

PRODUÇÃO E ALOCAÇÃO DE BIOMASSA EM UM SISTEMA AGRISILVIPASTORIL COM EUCALIPTO NA REGIÃO DO CERRADO DE MINAS GERAIS¹

Production and Allocation of Biomass in an Agrosilvopastoral System With Eucalypt in the Cerrado Region of Minas Gerais

Laércio Couto², Antonio de Arruda Tsukamoto Filho³, Júlio César Lima Neves⁴, Carlos Alberto Moraes Passos⁵, Carlos Antonio Álvares Soares Ribeiro⁶ e Michelle Margarido Fonseca Couto Araujo⁷

Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar a produção e a alocação de biomassa nas diversas partes do eucalipto no sistema agrissilvipastoril implantado pela CMM, bem como nos diferentes componentes que formam esse sistema, ao longo de sua escala temporal. A avaliação da biomassa das culturas agrícolas e da pastagem foi feita por meio de coleta de material vegetal em parcelas distribuídas em diferentes distâncias da linha de eucalipto. Para determinação da biomassa florestal utilizou-se o modelo 3-PG. Foram determinadas também as rotações técnica e econômica do sistema. A maior quantidade de biomassa de eucalipto estava presente na madeira, seguida pelo litter>raiz>casca+galho>folha, tanto na idade de rotação técnica (6 anos) como na econômica (7 anos). Com o aumento da idade houve maior acúmulo de biomassa na madeira, reduzindo a participação das demais partes da árvore. A produção total de biomassa no sistema agrissilvipastoril variou de 12,34 no ano 1 a 171,21 t ha⁻¹ no ano 11. No ano 1, o arroz produziu 4,84 t ha⁻¹ de biomassa, a soja 2,4 t ha⁻¹ no ano 2, e a pastagem 8,24 t ha⁻¹ por ano, do ano 3 ao 11. A biomassa de eucalipto + litter passou de 7,5 no ano 1 para 162,97 t ha⁻¹ no ano 11. A distância de plantio das linhas de eucalipto não influenciou a produção de biomassa das culturas agrícolas e da pastagem.

Palavras-chave: Biomassa florestal, sistema agroflorestal e matéria seca.

Abstract: The objective of this study was to evaluate the production and allocation of biomass in several parts of the eucalypt in the agrosilvopastoral system implanted by the CMM, as well as in the different components forming that system, over a time scale. Biomass evaluation of the agricultural cultures and pasture was carried out by collecting plant material in plots distributed at different distances from the eucalypt line. For forest biomass determination, the 3-PG model was used. Technical and economical rotations of the system were also determined. The largest amount of eucalypt biomass was present in the wood, followed by litter>root>bark + branch>leaf, both for technical rotation age (6 years) and economic rotation age (7 years). Biomass accumulation in the wood increased with age, reducing participation of the other parts of the tree. Total biomass production in the agrosilvopastoral system varied from 12.34 t ha⁻¹ in year 1 to 171.21 in year 11. In year 1, rice produced 4.84 t ha⁻¹ of biomass, soybean 2.4 ton ha⁻¹ in year 2, and pasture 8.24 ton ha⁻¹ per year from years 3 to 11. Eucalypt + litter biomass increased from 7.5 in year 1 to 162.97 ton ha⁻¹ in year 11. Eucalypt line planting distance did not influence biomass production by the agricultural cultures and pasture.

Key words: Forest biomass, agroforestry system and dry matter.

¹ Recebido para publicação em 3.8.2004 e aceito em 16.12.2004.

² Prof. do Dep. de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa – UFV, 36570-000 Viçosa-MG, <lcouto@ufv.br>. ³ Prof. do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA/TAPAJÓS, <antonio.tsukamoto@ufra.edu.br>. ⁴ Prof. do Dep. de Solos – UFV. ⁵ Prof. do Dep. de Engenharia Florestal – UFMT. ⁶ Prof. do Dep. de Engenharia Florestal – UFV. ⁷ Diretora Técnica do Centro Brasileiro para Conservação da Natureza e Desenvolvimento Sustentável - CBCN, <michelle.couto@uol.com.br>.

