

**RONAN SOARES DE FARIA**

**BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO DE PLANTAS INTACTAS E DE  
BROTAÇÕES DE EUCALIPTO EM ESPAÇAMENTO AMPLO**

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

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2015**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

F224b Faria, Ronan Soares de, 1987-  
2015 Biomassa e estoque de carbono de plantas intactas e de  
brotações de eucalipto em espaçamento amplo / Ronan Soares de  
Faria. – Viçosa, MG, 2015.  
vii, 60f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Geraldo Gonçalves dos Reis.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Eucalipto. 2. Biomassa florestal. 3. Eucalipto - Sequestro  
de carbono. 4. Brotação. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Engenharia Florestal. Programa de  
Pós-graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDD 22. ed. 634.973766

**RONAN SOARES DE FARIA**

**BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO DE PLANTAS INTACTAS E DE  
BROTAÇÕES DE EUCALIPTO EM ESPAÇAMENTO AMPLO**

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

APROVADA: 13 de fevereiro 2015.

---

Prof<sup>a</sup>. Maria das Graças Ferreira Reis  
(Coorientador)

---

Prof. Helio Garcia Leite  
(Coorientador)

---

Prof. Marco Antonio Monte

---

Prof. Geraldo Gonçalves dos Reis  
(Orientador)

"Conhece-te a ti mesmo, torna-te consciente da tua ignorância e será sábio."

Sócrates

## AGRADECIMENTOS

Àquele que não consigo explicar, mas se faz presente de forma misteriosa em minha vida: Deus.

À minha mãe, Cléa, pelo carinho, amor e dedicação em todos os momentos, incondicionalmente. Ao meu pai, Marciano (in memoriam), que me ensinou com exemplos que a força de vontade supera quaisquer obstáculos. Ao meu irmão, Ramon, pelos conselhos que muito me auxiliaram durante minha formação.

Aos professores Geraldo Gonçalves dos Reis e Maria das Graças Ferreira Reis, pela orientação, apoio constante e conhecimentos transmitidos.

Ao meu coorientador, professor Helio Garcia Leite, pela atenção e ajuda para a realização deste trabalho.

À equipe do Laboratório de Ecologia e Fisiologia Florestal, pelo auxílio na coleta e processamento dos dados e, claro, pela amizade. Em especial: Felipe, Rodolfo, Jônio e Junio. E, àqueles que passaram por este laboratório, tanto me ensinaram e ficaram em minha memória: Marco Antonio, Fred, Hortênsia, Mariana, Guilherme Mielki, Guilherme Simiqueli, Cristina, Ranieri, Athila, Carlos Henrique, Diogo, Emerson e Marcus.

Aos amigos de graduação/pós-graduação e república: Daniel, Matheus, Tassinari, Capixaba, Rafael, Daniel, Henrique, Felipe, Remo e Philipe, pelos momentos de descontração e bate-papos filosóficos.

Às minhas amigas: Marcela, Mireli, Letícia, Déborah e Jamille, pelas palavras de apoio e companheirismo.

Aos amigos de Rio Pomba: Léo, Gilcimar, Marcelinho, Biete, Taioba, Elói, e Renan, pelas horas livres passadas juntos, sempre com muito bom humor e boas gargalhadas.

À Votorantim Siderurgia S/A, pelo incentivo e logística necessária à realização desta pesquisa.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Engenharia Florestal da UFV, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela oportunidade e pelo apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

RONAN SOARES DE FARIA, filho de Marciano Quintão de Faria e Cléa Lúcia Soares de Faria, nasceu no município de Rio Pomba, Minas Gerais, em 26 de fevereiro de 1987.

Em março de 2007, ingressou no Curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), graduando-se em novembro de 2012.

Em novembro de 2012, ingressou no Curso de Mestrado em Ciência Florestal do Departamento de Engenharia Florestal da UFV, concluindo os requisitos indispensáveis para obtenção do título de Magister Scientiae em fevereiro de 2015.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	vii
INTRODUÇÃO .....	1
OBJETIVOS .....	5
CAPÍTULO I.....	6
BIOMASSA DE PLANTAS INTACTAS E DE BROTAÇÕES DE EUCALIPTO EM ESPAÇAMENTO AMPLO	
1. Introdução .....	7
2. Material e métodos .....	9
3. Resultados .....	16
4. Discussão .....	27
5. Conclusões .....	30
6. Referências Bibliográficas .....	30
CAPÍTULO II .....	36
ESTOQUE DE CARBONO DE PLANTAS INTACTAS E DE BROTAÇÕES DE EUCALIPTO EM ESPAÇAMENTO AMPLO	
1. Introdução .....	37
2. Material e métodos .....	39
3. Resultados .....	41
4. Discussão .....	51
5. Conclusões .....	54
6. Referências Bibliográficas .....	55
CONCLUSÕES GERAIS .....	60

## RESUMO

FARIA, Ronan Soares de, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2015. **Biomassa e estoque de carbono de plantas intactas e de brotações de eucalipto em espaçamento amplo.** Orientador: Geraldo Gonçalves dos Reis. Coorientadores: Maria das Graças Ferreira Reis e Helio Garcia Leite.

O objetivo do presente estudo foi avaliar o acúmulo de biomassa e o estoque de carbono na parte aérea e no sistema radicular de plantas intactas e de brotações de plantas jovens de clones de eucalipto, para a produção de energia. O estudo foi realizado em povoamentos de dois clones de eucalipto, no arranjo espacial 9,5 x 4,0 m, em Vazante, MG. Os tratamentos incluíram plantas intactas e plantas decepadas aos 9 e 12 meses com diferentes intensidades e idades de desbrota. A biomassa da parte aérea (folhas, galhos e tronco) foi obtida para plantas intactas e todos os brotos da cepa, a cada três meses após a decepa das plantas. A biomassa da parte aérea foi estimada em função da idade, para plantas intactas e brotações. Equações de relação raiz/parte aérea para biomassa foram ajustadas com dados da literatura, para eucalipto. A biomassa de raízes foi, então, obtida com base nos dados desta relação e da biomassa estimada da parte aérea. O estoque de carbono nos componentes das plantas foi calculado utilizando fatores de conversão de biomassa para carbono fixado. Em idades mais jovens, as brotações apresentaram maior produção total de biomassa, sendo superadas, a posteriori, pelas plantas intactas. Aos 96 meses de idade, as plantas intactas do clone 58 estocaram 85,3 Mg C ha<sup>-1</sup> (parte aérea + raízes), e, para o clone 19, esse estoque foi de 61,7 Mg C ha<sup>-1</sup>. O estoque total de carbono para as brotações variou de 16,0 a 57,8 Mg C ha<sup>-1</sup> e a média para todos os tratamentos de brotações foi de 35,5 e 26,5 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para os clones 58 e 19. As raízes das plantas intactas e das brotações apresentaram, respectivamente, 18,2 e 11,2% do estoque total de C, em média, para os dois clones. Os resultados do presente estudo demonstram que a decepa de plantas jovens pode ser utilizada para produção de biomassa para geração de energia, a depender do ciclo de rotação para a talhadia. Esta técnica pode ser utilizada para manejo de povoamentos em espaçamentos amplos, visando, também, a mitigação de gases de efeito estufa, em razão da antecipação do sequestro de C pelas plantas, devido ao maior crescimento das brotações em idades jovens.



## ABSTRACT

FARIA, Ronan Soares de, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2015. **Biomass and carbon stock of intact plants and coppice of eucalypt in wide spatial arrangement.** Adviser: Geraldo Gonçalves dos Reis. Co-Advisers: Maria das Graças Ferreira Reis and Helio Garcia Leite.

The aim of this study was to evaluate the accumulation of biomass and carbon stocks in the above- and belowground components of intact plants and coppice from juvenile eucalypt clones for energy production. The study was conducted in stands of two eucalypt clones, in the spatial arrangement 9.5 x 4.0 m, in Vazante, MG. The treatments included intact plants and coppice from juvenile plants cut at the age of 9 and 12 months, with variable intensity and age of thinning. The aboveground biomass (leaves, branches and trunk) was sampled for intact plants and all sprouts in the stump, every three months. Aboveground biomass was estimated over an age sequence for intact plants and all coppice treatments. The root/shoot ratio equations for biomass were obtained based on literature data for eucalypt. The root biomass was then estimated based on these ratios and on the estimated aboveground biomass. The carbon storage in plant components was calculated using factors to convert biomass into fixed carbon. At younger ages, the coppice presented higher biomass production, being overcome by the intact plants at later ages. At 96 months of age, the intact plants of the clone 58 stocked a total of 85.3 Mg ha<sup>-1</sup> C (shoot + root), whereas for clone 19, this stock reached only 61.7 Mg ha<sup>-1</sup> C. The total carbon stock for the coppice ranged from 16.0 to 57.8 Mg C ha<sup>-1</sup> and the average for all coppice treatments was 35.5 Mg C ha<sup>-1</sup> and 26.5 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectively, for the clones 58 and 19. The roots of intact plants and coppice accounted for, respectively, 18.2 and 11.2% of the total stock of C, on average, for the two clones. The results of this study demonstrate that harvesting juvenile plants may be useful for the production of biomass for power generation, depending on the rotation cycle for coppice. This technique can be used for stands established with low tree planting densities, targeting also the mitigation of greenhouse gases, due to the early C sequestration by plants due to higher coppice growth rate at earlier ages.

## INTRODUÇÃO

O uso da biomassa para a geração de energia vem crescendo rapidamente ao longo da última década devido, principalmente, às pressões ambientais, no sentido de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e aumentar o uso de fontes renováveis (MÜLLER, 2005). A biomassa, com participação de 7% na geração de eletricidade, representa a segunda maior fonte de energia na matriz energética nacional, ficando atrás, apenas, da hidroeletricidade (82%) (ABRAF, 2013).

Porém, a biomassa de base florestal representa apenas 15,8% da geração de energia elétrica a partir de biomassa, percentual baixo se comparado ao enorme potencial que as florestas possuem para produção de bioenergia. Nesse contexto, uma série de estudos vem sendo desenvolvidos em povoamentos densos (MÜLLER et al., 2005; SOUZA, 2011; CARNEIRO et al., 2009) e em sistemas agroflorestais (CACAU et al., 2008; MÜLLER et al., 2009), visando maior entendimento sobre a produção de biomassa para energia.

As florestas plantadas podem ser conduzidas tanto pelo regime de alto fuste como por talhadia. Comparativamente ao regime de alto fuste, a talhadia pode ser vantajosa em virtude do acelerado crescimento inicial das brotações, implicando em antecipação da idade técnica de colheita (KAUPPI et al., 1988; TEWARI et al., 2004; CACAU et al., 2008; SOUZA, 2011; PAULA et al., 2013; OLIVEIRA, 2014), além de contar com a redução de custo de produção, por não haver a necessidade de reforma do povoamento ou o plantio em novas áreas (CAMARGO et al., 1997).

Diante à demanda de biomassa para produzir energia de forma sustentável, empresas florestais e proprietários rurais se deparam com a possibilidade de produzir madeira de dimensões reduzidas, mesmo em povoamentos com espaçamentos amplos, como os sistemas agroflorestais (SAF). Recentemente, alguns estudos vêm sendo desenvolvidos utilizando a decepa de plantas jovens como forma de obter madeira de menor diâmetro na primeira rotação, sem que haja queda na produtividade dos SAF (CACAU et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2008). O diâmetro reduzido dos fustes é importante no processamento da madeira para geração de energia e viabiliza a colheita precoce e mecanizada de plantações florestais, a exemplo de espécies como o eucalipto, principalmente para pequenos e médios agricultores.

Aliada à diversificação da matriz energética, o Governo Federal está implantando ações como a adoção, em larga escala, de práticas sustentáveis, envolvendo a agricultura e a área florestal, para redução das emissões de gases de efeito estufa. Comprovando tal compromisso, foi criado o Programa Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC) que é composto por várias iniciativas, dentre elas, a integração lavoura-pecuária-floresta (TSUKAMOTO FILHO, et al., 2004; BALBINO et al., 2011). Assim, muitos plantios de eucalipto têm sido implantados para atender a diferentes finalidades, a exemplo da produção de biomassa em rotações curtas para fins de produção de energia (AFAS et al., 2008; COUTO et al., 2011; PÉREZ-CRUZADO et al., 2011).

Existe grande interesse na estimativa de carbono estocado em povoamentos florestais e isto requer informações sobre a biomassa de todos os componentes da planta, inclusive as raízes (REIS et al., 1985; RAZAKAMANARIVO et al., 2012; HERRERO et al., 2014). Entretanto, devido aos altos custos para amostragem e a grande mobilização de mão de obra, o sistema radicular nem sempre é contemplado nas estimativas de sequestro de carbono, notadamente quando há a condução da brotação em sucessivas rotações dos plantios florestais (MISRA et al., 1998; WILDY; PATE, 2002; SAINT-ANDRÉ et al., 2005; ZEWDIE et al., 2009). Investigações adicionais sobre a alocação de biomassa nos diversos componentes da planta e seu acúmulo de carbono, tanto em alto fuste como em talhadia, aumentariam substancialmente a precisão da avaliação do sequestro de C pelas plantas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFAS, N. L.; MARRON, N.; DONGEN, S. V.; LAUREYSENS, I.; CEULEMANS, R. Dynamics of biomass production in a poplar coppice culture over three rotations (11 years). **Forest Ecology and Management**, v.255, p.1883-1891, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF ano base 2012**. Brasília, 2013. 148p.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; MARTÍNEZ, G. B. Contribuições dos Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) para uma Agricultura de Baixa Emissão de Carbono. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.4, n.6, p.1163-1175, 2011.

CACAU, F. V.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; ALVES, F. F.; SOUZA, F. C. Decepa de plantas jovens de eucalipto e manejo de brotações, em um

sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.11, p.1457-1465, 2008.

CAMARGO, F. R. A.; SILVA, C. R.; STAPE, J. L. Resultados experimentais da fase de emissão de brotação em *Eucalyptus* manejado por talhadia. **Série Técnica – IPEF**, v.11, n.30, p.115-122, 1997.

CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C.; FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO, R. A. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, v.38, n.2, p.375-381, 2014.

COUTO, L.; NICHOLAS, I. Short rotation eucalypt plantations for energy in Brazil. 2011. Disponível em: < [http://ieabioenergytask43.org/wp-content/uploads/2013/09/IEA\\_Bioenergy\\_Task43\\_PR2011-02.pdf](http://ieabioenergytask43.org/wp-content/uploads/2013/09/IEA_Bioenergy_Task43_PR2011-02.pdf)>. Acesso em: 9 de fevereiro de 2015.

HERRERO, C.; JUEZ, L.; TEJEDOR, C.; PANDO, V.; BRAVO, F. Importance of root system in total biomass for *Eucalyptus globulus* in northern Spain. **Biomass and Bioenergy**, v.67, p.212-222, 2014.

KAUPPI, A.; KIVINIITTY, M.; FERM, A. Growth habits and crown architecture of *Betula pubescens* Ehrh. of seed and sprout origin. **Canadian Journal of Forest Research**, v.18, p.1603-1613, 1988.

MISRA, R. K.; TURNBULL, C. R. A.; CROMER, R. N.; GIBBONS, A.K.; LaSALA, A. V. Below- and above-ground growth of *Eucalyptus nitens* in a young plantation I. Biomass. **Forest Ecology and Management**, v.106, p.283-293, 1998.

MÜLLER, M. D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba, MG**. 2005. 94f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MÜLLER, M. D.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; BRITTO, J. O. Avaliação de um clone de eucalipto estabelecendo densidades de plantio para produção de biomassa e energia. **Biomassa & Energia**, v.2, p.177-186, 2005.

MÜLLER, M. D.; FERNANDES, E. N.; CASTRO, C. R. T.; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. F. Estimativa e acúmulo de biomassa e carbono em sistema agrossilvipastoril na Zona da Mata Mineira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.60, p-11-17, 2009. Edição Especial.

OLIVEIRA, C. H. R. **Produção de eucalipto em alto fuste e talhadia e de braquiária em sistemas silvipastoris com diferentes arranjos espaciais**. 2014. 106f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, C. H. R.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; XAVIER, A.; STOCKS, J. J. Área foliar e biomassa de plantas intactas e de brotações de plantas jovens de clone

de eucalipto em sistemas agrossilvipastoris. **Revista Árvore**, v.32, n.1, p.59-68, 2008.

PAULA, R. R.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; OLIVEIRA NETO, S. N.; LEITE, H. G.; MELIDO, R. C. N.; LOPES, H. N. S.; SOUSA, F. C. Eucalypt growth in monoculture and silvopastoral systems with varied tree initial densities and spatial arrangements. **Agroforestry Systems**, v.87, n.6, p.1285-1307, 2013.

PERÉZ-CRUZADO, C.; MERINO, A.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R. A management tool for estimating bioenergy production and carbon sequestration in *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens* grown as short rotation woody crops in north-west Spain. **Biomass and Bioenergy**, v.35, p.2839-2851, 2011.

RAZAKAMANARIVO, R. H.; RAZAKAVOLOLONA, A.; RAZAFINDRAKOTO, M. A.; VIEILLEDENT, G.; ALBRECHT, A. Below-ground biomass production and allometric relationships of eucalyptus coppice plantation in the central highlands of Madagascar. **Biomass and Bioenergy**, v.45, p.1-10, 2012.

REIS, M. G. F.; KIMMINS, J.; 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.

SAINT-ANDRÉ, L.; M'BOU, A. T.; MABIALA, A.; MOUVONDY, W.; JOURDAN, C.; ROUPSARD, O.; DELEPORTE, P.; HAMEL, O.; NOUVELLON, Y. Age-related equations for above- and below-ground biomass of a *Eucalyptus* hybrid in Congo. **Forest Ecology and Management**, v.205, p.199-214, 2005.

SOUZA, F. S. **Crescimento e potencial energético de plantas intactas e de brotações de plantas jovens de clones de eucalipto**. 2011. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

TEWARI, S. K.; KATIYAR, R. S.; BALAK RAM; MISRA, P. N. Effect of age and season of harvesting on the growth, coppicing characteristics and biomass productivity of *Leucaena leucocephala* and *Vitex negundo*. **Biomass and Bioenergy**, v.26, p.229-234, 2004.

TSUKAMOTO FILHO, A. A.; COUTO, L.; NEVES, J. C. L.; PASSOS, C. A. M.; SILVA, M. L. Fixação de carbono em um sistema agrissilvipastoril com eucalipto na região de cerrado de Minas Gerais. **Agrossilvicultura**, v.1, n.1, p.29-41, 2004.

WILDY, D. T.; PATE, J. S. Quantifying above- and below-ground growth responses of the western Australian oil mallee, *Eucalyptus kochii* subsp. *plenissima*, to contrasting decapitation regimes. **Annals of Botany**, v.90, n.2, p.185-197, 2002.

ZEWDIE, M.; OLSSON, M.; VERWIJST, T. Above-ground biomass production and allometric relations of *Eucalyptus globulus* Labill. coppice plantations along a chronosequence in the central highlands of Ethiopia. **Biomass and Bioenergy**, v.33, p.421-428, 2009.

## **OBJETIVOS**

### **Geral**

Avaliar o acúmulo de biomassa e o estoque de carbono da parte aérea e do sistema radicular de plantas intactas e de brotações de plantas decepadas em idades jovens, em povoamentos de clones de eucalipto, visando obter fontes alternativas para a geração de energia, em consonância com o programa Agricultura de Baixo Carbono.

### **Específicos**

1. Avaliar o acúmulo de biomassa, para a produção de energia, nos componentes da parte aérea e do sistema radicular de plantas intactas e de brotações de plantas jovens, em povoamentos de clones de eucalipto;

2. Avaliar o estoque de carbono nos componentes da parte aérea e do sistema radicular de plantas intactas e de brotações de plantas jovens, em povoamentos de clones de eucalipto.

## CAPÍTULO I

### BIOMASSA DE PLANTAS INTACTAS E DE BROTAÇÕES DE EUCALIPTO EM ESPAÇAMENTO AMPLO

**Resumo** – Neste estudo foi avaliada a produção de biomassa nos componentes da parte aérea e do sistema radicular de plantas intactas e de brotações de plantas jovens, de dois clones de eucalipto, estabelecidos no arranjo espacial 9,5 x 4,0 m, em Vazante, MG. Os tratamentos incluíram plantas intactas e plantas decepadas aos 9 e 12 meses com diferentes intensidades e idades de desbrota. A biomassa da parte aérea (folhas, galhos e tronco) foi obtida para plantas intactas e todos os brotos da cepa, a cada três meses após a decepta das plantas. A biomassa da parte aérea foi estimada em função da idade, para plantas intactas e brotações. Equações de relação raiz/parte aérea para biomassa foram ajustadas com dados da literatura, para eucalipto. A biomassa de raízes foi obtida com dados desta relação e da biomassa estimada da parte aérea. Aos 96 meses, as plantas intactas apresentaram maior acúmulo de biomassa na parte aérea, atingindo 139,0 e 103,7 Mg ha<sup>-1</sup>, para os clones 58 e 19, respectivamente. As brotações apresentaram produção inicial de biomassa da parte aérea superiores às plantas intactas. E, aos 96 meses a biomassa das brotações variou de 27,2 a 104,1 Mg ha<sup>-1</sup> e 28,5 a 79,3 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para os clones 58 e 19. Nesta idade, a biomassa de raízes, para os dois clones, correspondeu a 17,6% e 12,6% da biomassa total (parte aérea + raízes) em plantas intactas e brotações, respectivamente. Os resultados desse estudo indicam que, a depender da idade de rotação para as brotações, a produção de biomassa para geração de energia pode ser obtida com o corte das plantas aos 12 meses e posterior desbrota para 3 brotos aos 6 meses.

