sistema agrissilvipastoril, ao final desse ciclo, será 49,27 e 34,04% maior que nas idades de 6 e 7 anos, respectivamente.

Tabela 15 – Fixação de C e seqüestro de CO₂ pelo sistema agrissilvipastoril, em t/ha

	Idade (anos)	Arroz	Soja	Pastagem	Eucalipto ^{1/} + Litter	Total
Fixação de C	1	2,1788231	-----	-----	3,8045000	5,9833231
	2	-----	1,0806631	-----	15,9248083	17,0054714
	3	-----	-----	3,7093667	27,2520597	30,9614264
	4	-----	-----	∴	37,1695614	40,8789280
	5	-----	-----	∴	45,6228961	49,3322628
	6	-----	-----	∴	52,8220042	56,5313708
	7	-----	-----	∴	59,2469914	62,9563581
	8	-----	-----	∴	65,2106637	68,9200303
	9	-----	-----	∴	70,7605060	74,4698727
	10	-----	-----	∴	75,9128124	79,6221791
	11	-----	-----	3,7093667	80,6750870	84,3844537
Seqüestro de CO ₂	1	7,9744926	-----	-----	13,9244700	21,8989626
	2	-----	3,9552269	-----	58,2847983	62,2400252
	3	-----	-----	13,5762820	99,7425386	113,3188206
	4	-----	-----	∴	136,0405946	149,6168766
	5	-----	-----	∴	166,9797998	180,5560818
	6	-----	-----	∴	193,3285353	206,9048173
	7	-----	-----	∴	216,8439885	230,4202705
	8	-----	-----	∴	238,6710291	252,2473111
	9	-----	-----	∴	258,9834519	272,5597339
	10	-----	-----	∴	277,8408934	291,4171754
	11	-----	-----	13,5762820	295,2708185	308,8471005

^{1/} $\sum (\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot$

No ano 1, a participação do arroz na formação do C total do sistema agrissilvipastoril foi de 36,41%, como ilustram a Figura 11 e a Tabela 13A. No ano 2, a participação da soja foi de apenas 6,35%. A participação da pastagem

diminuiu ao longo do tempo, passando de 11,98% no ano 3 para 4,4% no ano 11. Em termos médios anuais, a redução da fixação de C na pastagem foi de 11,57%. Essa redução está associada ao aumento de C fixado pelo eucalipto, enquanto os valores fixados na pastagem mantiveram-se constantes ao longo do tempo. O eucalipto foi responsável por fixar a maior quantidade de C no sistema agrissilvipastoril, em todas as idades (Tabela 15, Figura 11).

A rotação técnica, calculada pelo C fixado nos diferentes componentes do sistema agrissilvipastoril, ocorreu aos 4 anos, como se observa na Figura 12, que traz também o C total fixado pelo sistema. Nessa idade, a quantidade de C fixado foi de 40,88 t/ha, sendo 9,07% desse total referente ao C na pastagem e 90,93% no eucalipto. A inclusão do C fixado pelas culturas agrícolas (arroz e soja) e pela pastagem na determinação da rotação técnica de C provocou a antecipação da rotação. Vale lembrar que no C fixado pelo eucalipto, além do C da madeira, conta-se também o C da folha, da raiz e do galho + casca. A contabilização do C desses componentes no cálculo da rotação técnica, com base somente no C do componente florestal, também causou a antecipação de rotação, como ilustra a Figura 7.

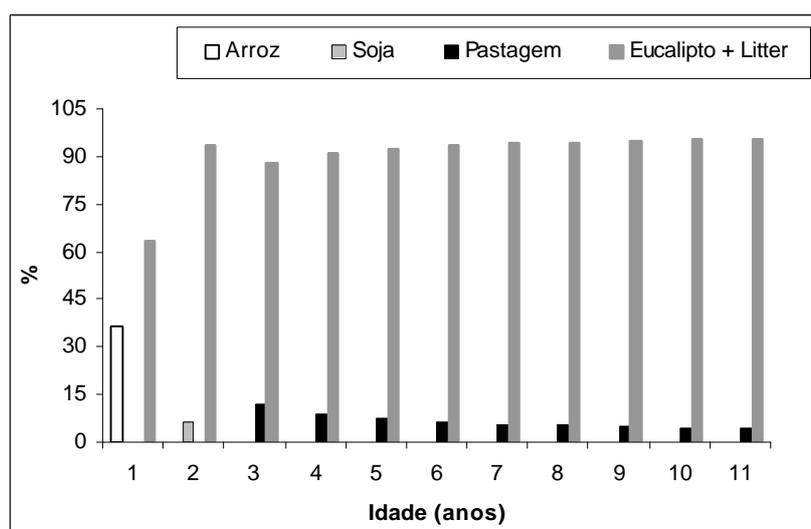


Figura 11 – Contribuição relativa (%) das culturas agrícolas, pastagem e eucalipto + litter na formação do C total fixado pelo sistema agrissilvipastoril.

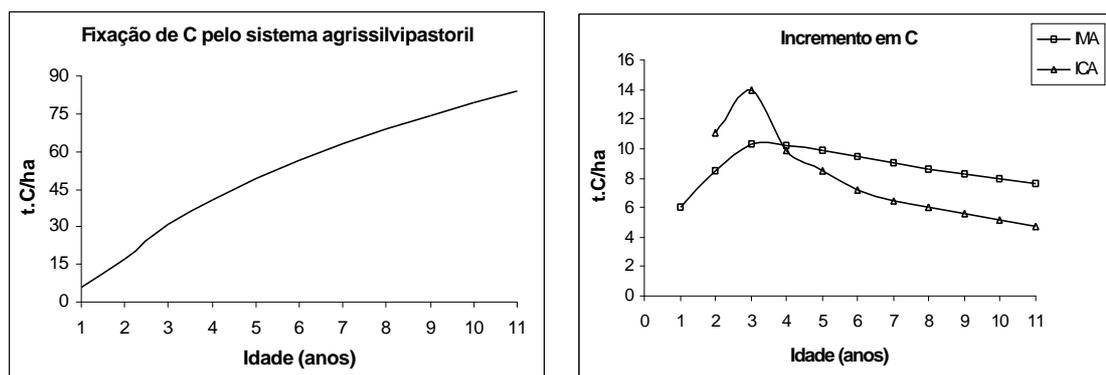


Figura 12 – Fixação de C pelo sistema agrissilvipastoril e incremento em C ao longo do ciclo de produção.

Em um outro cenário (2), onde o C fixado na madeira foi o único da parte florestal considerado na análise, a idade de rotação técnica de C ocorreu no ano 5 (Figura 13), um ano a mais que no cenário anterior (1)⁴⁷, que incluiu o C das demais partes do eucalipto.

Nesse novo cenário (2), na idade de 5 anos a quantidade de C fixado pelo sistema agrissilvipastoril foi de 32,25 t/ha (Tabela 16); 11,5% desse valor foi correspondente ao C fixado pela pastagem e 88,5% ao C fixado pela madeira de eucalipto (Figura 14, Tabela 14A). Em quantidade de CO₂, foram 118,03 t/ha nessa idade. Fazendo uma comparação do atual cenário (2) com o cenário anterior (1), percebeu-se redução de 34,62% no total de C fixado, aos 5 anos. Mas a redução foi maior aos 4 anos, 36,82%.

É importante destacar que a participação porcentual do arroz no ano 1 foi maior que a do eucalipto (Figura 14, Tabela 14A). Com a diminuição da quantidade de C fixado pelo componente florestal no cenário (2)⁴⁸, a soja e a pastagem aumentaram suas participações porcentuais no total de C fixado pelo sistema agrissilvipastoril. No caso específico da pastagem, os valores continuaram a decrescer com o tempo, a um valor médio anual de 13,47%. Esse valor aumentou

⁴⁷ C total do componente florestal formado pelo C da madeira, do litter, da folha, da raiz e do galho + casca.

⁴⁸ O C da folha, da casca + galho e da raiz não foi considerado, por isto a quantidade de C fixado pelo componente florestal diminuiu.

em relação ao cenário anterior (1), devido à maior diferença da participação porcentual da pastagem no C total entre os primeiros anos após o ano 3.

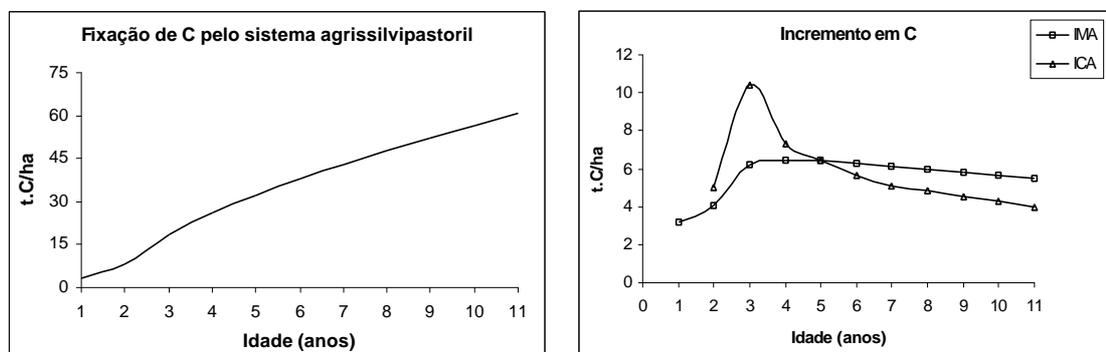


Figura 13 – Fixação de C pelo sistema agrissilvipastoril, considerando o total fixado pelas culturas agrícolas, pela pastagem e pelo total somente da parte da madeira de eucalipto. A figura traz também o incremento em C ao longo do ciclo de produção.