1 INTRODUÇÃO

A avaliação do potencial produtivo de um sítio por meio da produção de biomassa é fundamental no manejo e planejamento das indústrias de base florestal, especialmente quando se tem o conhecimento da distribuição de biomassa nos componentes da árvore, em seqüência de idade (Reis et al., 1985; Pereira, 1990).

Para Campos (1991), a biomassa é uma valiosa ferramenta na avaliação de ecossistemas, em virtude da aplicação na análise da produtividade, conversão de energia, ciclagem de nutrientes, absorção e armazenagem de energia solar, possibilitando conclusões para a exploração racional dos mesmos.

A produção e a alocação de biomassa em plantações florestais em monocultivo, principalmente de eucalipto, têm sido muito estudadas ao longo dos anos de desenvolvimento da Ciência Florestal no Brasil. Contudo, em sistemas mais complexos, como o sistema agrissilvipastoril, estudos dessa natureza praticamente não existem.

O sistema agrissilvipastoril é um tipo de sistema agroflorestal que consiste no plantio de espécies florestais e agrícolas e na formação de pastagem para criação de animais em uma mesma área, mas de forma escalonada no tempo. Desde 1993, a Companhia Mineira de Metais – CMM – vem utilizando esse sistema em suas propriedades, na região noroeste do Estado de Minas Gerais, para produção de grãos (arroz e soja), carne bovina e madeira de eucalipto.

A complexidade desse sistema em relação aos monocultivos tradicionais está na quantidade de componentes, que é maior, e na interação entre eles ao longo do ciclo de produção, que é mais intensa e complicada por se tratar de espécies diferentes. As suas etapas são formadas sempre por dois componentes, devendo ser destacado que o florestal compreende e é necessário em todas as

etapas. Nessas condições, uma avaliação da produção e alocação de biomassa em cada componente torna-se mais difícil, porém indispensável para as atividades de manejo sustentável e de agrissilvicultura de precisão, sobretudo sob a ótica do planejamento para o melhor aproveitamento dos recursos, para o seu uso sustentável e para a produção de bioenergia.

Assim sendo, o presente estudo teve por objetivo avaliar a produção e a alocação de biomassa nas diversas partes do eucalipto no sistema agrissilvipastoril implantado pela CMM, bem como nos diferentes componentes que formam esse sistema, ao longo de sua escala temporal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na fazenda Riacho, localizada no município de Paracatu, região noroeste do Estado de Minas Gerais, entre as coordenadas 17°13'00" S e 46°52'00" O. Segundo Golfari (1975), esse município encontra-se na região bioclimática 6, onde o clima é do tipo Aw - tropical úmido de savana, com inverno seco e verão chuvoso. O período seco ocorre de abril a outubro. A precipitação média anual é de 1.438 mm, concentrando-se no semestre mais quente, sendo no mês mais seco inferior a 60 mm. A evapotranspiração potencial anual atinge entre 1.000 e 1.200 mm. A temperatura média máxima anual é de 29 °C e a mínima, de 17 °C. A altitude média é de 550 m e o relevo varia de plano a suavemente ondulado. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa (16,25% de areia, 21,5% 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.