**Palavras-chave:** Decepta de plantas jovens, alto fuste, raízes, clones de eucalipto, sistema agroflorestal

**Abstract** – In this study, it was evaluated the production of biomass in the aboveground components and root system of intact plants and juvenile plants coppice, for two eucalypt clones, established in the spatial arrangement 9.5 x 4.0 m, in Vazante, MG. The treatments included intact plants and coppice from juvenile plants cut at the age 9 and 12 months, with variable intensity and age of thinning.

The aboveground biomass (leaves, branches and trunk) was sampled for intact plants and all sprouts in the stump, every three months. Aboveground biomass was estimated over an age sequence for intact plants and all coppice treatments. The root/shoot ratio equations for biomass were obtained with literature data for eucalypt. The root biomass was estimated with these ratios and the estimated aboveground biomass. At 96 months, the intact plants showed higher total biomass accumulation, reaching 139.0 and 103.7 Mg ha<sup>-1</sup>, for the clones 58 and 19, respectively. Coppice presented initial production of biomass higher than the intact plants. And, at 96 months coppice biomass ranged from 27.2 to 104.1 Mg ha<sup>-1</sup> and 28.5 to 79.3 Mg ha<sup>-1</sup>, respectively, for the clones 58 and 19. At this age, the biomass of roots, for the two clones, corresponded to 17.6% and 12.6% of the total biomass (shoot + roots) in intact plants and coppice, respectively. The results of this study indicate that, depending on the coppice rotation age, biomass production for energy generation can be obtained by cutting 12 months old plants, with further thinning to 3 sprouts at the age of 6 months.

**Keywords:** Juvenile plants coppice, high forest, roots, eucalypt clone, agroforestry system

## 1. Introdução

A biomassa é uma das fontes para geração de energia e há perspectivas de crescimento de seu uso, principalmente de madeira (ABRAF, 2013). Esta fonte de energia é considerada importante para a diversificação da matriz energética, com reflexos positivos na redução do consumo de combustíveis fósseis. Da biomassa, pode haver a cogeração de energia elétrica e combustíveis, como o biodiesel e o etanol, que vêm ganhando destaque nos últimos anos, em substituição aos derivados de petróleo (ANEEL, 2008).

Os resíduos florestais, junto ao bagaço da cana-de-açúcar e licor negro da indústria de celulose, representam formas de biomassa utilizada para a geração de energia elétrica no País (MACEDO, 2003). Em 2012, a participação da biomassa na geração de energia elétrica era de 7%, no Brasil (ABRAF, 2013). Importante salientar que o aproveitamento de resíduos culturais (agrícolas e florestais) para geração de eletricidade implica na remoção de fontes de nutrientes e matéria orgânica, fundamentais para o solo, o que não é interessante, principalmente, do



ponto de vista ambiental (MÜLLER, 2005). Assim, os estudos sobre possibilidades de manejo de plantações de eucalipto para a produção de biomassa para geração de energia (MÜLLER et al., 2005a, 2009; CACAU et al., 2008; SOUZA, 2011; CARNEIRO, 2014) (MÜLLER et al., 2009) podem auxiliar na tomada de decisões para reduzir os impactos ambientais destas atividades.

Em 2014, foi inaugurada a primeira planta de cogeração de energia a vapor a partir da queima de biomassa de eucalipto, no Complexo Industrial de Aratu, em Candeias, BA. A madeira, vinda de 10 mil hectares de florestas plantadas em áreas próximas, substituiu o gás na produção do vapor utilizado pela empresa, ou seja, todo o vapor é produzido a partir de cavaco (madeira picada) de eucalipto de plantios próprios (PAINEL FLORESTAL, 2014).

A biomassa para energia pode ser obtida de plantas manejadas por alto fuste ou talhadia. Espécies com a capacidade de emitir brotações, após o corte, permitem sucessivas colheitas da plantação (GABRIELLE, 2012). Grande parte das espécies do gênero *Eucalyptus* apresenta facilidade de rebrota após o corte, devido à presença de gemas adventícias e, também, à existência de lignotúberes na base das árvores, tornando a utilização da decepta de plantas jovens, com posterior condução da brotação, uma técnica de manejo florestal viável (BLAKE, 1983; WALTERS et al., 2005).

A condução da brotação, além de implicar em redução de custo de produção (CAMARGO et al., 1997), pode ser vantajosa, uma vez que a taxa de crescimento inicial das brotações é maior que a de povoamentos de alto fuste, de mesma idade, implicando em antecipação da idade da rotação (KAUPPI et al., 1988; TEWARI et al., 2004; CACAU et al., 2008, SOUZA, 2011; PAULA et al., 2013; OLIVEIRA, 2014).

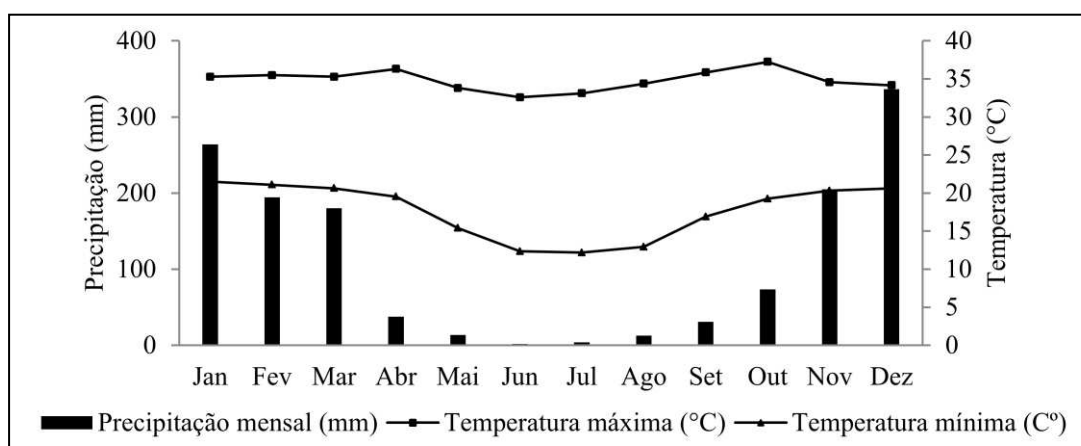
O Brasil pode assumir posição de destaque no cenário mundial na produção e no uso da biomassa como recurso energético, uma vez que possui disponibilidade de terra, condições ambientais favoráveis e tecnologia para estabelecer plantios florestais produtivos (STAPE et al., 2010). No entanto, ainda é necessária a conjugação de esforços no sentido de prover novas técnicas para que esta produção seja sustentável (MMA, 2015).

Este estudo teve como objetivo avaliar a produção de biomassa nos componentes da parte aérea e do sistema radicular de plantas intactas e de brotações de plantas jovens, em povoamentos de eucalipto.

## 2. Material e métodos

O estudo foi realizado em povoamentos dos clones 58 e 19 de eucalipto, híbridos de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* x *E. grandis*, respectivamente, estabelecidos no arranjo espacial 9,5 x 4,0 m, em um sistema agroflorestal, em área da Votorantim Siderurgia S/A, no município de Vazante, MG (17°36'09" S, 46°42'02" W e altitude de 550m).

O clima da região é Aw (Köppen), com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média anual é de 26,5°C; a precipitação média anual é de 1350 mm, com déficit hídrico de 480 mm, no período de março a outubro (Figura 1) (SOUZA, 2011). O solo predominante é o Latossolo Vermelho Distrófico com textura argilosa. A vegetação natural é constituída por formações do bioma cerrado.



**Figura 1.** Médias de precipitação mensal e temperaturas máximas e mínimas na área experimental no período de 1999 a 2009. Fonte: Souza (2011).

O plantio irrigado dos clones de eucalipto foi realizado em julho de 2004, com a semeadura do arroz (*Oryza sativa*) no fim do mês de outubro. O preparo do solo para o plantio do eucalipto e do arroz constituiu-se de uma gradagem pesada e duas gradagens niveladoras, com a incorporação de 4 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico zinal (85% de PRNT). A subsolagem foi feita na linha de plantio do eucalipto (30-40 cm de profundidade), com a adição, no sulco, de 150 kg de fosfato reativo de gafsa por hectare. A adubação para o plantio do eucalipto e do arroz constituiu-se, respectivamente, de 130 g planta<sup>-1</sup> de NPK 10-28-06 + 0,5% de Zn + 0,3% de B e, 300 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 40-30-16 + 0,3% de Zn. O arroz foi plantado a uma distância de 1 m da linha de plantio do eucalipto. Após a colheita da cultura do arroz, em

fevereiro de 2005, realizou-se a adubação de cobertura do eucalipto (20 g planta<sup>-1</sup>, sendo 10 g de cada lado) de Borogram (10% B). O plantio da soja (*Glycine max*) foi realizado na estação chuvosa subsequente, após aplicação do herbicida trifluralina e o preparo da área com duas gradagens niveladoras. A adubação para a cultura da soja consistiu-se de 500 g planta<sup>-1</sup> de NPK 02-30-15 + 0,3% de B.

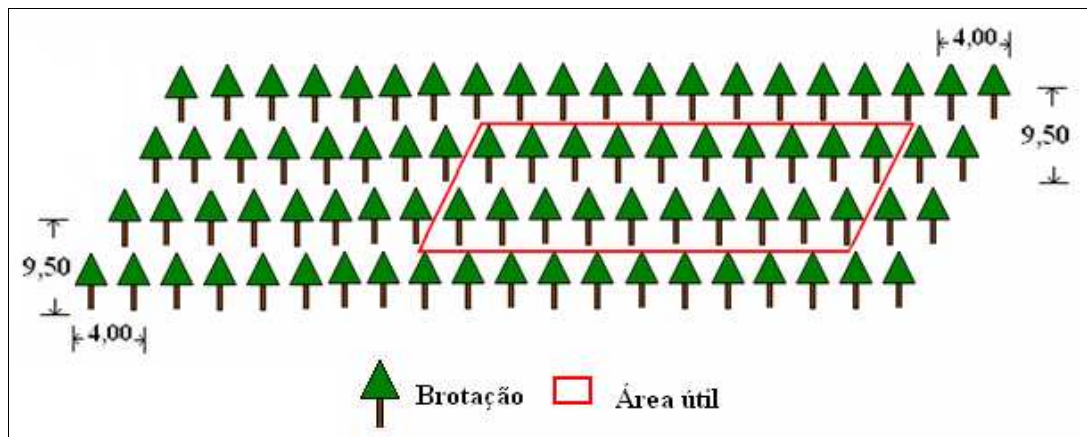
O experimento de decepta foi instalado em abril de 2005, em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições de onze tratamentos, incluindo: plantas intactas (não decepadas) e plantas decepadas aos 9 e 12 meses, a 10 cm do solo. Após a decepta, foram aplicados os seguintes tratamentos de desbrota: a) sem desbrota, b) desbrota para dois brotos e c) desbrota para três brotos. A desbrota foi realizada aos seis e nove meses de idade, após a decepta (Tabela 1). O estudo foi conduzido em uma área plana e homogênea e a recomendação de adubação foi a mesma para toda a área experimental.

A decepta e a desbrota foram realizadas com serrote de desrama. As parcelas foram constituídas de quatro fileiras, com área útil de 760 m<sup>2</sup>, constituída por 20 plantas, dispostas nas duas linhas centrais (10 plantas em cada linha), a partir da segunda planta (Figura 2).

**Tabela 1.** Tratamentos de decepta e de desbrota, aplicados em plantas dos clones 58 e 19<sup>(1)</sup> de eucalipto, em espaçamento 9,5 x 4,0 m, em Vazante, MG

Tratamento	Idade da decepta (mês)	Idade da desbrota (mês)	Nº de brotos
PI	-	-	-
D9-SD	9	SD	SD
D9-I6-2B	9	6	2
D9-I6-3B	9	6	3
D9-I9-2B	9	9	2
D9-I9-3B	9	9	3
D12-SD	12	SD	SD
D12-I6-2B	12	6	2
D12-I6-3B	12	6	3
D12-I9-2B	12	9	2
D12-I9-3B	12	9	3

<sup>(1)</sup> Não foram utilizados os tratamentos de decepta aos 9 meses para o clone 19, em razão de perda desses tratamentos; PI = Planta intacta; D9, D12 = Idade da decepta (9 e 12 meses, respectivamente); SD = sem desbrota; I6, I9 = idade de desbrota (desbrota aos 6 e aos 9 meses, respectivamente); 2B, 3B = número de brotos (2 e 3 brotos/cepa, respectivamente).



**Figura 2.** Croqui da parcela demonstrando a área útil.

A biomassa de folhas, galhos e tronco (parte aérea) foi avaliada trimestralmente, dos 9 aos 36 meses de idade após o plantio. Uma árvore sem decepta e todas as brotações de uma cepa, em cada repetição, por tratamento, foram amostradas para avaliação da biomassa da parte aérea por planta, totalizando 30 plantas intactas e 300 cepas em todo o período de amostragem. A biomassa total de folhas, galhos e tronco foi obtida no campo, utilizando uma balança de menor precisão, porém, maior capacidade. As amostras com massa inferior a 300 g foram pesadas em balança de precisão, em laboratório. Em seguida, o material de cada componente da planta foi homogeneizado para obtenção de amostras que foram pesadas em balança de precisão, visando obter a massa fresca da amostra. Essas amostras foram acondicionadas em ambiente refrigerado para evitar a ação de fungos e, posteriormente, foram levadas ao Laboratório de Ecologia e Fisiologia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (LEF/UFV), para secagem em estufa com ventilação forçada à temperatura de 80°C, até que a massa se tornasse constante, para determinação da massa seca.

A biomassa de folhas, galhos e tronco, por planta, foi analisada, em função da idade, por meio da análise de regressão não-linear, utilizando o modelo Gompertz:

$$Y_i = \alpha e^{(e^{(\beta - \gamma I_i)})} + \varepsilon_i;$$

em que:

$Y_i$  = variável dependente (biomassa, com base em matéria seca em kg/planta);  $I_i$  = idade do povoamento, em meses;  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  = parâmetros do modelo;  $\varepsilon_i$  = erro aleatório,  $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ .

A biomassa seca total da parte aérea foi obtida a partir do somatório da biomassa de folhas, galhos e tronco.

Em razão de não ter sido amostrada a biomassa de raízes, no presente estudo, buscou-se na literatura trabalhos contendo informações sobre biomassa da parte aérea e de raízes para plantas intactas e brotações de eucalipto. Com esses dados, obteve-se a relação raiz/parte aérea (R:PA) para plantas intactas (Tabela 2) e brotações (Tabela 3) e, ajustaram-se equações não-lineares, para cada forma de manejo das plantas, a fim de estabelecer a relação R:PA por idade. Considerando a existência de maior quantidade de dados para planta intacta (alto fuste), foram obtidas equações específicas para cada clone. Os dados de R/PA de Tsukamoto Filho (2003) foram utilizados para estimar as equações dos clones 58 e 19, uma vez que se basearam em materiais genéticos distintos. Em razão do número reduzido de dados de R/PA para brotação (Tabela 3), foi estimada apenas uma equação para os dois clones. A partir das equações ajustadas, obteve-se a biomassa de raízes, para diferentes idades das plantas. Somando-se a biomassa da parte aérea e do sistema radicular, obteve-se a biomassa total das plantas.

**Tabela 2.** Relação Raiz/Parte Aérea (R:PA) encontrada na literatura para plantas intactas de diferentes genótipos de eucalipto

Autor	Material Genético	Espaçamento	Idade (mês)	Relação R:PA
Clone 58				
Ferreira (1984) <sup>1</sup>	E. grandis	3x2	15	0,2523
Ferreira (1984) <sup>1</sup>	E. grandis	3x2	26	0,1984
Ferreira (1984) <sup>1</sup>	E. grandis	3x2	38	0,1722
Ferreira (1984) <sup>1</sup>	E. grandis	3x2	51	0,1625
Ferreira (1984) <sup>1</sup>	E. grandis	3x2	62	0,1600
Ferreira (1984) <sup>1</sup>	E. grandis	3x2	73	0,1524
Ferreira (1984) <sup>2</sup>	E. grandis	3x2	21	0,5785
Ferreira (1984) <sup>2</sup>	E. grandis	3x2	32	0,4375
Ferreira (1984) <sup>2</sup>	E. grandis	3x2	43	0,4538
Ferreira (1984) <sup>2</sup>	E. grandis	3x2	56	0,4670
Ferreira (1984) <sup>2</sup>	E. grandis	3x2	67	0,4697
Leles (1995)	E. camaldulensis	6x4	52	0,2531
Leles (1995)	E. camaldulensis	3x6	52	0,3513
Leles (1995)	E. camaldulensis	3x5	52	0,2970
Leles (1995)	E. camaldulensis	3x4	52	0,4124
Leles (1995)	E. camaldulensis	3x3	52	0,2077
Leles (1995)	E. camaldulensis	3x2	52	0,3302
Leles (1995)	E. camaldulensis	3x1,5	52	0,2063

Tabela 2, Cont.

Leles (1995)	<i>E. camaldulensis</i>	3x1	52	0,3441
Contreras Marquez (1997)	<i>E. camaldulensis</i>	9x9	84	0,3495
Contreras Marquez (1997)	<i>E. camaldulensis</i>	6x4	84	0,3812
Contreras Marquez (1997)	<i>E. camaldulensis</i>	3x6	84	0,2824
Contreras Marquez (1997)	<i>E. camaldulensis</i>	3x5	84	0,3490
Contreras Marquez (1997)	<i>E. camaldulensis</i>	3x4	84	0,4571
Contreras Marquez (1997)	<i>E. camaldulensis</i>	3x3	84	0,2349
Contreras Marquez (1997)	<i>E. camaldulensis</i>	3x2	84	0,1865
Contreras Marquez (1997)	<i>E. camaldulensis</i>	3x1,5	84	0,3072
Contreras Marquez (1997)	<i>E. camaldulensis</i>	3x1	84	0,2361
Ladeira (1999)	<i>E. camaldulensis</i>	3x4	15	1,2708
Ladeira (1999)	<i>E. camaldulensis</i>	3x4	31	0,9691
Ladeira (1999)	<i>E. camaldulensis</i>	3x4	41	0,8111
Ladeira (1999)	<i>E. camaldulensis</i>	3x4	84	0,5173
Ladeira (1999)	<i>E. camaldulensis</i>	3x3	15	1,0870
Ladeira (1999)	<i>E. camaldulensis</i>	3x3	31	0,8046
Ladeira (1999)	<i>E. camaldulensis</i>	3x3	41	0,6827
Ladeira (1999)	<i>E. camaldulensis</i>	3x3	84	0,4606
Ladeira (1999)	<i>E. camaldulensis</i>	3x1,5	15	0,7187
Ladeira (1999)	<i>E. camaldulensis</i>	3x1,5	31	0,5961
Ladeira (1999)	<i>E. camaldulensis</i>	3x1,5	41	0,5190
Ladeira (1999)	<i>E. camaldulensis</i>	3x1,5	84	0,4737
Oliveira Neto (1996)	<i>E. camaldulensis</i>	3x5	20	0,4352
Oliveira Neto (1996)	<i>E. camaldulensis</i>	3x5	32	0,5461
Oliveira Neto (1996)	<i>E. camaldulensis</i>	3x4	20	0,6345
Oliveira Neto (1996)	<i>E. camaldulensis</i>	3x4	32	0,9181
Oliveira Neto (1996)	<i>E. camaldulensis</i>	3x3	20	0,3971
Oliveira Neto (1996)	<i>E. camaldulensis</i>	3x3	32	0,5702
Oliveira Neto (1996)	<i>E. camaldulensis</i>	3x2	20	0,7654
Oliveira Neto (1996)	<i>E. camaldulensis</i>	3x2	32	0,4558
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	12	1,2105
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	24	0,4590
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	36	0,3520
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	48	0,2948
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	60	0,2541
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	72	0,2236
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	84	0,1988
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	96	0,1784
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	108	0,1612
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	120	0,1464
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	132	0,1337
Campoe et. Al (2012)	<i>E. grandis</i>	nd	72	0,1970

Tabela 2, Cont.

		Clone 19			
Ladeira (1999)	<i>E. urophylla</i>	3x4	15	0,5465	
Ladeira (1999)	<i>E. urophylla</i>	3x4	31	0,4832	
Ladeira (1999)	<i>E. urophylla</i>	3x4	41	0,4227	
Ladeira (1999)	<i>E. urophylla</i>	3x4	84	0,3543	
Ladeira (1999)	<i>E. urophylla</i>	3x3	15	0,4935	
Ladeira (1999)	<i>E. urophylla</i>	3x3	31	0,4412	
Ladeira (1999)	<i>E. urophylla</i>	3x3	41	0,3916	
Ladeira (1999)	<i>E. urophylla</i>	3x3	84	0,3328	
Ladeira (1999)	<i>E. urophylla</i>	3x1,5	15	0,4828	
Ladeira (1999)	<i>E. urophylla</i>	3x1,5	31	0,4057	
Ladeira (1999)	<i>E. urophylla</i>	3x1,5	41	0,3114	
Ladeira (1999)	<i>E. urophylla</i>	3x1,5	84	0,2000	
Neves (2000)	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	3x3	110	0,1293	
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	12	1,2105	
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	24	0,4590	
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	36	0,3520	
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	48	0,2948	
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	60	0,2541	
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	72	0,2236	
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	84	0,1988	
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	96	0,1784	
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	108	0,1612	
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	120	0,1464	
Tsukamoto Filho (2003)	<i>Eucalyptus</i> spp	10x4	132	0,1337	

nd = não determinado. <sup>1</sup>Sítio de melhor qualidade. <sup>2</sup>Sítio de baixa qualidade

A biomassa de folhas, galhos, tronco, parte aérea (folhas + galhos + tronco), raízes e a biomassa total (parte aérea + sistema radicular), por unidade de área, foi obtida levando-se em consideração a sobrevivência das plantas aos 42 meses de idade, conforme apresentado por Cacau (2008).

Com o objetivo de avaliar a igualdade estatística entre as estimativas obtidas pelas curvas de crescimento em biomassa, foi empregado o procedimento estatístico proposto por Leite e Oliveira (2002), a 5% de probabilidade.