Tabela 16 – Fixação de C e sequestro de CO₂ pelo sistema agrissilvipastoril, em t/ha, considerando as culturas agrícolas, a pastagem e o eucalipto

	Idade (anos)	Arroz	Soja	Pastagem	Eucalipto ^{1/}	Total
Fixação de C	1	2,1788231	-----	-----	0,9800000	3,1588231
	2	-----	1,0806631	-----	7,0888988	8,1695619
	3	-----	-----	3,7093667	14,8316938	18,5410605
	4	-----	-----	⋮	22,1169455	25,8263122
	5	-----	-----	⋮	28,5392479	32,2486145
	6	-----	-----	⋮	34,1541667	37,8635334
	7	-----	-----	⋮	39,2697643	42,9791310
	8	-----	-----	⋮	44,0896065	47,7989732
	9	-----	-----	⋮	48,6327980	52,3421646
	10	-----	-----	⋮	52,9042339	56,6136006
	11	-----	-----	3,7093667	56,9017765	60,6111432
Sequestro de CO ₂	1	7,9744926	-----	-----	3,5868000	11,5612926
	2	-----	3,9552269	-----	25,9453697	29,9005966
	3	-----	-----	13,5762820	54,2839994	67,8602814
	4	-----	-----	⋮	80,9480206	94,5243026
	5	-----	-----	⋮	104,4536472	118,0299292
	6	-----	-----	⋮	125,0042503	138,5805323
	7	-----	-----	⋮	143,7273373	157,3036193
	8	-----	-----	⋮	161,3679599	174,9442419
	9	-----	-----	⋮	177,9960406	191,5723226
	10	-----	-----	⋮	193,6294962	207,2057782
	11	-----	-----	13,5762820	208,2605019	221,8367839

^{1/} Considerou-se apenas o C presente na madeira.

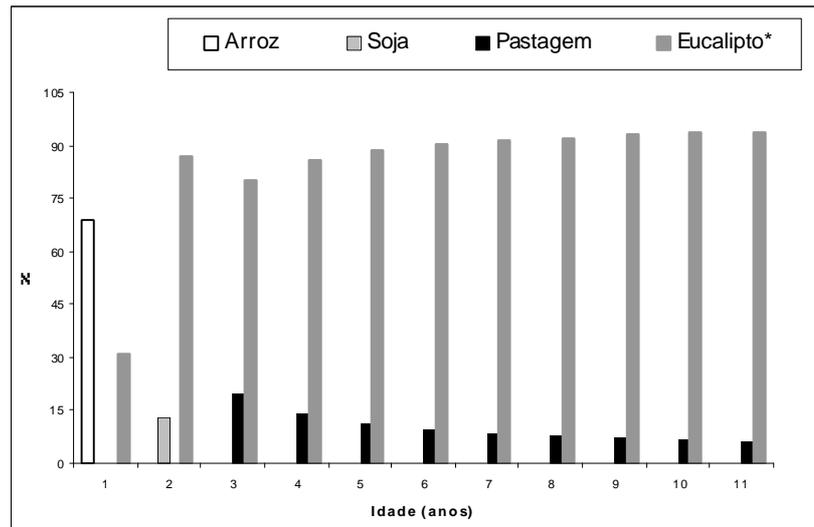


Figura 14 – Contribuição relativa (%) dos componentes do sistema agrissilvipastoril na formação do C total fixado. *Considerou-se somente o C fixado na madeira.

Nas idades de rotação técnica e econômica de volume de madeira, a quantidade de C fixado pelo sistema agrissilvipastoril, neste cenário (2), foi de 37,86 e 42,98 t/ha, respectivamente. A redução em relação ao cenário anterior (1) foi de 32,67% no ano 6 e de 31,73% no ano 7. Aos 11 anos, a quantidade total de C fixado pelo sistema agrissilvipastoril (cenário 2) foi de 60,61 t/ha (Tabela 16), 60,08% maior que na idade de 6 anos e 41,02% que na idade de 7 anos. Em comparação com o cenário (1), houve redução de 28,17%.

Em comparação com o C fixado nas idades de rotação de volume de madeira, referente ao cenário (2), houve aumento de 60,08% no ano 11 em relação ao ano 6 e de 41,02% em relação ao ano 7. Contudo, é importante ressaltar que a maximização da produção em C ocorreu em idades anteriores, como já demonstrado. Assim, o uso de qualquer outra idade de rotação resultará em uma menor média na taxa de produção anual de C.

4.9. Avaliação comparativa da fixação de C pelo sistema agrissilvipastoril, pela pastagem a céu aberto e pelos monocultivos florestal e agrícola

Atualmente, os espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m são os mais utilizados pelas empresas florestais para o plantio de eucalipto em monocultivo, mas outros espaçamentos, principalmente aqueles mais amplos, também estão sendo adotados. Os espaçamentos mais amplos normalmente são preferidos nas situações em que se pretende implantar uma atividade agroflorestal, como no caso do sistema agrissilvipastoril (espaçamento 10 x 4 m). Comparar a fixação de C de um sistema agrissilvipastoril com a de monocultivos de eucalipto, nos espaçamentos tradicionais, com base em conhecimento científico, pode ser importante para o gerente florestal na tomada de decisão da melhor opção de plantio para garantir o máximo em fixação de C, visando a comercialização de créditos no mercado internacional.

Essa discussão pode ser feita com base nos cenários (1) e (2) estabelecidos no item 4.8. deste trabalho. No cenário (1), o C do componente florestal inclui o C de todos os componentes da árvore e mais o do litter. Já no cenário (2), o C considerado foi somente o da madeira, trabalhando com a possibilidade de que na prática seja esse componente da árvore o único a ser efetivamente contemplado nas atividades de fixação de C, devido à praticidade da quantificação do C nessa parte da árvore.

No cenário (1), a quantidade de C fixado pelo sistema agrissilvipastoril foi 14,12% maior que no espaçamento 3 x 2 m e 23,94% que no espaçamento 3 x 3 m, na idade de 4 anos (idade de rotação técnica de C, determinada para o cenário (1), no sistema agrissilvipastoril). Em comparação com o C fixado nas idades de rotação técnica e rotação econômica, calculadas em função do volume de madeira, o sistema agrissilvipastoril, aos 6 anos, fixou 9,54 e 17,74% a mais de C que os espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m, respectivamente, e 7,76 e 15,72% a mais aos 7 anos. Aos 11 anos de idade, o sistema agrissilvipastoril fixou 2,87 e 10,36% a mais de C que os espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m, respectivamente.

No cenário (2), a quantidade de C fixado pelo sistema agrissilvipastoril foi menor que nos espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m, em todas as idades, o que já era esperado pelo fato de o C fixado pelas diferentes partes da árvore, exceto a madeira, representar, em média, 40,52% do C total fixado pelo eucalipto no sistema agrissilvipastoril. Na idade de 5 anos (idade de rotação técnica de C, determinada para o cenário (2), no sistema agrissilvipastoril), os espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m fixaram 36,92 e 26,86% a mais de C que o sistema agrissilvipastoril, respectivamente. Nas idades de rotação técnica e rotação econômica de volume de madeira, a diferença foi um pouco menor, sendo de 36,30 e 26,81% a mais aos 6 anos e de 35,93 e 26,58% aos 7 anos, para os espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m, respectivamente. Aos 11 anos, o sistema agrissilvipastoril fixou 26,11% a menos que o espaçamento 3 x 2 m e 20,73% a menos que o espaçamento 3 x 3 m.

A adição do C fixado pelas culturas agrícolas e pela pastagem ao C fixado pelo eucalipto contribuiu para aumentar a diferença da quantidade de C fixado pelo sistema agrissilvipastoril em relação aos espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m, fazendo, também, com que no cenário (1) o total de C fixado superasse o total fixado no espaçamento 3 x 2 m, nos anos 1, 10 e 11, que foram os únicos anos em que o eucalipto (com todos os seus componentes), no sistema agrissilvipastoril, não conseguiu fixar maior quantidade de C que o eucalipto no espaçamento 3 x 2 m.

Quando a comparação foi feita entre o sistema agrissilvipastoril, incluindo todos os seus componentes, e a pastagem a céu aberto, notou-se que esse sistema conseguiu fixar 1.177,67% a mais de C na idade de 4 anos (cenário 1) e 1441,87% a mais na idade de 5 anos (cenário 2). Em comparação com as culturas agrícolas, o aumento foi de 133,69% em relação ao monocultivo de arroz e de 677,99% em relação ao monocultivo de soja, nas idades correspondentes. Com isto, o sistema agrissilvipastoril mostrou o seu grande potencial em fixar C, sendo mais eficiente que os espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m (com o eucalipto plantado em monocultivo), a pastagem a céu aberto e as culturas de arroz e soja.