2.1 Caracterização do sistema agrissilvipastoril

A fazenda Riacho pertence à Companhia Mineira de Metais – CMM, do Grupo

Votorantim, que começou a utilizar o sistema agrissilvipastoril em 1993, com o plantio clonal de híbridos de eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Eucalyptus camaldulensis* X *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e *Eucalyptus camaldulensis* X *Eucalyptus tereticornis* Sm.) bem adaptados às condições edafoclimáticas locais, produtivos e apresentando madeira de qualidade superior para fins de multiprodutos. Esse sistema consiste no plantio integrado de clones de híbridos naturais de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) com arroz^{1/} (*Oriza sativa* L.), soja (*Glycine max* (L.) Merr.) e braquiária (*Braquiaria brizantha* Stapf), em uma escala temporal adequada, visando a produção de madeira, produtos agrícolas e carne bovina. O plantio dos clones foi feito no espaçamento 10 x 4 m, para possibilitar o cultivo agrícola, a formação da pastagem e o pastejo nas entrelinhas. As linhas de plantio de eucalipto foram orientadas no sentido leste-oeste, para permitir maior insolação às culturas agrícolas e pastagem. Nesse sistema, o arroz é plantado no primeiro ano, concomitantemente ao plantio de eucalipto. Após a colheita do arroz introduz-se a soja e no ano seguinte, a pastagem. 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. A área foi preparada para o plantio inicial, utilizando-se uma aração profunda e duas gradagens niveladoras. Nessa ocasião, fez-se a aplicação de calcário zinal MMA 85% de PRNT, à razão de 2,5 t ha⁻¹. 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 braquiária.

2.2 O modelo 3-PG

O 3-PG (*Physiological Principles in Predicting Growth*) é um modelo dinâmico de predição de crescimento florestal (Landsberg & Waring, 1997; Sands & 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 apresenta basicamente dois sub-modelos: um biofísico, que estima a evaporação mensal e a transpiração do dossel da floresta; e outro 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). Para obter outras informações sobre o 3-PG, recomenda-se consultar os trabalhos de Landsberg & Waring (1997), Sands & Landsberg (2002) e Stape (2002).

2.3 Determinação da biomassa florestal

Para determinação da biomassa florestal 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,

^{1/} Atualmente, a empresa estuda a possibilidade de começar o sistema com o plantio de soja em vez de arroz, isso porque o preço da soja no mercado está melhor que o do arroz. Para isto, a empresa deverá aumentar os gastos com adubação do solo.

principalmente, ao clima (precipitação, temperatura, evaporação^{2/} e radiação solar^{3/}), 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)^{4/}. Os dados de inventário florestal necessários para a análise foram cedidos pela empresa CMM.

O modelo 3-PG fornece estimativas da biomassa de litter (de origem exclusivamente 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).

O modelo 3-PG calcula o volume de madeira a partir da sua biomassa^{5/} e densidade, incluindo a fração de casca e galho. Esta fração é determinada conjuntamente e separada do volume pela fórmula $V = (1 - p_{BB})Ws / p$, em que V = volume de madeira (m³ ha⁻¹), p_{BB} = fração de casca e galho (t ha⁻¹), Ws = biomassa de madeira (t ha⁻¹) e p = densidade da madeira (t m⁻³). 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 no Quadro 1.

2.4 Avaliação da biomassa das culturas agrícolas e da pastagem

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.

Foram coletadas amostras de material vegetal de arroz, soja e pastagem, para determinação de biomassa seca. Para arroz e soja o tamanho da parcela foi de 0,5 m x 1 m e para pastagem, de 0,3 x 0,3 m. A amostragem foi feita em três pontos casualizados, tendo sido coletadas cinco amostras em cada ponto, distribuídas em três 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 1).

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).

^{2/} 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.

^{3/} A radiação solar foi calculada por um *software* denominado “Programa Radiação”, que utiliza como *inputs*, para gerar os dados, informações de latitude e albedo.

^{4/} O sistema foi implantado em 1999, com as árvores plantadas no espaçamento 10 x 4 m (250 árvores por hectare). Densidade da madeira = 445,05 kg m⁻³.

^{5/} Para a estimativa de biomassa de eucalipto no sistema agrissilvipastoril, adotou-se o ciclo de corte de 11 anos.

Quadro 1 – Valores dos parâmetros do modelo 3-PG, após calibração para a plantação de eucalipto no sistema agrissilvipastoril, na região noroeste de Minas Gerais

Table 1 – Values of the 3-PG model parameters, after calibration for eucalypt plantation in the agrissilvipastoral system, in the northwest region of Minas Gerais