**Tabela 3.** Relação Raiz/Parte Aérea (R:PA) encontrada na literatura para brotações de diferentes genótipos de eucalipto

<b>Autor</b>	<b>Material Genético</b>	<b>Espaçamento</b>	<b>Idade (mês)</b>	<b>Relação R:PA</b>
Ferreira (1984)	<i>E. grandis</i>	nd	1,5	54,31
Ferreira (1984)	<i>E. grandis</i>	nd	2,5	6,55
Ferreira (1984)	<i>E. grandis</i>	nd	3,5	2,89
Ferreira (1984)	<i>E. grandis</i>	nd	4,5	1,24
Ferreira (1984)	<i>E. grandis</i>	nd	1,5	54,38
Ferreira (1984)	<i>E. grandis</i>	nd	2,5	2,33
Ferreira (1984)	<i>E. grandis</i>	nd	3,5	1,41
Ferreira (1984)	<i>E. grandis</i>	nd	4,5	0,79
Wildy & Pate (2002)	<i>E. kochii</i> subsp. <i>plenissima</i>	nd	2	3,33
Wildy & Pate (2002)	<i>E. kochii</i> subsp. <i>plenissima</i>	nd	5	5,00
Wildy & Pate (2002)	<i>E. kochii</i> subsp. <i>plenissima</i>	nd	8	2,00
Wildy & Pate (2002)	<i>E. kochii</i> subsp. <i>plenissima</i>	nd	10	1,67
Wildy & Pate (2002)	<i>E. kochii</i> subsp. <i>plenissima</i>	nd	13	1,11
Wildy & Pate (2002)	<i>E. kochii</i> subsp. <i>plenissima</i>	nd	17	1,25
Wildy & Pate (2002)	<i>E. kochii</i> subsp. <i>plenissima</i>	nd	20	0,83
Wildy & Pate (2002)	<i>E. kochii</i> subsp. <i>plenissima</i>	nd	24	0,67
Wildy & Pate (2002)	<i>E. kochii</i> subsp. <i>plenissima</i>	nd	29	0,50
Wildy & Pate (2002)	<i>E. kochii</i> subsp. <i>plenissima</i>	nd	32	0,45
Wildy & Pate (2002)	<i>E. kochii</i> subsp. <i>plenissima</i>	nd	10	2,50
Wildy & Pate (2002)	<i>E. kochii</i> subsp. <i>plenissima</i>	nd	13	2,00
Wildy & Pate (2002)	<i>E. kochii</i> subsp. <i>plenissima</i>	nd	17	1,11
Wildy & Pate (2002)	<i>E. kochii</i> subsp. <i>plenissima</i>	nd	20	1,00
Wildy & Pate (2002)	<i>E. kochii</i> subsp. <i>plenissima</i>	nd	24	0,67
Wildy & Pate (2002)	<i>E. kochii</i> subsp. <i>plenissima</i>	nd	29	0,59
Wildy & Pate (2002)	<i>E. kochii</i> subsp. <i>plenissima</i>	nd	32	0,67
Teixeira et. al (2002)	<i>E. urophylla</i>	3x2	2	215,50
Teixeira et. al (2002)	<i>E. urophylla</i>	3x2	4	12,23
Teixeira et. al (2002)	<i>E. urophylla</i>	3x2	6	4,02
Teixeira et. al (2002)	<i>E. urophylla</i>	3x2	8	2,24
Teixeira et. al (2002)	<i>E. urophylla</i>	3x2	11	1,04

nd = não determinado.



### 3. Resultados

As equações estimadas para a relação raiz/parte aérea, para plantas intactas e brotações, encontram-se na Tabela 4. Nessa mesma tabela são apresentados os coeficientes de correlação entre valores observados e estimados.

**Tabela 4.** Equações de relação Raiz/Parte Aérea (y), em função da idade (I), para plantas intactas e brotações de eucalipto

Forma de manejo	Clone	Equação	$r_{\hat{y}y}$
Planta Intacta	58	$y = 3,9988 I^{-0,621}$	0,4162
Planta Intacta	19	$y = 2,6401 I^{0,573}$	0,5206
Brotação	19 e 58	$y = 26,338 I^{-1,176}$	0,6180

$r_{\hat{y}y}$  = Coeficiente de correlação entre valores observados e estimados.

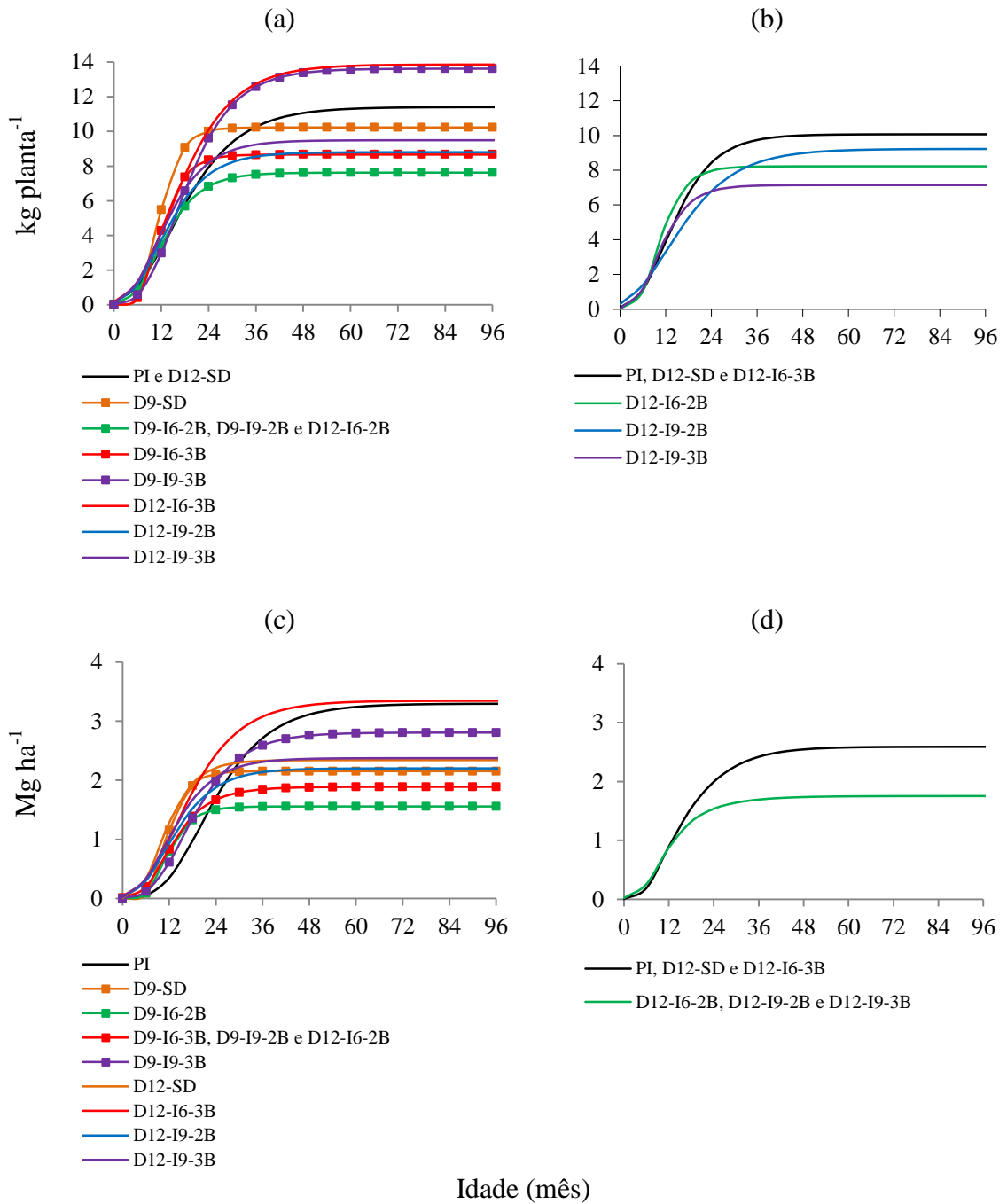
As equações estimadas para biomassa de folhas, galhos e tronco, por planta, para os dois clones, apresentaram coeficientes de correlação entre valores observados e estimados superiores a 0,90 ( $p < 0,05$ ). Em algumas situações, dois ou três tratamentos foram representados por uma única equação em razão de não ter sido observada diferença significativa entre as estimativas obtidas (Tabela 5).

A produção de biomassa de folhas, por planta, das plantas intactas (PI) e daquelas decepadas, aos 12 meses, sem a realização de desbrota (D12-SD), não apresentou diferença ( $p > 0,05$ ) para os dois clones. Para o clone 19, também não houve diferença entre estes dois tratamentos e o tratamento de decepta aos 12 meses, com desbrota aos 6 meses para três brotos (D12-I6-3B) (Tabela 5; Figura 3a, b). As curvas obtidas, para o clone 58, dos tratamentos D9-I6-2B, D9-I9-2B e D12-I6-2B também não diferiram entre si ( $p > 0,05$ ) e foram representadas por uma única curva de produção de biomassa de folhas por planta (Tabela 5; Figura 3a). As maiores estimativas do parâmetro  $\alpha$  (assíntota) para biomassa de folhas, por planta, foram obtidas para os tratamentos D12-I6-3B e D9-I9-3B, para o clone 58, e, para os tratamentos PI, D12-SD e D12-I6-3B, para o clone 19 (Tabela 5).

**Tabela 5.** Estimativas dos parâmetros do modelo Gompertz, ajustados para biomassa de folhas, galhos e tronco (kg planta<sup>-1</sup>), em função da idade, para plantas intactas e brotações dos clones 58 e 19 de eucalipto em Vazante, MG

Clone	Trat.	Biomassa de Folhas (kg planta <sup>-1</sup> )					Biomassa de Galhos (kg planta <sup>-1</sup> )					Biomassa de Tronco (kg planta <sup>-1</sup> )				
		$\alpha^{(1)}$	$\beta^{(1)}$	$\gamma^{(1)}$	$r_{\hat{y}y}^{(2)}$	$S_{yx}^{(3)}$	$\alpha^{(1)}$	$\beta^{(1)}$	$\gamma^{(1)}$	$r_{\hat{y}y}^{(2)}$	$S_{yx}^{(3)}$	$\alpha^{(1)}$	$\beta^{(1)}$	$\gamma^{(1)}$	$r_{\hat{y}y}^{(2)}$	$S_{yx}^{(3)}$
58	PI	11,4063	1,4651	0,1032	0,9232	1,5710	56,9100	2,0569	0,0543	0,9714	1,5118	564,8075	2,1710	0,0392	0,9822	4,4443
	D9-SD	10,2315	2,8068	0,2733	0,9725	0,9214	48,8294	1,8039	0,0734	0,9853	1,4311	115,5351	2,2853	0,1137	0,9944	3,1843
	D9-I6-2B	7,1015	2,4947	0,2406	0,9688	0,6810	17,9379	2,0704	0,1192	0,9853	0,8862	99,5562	2,0295	0,0807	0,9975	1,0806
	D9-I6-3B	8,6669	2,5865	0,24429	0,9776	0,7122	27,4900	1,8711	0,0895	0,9772	1,3101	109,4216	2,3139	0,1065	0,9841	4,6224
	D9-I9-2B	7,1015	2,4947	0,2406	0,9688	0,6810	35,5706	1,7313	0,0693	0,9872	0,8179	105,1414	2,0870	0,0866	0,9789	3,6551
	D9-I9-3B	13,6225	1,8909	0,1225	0,9763	0,8693	35,5706	1,7313	0,0693	0,9872	0,8179	397,0930	2,0554	0,0557	0,9881	3,5817
	D12-SD	11,4063	1,4651	0,1032	0,9232	1,5710	43,8258	1,5426	0,0547	0,9472	1,7041	261,5321	1,8775	0,0546	0,9674	4,4342
	D12-I6-2B	7,1015	2,4947	0,2406	0,9688	0,6810	35,5706	1,7313	0,0693	0,9872	0,8179	261,5321	1,8775	0,0546	0,9674	4,4342
	D12-I6-3B	13,8589	1,5151	0,1109	0,9549	1,1923	15,0945	1,2948	0,0810	0,9452	1,0451	426,8626	1,9275	0,0497	0,9878	3,4067
	D12-I9-2B	8,8034	1,5314	0,1405	0,9702	0,7001	28,6470	1,4311	0,0567	0,9584	1,1298	261,5321	1,8775	0,0546	0,9674	4,4342
D12-I9-3B	9,4957	1,5252	0,1426	0,9774	0,6613	18,8722	2,4193	0,2171	0,9995	0,2635	397,0930	2,0554	0,0557	0,9881	3,5817	
19	PI	10,067	1,6261	0,1396	0,9298	1,2882	75,6368	2,0595	0,0506	0,9915	1,0342	391,9057	2,1204	0,0374	0,9848	2,8676
	D12-SD	10,067	1,6261	0,1396	0,9298	1,2882	39,9741	1,6113	0,0662	0,9704	1,3509	80,6471	1,8932	0,0961	0,9983	1,0322
	D12-I6-2B	8,2236	2,1035	0,2291	0,9767	0,9767	43,5724	1,7846	0,0722	0,9763	1,5378	169,4389	1,8091	0,0518	0,9778	2,4711
	D12-I6-3B	10,067	1,6261	0,1396	0,9298	1,2882	41,8489	1,7338	0,0694	0,9919	0,7184	286,9183	1,9317	0,0545	0,9791	3,7850
	D12-I9-2B	9,2255	1,2417	0,1010	0,9378	0,8108	17,2372	1,9596	0,1381	0,9862	0,9596	265,1450	1,8908	0,0461	0,9849	2,0826
	D12-I9-3B	7,1460	1,7698	0,1967	0,9818	0,4395	17,2372	1,9596	0,1381	0,9862	0,9596	99,8720	1,7820	0,0699	0,9908	1,7881

<sup>(1)</sup> $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  = Estimativas dos parâmetros do modelo Gompertz; <sup>(2)</sup> $r_{\hat{y}y}$  = coeficiente de correlação entre valores estimados e observados; <sup>(3)</sup> $S_{yx}$  = erro-padrão residual.



**Figura 3.** Produção de biomassa de folhas, por planta (kg planta<sup>-1</sup>) e por unidade de área (Mg ha<sup>-1</sup>), de plantas intactas e brotações dos clones 58 (a e c) e 19 (b e d) de eucalipto, em povoamentos no arranjo espacial 9,5 x 4,0 m, em Vazante, MG.

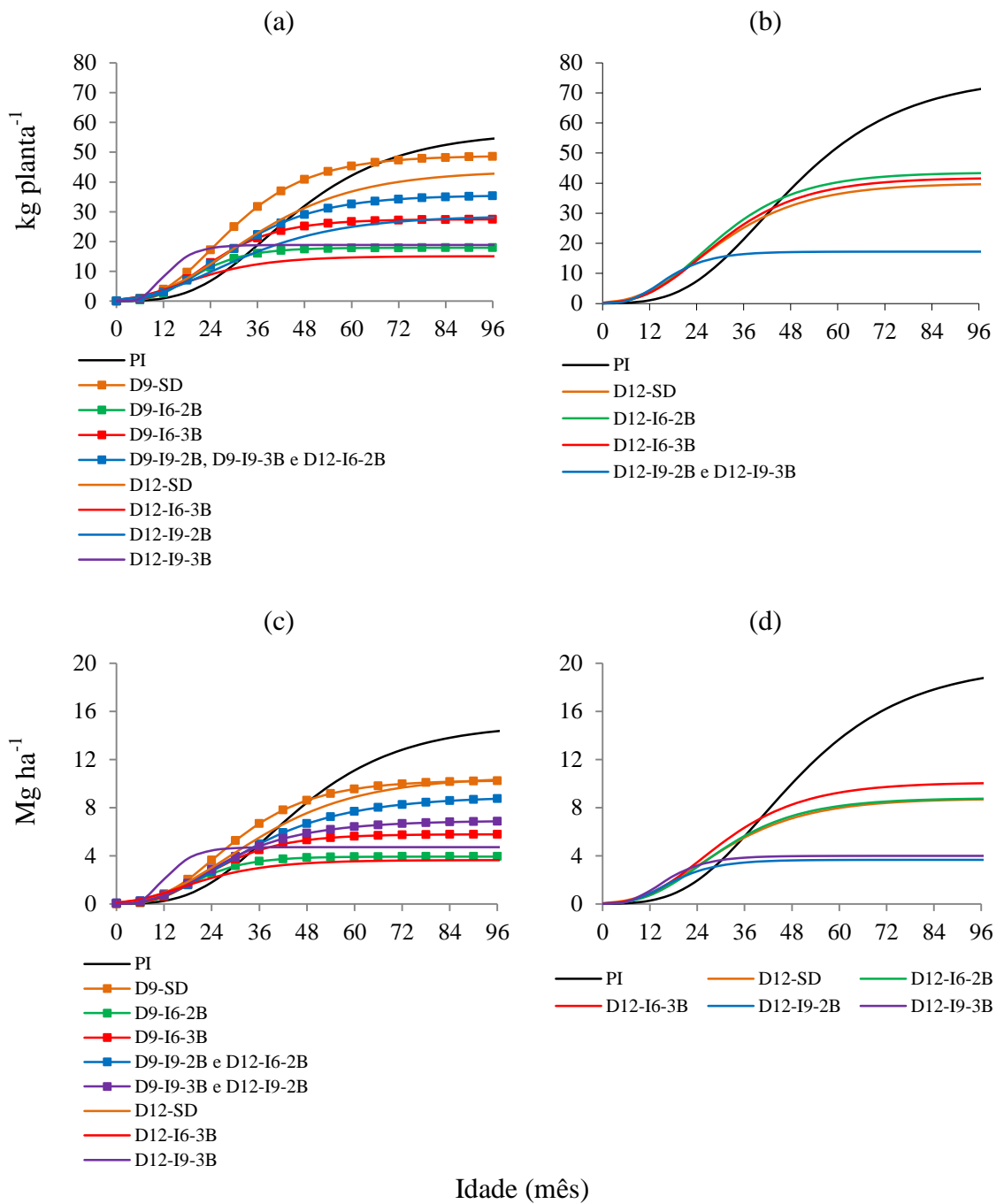
Quando analisada a produção de biomassa de folhas, por hectare, os tratamentos D9-I6-3B, D9-I9-2B e D12-I6-2B foram similares entre si ( $p>0,05$ ), para o clone 58 (Tabela 5; Figura 3c). Para o clone 19, os tratamentos PI, D12-SD e D12-I6-3B não apresentaram diferença ( $p>0,05$ ), assim como os tratamentos D12-I6-2B, D12-I9-2B e D12-I9-3B (Figura 3d).

As brotações do clone 58 apresentaram produção inicial de biomassa de folhas, por planta ou por área, maior que a de plantas intactas e, em idades mais avançadas, a biomassa de folhas das brotações foi menor que a das plantas intactas. A produção de biomassa de folhas, por planta, para os tratamentos D9-I9-3B e D12-I6-3B e, por hectare, para o tratamento D12-I6-3B, manteve-se mais elevada do que a de PI, até a idade de 96 meses. Por outro lado, os tratamentos com dois brotos apresentaram, de modo geral, os valores mais baixos de biomassa de folhas (Figuras 3a, c). Para o clone 19, a superioridade na produção inicial de biomassa de folhas das brotações em relação às plantas intactas não foi tão acentuada quanto para o clone 58 (Figuras 3b, d).

A biomassa de galhos, por planta, não diferiu ( $p>0,05$ ) entre os tratamentos D9-I9-2B, D9-I9-3B e D12-I6-2B, para o clone 58 (Tabela 5; Figura 4a). E, para o clone 19, as plantas dos tratamentos D12-I9-2B e D12-I9-3B foram iguais ( $p>0,05$ ) (Tabela 5; Figura 4b). Os tratamentos D9-I9-2B e D12-I6-2B, assim como os tratamentos D9-I9-3B e D12-I9-2B, não diferiram ( $p>0,05$ ) em termos de produção de biomassa de galhos por unidade de área, para o clone 58 (Tabela 5; Figura 4c). Houve diferença ( $p<0,05$ ) entre todos os tratamentos, para o clone 19 (Figura 4d).

As plantas intactas apresentaram, para ambos os clones, produção inicial de biomassa de galhos menor que as das brotações. As maiores diferenças foram observadas para o tratamento D9-SD. A estagnação do crescimento dos galhos de PI só ocorreu em idades mais avançadas, razão de se ter produção de biomassa de galhos maior em plantas intactas do que em plantas decepadas até a idade de 96 meses. Os tratamentos com plantas desbrotadas aos 9 meses, para o clone 19, para dois ou três brotos, apresentaram os menores valores de biomassa de galhos (Figuras 4b, d).

A produção de biomassa de galhos, aos 96 meses, nas plantas intactas, foi maior no clone 19. Isto pode ser notado observando as estimativas do parâmetro  $\alpha$  (Tabela 5), que foram, respectivamente, 75,6 e 56,9 kg planta<sup>-1</sup>, para os clones 19 e 58.



**Figura 4.** Produção de biomassa de galhos, por planta (kg planta<sup>-1</sup>) e por unidade de área (Mg ha<sup>-1</sup>), de plantas intactas e brotações dos clones 58 (a e c) e 19 (b e d) de eucalipto, em povoamentos no arranjo espacial 9,5 x 4,0 m, em Vazante, MG.

