



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**WILLIAM MACEDO DELARMELINA**

**BIOMASSA E CARBONO EM PLANTIOS DE *Schizolobium parahyba* var.  
*amazonicum* SOB DIFERENTES ESPAÇAMENTOS EM ÁREA DE PASTAGEM**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2019

**WILLIAM MACEDO DELARMELENA**

**BIOMASSA E CARBONO EM PLANTIOS DE *Schizolobium parahyba* var.  
*amazonicum* SOB DIFERENTES ESPAÇAMENTOS EM ÁREA DE PASTAGEM**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.  
Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira  
Coorientadores: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça e Prof<sup>a</sup>. Dra. Elzimar de Oliveira Gonçalves.

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2019

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de  
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

D339b Delarmelina, William Macedo, 1990-  
Biomassa e carbono em plantios de *Schizolobium parahyba*  
var. *amazonicum* sob diferentes espaçamentos em área de  
pastagem / William Macedo Delarmelina. - 2019.  
97 f.

Orientador: Marcos Vinicius Winckler Caldeira.

Coorientadores: Adriano Ribeiro de Mendonça, Elzimar de  
Oliveira Gonçalves.

Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade  
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e  
Engenharias.

I. Caldeira, Marcos Vinicius Winckler. II. Mendonça, Adriano  
Ribeiro de. III. Gonçalves, Elzimar de Oliveira. IV. Universidade  
Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e  
Engenharias. V. Título.

CDU: 630\*38

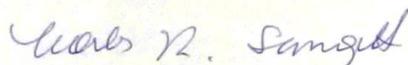
---

**BIOMASSA E CARBONO EM PLANTIOS DE *Schizolobium parahyba* var.  
*amazonicum* SOB DIFERENTES ESPAÇAMENTOS EM ÁREA DE PASTAGEM**

**William Macedo Delarmelina**

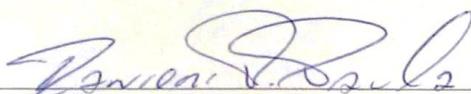
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 22 de fevereiro de 2019



---

**Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta** (Examinador externo)  
Instituto Federal do Paraná



---

**Dr. Ranieri Ribeiro Paula** (Examinador externo)  
Universidade Federal do Espírito Santo



---

**Dr. Paulo André Trazzi** (Examinador externo)  
Universidade Federal do Espírito Santo



---

**Dr. Diêgo Gomes Júnior** (Examinador Externo)  
Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do ES



---

**Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira** (Orientador)  
Universidade Federal do Espírito Santo

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Vicente de Paula Delarmelina e Marilza de Macedo Delarmelina, pelo incentivo e esforço na educação de seus filhos.

À minha esposa Luara Louzada Aguiar, pelo o apoio e carinho.

À toda minha família, pelo suporte.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Espírito Santo e especialmente, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo pela concessão da bolsa de Doutorado que foi de suma importância para realização do curso.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES)- Código de Financiamento 001.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – IFES – Campus de Alegre, pela concessão da área de estudo.

À FAPES, pelo apoio financeiro da pesquisa, por meio do Edital Nº 011/2013 PPE, (Pesquisa em agropecuária no Estado do Espírito Santo), Processo Nº 65766261/2014, Edital FAPES/ CNPq Nº 012/2014 – DCR Processo FAPES nº 71416382 e pela concessão da bolsa por meio do Edital 124/14 e Termo de Outorga Nº 308/2015.

À minha esposa Luara pela paciência e cumplicidade nos momentos tristes e decisivos, e pela alegria e amor nos momentos felizes e de descontração.

Aos meus pais, Vicente e Marilza e à minha irmã Juliana que sempre me apoiaram e me guiaram. Obrigado por acreditarem em mim.

À toda minha família pelo exemplo de perseverança, educação e humildade que me ensinaram a ter caráter, honestidade e retidão.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira e coorientadores, Elzimar de Oliveira Gonçalves e Adriano Ribeiro de Mendonça, pela paciência e confiança, pelas oportunidades oferecidas e pela contribuição em minha vida profissional.