5. CONCLUSÕES

Neste estudo constatou-se que a rotação técnica com base no volume de madeira de eucalipto no sistema agrissilvipastoril ocorreu aproximadamente aos 6 anos de idade. Nesta ocasião, o volume determinado foi de 158,41 m³/ha. A rotação econômica ocorreu aos 7 anos, com US\$ 17,82/ha/ano, segundo o critério B(c)PE, considerando a venda da madeira para energia. A rotação econômica se estendeu para 11 anos quando parte da madeira se destinou ao uso em serraria. De acordo com o volume calculado e as especificações técnicas da análise, o sistema agrissilvipastoril mostrou-se viável economicamente mesmo no cenário onde toda madeira foi vendida para energia.

Nas idades de rotação técnica e rotação econômica de volume de madeira, a madeira de eucalipto no sistema agrissilvipastoril apresentou maior quantidade de biomassa que, em ordem decrescente, o litter, a raiz, a casca + galho e a folha. Com o aumento da idade, a biomassa de madeira, casca + galho e litter aumentou, ocorrendo o inverso com a biomassa de folha a partir do ano 2 e de raiz após o ano 7.

A quantidade de C fixado pelo eucalipto no sistema agrissilvipastoril variou de 3,80 (ano 1) a 80,67 t/ha (ano 11), devendo ser ressaltado que na idade de rotação técnica de volume de madeira o total fixado foi de 52,82 t/ha e na

idade de rotação econômica de 59,25 t/ha. Em termos de CO₂, os números foram de 193,33 t/ha seqüestradas na rotação técnica e de 216,84 t/ha na rotação econômica.

O litter de eucalipto apresentou grande potencial de fixação de C ao longo do tempo, no sistema agrissilvipastoril. Em números, representou um aumento de 16,57% e de 16,36% no C total, na rotação técnica de volume de madeira e na rotação econômica, respectivamente.

A madeira foi a parte da árvore de eucalipto que mais contribuiu para a fixação de C no sistema agrissilvipastoril, em todas as idades ao longo do ciclo de produção de 11 anos, incluindo, portanto, as idades de rotação técnica e rotação econômica de volume de madeira. Nessas idades, depois da madeira, o litter foi o componente que mais fixou C, seguido pela raiz, pela casca + galho e pela folha.

A maior quantidade do C fixado pelo eucalipto no sistema agrissilvipastoril encontrou-se na parte aérea, correspondendo a 73,26% do C total fixado (parte aérea + raiz + litter) na rotação técnica de volume de madeira e a 74,65% do fixado na rotação econômica. A participação da raiz foi de 12,50 e 11,29%, respectivamente.

A fixação de C pelo eucalipto no sistema agrissilvipastoril foi maior que nos espaçamentos 3 x 3 m, exceto para o ano 1, e nos espaçamentos 3 x 2 m, exceto para os anos 1, 10 e 11. O sistema agrissilvipastoril fixou maior quantidade de C na madeira que os espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m, em todas as idades. Na parte aérea, a quantidade de C fixado também foi maior no sistema agrissilvipastoril, nas idades de rotação técnica e rotação econômica de volume de madeira.

A rotação técnica com base no C fixado pelo eucalipto ficou assim definida: a) sistema agrissilvipastoril (C na madeira): aproximadamente aos 6 anos de idade, coincidindo com a rotação técnica de volume de madeira; b) sistema agrissilvipastoril (C parte aérea): 5 anos; c) sistema agrissilvipastoril (C total + litter): 5 anos; d) espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m (C na madeira): 7 anos; e) espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m (C na parte aérea): 6 anos; e f) espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m (C total + litter): 5 anos. Portanto, o sistema

agrossilvipastoril foi considerado o mais indicado para projetos de fixação de C, pois na idade de 5 anos o eucalipto nesse sistema fixou maior quantidade de C que nos espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m.

A fixação de C pelas culturas agrícolas (arroz e soja) e pela pastagem não foi influenciada pela distância entre as linhas de plantio de eucalipto e as linhas de plantio daquelas culturas.

No sistema agrossilvipastoril, considerando todos os seus componentes, a idade técnica de corte com base no C total, incluindo o litter, ocorreu aos 4 anos de idade. A rotação passou para 5 anos, quando somente o C na madeira foi considerado na análise. As culturas agrícolas e a pastagem provocaram a antecipação da rotação técnica de C no sistema agrossilvipastoril.

Esse sistema fixou mais C que o eucalipto em monocultivo, plantado nos espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m, que os monocultivos de arroz e soja e que a pastagem a céu aberto, sendo, então, uma ótima opção para projetos de MDL no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELLOTE, A. F. J. **Concentração, acúmulo e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill (ex-Maiden) em função da idade.** 1979. 129 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1979.

BERNARDO, A. L. **Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp sob diferentes espaçamentos na região de Cerrado de Minas Gerais.** 1995. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

CARVALHO, M. M.; XAVIER, D. F.; ALVIM, M. J.; AROEIRA, L. J. **Sistemas silvipastoris – consórcio de árvores e pastagens.** Viçosa: CPT, 2002. 128 p.

COSTA, P. M. Breve história da evolução do mercado do carbono. **Revista Silvicultura**, n. 76, p. 25-33, 1998.

COUTO, L.; DANIEL, O.; GARCIA, R.; BOWERS, W.; DUBÉ, F. Sistemas agroflorestais com eucaliptos no Brasil: uma visão geral. Viçosa: SIF, 1998. 49 p. (Documento SIF, 17).

DEWAR, R. C.; CANNELL, M. G. R. Carbon sequestration in the trees, products and soils of forest plantations: an analysis using UK examples. **Tree Physiology**, v. 11, n. 1, p. 49-71, 1992.

DUBÊ, F. **Estudos técnicos e econômicos de sistemas agroflorestais com *Eucalyptus* sp. no Noroeste do Estado de Minas Gerais: o caso da Companhia Mineira de Metais.** 1999. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

DUBÊ, F.; COUTO, L.; GARCIA, R.; ARAÚJO, G. A. A.; LEITE, H. G.; SILVA, M. L. Avaliação econômica de um sistema agroflorestal com *Eucalyptus* sp. no noroeste de Minas Gerais: o caso da Companhia Mineira de Metais. **Revista Árvore**, v. 24, n. 4, p. 437-443, 2000.

ETCHECOIN, C. Protocolo de Quioto: passaporte das futuras gerações. **Cenbio Notícias**, v. 3, n. 8, 2000.

FERREIRA, M. G. M. **An analysis of the future productivity of *Eucalyptus grandis* plantations in the “Cerrado” region in Brazil: a nutrient cycling approach.** Vancouver, The University of British Columbia, 1984. 230 p.

FRANCO, M. Eucalipto e boi fazem boa dobradinha. **DBO Rural**, v. 17, n. 213, p. 68-74, 1998.

FUJIHARA, M. A. **Consultor em MDL.** Entrevista concedida em São Paulo, em 24/02/2002.

GARLIPP, R. **Conclusões de Marrakesh.** Disponível em www.sbs.org.br. Acesso em novembro de 2001.

GAZETA MERCANTIL. **Um mecanismo de desenvolvimento limpo.** Disponível em www.forumclima.org.br. Acesso em 25/03/2002.

GOLFARI, L. Zoneamento ecológico do estado de Minas Gerais para reflorestamento. Belo Horizonte: PNUD/FAO/IBDF, CPFRC, 1975. 65 p. (Série Técnica, 3).

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2001 – Impacts, Adaptation, and Vulnerability.** Contribution of working group II to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. McCarthy, J. J. et al. (Eds) Cambridge University Press, Cambridge: United Kingdom and New York. 2001.

JÚNIOR, V. B. L.; REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. Determinação da taxa de desconto a ser usada na análise econômica de projetos florestais. **Revista Cerne**, v. 3, n. 1, p. 45-66, 1997.

LADEIRA, B. C. **Crescimento, produção de biomassa e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp., sob três espaçamentos, em uma seqüência de idades.** 1999. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

LANDSBERG, J. J.; WARING, R. H. A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecology and Management**, v. 95, p. 209-228, 1997.

LELES, P. S. S. **Crescimento, alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos.** 1995. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

MACEDO, R. L. G.; GOMES, L. J.; SILVEIRA, V. P. Influência do *Eucalyptus urophylla* sobre o estabelecimento inicial do capim-tanzânia (*Panicum maximum* var. Tanzânia) em sistema silvopastoril. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS, 4., 1996, Belo Horizonte. **Resumos...**Belo Horizonte: BIOSFERA, 1996. p. 303.

MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; GOMES, J. E.; TELLES, L. Caracterização do sistema integrado de produção agro-silvi-pastoril-rotativo (Voisin) com clones de *Eucalyptus* para usos múltiplos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 3., 2000, Manaus. **Anais...**Manaus: EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 2000. p. 345-348.

MARQUES, L. C. T. **Comportamento inicial de paricá, tatajuba e eucalipto, em plantio consorciado com milho e capim-marandu, em Paragominas, Pará.** 1990. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

MARQUEZ, C. E. C. **Estudo silvicultural e econômico de povoamentos de eucalipto na região de Cerrado de Minas Gerais.** 1997. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

MIGUEZ, J. D. G. Compromisso do Brasil: políticas, comunicações e inventário de emissões. In: MOREIRA, A. G.; SCHWARTZMAN, S. **As mudanças climáticas globais e os ecossistemas brasileiros**, 2000. p. 34-49.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA – MCT. Emissões e remoções de dióxido de carbono por mudanças nos estoques de florestas plantadas. Brasília: MCT/FBDS, 2002. 46 p. (Relatório de referência do primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa).