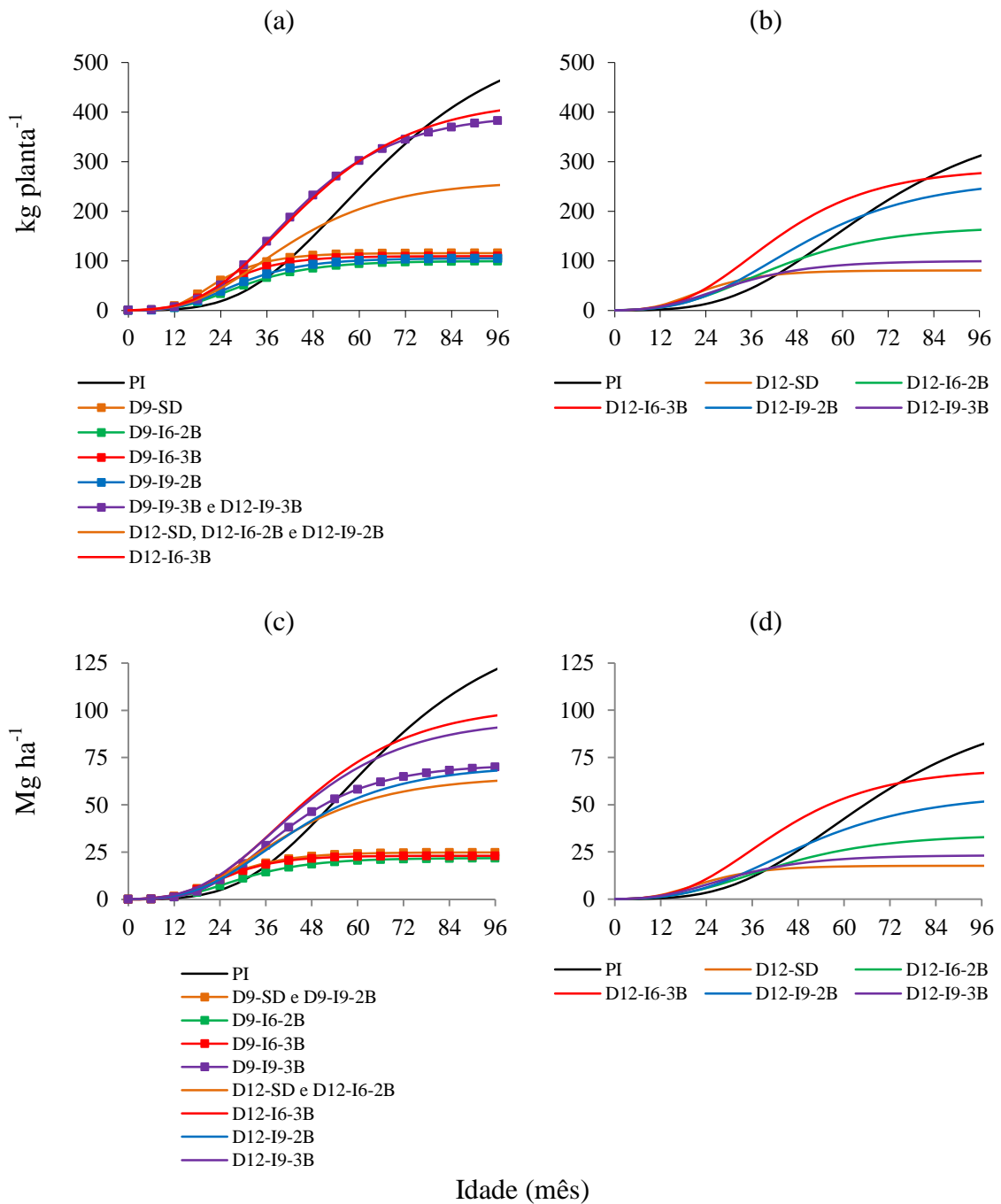
Para o clone 58, a produção de biomassa de tronco, por planta, não diferiu ( $p>0,05$ ) entre os tratamentos D9-I9-3B e D12-I9-3B, bem como para D12-SD, D12-I6-2B e D12-I9-2B (Tabela 5; Figura 5a). E, a biomassa por unidade de área foi igual para os tratamentos D9-SD e D9-I9-2B, e para D12-SD e D12-I6-2B (Figura 5c). Para o clone 19, todos os tratamentos foram distintos entre si ( $p<0,05$ ) para biomassa de tronco por planta e por unidade de área (Tabela 5; Figuras 5b, d).

Em idades mais jovens, as brotações apresentaram maior produção de biomassa de tronco, por planta e por hectare, sendo superadas, a posteriori, pelas plantas intactas. (Figura 5). De forma geral, a decepta aos nove meses (exceto o tratamento D9-I9-3B) não favoreceu o acúmulo de biomassa no tronco, para o clone 58. A maior estimativa do parâmetro  $\alpha$  (assíntota) para biomassa do tronco, por planta, foi observada para as plantas intactas, tanto para o clone 58 ( $565 \text{ kg planta}^{-1}$ ) quanto para o clone 19 ( $392 \text{ kg planta}^{-1}$ ), seguido de D12-I6-3B ( $427 \text{ kg planta}^{-1}$ , para o clone 58 e,  $287 \text{ kg planta}^{-1}$ , para o clone 19), aos 96 meses de idade (Tabela 5).

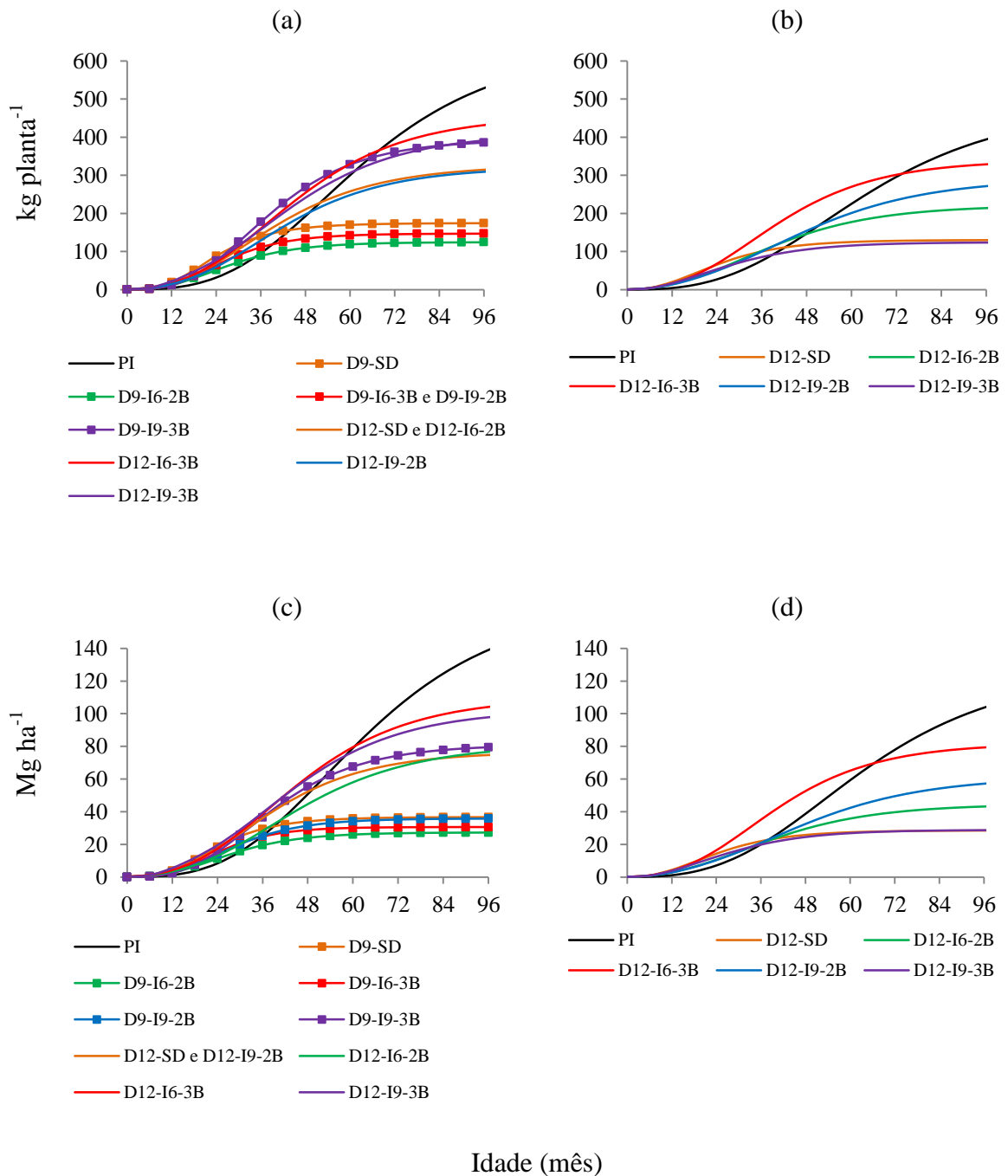
A biomassa da parte aérea (folhas + galhos + tronco), por planta, não variou ( $p>0,05$ ) entre os tratamentos D9-I6-3B e D9-I9-2B e entre D12-SD e D12-I6-2B, para o clone 58 (Tabela 5; Figura 6a). A produção de biomassa da parte aérea por unidade de área foi igual ( $p>0,05$ ) apenas para os tratamentos D12-SD e D12-I9-2B, para o clone 58 (Figura 6c). Para o clone 19, a produção por planta e por hectare foi diferente entre todos os tratamentos ( $p<0,05$ ) (Figuras 6b, d).

A produção de biomassa da parte aérea de brotações, para o clone 58, a exemplo das plantas do tratamento D12-I6-3B, só foi superada pelas plantas intactas em idade superior a 60 meses, para a biomassa por planta e, menos de 60 meses, para biomassa por hectare (Figuras 6a, c). Para o clone 19, as plantas intactas ultrapassaram as brotações após 66 meses (Figuras 6b, d).

A biomassa de raízes, por planta e por unidade de área, variou ( $p<0,05$ ) entre todos os tratamentos, para ambos os clones (Figura 7).

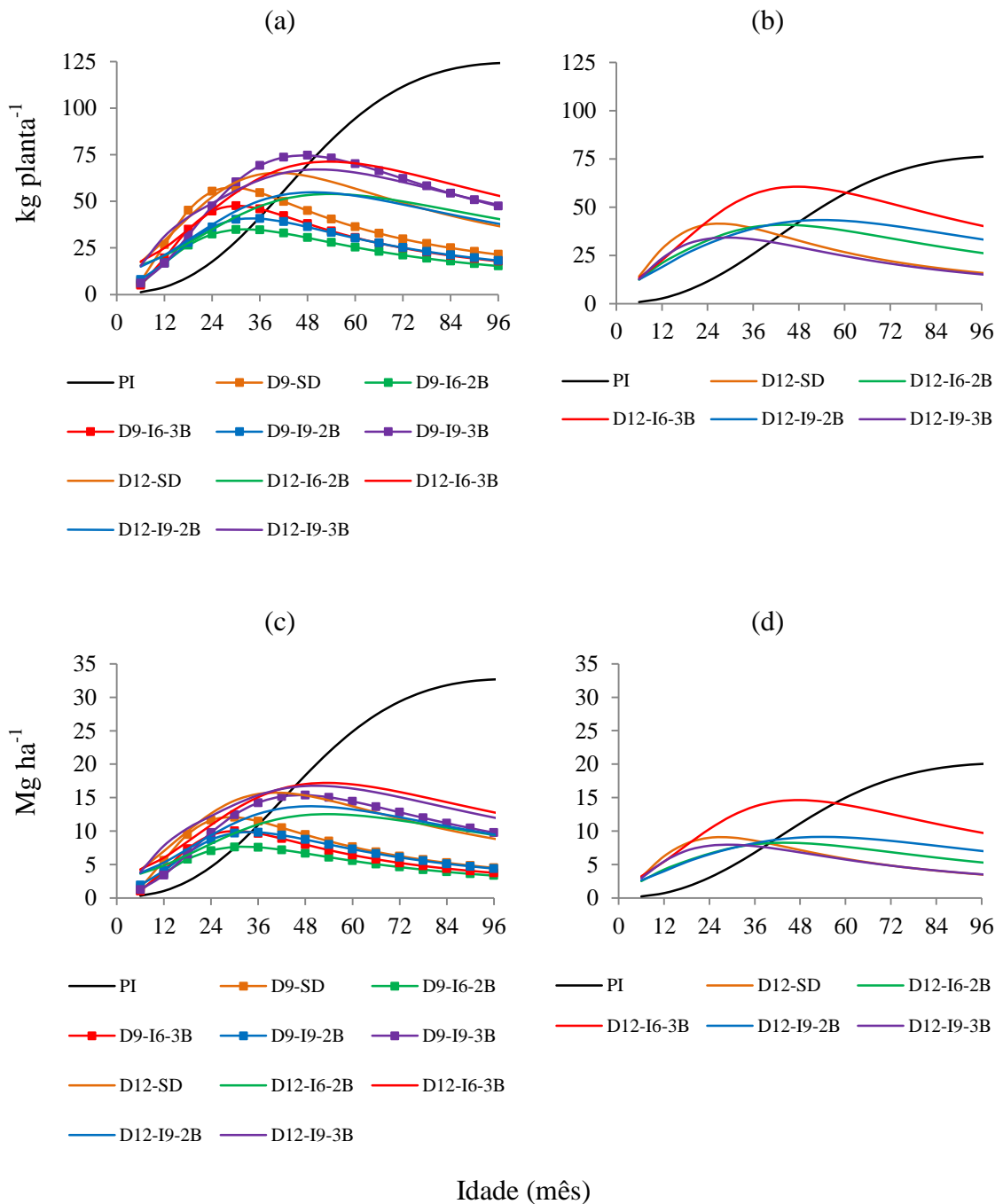


**Figura 5.** Produção de biomassa de tronco, por planta ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) e por unidade de área ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), de plantas intactas e brotações dos clones 58 (a e c) e 19 (b e d) de eucalipto, em povoamentos no arranjo espacial  $9,5 \times 4,0$  m, em Vazante, MG.



**Figura 6.** Produção de biomassa da parte aérea, por planta (kg planta<sup>-1</sup>) e por unidade de área (Mg ha<sup>-1</sup>), de plantas intactas e brotações dos clones 58 (a e c) e 19 (b e d) de eucalipto, em povoamentos no arranjo espacial 9,5 x 4,0 m, em Vazante, MG.





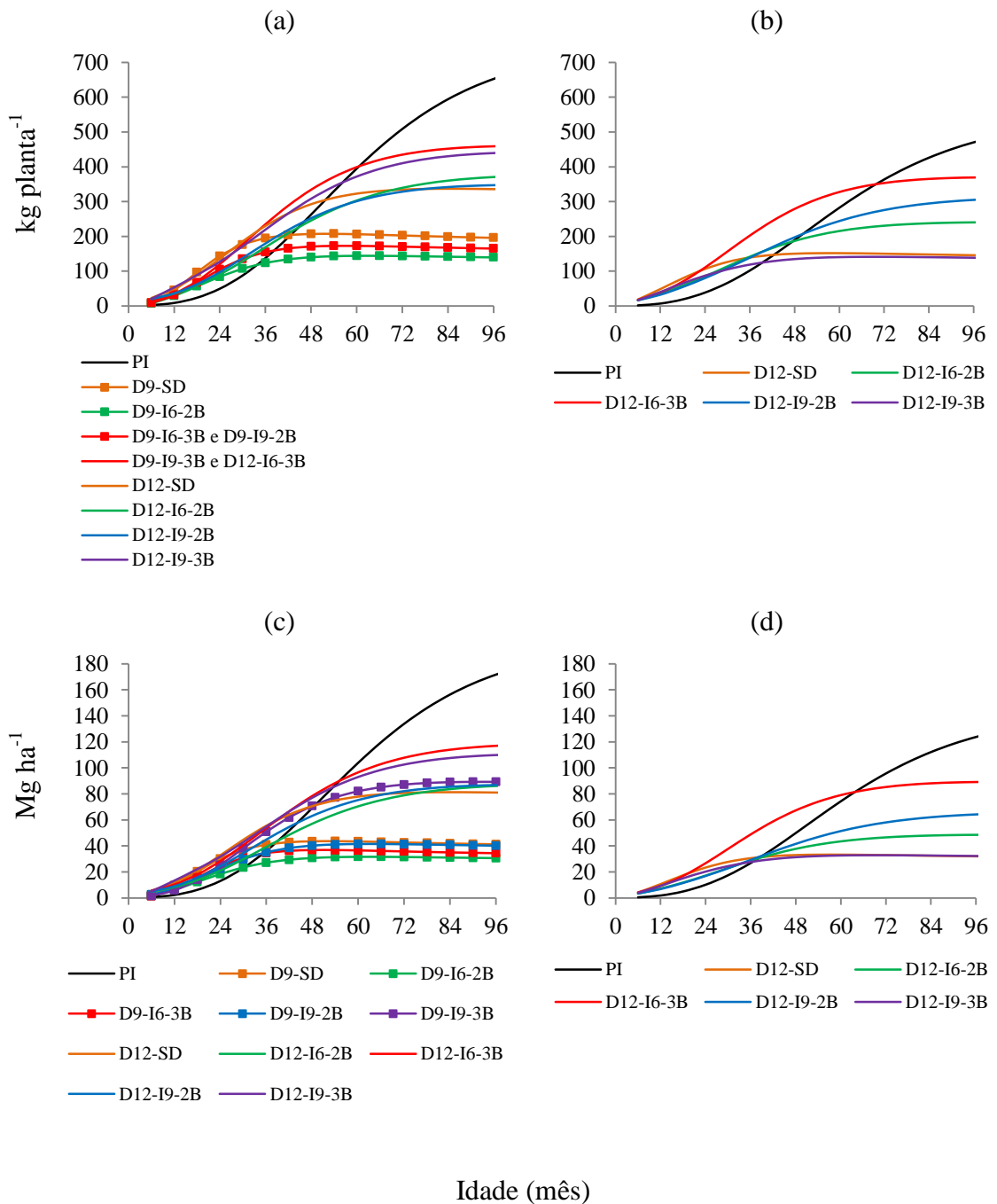
**Figura 7.** Produção de biomassa de raízes, por planta ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) e por unidade de área ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), de plantas intactas e brotações dos clones 58 (a e c) e 19 (b e d) de eucalipto, em povoamentos no arranjo espacial  $9,5 \times 4,0$  m, em Vazante, MG.

As brotações apresentaram biomassa de raízes superior às de plantas intactas, na fase inicial de crescimento. Essa diferença foi mais acentuada para raízes do que para os componentes da parte aérea. A biomassa das raízes de brotações foi superada pelas plantas intactas entre 30 e 48 meses de idade, para o clone 58 e, 40 a 60 meses, para o clone 19. Aos 96 meses, as plantas intactas do clone 58 apresentaram valores de biomassa de raízes, respectivamente, por planta e por hectare, 2,3 e 2,6 vezes maiores que os valores encontrados para o tratamento de decepta de maior biomassa (D12-I6-3B). Para o clone 19, esses valores foram 1,9, para biomassa por planta e 2,1 para biomassa por hectare. Para todos os tratamentos de brotações houve queda na biomassa de raízes, para os dois clones.

A produção total de biomassa (parte aérea + raízes), por planta, não diferiu ( $p>0,05$ ) entre os tratamentos D9-I6-3B e D9-I9-2B, bem como para D9-I9-3B e D12-I6-3B, para o clone 58 (Figura 8a). Para o clone 19, a biomassa total, por planta, variou ( $p<0,05$ ) entre todos os tratamentos (Figura 8b). Houve diferença ( $p<0,05$ ) entre os tratamentos de decepta para biomassa total, por unidade de área, para os dois clones (Figura 8c, d).

Em idades mais jovens, todos os tratamentos de brotações apresentaram maior produção total de biomassa que as plantas intactas. Em torno de 60 meses de idade, para produção por planta e, 54 meses, para produção por hectare, as plantas intactas do clone 58 superaram as brotações. O mesmo ocorreu em torno de 66 meses de idade para as plantas do clone 19.

De modo geral, aos 96 meses de idade, as plantas intactas apresentaram maior produção de biomassa, por planta e por hectare, para ambos os clones. Entre as brotações, o tratamento D12-I6-3B apresentou os maiores valores para biomassa (parte aérea, sistema radicular e biomassa total), para os clones 19 e 58 (Figuras 6, 7 e 8).



**Figura 8.** Produção total de biomassa, por planta (kg planta<sup>-1</sup>) e por unidade de área (Mg ha<sup>-1</sup>), de plantas intactas e brotações dos clones 58 (a e c) e 19 (b e d) de eucalipto, em povoamentos no arranjo espacial 9,5 x 4,0 m, em Vazante, MG.

#### 4. Discussão

A maior produção de biomassa da parte aérea e do sistema radicular, verificada para o tratamento de decepa aos doze meses com desbrota aos seis meses para três brotos (D12-I6-3B), em relação aos demais tratamentos de decepa, para ambos os clones, pode ser explicado pelo número de brotos na cepa e idade de desbrota. Segundo Fontan (2007), o clone 58 é caracterizado por uma copa menos densa, com galhos de menores dimensões, pendentes, com reduzida área foliar e matéria seca de copa nas partes basais. Esta arquitetura de copa pode ter favorecido o estabelecimento de três brotos por cepa para este clone devido à menor competição por fatores de crescimento entre esses brotos, principalmente, a radiação. Ressalta-se o benefício da desbrota em idades mais jovens para ambos os clones. O clone 19 é caracterizado por copa densa e concentração de grande quantidade de biomassa de copa nas porções basais (FONTAN, 2007), justificando a necessidade de desbrota precoce para este clone, para evitar, sobretudo, o autossombreamento das folhas e a redução da capacidade fotossintética.