Aos meus amigos de infância, por todos os momentos e alegrias compartilhadas. A todas as amizades conquistadas em Jerônimo Monteiro pelos momentos de companheirismo.

Em especial gostaria de agradecer a todos que participaram desta Pesquisa e também amigos de laboratório.

E finalmente, agradeço a todos que me ajudaram de forma direta ou indireta para o meu desenvolvimento social e profissional. Muito obrigado a todos!

## RESUMO

DELARMELINA, William Macedo. **Biomassa e carbono em plantios de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* sob diferentes espaçamentos em área de pastagem**. 2019. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Marcos Vinícius Winckler Caldeira. Coorientadores: Elzimar de Oliveira Gonçalves e Adriano Ribeiro de Mendonça

O carbono em plantios florestais é de extrema relevância no âmbito das questões ambientais e silviculturais. A conversão das pastagens para plantações florestais está entre as principais estratégias para reduzir perdas de carbono do solo. Sob a hipótese de que as maiores densidades de plantio influenciam o carbono orgânico do solo, um experimento com *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* implantado em área de pastagem estabelecida foi estudado objetivando quantificar a biomassa e o estoque de carbono sob diferentes espaçamentos, bem como avaliar o efeito das árvores sobre o carbono orgânico do solo. O experimento está localizado na área do IFES, Campus Alegre - ES. Foram estudados cinco espaçamentos de plantio, sendo: 3 x 2 m, 3 x 3 m, 4 x 3 m, 4 x 4 m e 5 x 5 m, no delineamento experimental em blocos casualizados com três repetições. Foi realizado o inventário florestal do povoamento para obtenção das variáveis dendrométricas. A biomassa e o teor de carbono foram obtidos por meio do método direto, contemplando todos os compartimentos da árvore acima do solo e raiz. Foi determinado o carbono orgânico no solo, considerando as profundidades 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 0-20 cm. Os teores de C e os valores de isótopos estáveis de carbono ( $\delta^{13}C$ ) foram obtidos por meio do espectrômetro de massa. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico. Valores de  $\delta^{13}C$  no solo e nas folhas senescentes das gramíneas e do *S. parahyba* var. *amazonicum* foram usados no cálculo da proporção do carbono do solo derivado da gramínea. Verificou-se que nos espaçamentos mais amplos (4 m x 4 m e 5 m x 5 m), as plantas apresentaram os maiores diâmetros médios, sendo 14,29 cm e 14,19 cm, respectivamente. O inverso foi encontrado para altura, onde o espaçamento 3 m x 2 m proporcionou a maior média (13,35 m). Os maiores teores de carbono na biomassa foram encontrados na casca, galhos e folhas, e o menor teor no fuste. Os diferentes espaçamentos de plantio não influenciaram os teores de carbono na madeira, entretanto devido a maior densidade de plantio, os espaçamentos menores foram responsáveis pelos maiores valores de biomassa e estoque de carbono acima e

abaixo do solo para o povoamento. O estudo destaca à rápida mudança na origem do carbono do solo após à conversão da pastagem estabelecida para plantios florestais com parte do COS originada dos plantios de *S. parayba* var. *amazonicum*.

**Palavras-chave:** Carbono no solo, carbono isotópico, espaçamento de plantio

## ABSTRACT

DELARMELENA, William Macedo. **Biomass and carbon in stands of *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* under different spacing in pasture area**. 2019. Thesis (Doctorate in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Marcos Vinícius Winckler Caldeira. Co-advisors: Elzimar de Oliveira Gonçalves and Adriano Ribeiro de Mendonça