MOCHIUTTI, S.; MEIRELLES, P. R. L. Estabelecimento de clones de eucalipto em pastagens na região de cerrados do Amapá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 3., 2000, Manaus. **Anais...** Manaus: EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 2000. p. 171-173.

MOLICA, S. G. **Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto, em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais.** 1992. 84 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

MORAIS, E. J. **Crescimento e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais.** 1988. 56 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo.** 2000. 191 f. Tese (Doutorado pelo Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2000.

NORDHAUS, W. D. From porcopolis to carbopolis. In: KOSOBUD, R. F.; SCHREDER, D. L.; BIGGS, H. M. **Emissions trade – environmental policy's new approach.** John Wiley & Sons Inc. 2000.

NUTTO, L.; WATZLAWICK, L. F.; GRAMMEL, R.; FENNER, P. T. O mercado internacional de CO₂: o impacto das florestas naturais e das plantações. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R. et al. **As florestas e o carbono.** Curitiba: 2002. p. 89-108.

OLIVEIRA, A. D.; MACEDO, R. L. G. Sistemas agroflorestais: considerações técnicas e econômicas. Vazante: CMM, 1996. 32 p. (Projeto de Consultoria).

OLIVEIRA, A. D.; MACEDO, R. L. G.; SILVEIRA, V. P. Análise econômica de um sistema agro-silvo-pastoril-rotativo com *Eucalyptus*. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS, 4., 1996, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: BIOSFERA, 1996. p. 91.

OLIVEIRA, A. D.; SCOLFORO, J. R. S.; SILVEIRA, V. P. Análise econômica de um sistema agro-silvo-pastoril com eucalipto implantado em região de cerrado. **Revista Ciência Florestal**, v. 10, n. 1, p. 1-19, 2000.

PACIORNIK, N.; MACHADO FILHO, H. O. Política e instrumentos legais internacionais da Convenção das Nações Unidas sobre a mudança no clima. In: MOREIRA, A. G.; SCHWARTZMAN, S. **As mudanças climáticas globais e os ecossistemas brasileiros**. 2000. p. 13-22.

PEREIRA, A. R.; BARROS, N. F.; ANDRADE, D. C.; CAMPOS, P. T. A. Concentração e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* em função da idade, cultivado na região do Cerrado. **Brasil Florestal**, n. 59, p. 27-37, 1984.

POTTIER, D. Ganaderia bajo los árboles: un experimento agrosilvícola. **Unasylva**, v. 36, n. 143, p. 23-27, 1984.

REIS, M. G. F.; KIMMINS, J. P.; REZENDE, G. C.; BARROS, N. F. Acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no Cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, v. 9, n. 2, p. 149-162, 1985.

REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; VALENTE, O. F.; FERNANDES, H. A. C. Seqüestro e armazenamento de carbono em florestas nativas e plantadas dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO₂. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 155-195.

REZENDE, D.; MERLIN, S.; SANTOS, M. **Seqüestro de carbono** – uma experiência concreta. 2. ed. Palmas: Instituto Ecológica, 2001. 178 p.

RIBEIRO, L. S.; OLIVEIRA, A. S.; NOVAES, E. S.; LA ROVERE, E. L.; PEREIRA, A. S.; DUBEUX, C. B. S.; COSTA, C. V.; OLIVEIRA, L. B.; MUYLAERT, M. S. Proposta de critérios e indicadores de elegibilidade para avaliação de projetos candidatos ao mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R. et al. **As florestas e o carbono**, 2002. p. 35-58.

ROCHA, M. T. O aquecimento global e os instrumentos de mercado para a solução do problema. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R. et al. **As florestas e o carbono**, 2002. p. 1-34.

SANDOR, R. L.; WALSH, M. L. Some observations on the evolution of the international greenhouse gas emissions trading market. In: KOSOBUD, R. F.; SCHREDER, D. I.; BIGGS, H. M. **Emissions trade – environmental policy's new approach**. John Wiley & Sons Inc. 2000.

SANDS, P. J.; LANDSBERG, J. J. Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. **Forest Ecology and Management**, v. 163, p. 273-292, 2002.

SCARPINELLA, G. D. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto**. 2002. 182 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SELING, I.; KAISER, B.; SPATHELF, P. Chancen der Vermarktung von zertifiziertem Holz auf dem inländischen Markt Tropenländern am Beispiel Brasiliens. **Forstarchiv**, v. 73, p. 23-29, 2002.

SILVA, M. Mudanças climáticas: desafios e oportunidades. In: MOREIRA, A. G.; SCHWARTZMAN, S. **As mudanças climáticas globais e os ecossistemas brasileiros**. 2000. p. 9-10.

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

STAPE, J. L. **Production ecology of clonal eucalyptus plantations in Northeastern Brazil**. 2002. 225 f. Degree (Doctor of Philosophy – Department of Forest Sciences) –Colorado State University, Fort Collins, 2002.

YU, C. M. Caracterização e tipologia dos projetos de seqüestro de carbono no Brasil. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R. et al. **As florestas e o carbono**. 2002. p. 59-87.

APÊNDICE

Tabela 1A – Fluxo de caixa para o sistema agrissilvipastoril com eucalipto, implantado na região noroeste do Estado de Minas Gerais

Idade (anos)	Cus. Agrop. At. ^{CT}	Cus. Agrop. At. Acum.	Rec. At. ^{S+E}	Rec. At. ^E
	(US\$/ha)			
0	541,70	541,70	296,84	296,84
1	249,92	791,62	259,59	259,59
2	140,37	931,99	374,99	374,99
3	148,55	1.080,54	713,25	713,25
4	31,53	1.112,07	966,91	966,91
5	141,49	1.253,56	1.316,16	1.316,16
6	26,06	1.279,61	1.234,01	1.234,01
7	73,80	1.353,42	1.440,19	1.440,19
8	60,74	1.414,16	1.385,20	1.316,51
9	60,99	1.475,15	1.582,16	1.444,40
10	17,80	1.492,95	1.509,90	1.305,55
11	16,18	1.509,13	1.645,64	1.379,23

^{CT} Para o eucalipto, foram considerados os itens de custo de implantação e manutenções anuais, e para as culturas agrícolas, os itens de custo das fases de preparo do solo, plantio/adubação e colheita. Para obter o custo de produção da carne bovina, foram considerados os gastos com formação e manutenção de pastagens, insumos, mão-de-obra, animais (novilhos para engorda) e de depreciação (curral, cerca elétrica, moradia para vaqueiros, galpão para depósito etc.). O preço da terra considerado foi de US\$ 120/ha. ^{S+E} Receita gerada pela venda de madeira tanto para serraria como para energia e pela venda dos produtos agropecuários (arroz, soja e carne bovina), conforme o escalonamento temporal do sistema agrissilvipastoril. ^E Receita gerada pela venda de madeira para energia e pelos produtos agropecuários (arroz, soja e carne bovina), conforme o escalonamento temporal do sistema agrissilvipastoril.

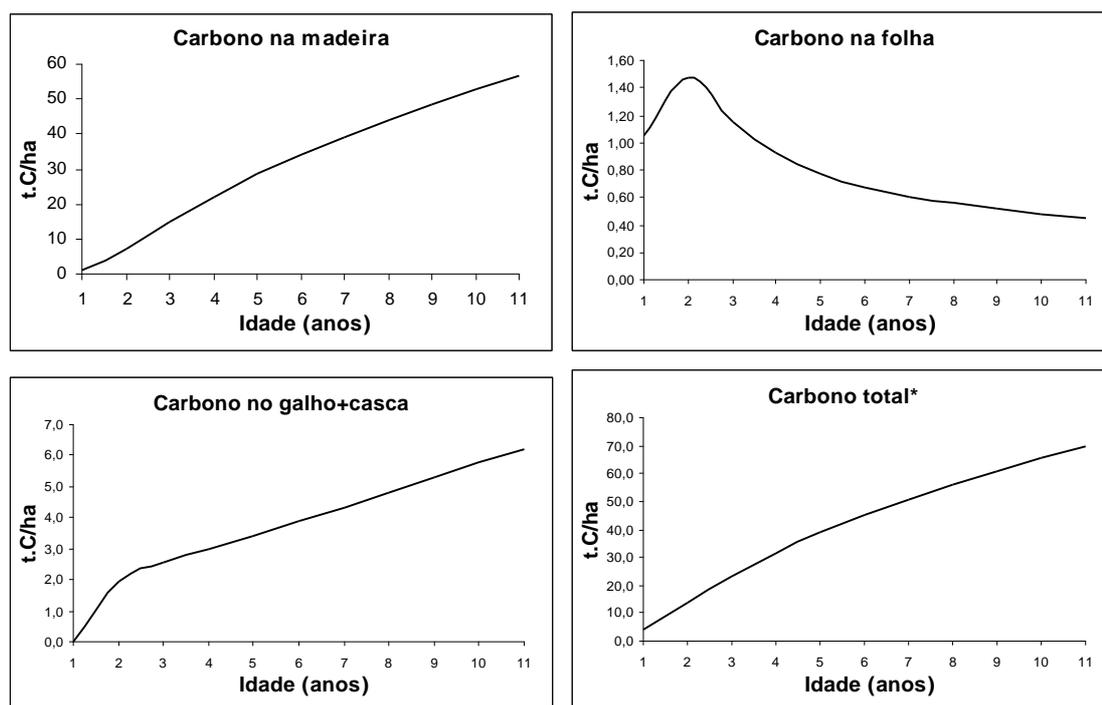
Tabela 2A – Volume de madeira, incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA) de eucalipto no sistema agrissilvipastoril