No presente estudo, a produção de biomassa da parte aérea para as brotações foi superior a das plantas intactas, em idades mais jovens. Logo, a depender da idade de corte, o manejo por talhadia pode ser mais produtivo que o alto fuste. Maior produção inicial de biomassa de folhas, galhos e tronco para brotações, em relação a plantas intactas, conforme observado no presente estudo, foi, também, relatada por outros autores. Segundo Kauppi et al. (1988), quando a planta é decepada há estímulo para a emissão de grande número de brotos e galhos de pequenas dimensões com elevada produção de folhas, de modo a restabelecer a relação raiz/parte aérea original (das plantas intactas). Estes autores observaram que as brotações de *Betula pubescens* cresceram, inicialmente, mais rápido que as plantas intactas originadas de semente durante as três primeiras estações de crescimento, tendo ocorrido posterior redução na taxa de crescimento, enquanto as plantas originadas de sementes mantiveram a taxa de crescimento e superaram as brotações, conforme foi observado no presente estudo. Tewari et al. (2004) relataram produção, por planta e por unidade de área, das brotações mais elevadas que a das plantas originais, para *Leucena leucocephala* e *Vitex negundo*.

O maior crescimento inicial das brotações, em relação às plantas de alto fuste, se deve, principalmente, à utilização das reservas orgânicas e inorgânicas das cepas e

do sistema radicular já estabelecido que, além disso, favorece a absorção de água e nutrientes pelas brotações, quando estas passam a depender mais diretamente do solo após a depleção dessas reservas (REIS; KIMINNS, 1986; OLIVEIRA et al., 1994; REIS; REIS, 1991, 1997; FLECK et al., 1996; POORTER; NAGEL, 2000; TEIXEIRA et al., 2002; KABEYA; SAKAI, 2005; WALTERS et al., 2005; DRAKE et al., 2009, 2012). Kauppi e Luostarinen (2005) observaram redução na concentração de amido e açúcares nas raízes das brotações, principalmente, pela ciclagem bioquímica nas raízes finas. Teixeira et al. (2002) constataram que o potássio foi o nutriente mais dependente da reserva das raízes para o crescimento inicial das brotações. Ainda, segundo esses autores, a contribuição do sistema radicular para o acúmulo de vários nutrientes nas brotações aumentou entre a idade de 60 e 120 dias. Após 330 dias, 9,2; 23,9 e 12,6% do N, K e Mg, respectivamente, acumulados nas brotações, foram fornecidos pelas raízes, enquanto que todo o fósforo e cálcio foram fornecidos pelo solo. Esses resultados demonstram a importância do sistema radicular no suprimento de nutrientes para o rápido crescimento inicial das brotações.

O crescimento inicial acelerado de brotações pode, também, ser devido à elevada capacidade fotossintética das folhas, em relação às plantas intactas. Kauppi e Kiviniitty (1990) sugerem que os brotos jovens apresentam maior eficiência no uso dos recursos de crescimento se comparados a povoamentos de alto fuste de mesma idade. Folhas de plantas intactas usualmente fotossintetizam abaixo de sua capacidade comparada às folhas das brotações (TSCHAPLINSKI; BLAKE, 1989), devido haver autossombreamento ou por se encontrarem próximas à senescência.

A produção de biomassa de parte aérea de plantas intactas encontrada nesse estudo (139 e 103 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para os clone 58 e 19) apresentou valores próximos aos encontrados em outros estudos para eucalipto em mesma idade. Müller et al. (2005b), utilizando modelagem 3-PG, em um sistema agroflorestal, com espaçamento de 40 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>, na mesma região do presente estudo, estimaram em 99,6 Mg ha<sup>-1</sup> a produção de biomassa de parte aérea (excetuando-se folhas). Gatto et al. (2011) relataram acúmulo de biomassa na parte aérea variando de 151 a 209 Mg ha<sup>-1</sup> em povoamentos de eucalipto implantados no arranjo espacial 3 x 2 m, em cinco regiões distintas do Centro-Leste de Minas Gerais. A tecnologia utilizada no manejo das plantas interfere na produção de biomassa. Por exemplo, Soares e Tomé (2012) relataram valor máximo de biomassa de parte aérea de 157,4 Mg ha<sup>-1</sup>, em parcelas

adubadas e irrigadas de povoamento de *E. globulus*, no arranjo espacial 3 x 3 m, aos 6 anos, em Portugal.

No Brasil, ainda existem poucas investigações sobre a produção de biomassa de brotações de eucalipto (REIS; KIMINNS, 1986; TEIXEIRA et al., 2002). Na Espanha, Herrero et al. (2014) estimou a biomassa da parte aérea de brotações em 134,5 Mg ha<sup>-1</sup>. Em Madagascar, Razakamanarivo (2012) encontrou valores variando entre 19,3 e 39,8 Mg ha<sup>-1</sup>. Na Etiópia, Zewdie et al. (2009) relatou acúmulo de biomassa de 153 Mg ha<sup>-1</sup> aos 9 anos. No presente estudo, a produção de biomassa da parte aérea de brotações variou de 27,2 a 104,1 Mg ha<sup>-1</sup>, para os tratamentos de decepta, para os dois clones, aos 96 meses. Comparações entre estudos em diferentes partes do mundo podem ser difíceis devido às diferenças de clima, condições do solo, materiais genéticos, níveis tecnológicos, manejo florestal, dentre outros (HERRERO et al., 2014).

Herrero et al. (2014) relataram que o sistema radicular das plantas intactas e das brotações correspondeu a 15 e 35%, respectivamente, da biomassa total. No presente estudo, a biomassa de raízes, em média, para os dois clones, correspondeu a 17,8% e 10,9% da biomassa total em plantas intactas e brotações, respectivamente, aos 96 meses de idade. No entanto, aos 36 meses, esse valor foi de 28,0%, para os dois tipos de planta. De acordo com Herreto et al. (2014), o tipo e a idade do povoamento influenciam o número e o comprimento de raízes, bem como o volume do sistema radicular, dificultando comparações. Após o corte, a parte aérea é removida, mas o sistema radicular continua crescendo, juntamente com a capacidade de acumular biomassa e armazenar nutrientes para a emissão de novos brotos (RAZAKAMANARIVO, 2012). Todavia, no presente estudo foi realizada a decepta aos nove ou doze meses de idade. A menor alocação de biomassa para o sistema radicular das brotações pode ser em razão do pequeno volume de raízes estabelecido antes da decepta. Além disso, as brotações apresentaram redução na taxa de produção de biomassa radicular antes das plantas intactas devido, provavelmente, à competição entre brotos, ao passo que as plantas intactas continuaram crescendo e produzindo raízes.

Para a produção de energia, toda a biomassa da árvore, excluindo as raízes, tem sido utilizada e a colheita é realizada em idades mais jovens (MÜLLER, et al., 2005a; VASCONCELOS et al. 2007; ARANTES et al., 2008). A exploração florestal intensiva pode afetar a sustentabilidade do sistema, gerando perdas de produção de

biomassa em rotações subsequentes, principalmente, por afetar a ciclagem biogeoquímica dos nutrientes. Rocha (2014) relatou produção de 350 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de madeira em povoamentos de *E. grandis* aos 8 anos, no tratamento em que todos os resíduos florestais foram mantidos sobre o solo. Quando árvores inteiras foram colhidas deixando-se apenas a serapilheira na área, houve perda de 15% no volume de madeira e, quando todos os resíduos foram removidos, a perda foi de 39% na produtividade.

O regime de talhadia para eucalipto implica em colheita de rotações sucessivas, com elevada produção de biomassa. Assim, os resultados do presente estudo devem ser analisados como um todo para se ter um manejo do povoamento sob talhadia com produção igual ou superior a de povoamentos de alto fuste.

## 5. Conclusões

A decepta de plantas jovens pode ser utilizada para produção de biomassa para geração de energia, em povoamentos de eucalipto estabelecidos em espaçamento amplo, embora para o clone 58 o melhor tratamento de decepta tenha apresentado produção inferior a de plantas intactas.

Os povoamentos manejados por talhadia devem ser, preferencialmente, explorados em idades mais jovens, quando a produção de biomassa é maior que a de plantas intactas.

A condução de talhadia com decepta aos doze meses e manutenção de três brotos aos seis meses proporciona maior produção de biomassa, em relação aos demais tratamentos de decepta, para os genótipos estudados.

## 6. Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3<sup>a</sup> ed., Brasília, 2008. 236p.

ARANTES, M. D. C; MENDES, L. M; RABELO, G. F.; SILVA, J. R. M; MORI, F. A; BARBOSA, A. M. Gaseificação de materiais lignocelulósicos para geração de energia elétrica. **Ciência Florestal**, v.18, n.4, p.525-533, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF ano base 2012**. Brasília, 2013. 148p.

BLAKE, T.J. Coppice systems for short-rotation intensive forestry: the influence of cultural, seasonal and plant factors. **Australian Forest Research**, v.3, n.3/4, p.279-291, 1983.

CACAU, F. V. **Decepa de plantas jovens de eucalipto em um Sistema Agroflorestal: Dinâmica de copa e crescimento**. 2008. 47f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CACAU, F. V.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; ALVES, F. F.; SOUZA, F. C. Decepa de plantas jovens de eucalipto e manejo de brotações, em um sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.11, p. 1457-1465, 2008.

CAMARGO, F. R. A.; SILVA, C. R.; STAPE, J. L. Resultados experimentais da fase de emissão de brotação em *Eucalyptus* manejado por talhadia. **Série Técnica – IPEF**, v.11, n.30, p.115-122, 1997.

CAMPOE, O. C.; STAPE, J. L.; LACLAU, J. P.; MARSDEN, C.; NOUVELLON, Y. Stand-level patterns of carbon fluxes and partitioning in a *Eucalyptus grandis* plantation across a gradient of productivity, in São Paulo State, Brazil. **Tree Physiology**, v. 32, p.696-706, 2012.

CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C.; FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO, R. A. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, v.38, n.2, p.375-381, 2014.

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

DRAKE, P. L.; MENDHAM, D. S.; WHITE, D. A.; OGDEN, G. N. A comparison of growth, photosynthetic capacity and water stress in *Eucalyptus globulus* Labill. Coppice regrowth and seedlings during early development. **Tree Physiology**, v.29, n.5, p.663-674, 2009.

DRAKE, P. L.; MENDHAM, D. S.; WHITE, D. A.; OGDEN, G. N.; DELL, B. Water use and water-use efficiency of coppice and seedling *Eucalyptus globulus* Labill.: a comparison of stand-scale water balance components. **Plant and Soil**, v.350, n.1-2, p.221-235, 2012.

FERREIRA, M. G. M. **An analysis of the future productivity of *Eucalyptus grandis* plantations in the cerrado region in Brazil: a nutrient cycling approach**. 1984. 230f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FLECK, I.; GRAU, D.; SANJOSÉ, M.; VIDAL, D. Carbon isotope discrimination in *Quercus ilex* resprouts after fire and treefall. **Oecologia**, v.105, n.3, p.286-292, 1996.



- FONTAN, I. C. I. **Dinâmica de copa e crescimento de clones de eucalipto submetidos a desrama em sistema agroflorestal**. 2007. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.
- GABRIELLE, B.; THE, N. N.; MAUPU, P.; VIAL, E. Life cycle assessment of eucalyptus short rotation coppices for bioenergy production in southern France. **GCB Bioenergy**, v.5, p.30-42, 2012.
- GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; VILLANI, E. M. A. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.35, n.4, p.895-905, 2011.
- GRANADA, E.; LÓPEZ GONZÁLEZ, L. M.; MÍGUEZ, J. L.; MORAN, J. Fuel lignocellulosic briquettes, die design and products study. **Renewable Energy**, v.27, n.4, p.561-573, 2002.
- HERRERO, C.; JUEZ, L.; TEJEDOR, C.; PANDO, V.; BRAVO, F. Importance of root system in total biomass for Eucalyptus globulus in northern Spain. **Biomass and Bioenergy**, v.67, p.212-222, 2014.
- KABEYA, D.; SAKAI, S. The relative importance of carbohydrate and nitrogen for the resprouting ability of Quercus crispula seedlings. **Annals of Botany**, v.96, p.479-488, 2005.
- KAUPPI, A.; KIVINIITTY, M.; FERM, A. Growth habits and crown architecture of Betula pubescens Ehrh. of seed and sprout origin. **Canadian Journal of Forest Research**, v.18, p.1603-1613, 1988.
- KAUPPI, A.; KIVINIITTY, M. Leaf morphology and photosynthetic rate in birch seedlings and stump sprouts. **Canadian Journal of Forest Research**, v.20, p.952-960, 1990.
- LADEIRA, B. C. **Crescimento, produção de biomassa e eficiência nutricional de Eucalyptus spp., sob três espaçamentos, em uma sequencia de idades**. 1999. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- LEITE, H. G.; OLIVEIRA, F. H. T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, p.1105-1118, 2002.
- 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. 133f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- LUOSTARINEN, K. & KAUPPI, A. Effects of coppicing on the root and stump carbohydrate dynamics in birches. **New Forests**, v.29, p.289–303, 2005.

MACEDO, I.C. **Estado da arte e tendências tecnológicas para energia**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE, 2003, 90p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/biomassa>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2015.

MÜLLER, M. D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba, MG**. 2005. 94f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MÜLLER, M. D.; COUTO, L. ; LEITE, H. G. ; BRITTO, J. O. Avaliação de um clone de eucalipto estabelecendo densidades de plantio para produção de biomassa e energia. **Biomassa & Energia**, v.2, p.177-186, 2005a.

MÜLLER, M. D.; TSUKAMOTO FILHO, A. A.; VALE, R. S.; COUTO, L. Produção de biomassa e conteúdo energético em sistemas agroflorestais com eucalipto, no município de Vazante – MG. **Biomassa & Bioenergia**, v.2, n.2, p.125-132, 2005b.

MÜLLER, M. D.; FERNANDES, E. N.; CASTRO, C. R. T.; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. F. Estimativa e acúmulo de biomassa e carbono em sistema agrossilvipastoril na Zona da Mata Mineira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.60, p-11-17, 2009. Edição Especial.

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. 191f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

OLIVEIRA, C. H. R. **Produção de eucalipto em alto fuste e talhadia e de braquiária em sistemas silvipastoris com diferentes arranjos espaciais**. 2014. 106f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, V.A.B. et al. Raízes e tocos de mudas de Eucalyptus como fonte de nutrientes para as brotações. **Revista Árvore**, v.18, p.22-32, 1994.

OLIVEIRA NETO, S. N. **Biomassa, nutrientes e relações hídricas em Eucalyptus camaldulensis Dehn. em resposta a adubação e ao espaçamento**. 1996. 131f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PAINEL FLORESTAL. **Projeto de cogeração de energia a partir de biomassa de eucalipto utiliza Turbina TGM**. Disponível em: <<http://www.painelflorestal.com.br/noticias/biomassa/projeto-de-cogeracao-de-energia-a-partir-de-biomassa-de-eucalipto-utiliza-turbina-tgm>>. Acesso: 30 de janeiro de 2015.

PAULA, R. R.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; OLIVEIRA NETO, S. N.; LEITE, H. G.; MELIDO, R. C. N.; LOPES, H. N. S.; SOUSA, F. C. Eucalypt growth in monoculture and silvopastoral systems with varied tree initial densities and spatial arrangements. **Agroforestry Systems**, v.87, n.6, p.1285-1307, 2013.

POORTER, H.; NAGEL, O. (2000) The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO<sub>2</sub>, nutrients and water: a quantitative review. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.27, n.6, p.595-607, 2000.

RAZAKAMANARIVO, R. H.; RAZAKAVOLOLONA, A.; RAZAFINDRAKOTO, M. A.; VIEILLEDENT, G.; ALBRECHT, A. Below-ground biomass production and allometric relationships of eucalyptus coppice plantation in the central highlands of Madagascar. **Biomass and Bioenergy**, v.45, p.1-10, 2012.

REIS, M. G. F.; KIMMINS, J. P. Importância do sistema radicular no crescimento inicial de brotos de Eucalyptus spp. **Revista Árvore**, v.10, n.2, p.196-201, 1986.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F. Respostas estomáticas e mudanças nos níveis de reservas de plantas intactas e de brotações de E. camaldulensis Dehn submetidas a deficiência hídrica no solo. **Revista Árvore**, v. 15, n.2, p. 112-125, 1991.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F. Fisiologia da brotação de eucalipto com ênfase nas suas relações hídricas. **Série Técnica – IPEF**, v.11, n.30, p.9-22, 1997.

ROCHA, J. H. T. **Reflexos do manejo de resíduos florestais na produtividade, nutrição e fertilidade do solo em plantações de Eucalyptus grandis**. 2014. 123f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ - USP), Piracicaba – SP.

SOARES, P.; TOMÉ, M. Biomass expansion factors for Eucalyptus globulus stands in Portugal. **Forest Systems**, v.21, n.1, p.141-152, 2012

SOUZA, F. S. **Crescimento e potencial energético de plantas intactas e de brotações de plantas jovens de clones de eucalipto**. 2011. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SOUZA, F. S.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; ALVES, F. F.; FARIA, R. S.; PEREIRA, M. Sobrevivência e Diâmetro de Plantas Intactas e Brotações de Clones de Eucalipto. **Floresta e Meio Ambiente**, v.19, n.1, p.44-54, 2012.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D; RYAN, M. G.; FONSECA, R.A.; LOOS, R.A.; et al.. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v.259, p.1684-1694, 2010.

TEWARI, S. K.; KATIYAR, R. S.; BALAK RAM; MISRA, P. N. Effect of age and season of harvesting on the growth, coppicing characteristics and biomass productivity of Leucaena leucocephala and Vitex negundo. **Biomass and Bioenergy**, v.26, p.229-234, 2004.

TEXEIRA, P. C.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; TEXEIRA, J. L. Eucalyptus urophylla root growth, stem sprouting and nutrient supply from the roots and soil. **Forest Ecology and Management**, v. 160, p. 263-271, 2002.

TSCHAPLINSKI, T. J.; BLAKE, T. Photosynthetic reinvigoration of leaves following shoot decapitation and accelerated growth of coppice shoots. **Physiologia Plantarum**, v.75, p.157-165, 1989.

TSUKAMOTO FILHO, A. A. **Fixação de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais**. 2003. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

VASCONCELOS, G. C.; VERÍSSIMO, L. A. C.; SILVEIRA, A. A.; BIANCHINI, S. Energia lignocelulósica da biomassa: uma perspectiva sustentável. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2, n.1, p.1017-1020, 2007.

WALTERS, J. R.; BELL, T. L.; READ, S. Intra-specific variation in carbohydrate reserves and sprouting ability in Eucalyptus oblique seedlings. **Australian Journal of Botany**, v.53, n.3, p.195-203, 2005.

WILDY, D. T.; PATE, J. S. Quantifying above- and below-ground growth responses of the western Australian oil mallee, Eucalyptus kochii subsp plenissima, to contrasting decapitation regimes. **Annals of Botany**, v.90, n.2, p.185-197, 2002.

ZEWDIE, M.; OLSSON, M.; VERWIJST, T. Above-ground biomass production and allometric relations of Eucalyptus globulus Labill. coppice plantations along a chronosequence in the central highlands of Ethiopia. **Biomass and Bioenergy**, v.33, p.421-428, 2009.

## CAPÍTULO II

### ESTOQUE DE CARBONO DE PLANTAS INTACTAS E DE BROTAÇÕES DE EUCALIPTO EM ESPAÇAMENTO AMPLO

**Resumo** – Neste estudo foi avaliado o estoque de carbono nos componentes da parte aérea e do sistema radicular de plantas intactas e de brotações de plantas jovens de eucalipto. O estudo foi realizado em povoamentos de dois clones de eucalipto, no arranjo espacial 9,5 x 4,0 m, em Vazante, MG. A estimativa de biomassa da parte aérea foi obtida com dados de plantas intactas e todos os brotos da cepa em uma sequência de idade. A biomassa de raízes foi obtida com dados de relação raiz/parte aérea. O estoque de carbono nos componentes das plantas foi calculado utilizando fatores de conversão de biomassa para carbono fixado. Aos 96 meses de idade, as plantas intactas do clone 58 estocaram um total de 85,3 Mg C ha<sup>-1</sup>, enquanto que, para o clone 19, esse estoque foi de 61,7 Mg C ha<sup>-1</sup>. Nesta idade, o estoque total de carbono para as brotações variou de 15,2 a 57,8 Mg C ha<sup>-1</sup> e 16,1 a 44,3 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para os clones 58 e 19. As brotações apresentaram fixação de C mais elevada em idades jovens, tendo ocorrido estagnação antes do observado para as plantas intactas. O sistema radicular das plantas intactas e das brotações do clone 58 correspondeu a 19,4 e 11,2% do estoque total de C, enquanto, para o clone 19, esses valores foram de 16,4 e 11,1%, respectivamente. Os resultados desse estudo demonstram que, a depender da idade de corte e de adequadas práticas silviculturais, as brotações podem apresentar estoque total de carbono próximo ao de plantas intactas. O sistema radicular de brotações de eucalipto contribui para o sequestro total de carbono pelas plantas.

**Palavras-chave:** Talhadia, alto fuste, decepa de plantas jovens, raízes

**Abstract** – The aim of this study was to evaluate the stock of carbon in the above- and belowground components of intact plants and coppice of juvenile eucalypt plants. The study was conducted in stands of two eucalypt clones in the spatial arrangement 9.5 x 4.0 m, in Vazante, MG. The estimated biomass of the aboveground was obtained for intact plants and all the sprouts in the stump, in an age sequence. The root biomass was obtained with the information regarding the root/shoot ratios. The carbon storage in plant components was calculated using

biomass conversion factors for fixed carbon. At 96 months of age, the intact plants of the clone 58 stocked a total of 85.3 Mg ha<sup>-1</sup> C, whereas for clone 19, this stock was 61.7 Mg C ha<sup>-1</sup>. At this age, the total carbon stock for coppice ranged from 15.2 to 57.8 Mg ha<sup>-1</sup> and C from 16.1 to 44.3 Mg ha<sup>-1</sup> C, respectively, for the clones 58 and 19. The coppice presented higher C stock at younger ages, as compared to intact plants. The root systems of intact plants and coppice for the clone 58 corresponded to 19.4 and 11.2% of the total C stock, while for clone 19, these values were 16.4 and 11.1%, respectively. The results of this study show that, depending on the age of cutting the plants, and on the appropriate silvicultural practices, coppice may reach total carbon stock similar to that of intact plants. The root system of eucalypt coppice contributes to the total carbon sequestration by plants.