Significado/Comentário	Nome	Unidade	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 $f_{i1} = 0,5$	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 per month	0,100
Litterfall rate at t = 0	gammaF0	1 per month	0,001
Age at which litterfall rate has median value	tgammaF	month	12
Average monthly root turnover rate	Rttover	1 per month	0,015
8) Conductance			
Maximum canopy conductance	MaxCond	m s ⁻¹	0,02
LAI for maximum canopy conductance	LAIgcx	-	3,33
Defines stomatal response to VPD	CoeffCond	1 mBar ⁻¹	0,05
Canopy boundary layer conductance	BLcond	m s ⁻¹	0,2
9) Stem numbers			
Max. stem mass per tree @ 1000 trees/hectare	wSx1000	kg per 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 ⁻¹	11
Specific leaf area for mature leaves	SLA1	m ² kg ⁻¹	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	MaxIntceptn	-	0,12
LAI for maximum rainfall interception	LAImaxIntceptn	-	3
Canopy quantum efficiency	alpha	molC molPAR ⁻¹	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 ⁻¹	24
Conversion of solar radiation to PAR	molIPAR_MJ	mol MJ ⁻¹	2,3

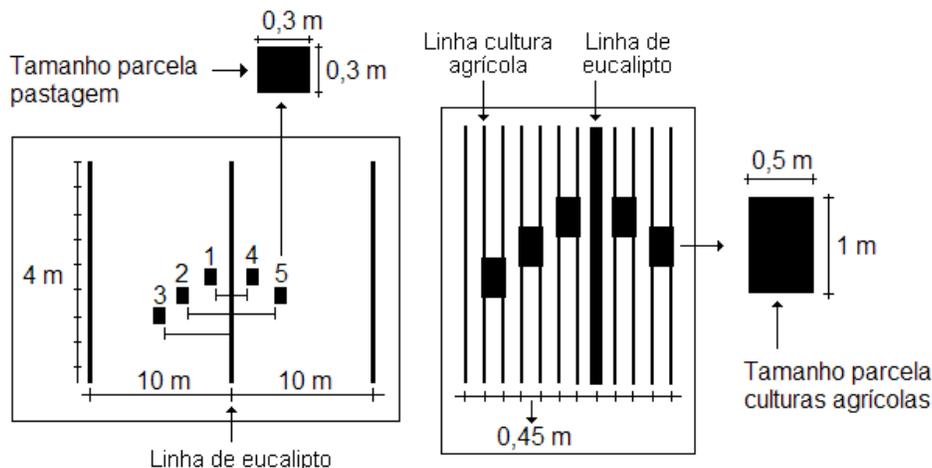


Figura 1 – Tamanho da parcela e esquema de coleta do material vegetal de arroz, soja e pastagem, para determinação de biomassa seca.

Figure 1 – Plot size and collection scheme of rice, soybean and pasture vegetable material for dry biomass determination.

2.5 Coleta e análise de solo

Para as análises química e física e para determinação da CC e PM 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 vegetal, tendo em cada parcela sido coletada uma subamostra de solo.

A máxima disponibilidade de água no solo, calculada com base na CC e PM (determinada para a profundidade de 20 cm), foi 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:

$$ASW_{(0-20cm)} = (CC - PM) \cdot d \cdot PSR$$

em que d = densidade do solo, em g cm⁻³; PSR = profundidade do sistema radicular, em mm; e CC e PM, em kg kg⁻¹.

2.6 Rotação técnica e rotação econômica

A rotação técnica da plantação de eucalipto no sistema agrissilvipastoril foi determinada com base no cruzamento das curvas de incremento médio anual – IMA e incremento corrente anual – ICA. Já a rotação econômica foi estabelecida pelo critério B(C)PE de análise econômica de projetos. A taxa de desconto escolhida foi de 10% ao ano. Nessa análise, considerou-se a utilização da madeira para energia, a um preço de ^{6/} US\$ 9,20 st⁻¹. Os dados de custos e receitas agrícolas foram parte cedidos pela CMM e parte tirados de Oliveira et al. (2000).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Rotação técnica

As estimativas realizadas pelo modelo 3-PG mostraram uma produção de biomassa

^{6/} Preço por metro estéreo da árvore em pé.

de 128,46 t ha⁻¹ para o eucalipto no sistema agrissilvipastoril, referente ao somatório do total produzido no fuste e casca + galho^{7/}, ao final do ciclo de 11 anos. Nesta idade, o volume de madeira foi de 263,92 m³ ha⁻¹. Os dados de H (altura) e DAP (diâmetro à altura do peito) coletados nos inventários realizados até 7 anos de idade indicaram a mesma tendência de aumento em volume observado em relação ao volume estimado, como mostra a Figura 2, que traz também as curvas de ICA e IMA em volume e biomassa.