Carbon in forest plantations is extremely relevant in environmental and silvicultural issues. The conversion of pastures to forest plantations is among the main strategies to reduce soil carbon losses. Under the hypothesis that higher planting densities influence soil organic carbon, an experiment with *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* plant in an established pasture area was studied in order to quantify the biomass and carbon stock under different spacing, as well as to evaluate the effect of the trees on the organic carbon of the soil. The experiment is located in IFES-Campus Alegre - ES. Five planting spacings were studied: 3 m x 2 m, 3 m x 3 m, 4 m x 3 m, 4 m x 4 m and 5 m x 5 m, in a randomized complete block design with three replications. The forest inventory of the stand was taken to obtain the dendrometric variables. The biomass and the carbon content were obtained by means of the direct method, contemplating all the compartments of the tree above the ground and root. The organic carbon was determined in the soil, considering the depths 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm and 0-20 cm. The C contents and the stable isotope values of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) were obtained by means of the mass spectrometer. Soil density was determined by the volumetric ring method. Values of  $\delta^{13}\text{C}$  in soil and senescent leaves of grasses and *S. parahyba* var. *amazonicum* were used to calculate the proportion of soil carbon derived from grass. It was verified that in the larger spacings (4 m x 4 m and 5 m x 5 m), the plants had the highest average diameters, being 14.29 cm and 14.19 cm, respectively. The inverse was found for height, where the spacing 3 m x 2 m provided the highest mean (13.35 m). The highest levels of carbon in the biomass were found in the bark, branches and leaves, and the lowest content in the stem. The different planting spacings did not influence the carbon content in the wood, however due to the higher planting density, the smaller spacings were responsible for the higher values of biomass and carbon stock above and below the soil for settlement. The study highlights the rapid change in soil carbon origin after the conversion of pasture established for

forest plantations with part of the COS originating from the plantations of *S. parayba* var. *amazonicum*.

**Keywords:** Soil carbon, isotopic carbon, planting spacing

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios da análise química do solo na área, aos nove meses antes da implantação do povoamento de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> em Rive (setembro/2010), Alegre, ES.....	33
Tabela 2 - Valores médios da análise física do solo na área, aos nove meses antes da implantação de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> em Rive (setembro/2010), Alegre, ES .....	33
Tabela 3 – Equações ajustadas e suas respectivas estatísticas para a estimativa da altura total das árvores de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> , aos 44 meses de idade, em Rive, Alegre, ES.....	35
Tabela 4 – Critérios de seleção e quantidade de árvores de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> abatidas para a obtenção da biomassa individual para cada espaçamento.....	37
Tabela 5 - Equações ajustadas para estimativa da biomassa total e dos compartimentos da árvore acima do solo para a população de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> , aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES.....	40
Tabela 6 - Frequência (%) e altura (m) de gramínea <i>Brachiaria</i> sp. no piso do povoamento de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> , em Rive, Alegre, ES.....	48
Tabela 7 - Esquema da ANOVA, com o teste F, para o teste de igualdade das médias de biomassa e estoque de carbono dos compartimentos da biomassa acima do solo e para o estoque de carbono no solo do <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> .....	49
Tabela 8 – Esquema da ANOVA, com o teste F, para os dados de biomassa e estoque de carbono nas raízes e na necromassa e para a comparação dos teores de carbono entre os diferentes componentes da biomassa avaliados no povoamento de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> .....	50
Tabela 9 - Valores médios das variáveis dendrométricas avaliadas no povoamento de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> , aos 44 meses após o plantio, em Rive, Alegre, ES ...	53
Tabela 10 - Correlações entre as variáveis biométricas utilizadas nos ajustes de equações do povoamento de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> , em Rive, Alegre, ES..	55
Tabela 11 - Biomassa total acima do solo ( $Mg\ ha^{-1}$ ) e de seus componentes para o povoamento de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> , aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES .....	57
Tabela 12 - Biomassa individual (kg) em diferentes espaçamentos de plantio do povoamento de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> , em Rive, Alegre, ES .....	59
Tabela 13 – Biomassa de raízes ( $Mg\ ha^{-1}$ ) em diferentes espaçamentos no povoamento de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES .....	61
Tabela 14 - Densidade média da madeira de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> em diferentes espaçamentos de plantio, aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES.	66
Tabela 15 - Teores médios de carbono (%) entre os diferentes espaçamentos de plantio avaliados no povoamento de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> , aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES. ....	69
Tabela 16 - Estoque de carbono ( $Mg\ ha^{-1}$ ) da biomassa acima do solo e de seus componentes para o povoamento de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> , aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES .....	70