**Key words:** Coppicing, high forest, juvenile plants coppice, roots

## 1. Introdução

A matriz energética a partir de combustíveis fósseis pode ser, em parte, substituída pela biomassa de plantios de espécies de alta produtividade, visando à redução de emissões de gases de efeito estufa e aumento do estoque de carbono. O Brasil é um dos signatários da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e, por isso, o Governo Federal está implantando ações como a redução do desmatamento na Amazônia e no Cerrado, a ampliação da eficiência energética e a adoção, em larga escala, de práticas sustentáveis na agricultura para redução das emissões de gases de efeito estufa (MAPA, 2012).

O Programa Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC), lançado em julho de 2010 pelo Governo Federal, tem como objetivo evitar até 2020, a emissão de 133 a 166 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, por meio da consolidação de várias práticas agrícolas e florestais (CNA, 2012). Destaca-se, neste contexto, a integração lavoura-pecuária-floresta (TSUKAMOTO FILHO, 2003; BALBINO et al., 2011) e o plantio de florestas para diferentes finalidades, a exemplo da produção de biomassa em rotações curtas para fins de produção de energia (AFAS, et al., 2008; COUTO et al., 2011; PÉREZ-CRUZADO et al., 2011), em razão da elevada capacidade de sequestro de C desses sistemas.

Os plantios florestais podem acumular carbono a uma taxa muito alta, especialmente aqueles estabelecidos com espécies de rápido crescimento, como o

eucalipto. Ribeiro (2011) estimou em 73,38 t C ha<sup>-1</sup> o estoque total de carbono, incluindo o sistema radicular, numa plantação de eucalipto, aos 5,5 anos, em Curvelo, MG. Em florestas plantadas, a capacidade de sequestrar carbono é parcialmente influenciada pelo regime de corte (alto fuste ou talhadia), pela rotação, pelas práticas silviculturais adotadas, pelo arranjo espacial, dentre outros (HERRERO et al., 2014). Assim, existe grande interesse na estimativa de carbono estocado nas plantações florestais, e isto implica a necessidade de estudar todos os componentes da planta, inclusive as raízes (RAZAKAMANARIVO et al., 2012).

O sistema radicular desempenha importante papel na estrutura da floresta, e, mesmo representando elevada proporção da biomassa total da planta, é comumente omitido nas estimativas de sequestro de carbono, devido às dificuldades de amostragem e elevado custo, (REIS et al., 1985; HERRERO et al., 2014). No entanto, a biomassa de raízes pode ser avaliada indiretamente, usando a relação raiz/parte aérea, que corresponde à relação de alocação de biomassa entre as raízes e a parte aérea (SOARES; TOMÉ, 2012) ou por meio de equações (ZEWDIE et al., 2009; HERRERO et al., 2012; RAZAKAMANARIVO et al., 2012).

Há escassez de informações sobre o estoque de carbono em brotações de eucalipto, em especial, no que se refere ao sistema radicular das plantas (REIS; KIMMINS, 1986; TEIXEIRA et al., 2002). Também, a maioria dos estudos se limita à avaliação da biomassa, sem haver um refinamento dos dados para o cômputo do armazenamento efetivo de carbono (MISRA et al., 1998; WILDY; PATE, 2002; SAINT-ANDRÉ et al., 2005; ZEWDIE et al., 2009; HERRERO et al., 2012; RAZAKAMANARIVO et al., 2012). A alocação de carbono para as raízes é especialmente importante para povoamentos em regime de talhadia. As plantas manejadas desta forma possuem sistema radicular estabelecido que, após o corte e a emissão de novos brotos pela cepa, continua crescendo, juntamente com a capacidade de acumular biomassa e armazenar carbono.

Investigações sobre a alocação de carbono, principalmente, para o sistema radicular das plantas, que é um dos componentes com menos informação sobre sua biomassa, podem contribuir para aumentar a precisão da avaliação do sequestro de C pelas plantas.

O objetivo deste estudo foi avaliar o estoque de carbono nos componentes da parte aérea e do sistema radicular de plantas intactas e de brotações de plantas jovens, para dois clones de eucalipto, estabelecidos na região de cerrado.

## 2. Material e métodos

O estudo foi realizado em povoamentos dos clones 58 e 19 de eucalipto, híbridos de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, respectivamente, estabelecidos no espaçamento 9,5 x 4,0 m, em um sistema agroflorestal, em área da Votorantim Siderurgia S/A, no município de Vazante, MG (17°36'09"S, 46°42'02"W e altitude de 550m).

O clima da região é Aw (Köppen), com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média anual é de 26,5°C; a precipitação média anual é de 1350 mm, com déficit hídrico de 480 mm, no período de março a outubro (Figura 1) (SOUZA, 2011). O solo predominante é o Latossolo Vermelho Distrófico com textura argilosa. A vegetação natural é constituída por formações do bioma cerrado.

O preparo do solo para o plantio do eucalipto e do arroz constituiu-se de uma gradagem pesada e duas gradagens niveladoras, com a incorporação de 4 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico zinal (85% de PRNT). A subsolagem foi feita na linha de plantio do eucalipto (30-40 cm de profundidade), com a adição, no sulco, de 150 kg de fosfato reativo de gafsa por hectare. A adubação para o plantio do eucalipto e do arroz constituiu-se, respectivamente, de 130 g planta<sup>-1</sup> de NPK 10-28-06 + 0,5% de Zn + 0,3% de B por planta e, 300 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 40-30-16 + 0,3% de Zn por hectare. O plantio irrigado dos clones de eucalipto foi realizado em julho de 2004, com a semeadura do arroz (*Oryza sativa*) no fim do mês de outubro. O arroz foi plantado a uma distância de 1 m da linha de plantio do eucalipto. Após a colheita da cultura do arroz, em fevereiro de 2005, realizou-se a adubação de cobertura do eucalipto (20 g planta<sup>-1</sup>, sendo 10g de cada lado) de Borogram (10% B). O plantio da soja (*Glycine max*) foi realizado na estação chuvosa subsequente, após aplicação do herbicida trifluralina e preparo da área com duas gradagens niveladoras. A adubação para a cultura da soja consistiu-se de 500 g planta<sup>-1</sup> de NPK 02-30-15 + 0,3% de B.

O experimento de decepta foi instalado em abril de 2005, em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições de onze tratamentos, incluindo: plantas intactas (não decepadas) e plantas decepadas aos 9 e 12 meses, a 10 cm do solo. Após a decepta, foram aplicados os seguintes tratamentos de desbrota: a) sem desbrota, b) desbrota para dois brotos e c) desbrota para três brotos (Tabela 1). A desbrota foi realizada aos seis e nove meses de idade após a decepta. Importante



ressaltar que o estudo foi conduzido em uma área plana e homogênea e a recomendação de adubação foi a mesma para toda a área experimental.

A decepta e a desbrota foram realizadas com serrote de desrama. As parcelas foram constituídas de quatro fileiras, sendo a área útil de cada parcela igual a 760 m<sup>2</sup> englobando 20 plantas, dispostas nas duas linhas centrais (10 plantas em cada linha).

**Tabela 1.** Tratamentos de decepta e desbrota, aplicados em plantas dos clones 58 e 19<sup>(1)</sup> de eucalipto, em espaçamento 9,5 x 4,0 m, em Vazante, MG

Tratamento	Idade da decepta (mês)	Idade da desbrota (mês)	Nº de brotos
PI	-	-	-
D9-SD	9	SD	SD
D9-I6-2B	9	6	2
D9-I6-3B	9	6	3
D9-I9-2B	9	9	2
D9-I9-3B	9	9	3
D12-SD	12	SD	SD
D12-I6-2B	12	6	2
D12-I6-3B	12	6	3
D12-I9-2B	12	9	2
D12-I9-3B	12	9	3

<sup>(1)</sup> Não foram utilizados os tratamentos de decepta aos 9 meses para o clone 19, em razão de perda desses tratamentos; PI = Planta intacta; D9, D12 = Idade da decepta (9 e 12 meses, respectivamente); SD = sem desbrota; I6, I9 = idade de desbrota (desbrota aos 6 e aos 9 meses, respectivamente); 2B, 3B = número de brotos (2 e 3 brotos/cepa, respectivamente).

A biomassa de folhas, galhos e tronco foi avaliada trimestralmente, dos 9 aos 36 meses de idade após o plantio. Uma árvore sem decepta e todas as brotações de uma cepa, em cada repetição, por tratamento, foram amostradas para a avaliação dos componentes da biomassa da parte aérea, com base no peso seco por planta.

A biomassa de cada componente, por planta, foi analisada, em função da idade, por meio da análise de regressão não-linear, utilizando o modelo Gompertz, e a biomassa da parte aérea foi obtida pela soma da biomassa desses componentes.

Em razão de não ter sido amostrada a biomassa de raízes, no presente estudo, buscou-se na literatura trabalhos contendo informações sobre biomassa da parte aérea e de raízes para plantas intactas e brotações de eucalipto. Com esses dados, obteve-se a relação raiz/parte aérea (R:PA) para plantas intactas e brotações e, ajustaram-se equações não-lineares, para cada forma de manejo das plantas a fim de estabelecer a relação R:PA por idade. Somando-se a biomassa da parte aérea e do

sistema radicular, obteve-se a biomassa total das plantas. Estes dados de biomassa dos componentes da parte aérea e do sistema radicular são apresentados no Capítulo 1 e constituíram a base para a determinação do estoque de carbono.

O estoque de carbono nos componentes da parte aérea (folhas, galhos e tronco) e do sistema radicular das plantas foi calculado utilizando-se fatores de conversão de biomassa produzida para C fixado nesta biomassa. Na conversão da massa seca de tronco para carbono foi adotado o fator 0,49, conforme utilizado por Tsukamoto Filho (2003), amparado por resultado de pesquisa realizada pela Votorantim Siderurgia S/A, para a madeira de eucalipto. De modo geral, o teor médio de C na madeira de eucalipto, aceito mundialmente, é de 50% (DEWAR; CANNELL, 1992; NUTTO et al., 2002). Para os demais componentes da árvore foram adotados os fatores 0,524; 0,525; e 0,507; respectivamente, para folhas, galhos e raízes, tomando-se por referência Neves (2000).

### 3. Resultados

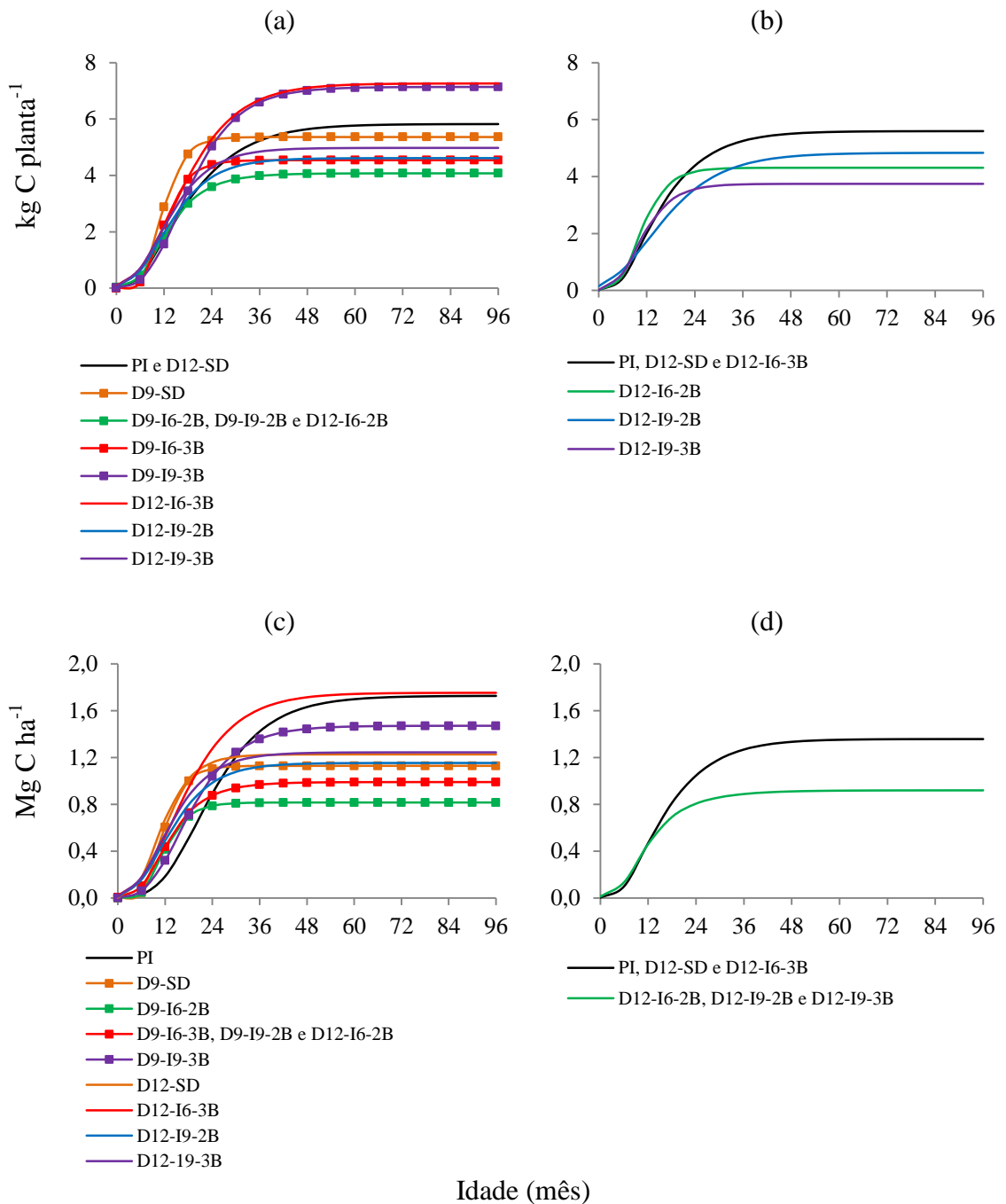
Para o clone 58, o estoque de carbono, por planta, nas folhas das plantas intactas foi similar apenas ao tratamento D12-SD. Os tratamentos D9-I6-2B, D9-I9-2B e D12-I6-2B, também, não diferiram entre si ( $p>0,05$ ) (Figura 1a). O estoque de carbono, por hectare, do tratamento D9-I6-3B foi similar a dois tratamentos com dois brotos por cepa (Figura 3c). O estoque de carbono nas folhas das plantas intactas (PI) do clone 19, por planta e por hectare, não diferiu ( $p>0,05$ ) dos tratamentos D12-SD e D12-I6-3B (Figura 1b, d).

O acúmulo inicial de carbono nas folhas de todos os tratamentos de brotações do clone 58, por unidade de área, foi maior que o de plantas intactas, porém, estagnou aproximadamente aos 24 meses, exceto para os tratamentos D12-I6-3B e D9-I9-3B, com estagnação em maiores idades, permanecendo com valores superiores ao de PI até a idade de 96 meses (Figura 1c). O acúmulo de carbono nas folhas de PI foi lento, especialmente no primeiro ano, mas apresenta aumento substancial, chegando a  $1,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , próximo ao do tratamento D12-I6-3B (Figura 1c). De maneira geral, com a condução de dois brotos por cepa, ocorre menor acúmulo de carbono nas folhas, em média  $4,2 \text{ kg C planta}^{-1}$  e  $1,0 \text{ Mg C ha}^{-1}$  (Figuras 1a, c).

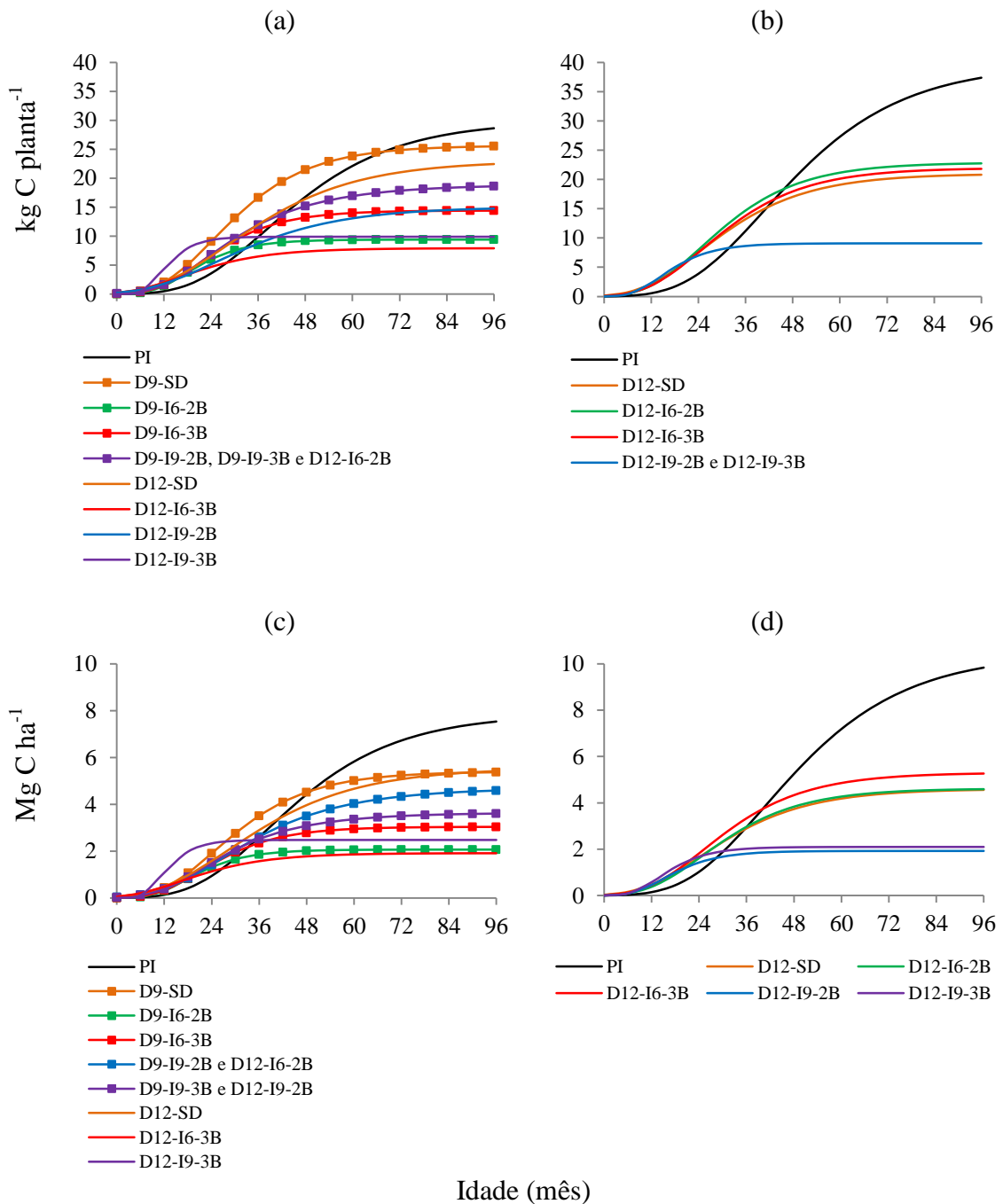
Para o clone 19, as diferenças no acúmulo inicial de carbono nas folhas, entre plantas intactas e brotações foram baixas. As plantas intactas não diferiram dos tratamentos D12-SD e D12-I6-3B no acúmulo por planta ( $5,6 \text{ kg C planta}^{-1}$ ) e por área ( $1,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ), mantendo-se em níveis mais elevados em comparação com os demais tratamentos (Figuras 1b, d). De modo geral, o estoque de carbono nas folhas de plantas do clone 19 foi menor do que para o clone 58.

A maioria dos tratamentos apresentaram diferenças ( $p < 0,05$ ) no estoque de carbono nos galhos, por planta, exceto os tratamentos D9-I9-2B, D9-I9-3B e D12-I6-2B, para o clone 58 (Figura 2a) e, os tratamentos D12-I9-2B e D12-I9-3B, para o clone 19 (Figura 2b) que foram similares ( $p > 0,05$ ) entre si. O acúmulo de carbono nos galhos, por hectare, foi similar apenas entre os tratamentos D9-I9-2B e D12-I6-2B e, D9-I9-3B e D12-I9-2B, para o clone 58 (Figura 2c) e, houve diferença ( $p < 0,05$ ) entre todos os tratamentos, para o clone 19 (Figura 2d).

As brotações dos dois clones, de modo geral, apresentaram acúmulo inicial de carbono nos galhos superior ao das plantas intactas. Porém, essa diferença foi menor do que para as folhas. Os galhos apresentaram acúmulo de carbono mais lento do que as folhas, por isso o máximo incremento ocorreu em idade mais avançada, exceto para o tratamento D12-I9-3B. Ressalta-se que essa estagnação ocorreu em idades maiores do que a estagnação do acúmulo de carbono nas folhas. As plantas intactas acumularam carbono nos galhos de forma mais lenta que as brotações e, aos 96 meses, apresentaram os maiores valores, atingindo  $28,6 \text{ kg C planta}^{-1}$  e  $7,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , para o clone 58 e,  $37,4 \text{ kg C planta}^{-1}$  e  $9,8 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , para o clone 19 (Figura 2). Os tratamentos sem a realização de desbrota, ou seja, com número variável de brotos, foram aqueles que apresentaram maior estocagem de carbono nos galhos, entre os tratamentos de decepta, acumulando  $24,0 \text{ kg C planta}^{-1}$  e  $5,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , em média, para o clone 58 (Figuras 2a, c). Para o clone 19, as plantas desbrotadas aos 9 meses, para dois ou três brotos, foram as que fixaram menor quantidade de carbono nos galhos, com apenas  $9,1 \text{ kg C planta}^{-1}$  e  $2,0 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , em média (Figuras 2b, d).