Idade (anos)	Volume	ICA	IMA
	(m ³ /ha)		
1	2,85921306	0,00000000	2,85921306
2	32,87986469	30,02065163	16,43993234
3	68,79264296	35,91277827	22,93088099
4	102,58323523	33,79059227	25,64580881
5	132,37127949	29,78804427	26,47425590
6	158,41450252	26,04322302	26,40241709
7	182,14176389	23,72726137	26,02025198
8	204,49724737	22,35548348	25,56215592
9	225,56956391	21,07231654	25,06328488
10	245,38141895	19,81185504	24,53814189
11	263,92289651	18,54147756	23,99299059

Tabela 3A – Produção de biomassa, em t/ha, nos diferentes componentes do eucalipto no sistema agrissilvipastoril

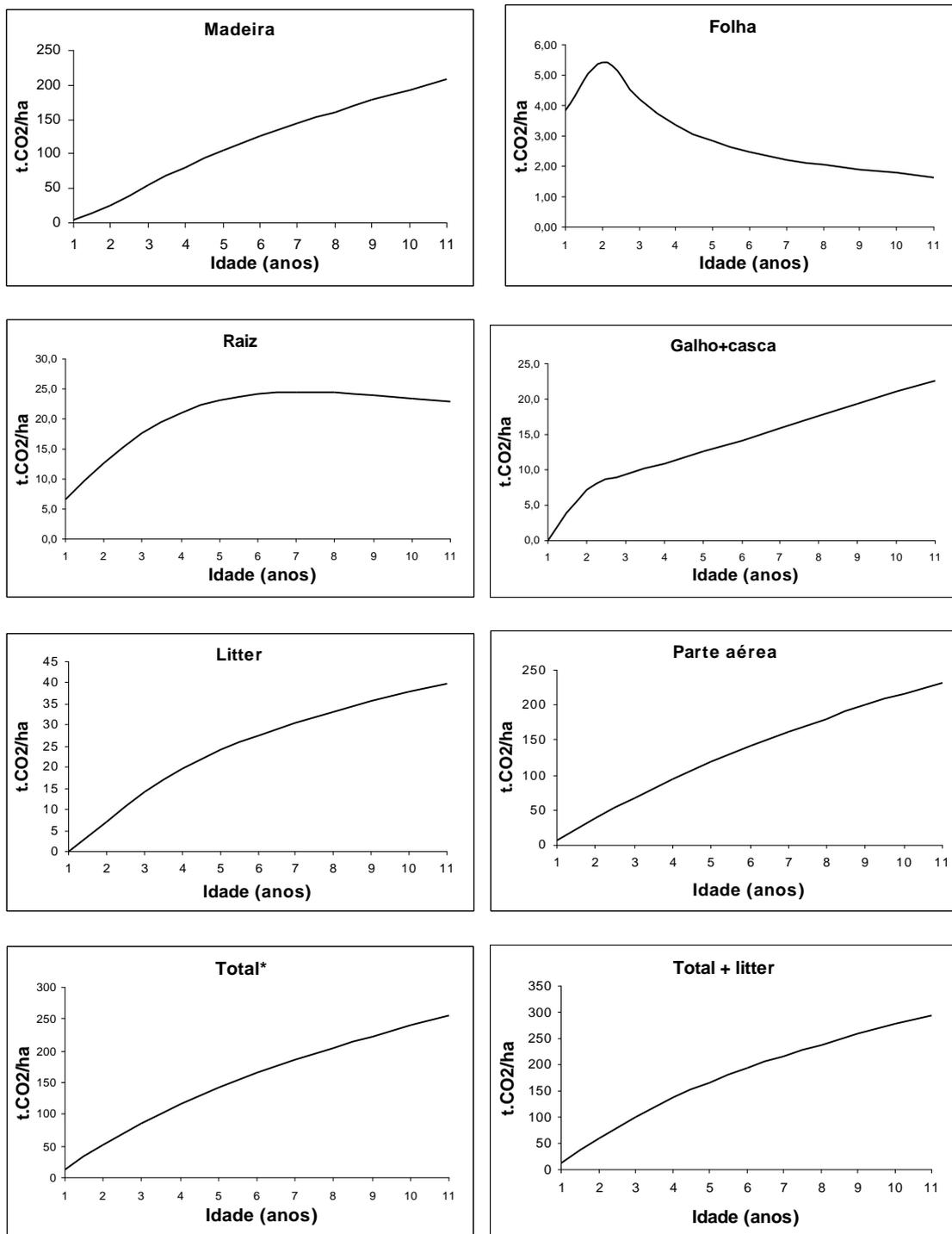
Ano	BM Folha	BM Raiz	BM Fuste	BM Casca + Galho	BM Litter
1	2,00000	3,50000	2,00000	0,00000	0,00000
2	2,81749	6,86021	14,46714	3,88314	3,77907
3	2,18713	9,50076	30,26876	5,11711	7,61547
4	1,76464	11,35610	45,13662	5,94819	10,54838
5	1,48167	12,48569	58,24336	6,80343	12,85647
6	1,27769	13,02807	69,70238	7,71141	14,73890
7	1,15550	13,19469	80,14238	8,65991	16,33192
8	1,07816	13,14759	89,97879	9,62564	17,74963
9	0,99903	12,96372	99,25061	10,57251	19,05476
10	0,92175	12,67480	107,96782	11,48053	20,25405
11	0,84683	12,30346	116,12607	12,33872	21,35424

Em que: BM = biomassa.



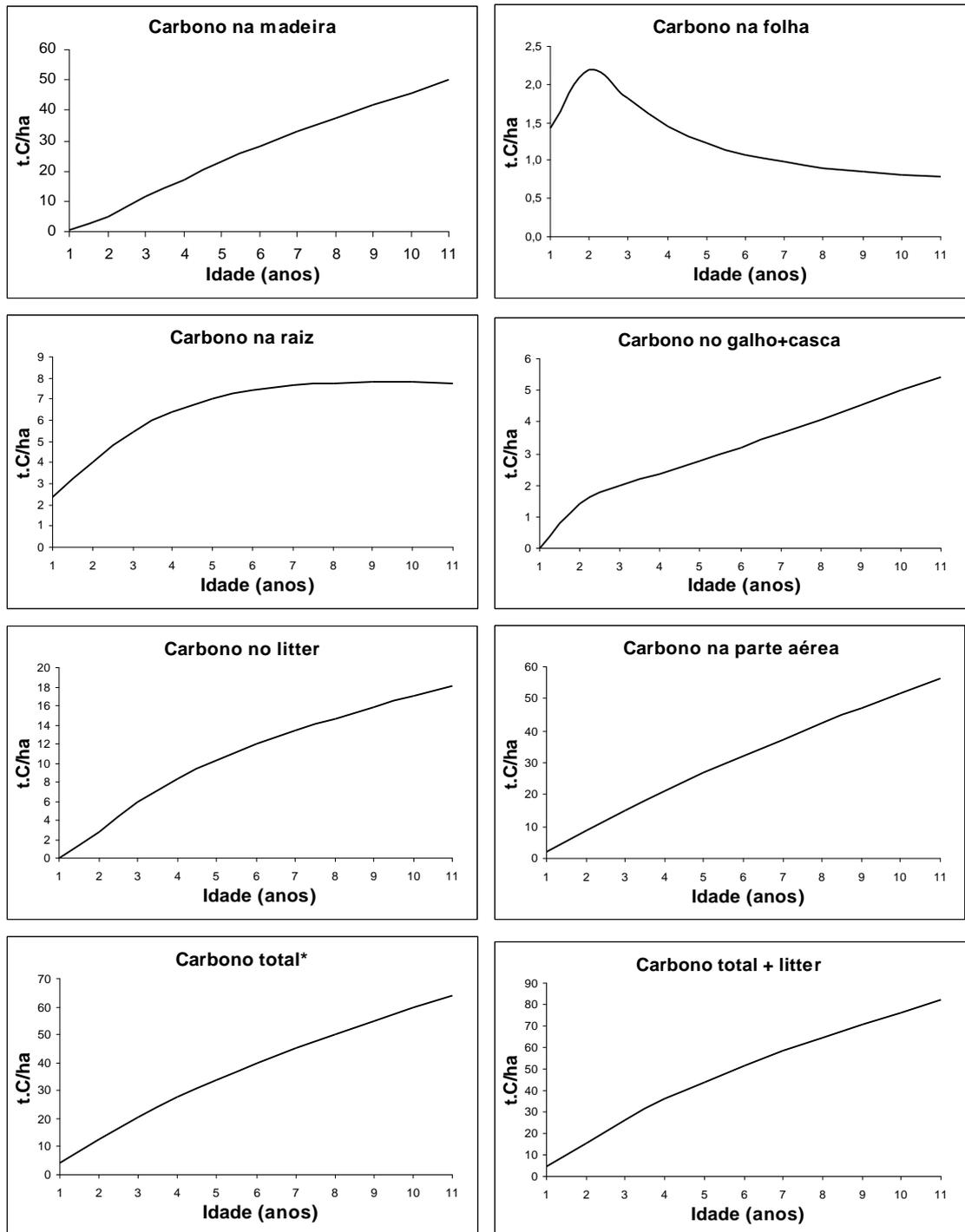
$$* \sum (\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca}))$$

Figura 1A – Fixação de C na madeira, na folha, no galho + casca e C total, considerando o eucalipto no sistema agrissilvipastoril.