A rotação técnica da plantação de eucalipto ocorreu em torno dos 6 anos de idade, considerando tanto o volume como a biomassa. A idade de rotação técnica em volume foi calculada somente com base no volume de fuste. No modelo 3-PG as análises partem da biomassa inicial^{8/} estabelecida para a idade considerada e determinada pelos dados de inventário, somada a outros fatores de igual importância, como o solo e o clima. Desta forma, a determinação da rotação técnica é resultado da determinação de volume a partir da biomassa estimada ao longo do ciclo de produção, da densidade de madeira e da interação dos fatores edafoclimáticos considerados na análise.

3.2 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

^{7/} Na prática, esses dois componentes da árvore (fuste e casca + galho) foram considerados como sendo aqueles efetivamente contemplados nas atividades de aproveitamento da biomassa nas condições estabelecidas, devido à praticidade da quantificação e exploração dos produtos.

^{8/} Partição da biomassa em folha, raiz e caule, para o primeiro ano após plantio, considerando outubro como o mês de início das atividades.

de US\$ 17,82 ha⁻¹ por ano. 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.

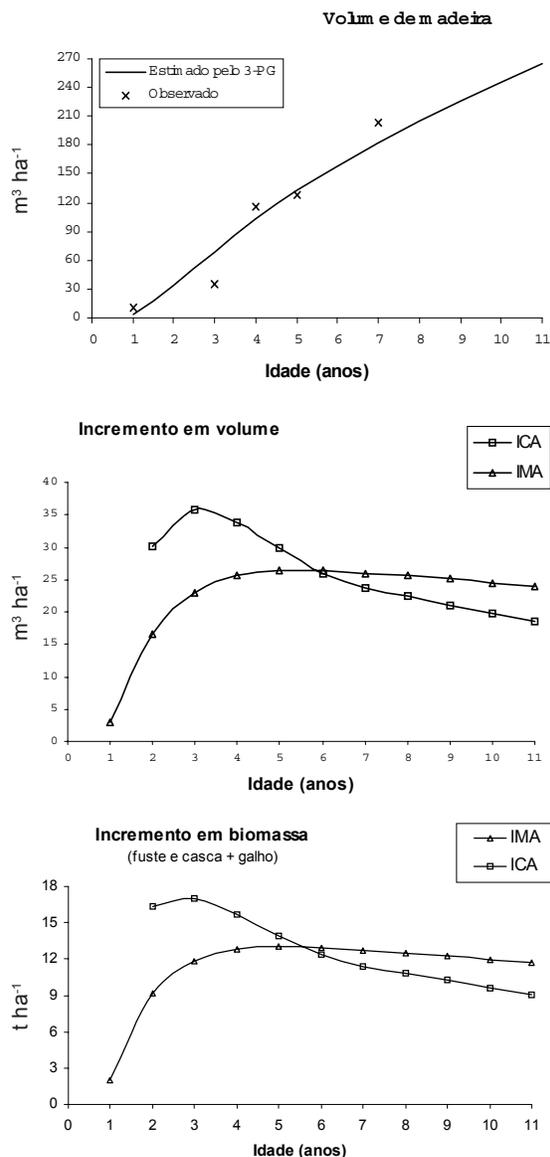


Figura 2 – Volume de madeira e incremento em volume e biomassa de eucalipto no sistema agrissilvipastoril.

Figure 2 – Wood volume and volume and biomass increment of eucalypt in the agrissilvipastoral system.

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.

A análise feita mostrou a viabilidade econômica do sistema agrissilvipastoril, conforme as condições estabelecidas neste trabalho, onde se definiu o uso final da madeira para energia, embora alguns trabalhos mostrem que é mais adequada a utilização de parte da madeira para serraria para obter retorno financeiro maior. Contudo, é importante ressaltar que a CMM 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.