Tabela 17 - Estoque de carbono nas raízes com os espaçamentos em árvores de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES .....	71
Tabela 18 - Estoque de carbono no solo com os espaçamentos em árvores de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> aos 68 meses de idade, em Rive, Alegre, ES .....	74
Tabela 19 - Estoque de carbono no solo, para a profundidade 0-20 cm, antes e após a implantação do povoamento de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> , em Rive, Alegre, ES .....	76
Tabela 20 - Abundância isotópica natural do $^{13}\text{C}$ do solo da pastagem e do solo do povoamento de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> , aos 68 meses após a implantação e até 20 cm de profundidade, em Rive, Alegre, ES.....	77
Tabela 21 - Estoque total de carbono (Mg), considerando a parte aérea das árvores de <i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> e o solo do povoamento, em Rive, Alegre, ES .....	81

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Passos metodológicos utilizados para quantificar a biomassa e o estoque de carbono em plantios de <i>S. parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> , e avaliar o efeito da inserção de árvores sobre o carbono do solo .....	29
Figura 2 - Localização da área de estudo e indicação dos blocos onde foi realizado o plantio de <i>S. parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> , em Rive, Alegre, ES .....	30
Figura 3 - Modelo digital de elevação com indicação da distribuição espacial das parcelas e altitude nos três blocos experimentais com plantio de <i>S. parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> , em Rive, Alegre, ES.....	31
Figura 4 - Distribuição de frequência das árvores de <i>S. parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> , aos 44 meses de idade, em diferentes espaçamentos de plantio, em Rive, Alegre, ES..	36
Figura 5 - Esquema de subdivisão da área para a coleta de amostras de solo no povoamento de <i>S. parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> , tomando-se como exemplo o espaçamento 3 m x 3 m, em Rive, Alegre, ES .....	43
Figura 6 - Sistematização dos coletores para coleta de folhas senescentes das árvores de <i>S. parahyba</i> var <i>amazonicum</i> , aos 68 meses de idade, em Rive, Alegre, ES.....	47
Figura 7 - Teores médios de carbono para os diferentes compartimentos da biomassa avaliados no povoamento de <i>S. parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> , aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES. ....	63
Figura 8 - Teores médios de carbono para os diferentes compartimentos da biomassa avaliados no povoamento de <i>S. parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> , aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES. ....	64
Figura 9 - Densidade básica da madeira de <i>S. parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> ao longo do fuste, aos 56 meses de idade.....	68
Figura 10 - Teor de carbono orgânico do solo (%) em diferentes profundidades para o povoamento de <i>S. parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> , aos 68 meses de idade, em Rive, Alegre, ES .....	73
Figura 11 - Participação relativa das árvores de <i>S. parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> e da pastagem na matéria orgânica do solo, em Rive, Alegre, ES .....	80
Figura 12 – Estoque de carbono mensurado no povoamento de <i>S. parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> , em Rive, Alegre, ES.....	83

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	16
1.1 Objetivos .....	18
1.1.1 Objetivo geral.....	18
1.1.2 Objetivo específico .....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
2.1 <i>Schyzolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> .....	19
2.2 Carbono no contexto florestal .....	20
2.3 Métodos para quantificar biomassa e carbono .....	22
2.4 Influência do espaçamento em povoamentos florestais .....	24
2.5 Carbono em povoamentos florestais implantados em pastagem .....	27
3 METODOLOGIA.....	29
3.1 Área de estudo .....	30
3.2 Implantação e configuração do experimento .....	34
3.3 Caracterização do povoamento .....	34
3.4 Amostragem da biomassa acima do solo .....	36
3.5 Amostragem da biomassa de raízes.....	40
3.6 Teor e estoque de carbono orgânico nos tecidos vegetais.....	41
3.7 Densidade da madeira.....	42
3.8 Teor e estoque de carbono no solo .....	42
3.9 Contribuição do povoamento de <i>S. parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> no carbono orgânico do solo .....	45
3.10 Análise dos dados .....	48
3.10.1 Crescimento das árvores nos diferentes espaçamentos.....	48
3.10.2 Teores de carbono nos compartimentos da biomassa.....	49
3.10.3 Densidade básica e teor de carbono da madeira .....	50
3.10.4 Biomassa e estoque de carbono acima do solo e no solo .....	51
3.10.5 Biomassa e estoque de carbono nas raízes .....	52
3.10.6 Mudanças no estoque de carbono no solo.....	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	53
4.1 Avaliação silvicultural do <i>S. parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> estabelecido em diferentes espaçamentos.....	53
4.2 Biomassa das árvores aos 56 meses de idade.....	56
4.3 Teores de carbono de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> nos diferentes compartimentos da biomassa.....	62