**Figura 1.** Estoque de carbono nas folhas, por planta ( $\text{kg C planta}^{-1}$ ) e por unidade de área ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ), de plantas intactas e brotações dos clones 58 (a e c) e 19 (b e d) de eucalipto, em povoamentos no arranjo espacial 9,5 x 4,0 m, em Vazante, MG.



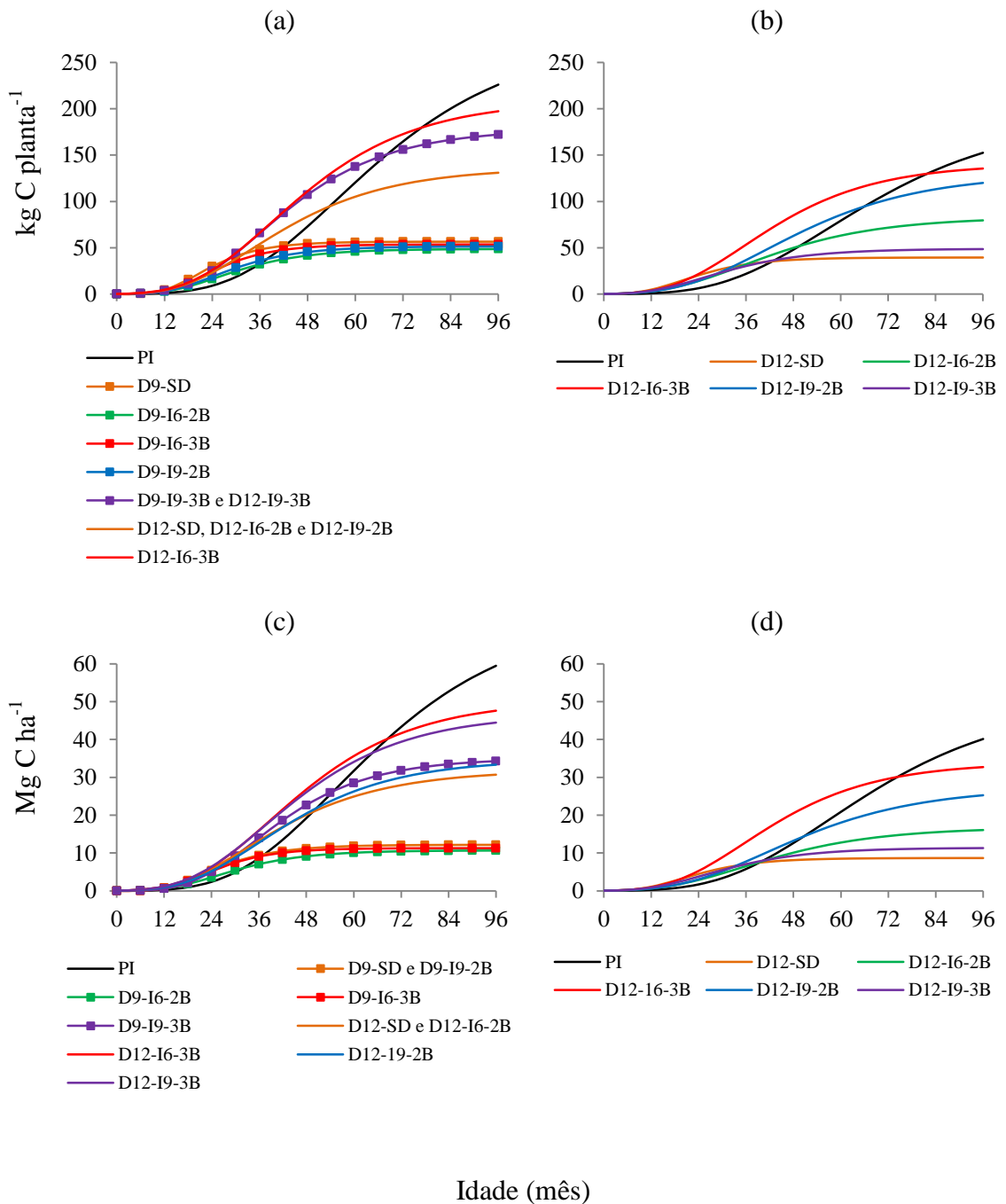
**Figura 2.** Estoque de carbono nos galhos, por planta ( $\text{kg C planta}^{-1}$ ) e por unidade de área ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ), de plantas intactas e brotações dos clones 58 (a e c) e 19 (b e d) de eucalipto, em povoamentos no arranjo espacial  $9,5 \times 4,0$  m, em Vazante, MG.

Os dois clones apresentaram diferenças no estoque de carbono nos galhos. As plantas intactas do clone 19 acumularam maior quantidade de carbono que as plantas do mesmo tratamento para o clone 58 (1,3 vezes, aos 96 meses de idade). Maior taxa de incremento em C (maior inclinação da curva) para PI, também, foi verificada para o clone 19. A partir de 24 meses, PI apresentaram acentuado acúmulo de C nos galhos, para este clone, em comparação ao clone 58. (Figuras 2a, b).

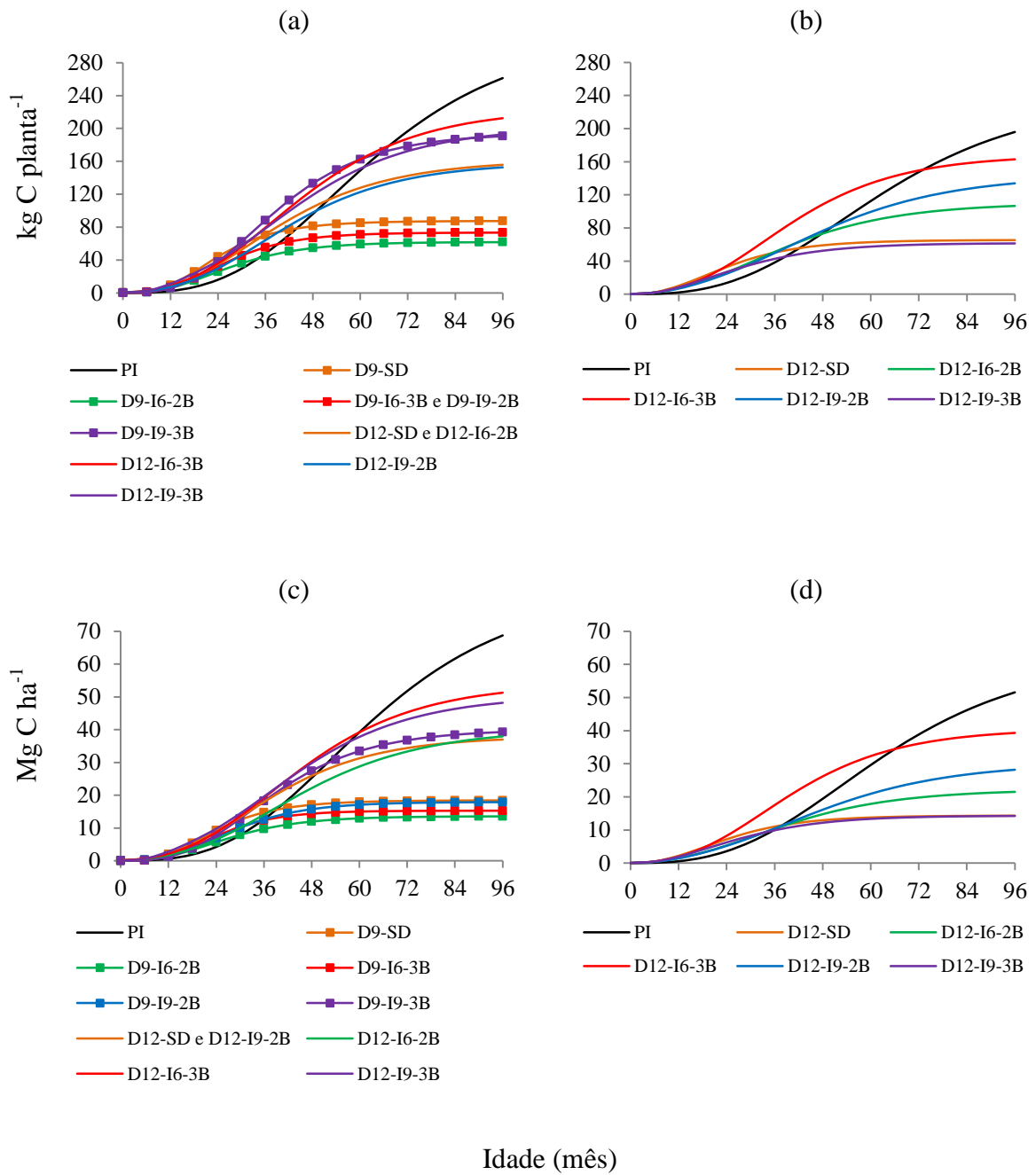
O estoque de carbono no tronco, por planta, para o clone 58, foi similar ( $p>0,05$ ) entre os tratamentos D9-I9-3B e D12-I9-3B e D12-SD, D12-I6-2B e D12-I9-2B (Figura 3a) e, por hectare, não diferiu ( $p>0,05$ ) entre D9-SD e D9-I9-2B e, entre D12-SD e D12-I6-2B (Figura 3c). Para o clone 19, todos os tratamentos diferiram entre si ( $p<0,05$ ) para o estoque de carbono no tronco, por planta e por unidade de área (Figuras 3b, d).

As brotações apresentaram, inicialmente, maior acúmulo de carbono no tronco, por planta e por hectare, sendo superadas posteriormente pelas plantas intactas (Figura 3). Ressalta-se, porém, que as plantas intactas somente ultrapassaram o tratamento D12-I6-3B, que foi o tratamento de decepta mais produtivo, entre 66 e 72 meses de idade, para o clone 58 e, entre 72 e 84 meses para o clone 19. Aos 96 meses de idade, as plantas intactas apresentaram os maiores valores para carbono fixado no tronco, sendo 226,0 kg C planta<sup>-1</sup> e 59,5 Mg C ha<sup>-1</sup>, para o clone 58, e, 152,5 kg C planta<sup>-1</sup> e 40,1 Mg C ha<sup>-1</sup>, para o clone 19. Ambos os clones apresentaram o tratamento D12-3B-I6 sucedendo PI, com acúmulo de 197,3 kg C planta<sup>-1</sup> e 47,6 Mg C ha<sup>-1</sup>, para o clone 58, e, 135,5 kg C planta<sup>-1</sup> e 32,7 Mg C ha<sup>-1</sup>, para o clone 19. De modo geral, os tratamentos de decepta aos 9 meses (exceto o tratamento D9-I9-3B), para o clone 58, acumularam menos carbono, por planta e por hectare, no tronco e, para o clone 19, menores valores foram observados para decepta aos 12 meses, sem desbrota, ou com desbrota aos nove meses, para três brotos.

O estoque de carbono na parte aérea (folhas + galhos + tronco), por planta, foi similar ( $p>0,05$ ) entre D9-I6-3B e D9-I9-2B e, entre D12-SD e D12-I6-2B, para o clone 58 (Figura 4a) e, em relação à área, não diferiu ( $p>0,05$ ) entre os tratamentos D12-SD e D12-I9-2B (Figura 4c). O clone 19 apresentou diferença ( $p<0,05$ ) entre tratamentos para estoque de carbono na parte aérea, por planta ou por hectare (Figuras 4b, d).



**Figura 3.** Estoque de carbono no tronco, por planta ( $\text{kg C planta}^{-1}$ ) e por unidade de área ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ), de plantas intactas e brotações dos clones 58 (a e c) e 19 (b e d) de eucalipto, em povoamentos no arranjo espacial  $9,5 \times 4,0$  m, em Vazante, MG.



**Figura 4.** Estoque de carbono na parte aérea (folhas + galhos + tronco), por planta ( $\text{kg C planta}^{-1}$ ) e por unidade de área ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ), de plantas intactas e brotações dos clones 58 (a e c) e 19 (b e d) de eucalipto, em povoamentos no arranjo espacial  $9,5 \times 4,0$  m, em Vazante, MG.

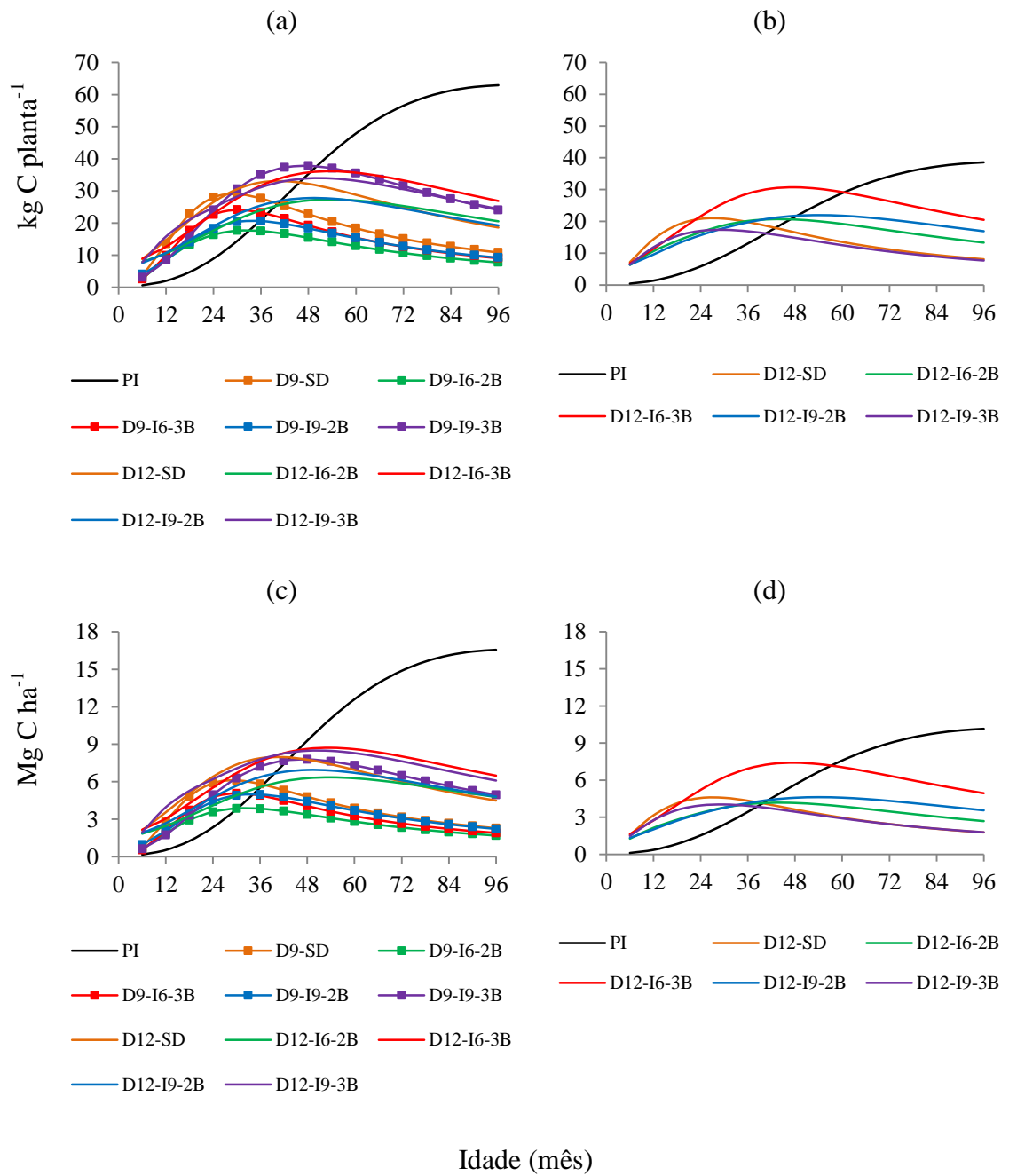


O acúmulo de carbono na parte aérea das plantas, por hectare, dos tratamentos D12-I6-3B e D12-I9-3B, para o clone 58, só foi superado pelas plantas intactas em torno de 60 meses de idade (Figuras 4c) e, para o clone 19, as plantas intactas superaram as brotações de D12-I6-3B aos 66 meses de idade (Figuras 4d).

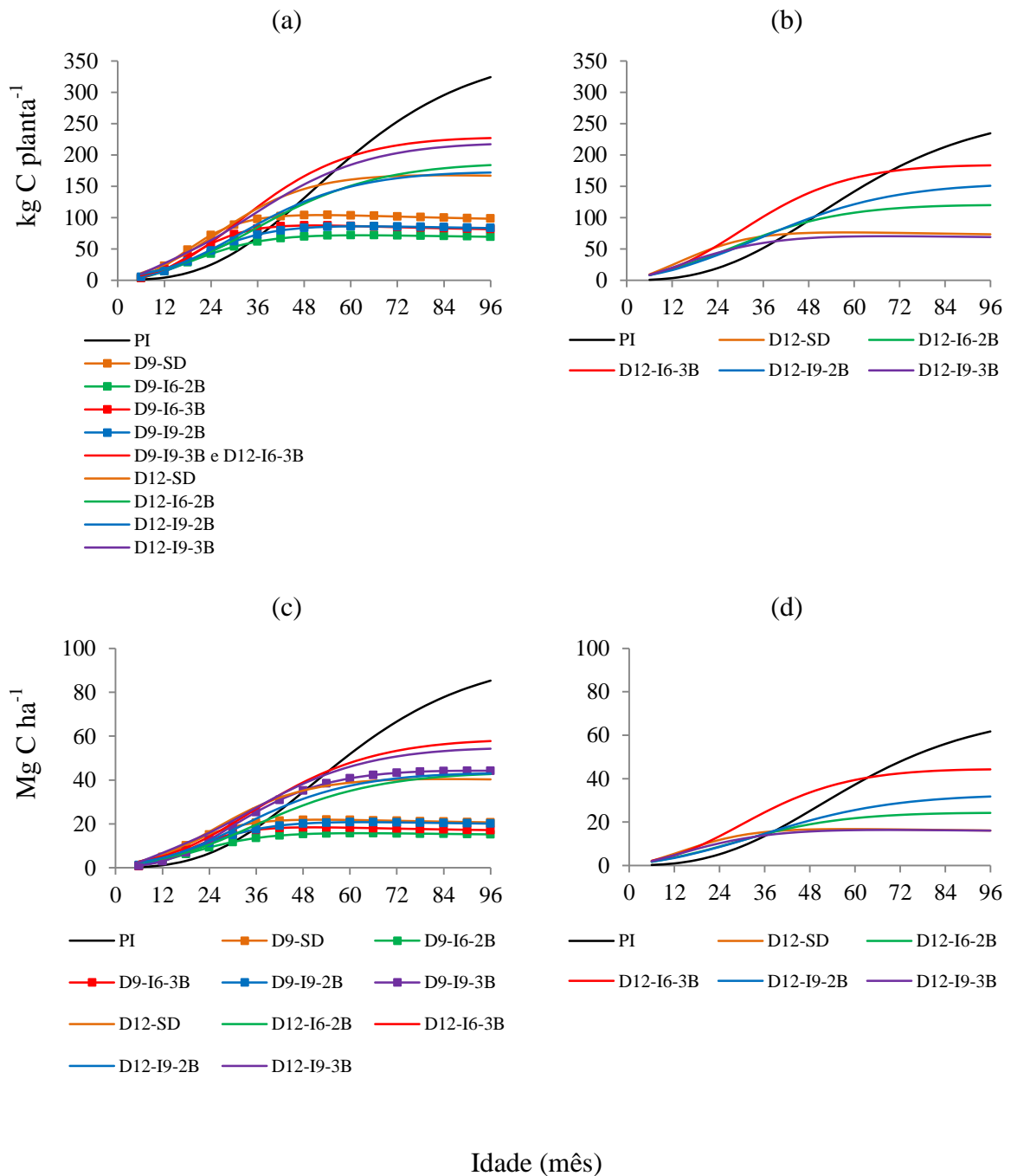
O estoque de carbono nas raízes, por planta e por hectare, diferiu ( $p < 0,05$ ) entre todos os tratamentos, para ambos os clones (Figura 5).

As brotações apresentaram acúmulo inicial de carbono nas raízes maior que o das plantas intactas, sendo superado entre 30 e 54 meses de idade, para o clone 58 e, 38 a 60 meses, para o clone 19. Aos 96 meses, as plantas intactas do clone 58 apresentaram valores para carbono estocado nas raízes, por planta e por hectare, 3,7 e 4,2 vezes maiores que as médias encontradas para as brotações, respectivamente (Figura 5a, c). Para o clone 19, esses valores foram 2,9 (para estoque de carbono, por planta) e 3,4 (para estoque de carbono, por hectare). Para o clone 58, os tratamentos de decepta aos 12 meses para três brotos apresentaram maior acúmulo de carbono no sistema radicular ( $6,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , para desbrota aos 6 meses e,  $6,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , para desbrota aos 9 meses), em oposição aos tratamentos de decepta aos 9 meses (exceto D9-I9-3B), que apresentaram os menores valores para o estoque de carbono nas raízes, aos 96 meses de idade, independentemente do número de brotos conduzidos (Figura 5c). Para o clone 19, as plantas deceptadas aos 12 meses com desbrota aos 6 meses para três brotos fixaram  $4,9 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , aos 96 meses, valor consideravelmente superior aos demais tratamentos de decepta (Figura 5d). Observa-se que, inicialmente, o estoque de C nas raízes de brotações é muito superior ao de plantas intactas, havendo uma redução nessa produção após certa idade, para todos os tratamentos, para ambos os clones.

O estoque total de carbono (parte aérea + raízes), por planta, não apresentou diferença ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos D9-I9-3B e D12-I6-3B, para o clone 58 (Figura 6a), tendo variado ( $p > 0,05$ ) entre todos os tratamentos para o clone 19 (Figura 6b). O estoque total de carbono, por unidade de área, variou ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos de decepta para os dois clones (Figura 6c, d).