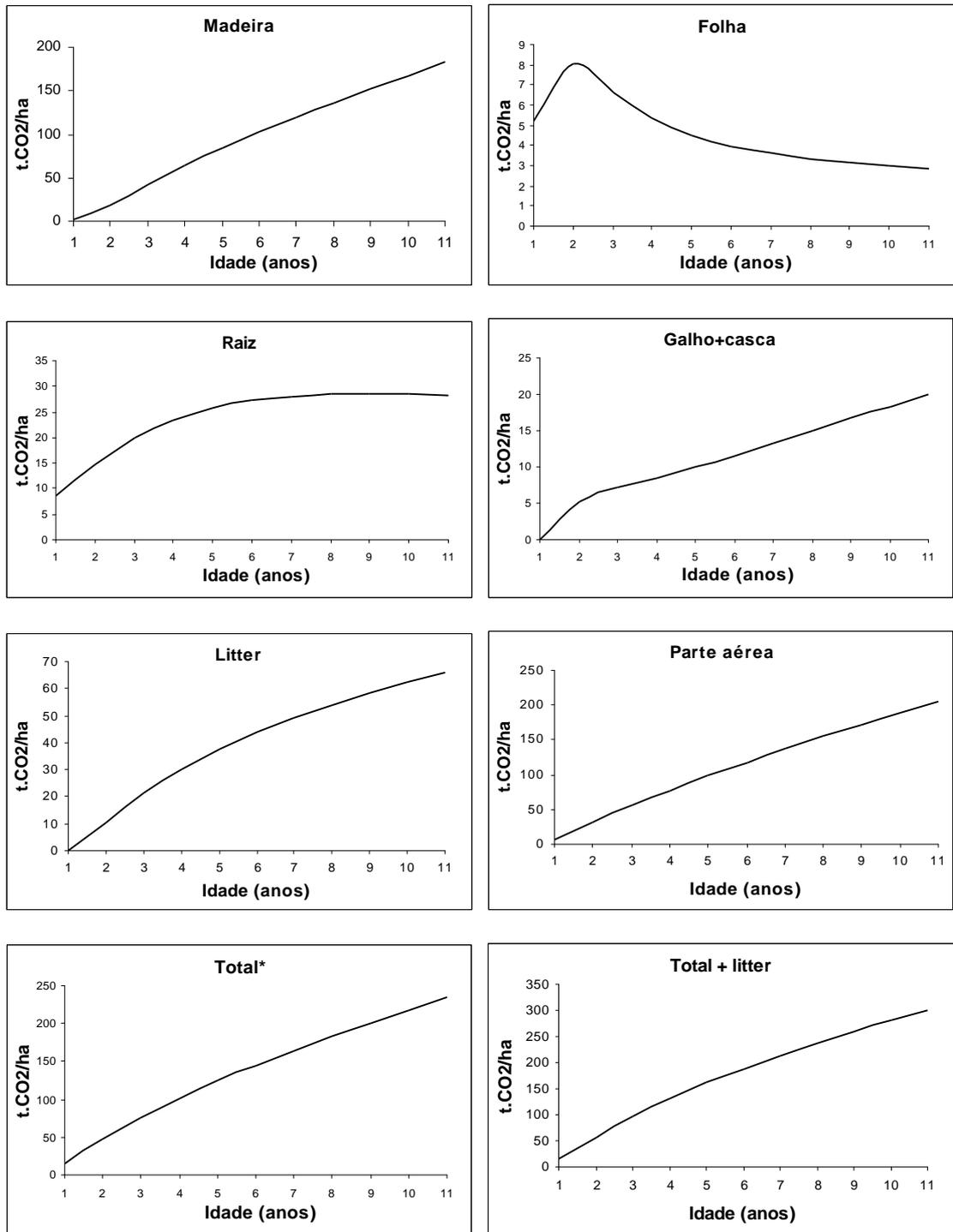
$$* \sum (\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca}))$$

Figura 2A – Sequestro de CO₂ pelo eucalipto no sistema agrissilvipastoril.



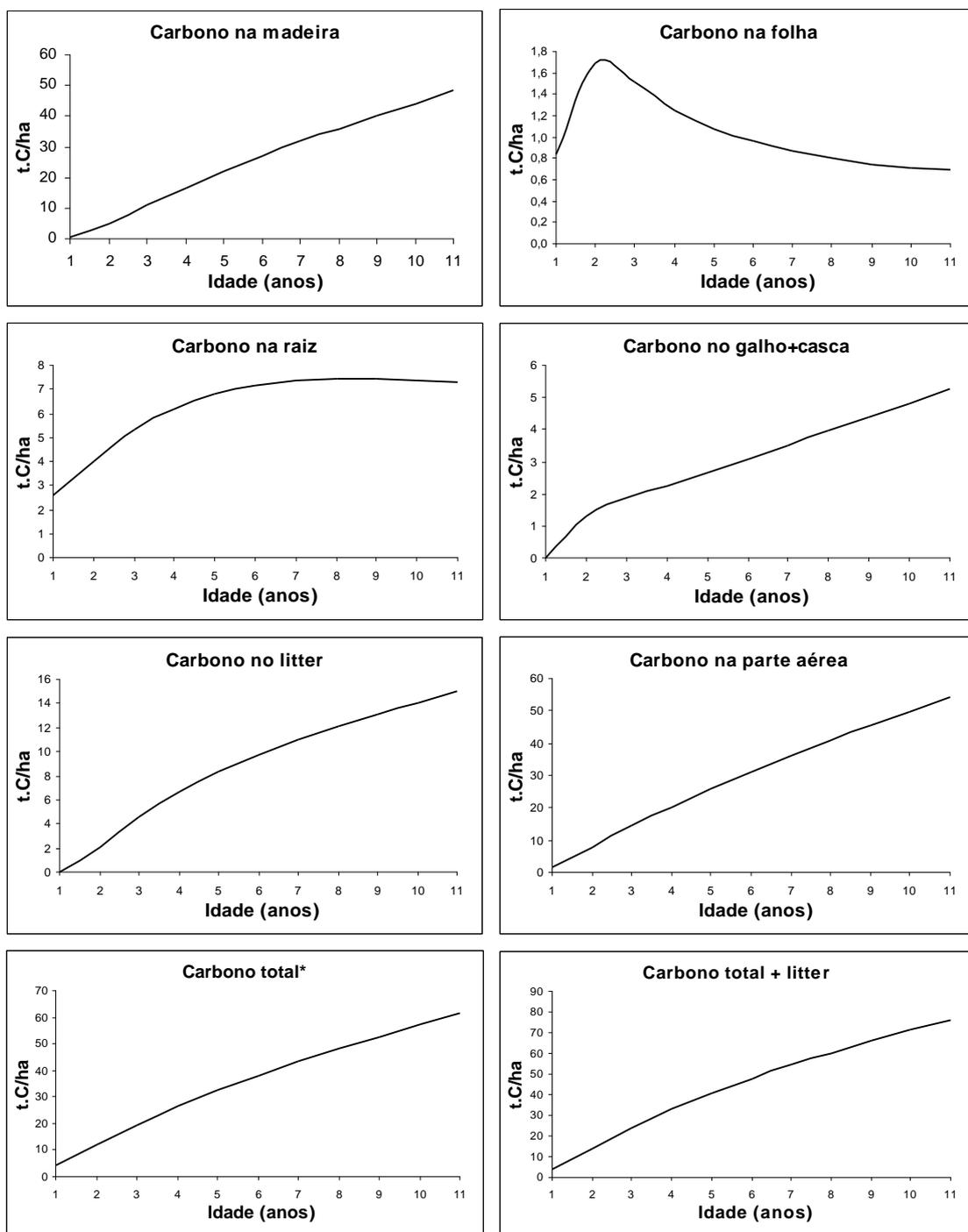
$$* \sum (\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca}))$$

Figura 3A – Fixação de C pelo eucalipto em monocultivo, plantado no espaçamento 3 x 2 m.