4.4 Densidade básica e teores de carbono em função do espaçamento de plantio e da posição axial no fuste .....	66
4.5 Estoque de carbono pelas árvores aos 56 meses de idade .....	70
4.6 Carbono estocado no solo .....	72
4.6.1 Mudanças no estoque de carbono do solo após a introdução das árvores .....	76
4.7 Biomassa e estoque de carbono total no povoamento .....	81
5 CONCLUSÕES .....	84
6. REFERÊNCIAS.....	85

## 1 INTRODUÇÃO

As emissões de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), principal gás do efeito estufa, devido à queima de combustíveis fósseis e ao desmatamento, foram identificadas como a principal causa de mudanças climáticas globais (FIELD et al., 2014; GOMES et al., 2016). Parte das emissões de  $\text{CO}_2$  da atividade agrícola é originária do solo, que também é o maior reservatório de carbono na biosfera terrestre (STOCKMANN et al., 2013). Embora haja estudos frequentes sobre os estoques de carbono do solo de florestas e sistemas de manejo de cultivos em regiões tropicais, ainda existem incertezas sobre como as árvores influenciam no carbono do solo e poderiam mitigar as emissões de  $\text{CO}_2$ .

Os ecossistemas florestais são importantes no inventário de carbono e na mitigação do efeito estufa por agirem no ciclo de carbono nos ecossistemas terrestres. Existem cinco formas de estocagem de carbono em um ecossistema florestal: (1) na biomassa acima e abaixo do solo, (2) na serapilheira sobre o piso florestal, (3) na necromassa grossa, (4) nos solos e (5) nos produtos de origem florestal (IPCC, 2006). Nos inventários de carbono em ecossistemas florestais e na maioria dos projetos de mitigação é dada maior importância para a avaliação da biomassa acima do solo e do solo, no âmbito do Protocolo de Quioto. No entanto, a biomassa abaixo do solo tem demonstrado ser um importante reservatório de carbono para muitos tipos de vegetação e sistemas de uso da terra (BĀRDULIS et al., 2015; EKOUNGOULOU et al., 2015; RODRIGUES et al., 2014; SOHRABI; BAKHTIARVAND-BAKHTIARI; AHMADI, 2016).

Diante disso, as florestas são fundamentais para mitigar os efeitos da mudança climática, pois elas constituem grandes depósitos de carbono e têm a capacidade de absorver continuamente dióxido de carbono da atmosfera (ACKER et al., 2002; CAREY et al., 2001; HARMON; FERRELL; FRANKLIN, 1990; PENNE et al., 2010). Assim, é importante monitorar os estoques e fontes de carbono nas florestas compreendendo os processos que afetam o seu equilíbrio a fim de verificar a direção e a magnitude das reações dos ecossistemas florestais frente às alterações globais, podendo esse conhecimento também ser incorporado ao planejamento do manejo florestal para ajudar nos esforços de mitigação da mudança climática (STINSON et al., 2011).

Dentre os fatores que podem afetar o estoque de carbono na biomassa vegetal, o espaçamento de plantio em florestas plantadas deve ser considerado, pois além de alterar as taxas de crescimento das plantas, qualidade da madeira, idade de corte, bem como as práticas de exploração e manejo florestal, também está ligado a fatores ecológicos/silviculturais de suma importância como a decomposição da matéria orgânica do solo (BENOMAR; DESROCHERS; LAROCQUE, 2012). Apesar de estimativas de produtividade existirem, pouco se sabe sobre os efeitos de espaçamento na alocação de biomassa e distribuição de raízes em plantios de *S. parayba* var. *amazonicum*.