**Figura 5.** Estoque de carbono nas raízes, por planta ( $\text{kg C planta}^{-1}$ ) e por unidade de área ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ), de plantas intactas e brotações dos clones 58 (a e c) e 19 (b e d) de eucalipto, em povoamentos no arranjo espacial  $9,5 \times 4,0$  m, em Vazante, MG.



**Figura 6.** Estoque total de carbono (parte aérea + sistema radicular), por planta ( $\text{kg C planta}^{-1}$ ) e por unidade de área ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ), de plantas intactas e brotações dos clones 58 (a e c) e 19 (b e d) de eucalipto, em povoamentos no arranjo espacial  $9,5 \times 4,0$  m, em Vazante, MG.

As brotações apresentaram maior estoque total de carbono que as plantas intactas, em idades mais jovens. Em torno de 60 meses de idade, para estoque de carbono, por planta e, de 54 meses, para estoque de carbono, por hectare, as plantas intactas do clone 58 ultrapassaram as brotações para os tratamentos com maior estoque de carbono. O mesmo ocorreu em torno de 66 meses de idade para o clone 19, em termos individual e por unidade de área.

De modo geral, aos 96 meses de idade, as plantas intactas apresentaram maior estoque total de carbono. As plantas intactas do clone 58 estocaram um total de 324,2 kg C planta<sup>-1</sup> e 85,3 Mg C ha<sup>-1</sup>, enquanto que, para o clone 19, esse estoque foi de 234,6 kg C planta<sup>-1</sup> e 61,7 3 Mg C ha<sup>-1</sup>. Em média, o estoque total de carbono para as brotações foi de 152,7 kg C planta<sup>-1</sup> e 35,5 3 Mg C ha<sup>-1</sup>, para o clone 58 e, 119,4 kg C planta<sup>-1</sup> e 26,5 3 Mg C ha<sup>-1</sup>, para o clone 19. Para os tratamentos de decepa menos produtivos, observa-se tendência de decréscimo no estoque total de carbono, por planta e por unidade de área.

#### **4. Discussão**

Estimativas do acúmulo de C, em todos os componentes da planta, são essenciais para avaliar o papel dos ecossistemas florestais no sequestro de carbono (VARIK et al., 2013), principalmente no que se refere à sua contribuição para mitigar a emissão de dióxido de carbono (LIBERLOO et al., 2006). A capacidade de sequestrar carbono das florestas plantadas depende, do genótipo, da capacidade produtiva e de técnicas de manejo do povoamento (HERRERO et al., 2014), destacando-se os povoamentos manejados em regime de talhadia adotado para espécies que apresentam a capacidade de emitir brotações, a exemplo do eucalipto (DRAKE et al., 2013), *Populus spp* (LIBERLOO et al., 2006), *Betula pubescens* (KAUPPI et al., 1988), dentre outras. As brotações apresentam hábito de crescimento e características de copa diferenciadas em relação às plantas intactas (KAUPPI et al., 1988), o que pode afetar o acúmulo de carbono nos componentes da parte aérea e nas raízes. No entanto, os resultados do presente estudo indicam que a distribuição de carbono nos diferentes componentes é similar nas duas formas de manejo. Folhas, galhos e tronco foram responsáveis por 3, 12 e 68% do estoque total de C, respectivamente, por hectare, nas plantas intactas e, 3,5, 11 e 74%, respectivamente, nas brotações, em média, para os dois clones estudados, aos 96 meses. Estes

resultados foram similares aos obtidos por Tsukamoto Filho (2004) (1, 8 e 78,5%) para plantas intactas de clones de eucalipto no arranjo espacial 10 x 4 m, em mesma idade, na mesma região do presente estudo.

Vários estudos têm sido desenvolvidos sobre estoque de carbono em povoamentos de eucalipto manejados por alto fuste (TSUKAMOTO FILHO et al., 2004; SCHUMACHER; WITSCHORECK, 2004; SOARES et al., 2005; PAIXÃO et al., 2006; GATTO et al., 2011; DRAKE et al., 2012). No presente estudo, os dois clones fixaram, na parte aérea (folhas, galhos e tronco), em média, 60 Mg C ha<sup>-1</sup>. Este estoque de C foi inferior ao reportado por Gatto et al. (2011) (86 Mg C ha<sup>-1</sup>), aos 96 meses, para cinco regiões no Estado de Minas Gerais. Paixão et al. (2006) estimaram estoque no tronco de 39,0 Mg C ha<sup>-1</sup> para *E. grandis*, aos 72 meses, em Viçosa, MG. Soares et al. (2005) encontraram valores de estoque de C no tronco variando de 44 a 82 Mg C ha<sup>-1</sup>, aos 80 meses de idade, para *E. grandis*, na região leste do Estado de Minas Gerais. Estes dois últimos autores avaliaram apenas o estoque de carbono no fuste, ou seja, não foi considerado o carbono estocado nas folhas e nos galhos.

O valor médio de estoque de C nas raízes de plantas intactas, encontrado por Gatto et al. (2011), foi de 15,0 Mg ha<sup>-1</sup>, maior que o estimado por Schumacher e Witschoreck (2004), que encontraram 9,0 Mg C ha<sup>-1</sup> em plantios de eucalipto, aos 72 meses de idade. O valor médio observado no presente estudo, para os dois clones, foi de 13 Mg C ha<sup>-1</sup>, representando 18,2% do estoque total de carbono nas plantas. No Quênia, Kuyah et al. (2013) estimou em apenas 9 Mg C ha<sup>-1</sup> o estoque na parte aérea das plantas de eucalipto, enquanto o sistema radicular contribuiu com 2,7 Mg C ha<sup>-1</sup>. Segundo este autor, os solos de sua região de estudo são caracterizados por uma boa estrutura física, mas a disponibilidade de nutrientes é baixa devido ao intemperismo e intenso uso agrícola. Varik et al. (2013) observaram acúmulo de C nas raízes entre 4 e 19,8 Mg C ha<sup>-1</sup> para *Betula pendula*, em povoamentos com idade variando de 6 a 60 anos, na Estônia.

Poucos são os estudos sobre a alocação de carbono na parte aérea e no sistema radicular de brotações. O estoque total médio de carbono nas brotações estimado, para os dois clones, no presente estudo foi 32,5 Mg C ha<sup>-1</sup>. Bala et al. (2012) estimaram em 13 Mg ha<sup>-1</sup> o estoque de carbono, incluindo o sistema radicular (aproximadamente 3,5 Mg C ha<sup>-1</sup>), de um plantio de híbrido de eucalipto conduzido por talhadia, aos 6 anos, no arranjo espacial 3 x 3 m, na Índia. Para cálculo da

biomassa de raízes e, conseqüentemente, o carbono fixado neste componente, este autor utilizou a relação raiz/parte aérea (0,27) proposta pelo IPCC (2006). O estoque de C no sistema radicular das brotações (3,6 Mg C ha<sup>-1</sup>), em média, para os dois clones, aos 96 meses, foi ligeiramente maior que o valor encontrado por Bala et al. (2012), correspondendo a 11,2% do carbono total fixado pelas plantas.

A quantificação do estoque de carbono no sistema radicular, de brotações e de plantas intactas, a partir da relação raiz/parte aérea obtida a partir de dados da literatura, para os materiais genéticos estudados, pode ter subestimado os resultados de estoque total de carbono nas brotações em relação às plantas intactas. Devido à escassez de dados sobre a biomassa de raízes, alguns dos trabalhos consultados para compor o banco de dados das plantas intactas eram de plantios das décadas de 80 e 90, que foram implantados com níveis tecnológicos abaixo dos utilizados atualmente. A produção de biomassa da parte aérea e das raízes é influenciada pela capacidade produtiva do sítio e condições climáticas (MOKANY et al., 2005; CASTILHO et al., 2006; WANG et al., 2008). Tem sido registrada maior produção de biomassa de raízes em sítios de pior qualidade (REIS et al., 1985; GONÇALVES, 1994; MELLO; GONÇALVES, 2008). Quando a disponibilidade de água e nutrientes é limitada, as árvores tendem a alocar, em termos relativos, mais fotoassimilados para as raízes, em detrimento aos demais componentes da árvore. Tal tendência foi constatada por Reis e Kimmins (1986), que observaram maior relação raiz/parte aérea, em solos de menor fertilidade, para *E. grandis*, em casa de vegetação.

Apesar das brotações terem estagnado o crescimento em idades precoces e terem apresentado menor estoque de C nos variados componentes das plantas, aos 96 meses, o estoque total de carbono para alguns tratamentos foi bem próximo ao verificado para as plantas intactas, no presente estudo. Ressalta-se que as brotações apresentam crescimento inicial mais elevado do que plantas intactas (KAUPPI, 1988; CACAU et al., 2008; PAULA, 2011; SOUZA, 2011), havendo, então, antecipação do sequestro de carbono. Isto permite o uso de rotações mais curtas quando o povoamento está sob regime de talhadia, em comparação com plantas intactas, o que pode reduzir o tempo de uso da terra, bem como os custos do povoamento, em razão de não haver necessidade de implantar uma nova floresta. Por exemplo, considerando a idade de corte de 60 meses para as plantas decepadas aos 12 meses, com desbrota aos seis meses para três brotos (D12-I6-3B) e, considerando a manutenção da produtividade da talhadia em diferentes rotações, o estoque total de C na primeira

rotação manejada por talhadia, somado ao carbono estocado aos 36 meses de uma segunda rotação (totalizando 96 meses) corresponde a 87,5 e 103,4% do carbono estocado nas plantas intactas dos clones 58 e 19, respectivamente, quando estavam com 96 meses de idade. As brotações, se manejadas adequadamente, principalmente com adubação e uso de material genético adequado, podem apresentar produção mais elevada do que a de plantas em regime de alto fuste. Silva (2013) relatou que a produção de madeira no tronco ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) de clones de eucalipto em regime de talhadia (segunda rotação) foi 124 e 154% da produção verificada para alto fuste, respectivamente, quando foi adubado, com condução de um e dois brotos por cepa.

Uma alternativa promissora para prever a produção de biomassa e o estoque de C em florestas equiâneas é a utilização de redes neurais artificiais (RNA's). De acordo com Silva (2010) e outros autores (LEK et al., 1996; HAYKIN, 2001; BULLINARIA, 2009), esta metodologia tem apresentado desempenho superior aos modelos de regressão devido a diversos fatores, entre eles: estrutura maciça e paralelamente distribuída (camadas); habilidade de aprender e generalizar que as tornam capazes de resolver problemas complexos; são tolerantes à falhas e ruídos; podem modelar diversas variáveis e suas relações não-lineares; possibilidade de modelagem com variáveis categóricas (qualitativas), além das numéricas (quantitativas); analogia neurobiológica, pois as redes são inspiradas no cérebro humano. As RNA's são capazes de realizar a modelagem do crescimento e a prognose da produção volumétrica em nível de povoamento e de árvore individual (SILVA, 2010), e nada impede que também sejam utilizadas para estimarem o acúmulo de biomassa e carbono em plantios florestais, demonstrando o enorme potencial da técnica para o setor florestal.

## 5. Conclusões

Brotações do clone 19, a depender da idade de corte e de adequadas práticas silviculturais, podem apresentar produção de biomassa e estoque total de carbono similar ao de plantas intactas.

O sistema radicular de brotações de eucalipto contribui de forma fundamental para o sequestro total de carbono pelas plantas.

A condução de talhadia com decepa aos doze meses e manutenção de três brotos aos seis meses proporciona maior estoque de carbono na parte aérea e no

sistema radicular das brotações, em relação aos demais tratamentos de decepa, para os materiais genéticos estudados.

## 6. Referências Bibliográficas

AFAS, N. L.; MARRON, N.; DONGEN, S. V.; LAUREYSENS, I.; CEULEMANS, R. Dynamics of biomass production in a poplar coppice culture over three rotations (11 years). **Forest Ecology and Management**, v.255, p.1883-1891, 2008.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; MARTÍNEZ, G. B. Contribuições dos Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) para uma Agricultura de Baixa Emissão de Carbono. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.4, n.6, p.1163-1175, 2011. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/278/225>>. Acesso em: 9 de fevereiro de 2015.

BALA, S.; BISWAS, S.; MAZUMDAR, A. Potential of carbon benefits from Eucalyptus hybrid in dry-deciduous coppice forest of **Journal of Engineering and Applied Sciences**, v.7, n.12, p.1614-1622, 2012 Jharkhand. **ARPN**.

BULLINARIA, J. A. **Introduction to Neural Computation**. Notas de aula. 2009. Disponível em: <<http://www.cs.bham.ac.uk/~jxb/inc.html>>. Acesso em: 9 de fevereiro de 2015.

CACAU, F. V.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; ALVES, F. F.; SOUZA, F. C. Decepa de plantas jovens de eucalipto e manejo de brotações, em um sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.11, 2008.

CASTILHO, C. V. D. et al. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian forest: effects of soil and topography. **Forest Ecology and Management**, v.234, n.1/3, p.85-96, 2006.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Mercado agropecuário de redução de emissões**. Brasília, 2012. 51p.

COUTO, L.; NICHOLAS, I. Short rotation eucalypt plantations for energy in Brazil. 2011. Disponível em: <[http://ieabioenergytask43.org/wp-content/uploads/2013/09/IEA\\_Bioenergy\\_Task43\\_PR2011-02.pdf](http://ieabioenergytask43.org/wp-content/uploads/2013/09/IEA_Bioenergy_Task43_PR2011-02.pdf)>. Acesso em: 9 de fevereiro de 2015.

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

DRAKE, P. L.; MENDHAM, D. S.; WHITE, D. A.; OGDEN, G. N.; DELL, B. Water use and water-use efficiency of coppice and seedling Eucalyptus globulus Labill.: a comparison of stand-scale water balance components. **Plant and Soil**, v.350, n.1-2, p.221-235, 2012.



GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; VILLANI, E. M. A. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.35, n.4, p.895-905, 2011.

GONÇALVES, J. L. M. **Características do sistema radicular de absorção do Eucalyptus grandis sob diferentes condições edáficas**. 1994. 84f. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ - USP), Piracicaba – SP.

HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 900 p.

HERRERO, C.; JUEZ, L.; TEJEDOR, C.; PANDO, V.; BRAVO, F. Importance of root system in total biomass for Eucalyptus globulus in northern Spain. **Biomass and Bioenergy**, v.67, p.212-222, 2014.

KAUPPI, A.; KIVINIITTY, M.; FERM, A. Growth habits and crown architecture of Betula pubescens Ehrh. of seed and sprout origin. **Canadian Journal of Forest Research**, v.18, p.1603-1613, 1988.

KUYAH, S.; DIETZ, J.; MUTHURI, C.; NOORDWIJK, M. V.; NEUFELDT, H. Allometry and partitioning of above- and below-ground biomass in farmed eucalyptus species dominant in Western Kenyan agricultural landscapes. **Biomass and Bioenergy**, v.55, p.276-284, 2013.

LEK, S.; DELACOSTE, M.; BARAN, P.; DIMOPOULOS, I.; LAUGA, J.; AULAGNIER, S. Application of neural networks to modelling nonlinear relationships in ecology. **Ecological Modelling**, v.90, n.1, p.39-52, 1996.

LIBERLOO, M. et al. Woody biomass production during the second rotation of a bio-energy Populus plantation increases in a future high CO2 world. **Global Change Biology**, v.12, p.1094-1106, 2006.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **O aquecimento global e a agricultura de baixa emissão de carbono**. Brasília, 2012. 75p.

MISRA, R. K.; TURNBULL, C. R. A.; CROMER, R. N.; GIBBONS, A. K.; LASALA, A.V. Below- and above-ground growth of Eucalyptus nitens in a young plantation: I. Biomass. **Forest Ecology and Management**, v.106, p.283-293, 1998.

MELLO, S. L. M.; GONÇALVES, J. L. M. Equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de Eucalyptus grandis em sítios com produtividades distintas. **Revista Árvore**, v.32, n.1, p.101-111, 2008.

MOKANY, K.; RAISON, R. J.; PROKUSHKIN, A. S. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. **Global Change Biology**, v.11, n.1, p.1-13, 2005.

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. 191f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

NUTTO, L.; WATZLAWICK, L. F.; GRAMMEL, R.; FENNER, P. T. O mercado internacional de CO<sub>2</sub>: 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.

PAIXÃO, F. A.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; SILVA, G. F. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. **Revista Árvore**, v.30, n.3, p.411-420, 2006.

PÉREZ-CRUZADO, C.; MERINO, A.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R. A management tool for estimating bioenergy production and carbon sequestration in Eucalyptus globulus and Eucalyptus nitens grown as short rotation woody crops in north-west Spain. **Biomass and Bioenergy**, v.35, p.2839-2851, 2011.

PAULA, R. R. **Avaliação silvicultural de eucalipto em monocultivo e em sistema agroflorestal com diferentes arranjos espaciais.** 2011. 61f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RAZAKAMANARIVO, R. H.; RAZAKAVOLOLONA, A.; RAZAFINDRAKOTO, M. A.; VIEILLEDENT, G.; ALBRECHT, A. Below-ground biomass production and allometric relationships of eucalyptus coppice plantation in the central highlands of Madagascar. **Biomass and Bioenergy**, v.45, p.1-10, 2012.

REIS, M. G. F.; KIMMINS, J.; 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.; KIMMINS, J. P. Importância do sistema radicular no crescimento inicial de brotos de Eucalyptus spp. **Revista Árvore**, v.10, n.2, p.196-201, 1986.

RIBEIRO, S. C. **Estoque de biomassa e carbono em cerrado e em plantio comercial de eucalipto no estado de Minas Gerais.** 2011. 60f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SAINT-ANDRÉ, L.; M'BOU, A. T.; MABIALA, A.; MOUVONDY, W.; JOURDAN, C.; ROUPSARD, O.; DELEPORTE, P.; HAMEL, O.; NOUVELLON, Y. Age-related equations for above- and below-ground biomass of a Eucalyptus hybrid in Congo. **Forest Ecology and Management**, v.205, p.199-214, 2005.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R. Inventário de carbono em povoamentos de Eucalyptus spp nas propriedades fumageiras do sul do Brasil: "Um estudo de caso". In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B.,

(Ed.) **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: AM Impressos, 2004. p.111-124.

SILVA, M. L. M. **Uso de redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos de eucalipto**. 2010. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

SILVA, N. F. **Produtividade, demanda e eficiência nutricional de clones de eucalipto em regime de alto fuste e talhadia**. 2013. 52f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; GÖRGENS, E. B. Equações para estimar o estoque de carbono n fuste de árvores individuais e em plantios comerciais de eucalipto. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.711-718, 2005.

SOARES, P.; TOMÉ, M. Biomass expansion factors for Eucalyptus globulus stands in Portugal. **Forest Systems**, v.21, n.1, p.141-152, 2012

SOUZA, F. C. **Crescimento e potencial energético de plantas intactas e de brotações de plantas jovens de clones de eucalipto**. 2011. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

TEIXEIRA, P. C.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; TEXEIRA, J. L. Eucalyptus urophylla root growth, stem sprouting and nutrient supply from the roots and soil. **Forest Ecology and Management**, v. 160, p. 263-271, 2002.

TEWARI, S. K.; KATIYAR, R. S.; BALAK RAM; MISRA, P. N. Effect of age and season of harvesting on the growth, coppicing characteristics and biomass productivity of *Leucaena leucocephala* and *Vitex negundo*. **Biomass and Bioenergy**, v.26, p.229-234, 2004.

TSUKAMOTO FILHO, A. A. **Fixação de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais**. 2003. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

TSUKAMOTO FILHO, A. A.; COUTO, L.; NEVES, J. C. L.; PASSOS, C. A. M.; SILVA, M. L. Fixação de carbono em um sistema agrissilvipastoril com eucalipto na região de cerrado de Minas Gerais. **Agrossilvicultura**, v.1, n.1, p.29-41, 2004.

VARIK, M.; AOSAAR, J.; OSTONEN, I.; LÖHMUS, K.; URI, V. Carbon and nitrogen accumulation in belowground tree biomass in a chronosequence of silver birch stands. **Forest Ecology and Management**, v.302, p.62-70, 2013.

WANG, X.; FANG, J.; ZHU, B. Forest biomass and root-shoot allocation in northeast China. **Forest Ecology and Management**, v.255, n.12, p.4007-4020, 2008.

WILDY, D. T. & PATE, J. S. Quantifying above- and below-ground growth responses of the western Australian oil mallee, *Eucalyptus kochii* subsp *plenissima*, to contrasting decapitation regimes. **Annals of Botany**, v.90, n.2, p.185-197, 2002.

ZEWDIE, M.; OLSSON, M.; VERWIJST, T. Above-ground biomass production and allometric relations of *Eucalyptus globulus* Labill. coppice plantations along a chronosequence in the central highlands of Ethiopia. **Biomass and Bioenergy**, v.33, p.421-428, 2009.

## CONCLUSÕES GERAIS

A decepta de plantas jovens de eucalipto pode ser utilizada para produção de biomassa para geração de energia, a depender do ciclo de rotação para a talhadia. Esta técnica pode ser utilizada para manejo de povoamentos em espaçamentos amplos, visando, também, a mitigação de gases de efeito estufa, em razão da possibilidade de antecipação do sequestro de C pelas plantas, devido ao maior crescimento das brotações em idades jovens.

Brotações do clone 19, a depender da idade de corte e de adequadas práticas silviculturais, podem apresentar produção de biomassa e estoque total de carbono similar ao de plantas intactas.

O sistema radicular de plantas intactas e brotações de eucalipto contribui de forma significativa para o sequestro total de carbono pelas plantas, devendo ser considerado nas estimativas de sequestro de carbono.

O regime de talhadia com decepta aos doze meses e manutenção de três brotos aos seis meses proporciona maior produção de biomassa e estoque de carbono na parte aérea e no sistema radicular das plantas, em relação aos demais tratamentos de decepta, para os materiais genéticos estudados.