3.3 Biomassa de eucalipto no sistema agrissilvipastoril

Na idade de 6 anos, 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, os valores foram de 67,07, 7,25, 11,04, 0,97 e 13,67%, respectivamente. Em ambas as idades, a maior quantidade de biomassa estava presente na madeira^{9/}, depois no litter, seguido pela raiz, pela casca + galho e pela folha (Quadro 2). Essa mesma seqüência foi encontrada por Marquez (1997), para *Eucalyptus camaldulensis* com 7 anos de idade.

Aos 6 e 7 anos, esperava-se maior quantidade de biomassa na raiz e folha, em função do espaçamento amplo (10 x 4 m) e das condições edafoclimáticas do cerrado. Todavia, este

fato 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 eucalipto. Com a disponibilidade de nutrientes no solo^{10/}, 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).

A biomassa de madeira, litter e galho + casca aumentou com a idade, já a 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 natural das plantas é diminuir a contribuição das raízes para a formação da biomassa total à medida que as plantas crescem.

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 o Quadro 3. No ano 2, a madeira passou a acumular maior quantidade de biomassa, assim como a casca + galho e o litter. A partir do ano 2 até o ano 11, o aumento médio anual da biomassa total na madeira foi de 5,29%. A biomassa de casca + galho começou a aumentar sua participação percentual 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% ao ano. No caso da biomassa de raiz e folha,

^{9/} Neste caso, caule = madeira = fuste.

^{10/} As condições de fertilidade do solo foram verificadas pelos resultados da análise química e expressas no 3-PG de forma subjetiva, em uma escala de 0 a 1, devendo-se ressaltar que quanto melhor o solo mais próximo de 1 é o valor.

a tendência foi sempre a diminuição da participação porcentual na biomassa total ao longo dos anos. Especificamente para 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

folha^{11/}. 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 no Quadro 3.

^{11/} Com a queda de folhas ocorre diminuição da biomassa de folhas e aumento da biomassa de litter sobre o solo.

Quadro 2 – Produção de biomassa, em t ha⁻¹, nos diferentes componentes do eucalipto no sistema agrissilvipastoril

Table 2 – Biomass production, in ton ha⁻¹, in the different components of eucalypt in the agrosilvopastoral system

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

BM = biomassa.

Quadro 3 – Distribuição do valor relativo (%) da biomassa nos diferentes componentes do eucalipto no sistema agrissilvipastoril

Table 3 – Relative value distribution (%) of biomass in the different components of the eucalypt in the agrosilvopastoral system

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

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. Outros estudos, como o de Moraes (1988), Molica (1992) e Soares (1995), também 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.

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 total^{12/}, de 30,6% (Carbonita-MG) e 24,6% (Bom Despacho-MG), respectivamente. A produção de litter foi de 22 t ha⁻¹, em Carbonita, e de 32 t ha⁻¹, em Bom Despacho. No presente estudo, a produção foi de 14,74 t ha⁻¹, 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 monocultivo^{13/}.

^{12/} Biomassa viva (parte aérea + raiz) + biomassa de litter (galhos + folhas).

^{13/} Refere-se aos dados das plantações em monocultivo de eucalipto apresentados no trabalho de Ferreira (1984).

3.4 Biomassa de arroz, soja e pastagem no sistema agrissilvipastoril

A produção de biomassa de soja foi menor que a de arroz e a de pastagem nos três pontos de amostragem e em todas as cinco parcelas (Figura 3). No caso do arroz, somente em três parcelas, uma no ponto de amostragem 2 e duas no ponto 1, a produção de biomassa foi maior que na pastagem. No ano 1^{14/}, a produção estimada de biomassa de arroz foi de 4,84 t ha⁻¹, 101,67% a mais que a produção de soja (2,4 t ha⁻¹ no ano 2). Do ano 3 ao ano 11, a pastagem produziu 8,24 t ha⁻¹ por ano de biomassa, uma quantia 70,25% a mais que no arroz e 243,33% que na soja. As estimativas feitas para a pastagem a céu aberto^{15/} mostraram uma produção de 7,11 t ha⁻¹ de biomassa, 15,89% a menos que no sistema agrissilvipastoril, o que indica que a presença das árvores não prejudicou a produção de biomassa da forrageira no sub-bosque. No Amapá, Mochiutti & Meirelles (2000) verificaram que árvores de eucalipto, além de não modificarem o teor de proteína bruta das pastagens, também não afetaram a produção de massa seca.