No Brasil, os plantios florestais são comumente estabelecidos por meio da implantação de árvores em pastagens pré-estabelecidas, geralmente de *Brachiaria* sp. Na literatura, estudos *in situ* em florestas plantadas com o objetivo de quantificar a biomassa e o estoque de carbono do solo são facilmente encontrados (BROWN; LUGO, 1982; GIRI; RAWAT, 2013; GIRI; RAWAT; KUMAR, 2014; KEITH et al., 2014). Contudo, pouco utilizada no Sudeste do Brasil, a espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (*S. parahyba* var. *amazonicum*), conhecido popularmente como paricá, é uma árvore nativa da região amazônica, sendo destaque na Região Norte do Brasil em sistemas agroflorestais (ROSÁRIO et al., 2014). Apesar de existirem vários trabalhos avaliando aspectos como crescimento, rendimento de madeira, sobrevivência em condições naturais e em déficit hídrico do paricá (CARVALHO, 2005; DEL AMO; RAMOS, 1993; POORTER, 1999), não existem dados na literatura sobre a estocagem de carbono na biomassa e no solo desta árvore em área dominada com gramíneas.

As consequências funcionais da integração de árvores na vegetação dominada por gramíneas incluem mudanças de produtividade acima e abaixo do solo (MONTAGNINI; NAIR, 2004) e mudanças na quantidade e qualidade de insumos de serapilheira (JOBÁGY; JACKSON, 2000). Sabe-se que a matéria orgânica do solo (MOS) é extremamente vulnerável às mudanças no uso da terra (TONUCCI et al., 2011), bem como à diversificação de espécies do sistema (STEINBEISS et al., 2008). Assim, quantificar e qualificar o carbono provenientes da contribuição das árvores implantadas no sistema árvores-pastagem, é importante para entender os mecanismos e processos associados à transformação e ao armazenamento de carbono orgânico no solo.

Com objetivo de diminuir a lacuna gerada pela carência de estudos do paricá, este trabalho será norteado pelos seguintes questionamentos: o espaçamento de

plantio exerce influência na quantidade de biomassa e no estoque de carbono na biomassa? O teor de carbono entre os diferentes compartimentos da biomassa e nas diferentes profundidades do solo são influenciados pelo espaçamento? Qual a quantidade de carbono é fixada pelo plantio de *S. parahyba* var. *amazonicum*? A mudança de uso da terra com a implantação do povoamento de *S. parahyba* var. *amazonicum* onde originalmente era pastagem mudou o carbono orgânico do solo?

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Quantificar a biomassa e o estoque de carbono em plantios de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* sob diferentes espaçamentos, bem como avaliar o efeito das árvores sobre o carbono orgânico do solo.

### **1.1.2 Objetivo específico**

Realizar o inventário florestal e estimar a produção de madeira;

Avaliar o efeito do espaçamento de plantio e da posição ao longo do fuste sobre os teores de carbono da madeira e sobre a densidade básica;

Quantificar a biomassa e o estoque de carbono em diferentes compartimentos da árvore e espaçamentos

Quantificar o estoque de carbono do solo no povoamento;

Avaliar a contribuição do povoamento e da gramínea no carbono orgânico do solo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 *Schyzolobium parahyba* var. *amazonicum*

A espécie *Schyzolobium parahyba* var. *amazonicum*, conhecida popularmente como paricá, faveira ou paricá-grande, é uma espécie arbórea da família Fabaceae que pode alcançar até 40 m de altura e 100 cm de diâmetro a 1,3 m do solo. Ocorre na Amazônia brasileira, venezuelana, colombiana, peruana, boliviana e equatoriana e toda a América Central. No Brasil, a espécie é encontrada nos estados do Amazonas, Pará, Mato Grosso, Rondônia e Acre (CORDEIRO et al., 2015).