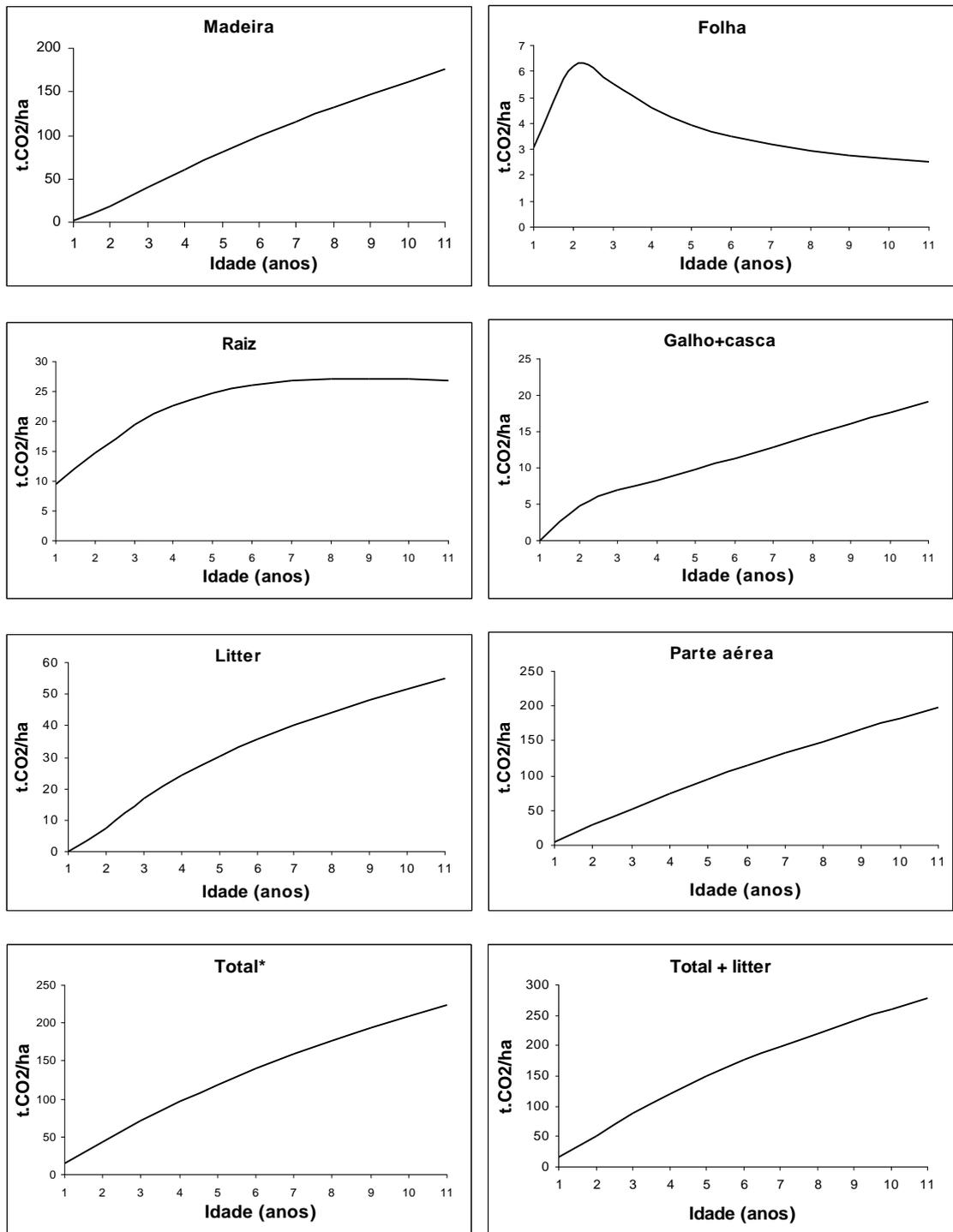
$$* \sum (\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot$$

Figura 4A – Seqüestros de CO₂ pelo eucalipto em monocultivo, plantado no espaçamento 3 x 2 m.



$$* \sum (\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca}))$$

Figura 5A – Fixação de C pelo eucalipto em monocultivo, plantado no espaçamento 3 x 3 m.



$$* \sum (\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot$$

Figura 6A – Sequestro de CO₂ pelo eucalipto em monocultivo, plantado no espaçamento 3 x 3 m.

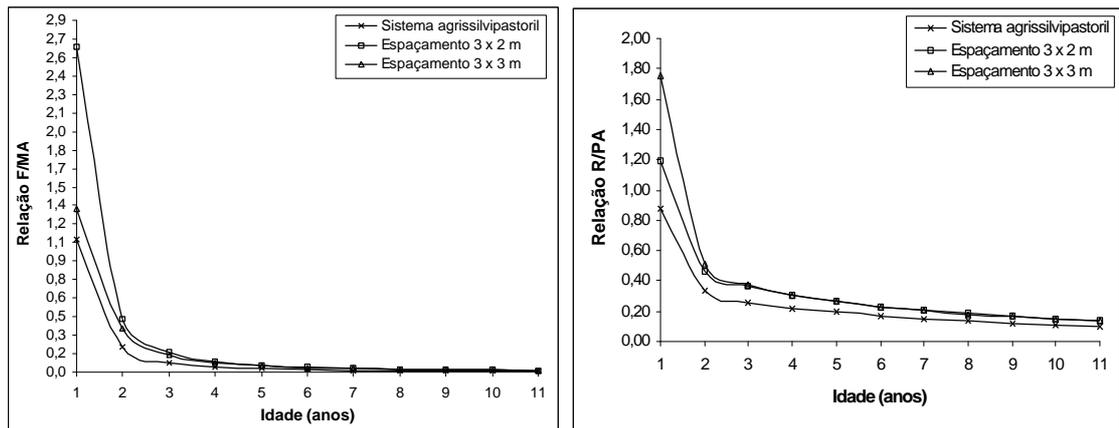


Figura 7A – Relação C de folha/madeira (F/MA) e raiz/parte aérea (R/PA) de eucalipto nos espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m e no sistema agrissilvipastoril.

Tabela 4A – Inputs obrigatórios do modelo 3-PG, após calibração, relacionados principalmente com os fatores do local e os dados do povoamento florestal de eucalipto no sistema agrissilvipastoril e nos espaçamentos 3 x 2 m e 3 x 3 m

Sistema Agrissilvipastoril		
A) Site factors	B) Initialisation	
Latitude = -17,13 Fertility rating = 0,8 Soil class = c Maximum ASW = 115 Minimum ASW = 0	Year planted = 1999 Initial year = 1 End age = 11 Initial WR = 3,5 Initial stocking = 250	Month planted = oct Initial month = oct Initial WF = 2 Initial WS = 2 Initial ASW = 115
Espaçamento 3 X 2 m		
A) Site factors	B) Initialisation	
Latitude = -17,13 Fertility rating = 0,5 Soil class = c Maximum ASW = 115 Minimum ASW = 0	Year planted = 1999 Initial year = 1 End age = 11 Initial WR = 4,6 Initial stocking = 1666	Month planted = oct Initial month = oct Initial WF = 2,7 Initial WS = 1,1 Initial ASW = 115
Espaçamento 3 X 3 m		
A) Site factors	B) Initialisation	
Latitude = -17,13 Fertility rating = 0,5 Soil class = c Maximum ASW = 115 Minimum ASW = 0	Year planted = 1999 Initial year = 1 End age = 11 Initial WR = 5,1 Initial stocking = 1111	Month planted = oct Initial month = oct Initial WF = 1,6 Initial WS = 1,3 Initial ASW = 115

Tabela 5A – Produção de biomassa, em t/ha, nos diferentes componentes do eucalipto em monocultivo, plantado no espaçamento 3 x 2 m

Ano	BM Folha	BM Raiz	BM Fuste	BM Casca + Galho	BM Litter
1	2,70000	4,60000	1,10000	0,00000	0,00000
2	4,19029	7,95695	10,36618	2,78240	5,52266
3	3,45061	10,71692	23,09730	3,90473	11,47547
4	2,77397	12,61533	35,36767	4,66082	16,26514
5	2,34492	13,85110	46,70901	5,45610	20,14306
6	2,06307	14,64365	57,12230	6,31963	23,40155
7	1,87779	15,09893	66,86830	7,22556	26,24538
8	1,73265	15,33165	76,07984	8,13877	28,80608
9	1,62470	15,40897	84,93415	9,04747	31,15695
10	1,54465	15,38212	93,55311	9,94777	33,35353
11	1,48372	15,28733	102,01270	10,83913	35,43415

Em que: BM = biomassa.