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 animais), como: 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

^{14/} 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.

^{15/} Foram coletadas amostras de material vegetal de pastagem a céu aberto em quatro parcelas de 0,3 x 0,3 m cada, distribuídas aleatoriamente em uma área correspondente a 1 ha de plantio.

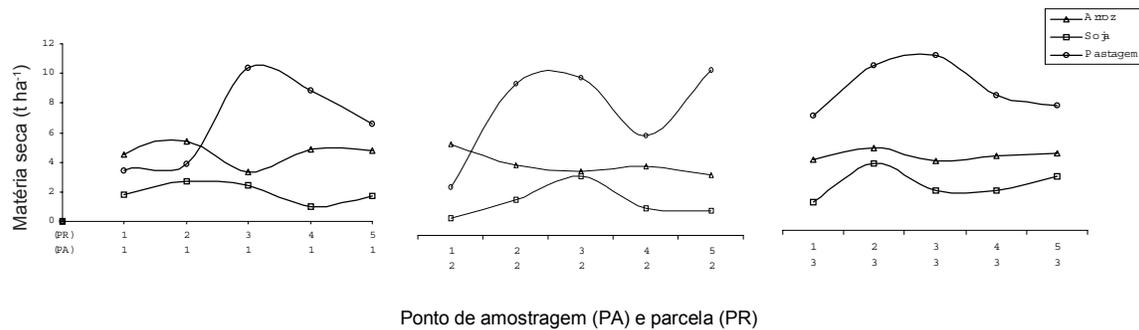


Figura 3 – Produção de biomassa de arroz, soja e pastagem, conforme o escalonamento temporal do sistema agrissilvipastoril.

Figure 3 – Production of rice, soybean and pasture biomass, according to temporary scale of the agrissilvipastoral system.

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 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.

A produção de biomassa de arroz e soja no monocultivo^{16/} aumentou em comparação à do sistema agrissilvipastoril. A diferença foi de 0,85 t ha⁻¹ na produção de arroz e de 2,46 t ha⁻¹ 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 biomassa que no sistema agrissilvipastoril. A influência da irrigação também foi constatada na produtividade das culturas, sendo esta bem maior que nas áreas não-irrigadas.

^{16/} Para determinação da biomassa de arroz e soja em monocultivo foram coletadas amostras em quatro parcelas, de 0,5 x 1 m cada, distribuídas aleatoriamente em uma área correspondente a 1 ha de plantio de cada uma dessas culturas.

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 biomassa e grãos, devido, principalmente, à competição e ao sombreamento. Pelos gráficos mostrados na Figura 3, constatou-se que não houve relação da distância com a produção de biomassa. 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 aspecto mais evidente relacionado ao efeito da distância sobre a produção de biomassa foi os altos valores contabilizados na parcela 3 da pastagem, exatamente aquela do centro entre duas linhas de eucalipto. 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.

3.5 Produção de biomassa no sistema agrissilvipastoril

A produção de biomassa variou de 12,34 t ha⁻¹ no ano 1 a 171,21 t ha⁻¹ no ano 11 (Quadro 4). Nas idades de rotação com base no volume de madeira, os valores de biomassa foram de 114,7 t ha⁻¹ aos 6 anos e de 127,72 t ha⁻¹ aos 7 anos. Até o presente momento, a empresa CMM maneja o sistema agrissilvipastoril com base no ciclo de corte de 11 anos. Nesta idade, a biomassa produzida pelo sistema agrissilvipastoril foi 49,27 e 34,05% maior que nas idades de 6 e 7 anos, respectivamente.

A participação do arroz e da soja na produção da biomassa total do sistema agrissilvipastoril foi de 39,22 e 7,02%, respectivamente (Figura 4). A pastagem diminuiu a sua participação ao longo do tempo, passando de 13,09% no ano 3 para 4,81% no ano 11. Essa redução está associada ao aumento de biomassa produzida pelo

eucalipto, enquanto os valores na pastagem mantiveram-se constantes ao longo do tempo. Como era esperado, o eucalipto produziu maior quantidade de biomassa que os demais componentes do sistema agrissilvipastoril, em todas as idades.

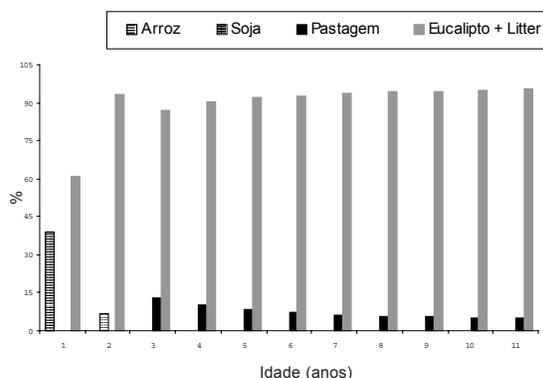


Figura 4 – Contribuição relativa (%) das culturas agrícolas, pastagem e eucalipto + litter para produção de biomassa total no sistema agrissilvipastoril.

Figure 4 – Relative contribution (%) of the agricultural cultures, pasture and eucalypt + litter for the total biomass production in the agrissilvipastoral system.

Quadro 4 – Produção de biomassa pelo sistema agrissilvipastoril, em t ha⁻¹

Table 4 – Biomass production for the agrissilvipastoral system, in ton ha⁻¹

	Idade (anos)	Arroz	Soja	Pastagem	Eucalipto ⁽¹⁾ + Litter	Total
Produção de biomassa	1	4,84	---	---	7,5	12,34000
	2	---	2,40	---	31,80705	34,20705
	3	---	---	8,24	54,68923	62,92923
	4	---	---	⋮	74,75393	82,99393
	5	---	---	⋮	91,87062	100,11062
	6	---	---	⋮	106,45845	114,69845
	7	---	---	⋮	119,48440	127,72440
	8	---	---	⋮	131,57981	139,81981
	9	---	---	⋮	142,84063	151,08063
	10	---	---	⋮	153,29895	161,53895
	11	---	---	8,24	162,96932	171,20932

⁽¹⁾ madeira : folha : raiz : (galho + casca).

4 CONCLUSÕES

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 madeira deteve a maior quantidade de biomassa da parte aérea, seguida pela casca + galho e pela folha, exceto no ano 1, quando a produção de madeira foi igual à da folha.

O gradiente de produção de biomassa pelos diferentes componentes do sistema agrissilvipastoril, conforme a sua escala temporal, decresceu da seguinte forma: eucalipto + litter > pastagem > arroz > soja.

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.
- CAMPOS, M. A. A. **Balanco de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*, avaliação na safra e safrinha.** 1991. 106 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.
- CARVALHO, M. M. et al. **Sistemas silvipastoris – consórcio de árvores e pastagens.** Viçosa: CPT, 2002. 128 p.
- 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.
- GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do estado de Minas Gerais para reflorestamento.** Belo Horizonte: PNUD/FAO/IBDF, CPFRC, 1975. 65 p. (Série Técnica, 3).
- 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, 1995.
- MACEDO, R. L. G.; GOMES, L. J.; SILVEIRA, V. P. **Influência do *Eucalyptus urophylla* sobre o estabelecimento inicial do capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. var. Tanzânia) em sistema silvipastoril.** In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSISTEMAS FLORESTAIS, 4., 1996, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: BIOSFERA, 1996. p. 303.
- 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.
- 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.
- 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.
- PEREIRA, A. R. et al. 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.
- REIS, M. G. F. et al. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no Cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, v. 9, n. 2, p. 149-162, 1985.
- 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.
- 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.