Tabela 6A – Distribuição relativa (%) da biomassa nos diferentes componentes do eucalipto em monocultivo, plantado no espaçamento 3 x 2 m

Componente	Idade (anos)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Madeira	13,10	33,64	43,87	49,34	52,78	55,16	57,00	58,48	59,74	60,84	61,80
Casca + galho	0,00	9,03	7,42	6,50	6,16	6,10	6,16	6,26	6,36	6,47	6,57
Raiz	54,76	25,82	20,36	17,60	15,65	14,14	12,87	11,79	10,84	10,00	9,26
Folha	32,14	13,60	6,55	3,87	2,65	1,99	1,60	1,33	1,14	1,00	0,90
Litter	0,00	17,92	21,80	22,69	22,76	22,60	22,37	22,14	21,91	21,69	21,47
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabela 7A – Quantidade relativa (%) de C fixado pelos diferentes componentes da árvore de eucalipto em monocultivo, plantado no espaçamento 3 x 2 m, não incluindo a parte do litter

Idade (anos)	Componentes da árvore					Parte Aérea ^{2/}	Raiz	Total ^{3/}
	Madeira	Folha	Raiz	Galho + casca	Total ^{1/}			
1	12,57	33,05	54,38	0,00	100	45,62	54,38	100
2	39,96	17,31	31,74	11,00	100	68,26	31,74	100
3	55,14	8,83	26,47	9,56	100	73,53	26,47	100
4	62,96	5,29	23,24	8,51	100	76,76	23,24	100
5	67,55	3,63	20,73	8,09	100	79,27	20,73	100
6	70,55	2,73	18,71	8,00	100	81,29	18,71	100
7	72,75	2,19	17,00	8,06	100	83,00	17,00	100
8	74,48	1,82	15,53	8,17	100	84,47	15,53	100
9	75,90	1,56	14,25	8,29	100	85,75	14,25	100
10	77,11	1,36	13,12	8,41	100	86,88	13,12	100
11	78,15	1,22	12,12	8,52	100	87,88	12,12	100

$$^{1/} \sum (\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot ^{2/} \sum (\text{madeira} : \text{folha} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot ^{3/} \sum (\text{parte aérea} : \text{raiz})$$

Tabela 8A – Quantidade relativa (%) de C fixado pelos diferentes componentes da árvore de eucalipto em monocultivo, plantado no espaçamento 3 x 2 m, incluindo a parte do litter

Idade (anos)	Componentes da Árvore						Parte Aérea ^{2/}	Raiz	Litter	Total ^{3/}
	Madeira	Folha	Raiz	Galho + casca	Litter	Total ^{1/}				
1	12,57	33,05	54,38	0,00	0,00	100	45,62	54,38	0,00	100
2	32,71	14,17	25,98	9,00	18,14	100	55,88	25,98	18,14	100
3	42,91	6,87	20,60	7,44	22,19	100	57,21	20,60	22,19	100
4	48,38	4,07	17,86	6,54	23,16	100	58,99	17,86	23,16	100
5	51,83	2,79	15,90	6,21	23,27	100	60,83	15,90	23,27	100
6	54,24	2,10	14,39	6,15	23,13	100	62,49	14,39	23,13	100
7	56,08	1,69	13,10	6,21	22,91	100	63,99	13,10	22,91	100
8	57,58	1,41	12,01	6,32	22,69	100	65,30	12,01	22,69	100
9	58,85	1,21	11,05	6,43	22,47	100	66,48	11,05	22,47	100
10	59,95	1,06	10,20	6,54	22,25	100	67,55	10,20	22,25	100
11	60,93	0,95	9,45	6,64	22,03	100	68,52	9,45	22,03	100

^{1/} $\sum (madeira : folha : raiz : (galho + casca) : litter) \cdot$ ^{2/} $\sum (madeira : folha : (galho + casca)) \cdot$
^{3/} $\sum (parte aérea : raiz : litter) \cdot$

Tabela 9A – Produção de biomassa, em t/ha, nos diferentes componentes do eucalipto em monocultivo, plantado no espaçamento 3 x 3 m

Ano	BM Folha	BM Raiz	BM Fuste	BM Casca + Galho	BM Litter
1	1,60000	5,10000	1,30000	0,00000	0,00000
2	3,22731	7,94382	9,85183	2,64434	4,06845
3	2,87258	10,45946	22,13760	3,74249	8,92053
4	2,38347	12,18333	34,04836	4,48696	12,97042
5	2,05567	13,38077	45,08799	5,26675	16,28763
6	1,83343	14,10211	55,28144	6,11597	19,10224
7	1,65134	14,49091	64,65806	6,98673	21,55845
8	1,51897	14,63885	73,48719	7,86142	23,75002
9	1,42714	14,63126	81,98331	8,73314	25,75663
10	1,36208	14,54113	90,26424	9,59806	27,63129
11	1,31340	14,40343	98,40502	10,45581	29,40972

Em que: BM = biomassa.

Tabela 10A – Distribuição relativa (%) da biomassa nos diferentes componentes do eucalipto em monocultivo, plantado no espaçamento 3 x 3 m

Componente	Idade (anos)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Madeira	16,25	35,52	45,99	51,53	54,93	57,32	59,13	60,60	61,86	62,95	63,90
Casca + galho	0,00	9,53	7,78	6,79	6,42	6,34	6,39	6,48	6,59	6,69	6,79
Raiz	63,75	28,64	21,73	18,44	16,30	14,62	13,25	12,07	11,04	10,14	9,35
Folha	20,00	11,64	5,97	3,61	2,50	1,90	1,51	1,25	1,08	0,95	0,85
Litter	0,00	14,67	18,53	19,63	19,84	19,81	19,72	19,59	19,43	19,27	19,10
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabela 11A – Porcentual de C fixado pelos diferentes componentes da árvore de eucalipto em monocultivo, plantado no espaçamento 3 x 3 m, não incluindo a parte do litter

Idade (anos)	Componentes da Árvore					Parte Aérea ^{2/}	Raiz	Total ^{3/}
	Madeira	Folha	Raiz	Galho + casca	Total ^{1/}			
1	15,68	20,68	63,64	0,00	100	36,36	63,64	100
2	40,64	14,26	33,91	11,19	100	66,09	33,91	100
3	55,52	7,72	27,14	9,62	100	72,86	27,14	100
4	63,28	4,75	23,43	8,55	100	76,57	23,43	100
5	67,76	3,31	20,81	8,12	100	79,19	20,81	100
6	70,77	2,51	18,68	8,03	100	81,32	18,68	100
7	72,99	2,00	16,93	8,09	100	83,07	16,93	100
8	74,74	1,66	15,41	8,20	100	84,59	15,41	100
9	76,19	1,42	14,07	8,32	100	85,93	14,07	100
10	77,41	1,25	12,90	8,44	100	87,10	12,90	100
11	78,45	1,12	11,88	8,55	100	88,12	11,88	100

^{1/} $\sum(\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot$ ^{2/} $\sum(\text{madeira} : \text{folha} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot$ ^{3/} $\sum(\text{parte aérea} : \text{raiz}) \cdot$

Tabela 12A – Porcentual de C fixado pelos diferentes componentes da árvore de eucalipto em monocultivo, plantado no espaçamento 3 x 3 m, incluindo a parte do litter

Idade (anos)	Componentes da Árvore						Parte aérea ^{2/}	Raiz	Litter	Total ^{3/}
	Madeira	Folha	Raiz	Galho + casca	Litter	Total ^{1/}				
1	15,68	20,68	63,64	0,00	0,00	100	36,36	63,64	0,00	100
2	34,60	12,14	28,87	9,52	14,87	100	56,26	28,87	14,87	100
3	45,03	6,26	22,01	7,81	18,89	100	59,10	22,01	18,89	100
4	50,58	3,79	18,73	6,84	20,06	100	61,22	18,73	20,06	100
5	54,00	2,64	16,58	6,47	20,30	100	63,11	16,58	20,30	100
6	56,41	2,00	14,89	6,40	20,29	100	64,82	14,89	20,29	100
7	58,24	1,59	13,50	6,45	20,21	100	66,28	13,50	20,21	100
8	59,72	1,32	12,31	6,55	20,09	100	67,60	12,31	20,09	100
9	60,99	1,14	11,26	6,66	19,94	100	68,79	11,26	19,94	100
10	62,09	1,00	10,35	6,77	19,78	100	69,87	10,35	19,78	100
11	63,06	0,90	9,55	6,87	19,62	100	70,83	9,55	19,62	100

^{1/} $\sum(\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca}) : \text{litter}) \cdot$ ^{2/} $\sum(\text{madeira} : \text{folha} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot$
^{3/} $\sum(\text{parte aérea} : \text{raiz} : \text{litter}) \cdot$

Tabela 13A – Participação relativa (%) dos componentes do sistema agrissilvi-pastoril na formação do C total fixado

Idade (anos)	Arroz	Soja	Pastagem	Eucalipto ^{1/} + Litter
1	36,41	0,00	0,00	63,59
2	0,00	6,35	0,00	93,65
3	0,00	0,00	11,98	88,02
4	0,00	0,00	9,07	90,93
5	0,00	0,00	7,52	92,48
6	0,00	0,00	6,56	93,44
7	0,00	0,00	5,89	94,11
8	0,00	0,00	5,38	94,62
9	0,00	0,00	4,98	95,02
10	0,00	0,00	4,66	95,34
11	0,00	0,00	4,40	95,60

^{1/} $\sum(\text{madeira} : \text{folha} : \text{raiz} : (\text{galho} + \text{casca})) \cdot$

Tabela 14A – Participação relativa (%) das culturas agrícolas, da pastagem e do eucalipto na formação do C total fixado pelo sistema agrissilvi-pastoril

Idade (anos)	Arroz	Soja	Pastagem	Eucalipto ^{1/}
1	68,98	0,00	0,00	31,02
2	0,00	13,23	0,00	86,77
3	0,00	0,00	20,01	79,99
4	0,00	0,00	14,36	85,64
5	0,00	0,00	11,50	88,50
6	0,00	0,00	9,80	90,20
7	0,00	0,00	8,63	91,37
8	0,00	0,00	7,76	92,24
9	0,00	0,00	7,09	92,91
10	0,00	0,00	6,55	93,45
11	0,00	0,00	6,12	93,88

^{1/} Somente o C retido na madeira.