A espécie possui rápido crescimento ( $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e bom desempenho em formações homogêneas e em consórcios (CORDEIRO et al., 2015; SILVA et al., 2011; VIEIRA et al., 2007), sendo assim, recomendada para fins comerciais, sistemas agroflorestais e reflorestamento de áreas degradadas. Na região norte do Brasil, o *S. parahyba* var. *amazonicum* possui grande importância para suprir a demanda de matéria-prima florestal. Estima-se que a área plantada de paricá no Brasil seja de 90.047 ha (IBA, 2017).

Na propagação seminal da espécie, há necessidade de tratamentos pré-germinativos (ROSA, 2006), em que as sementes são submetidas a processos mecânicos, físicos ou químicos (LAMEIRA et al., 2000; SHIMIZU et al., 2011). A partir disso, possuem germinação de 80% a 90%, que é favorecido pelo aumento da temperatura e pelo aumento da quantidade de água equivalente no processo germinativo (RAMOS; VARELA; MELO, 2006). Apesar de muitos protocolos de propagação de paricá por meio de cultura de tecidos e segmentos caulinares terem sido desenvolvidos nos últimos anos (CORDEIRO et al., 2007; REIS; LAMEIRA; CORDEIRO, 2007; ROSA; PINHEIRO, 2001) a produção de mudas é geralmente realizada via seminífera, podendo ser semeadas diretamente na embalagem ou colocando-as para germinar em sementeiras (SOUZA et al., 2003).

Para o plantio de *S. parahyba* var. *amazonicum* na região norte do Brasil diversos espaçamentos têm sido utilizados, tais como 3 m x 3 m, 4 m x 4 m; 3 m x 4 m; 5 m x 4 m; 6 m x 4 m. Porém, estudos recomendam o plantio no espaçamento 4 m x 4 m, o que facilitaria a mecanização e proporcionaria a melhor relação entre crescimento em altura e diâmetro das árvores (RONDON, 2002; ROSA, 2006).

A madeira das árvores de *S. parahyba* var. *amazonicum* é caracterizada por apresentar cerne e alburno indistintos, baixa densidade básica ( $0,30 \text{ g cm}^{-3}$ ), textura

média a grosseira, grã direita a irregular e anéis de crescimento distintos (MARCATI; MILANEZ; MACHADO, 2008; TOMAZELLO FILHO et al., 2004). Sua madeira é de fácil trabalhabilidade, apresentando bom acabamento; é utilizada na fabricação de laminados, compensados, forros, miolo de painéis e de portas, formas de concreto, palitos de fósforo, salto de calçados, brinquedos, maquetes, embalagens leves, canoas, etc. (MALLQUE; KIKATA, 1994; LIMA et al., 2003; TEREZO; SZÜCS, 2010).

A quantificação da biomassa da árvore em monoculturas e sistemas integrados tem sido utilizada devido sua aplicação na análise da produtividade, ciclagem de nutrientes e estocagem de carbono em povoamentos homogêneos ou em ecossistemas naturais (BĀRDULIS et al., 2015; BROWN; LUGO, 1982; EKOUNGOULOU et al., 2015; GIRI; RAWAT, 2013; GIRI; RAWAT; KUMAR, 2014; SOHRABI; BAKHTIARVAND-BAKHTIARI; AHMADI, 2016; TUFEKCIOGLU et al., 2003). Em sete espaçamentos distintos (1,5 m x 1,5 m, 2 m x 2 m, 3 m x 2 m, 3 m x 3 m, 4 m x 2 m, 4 m x 3 m, 4 m x 4 m) de plantio de *S. parahyba* var. *amazonicum*, Rondon (2002) avaliou e encontrou nos espaçamentos 4 m x 3 m e 4 m x 4 m maior crescimento e acúmulo de biomassa da parte aérea, com 85,5 e 92,6 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, aos 60 meses de idade, em Sinop - MT.

Apesar do avanço das informações sobre crescimento, biomassa e estoque de carbono em diversos povoamentos florestais, ainda são escassas informações referentes ao *S. parahyba* var. *amazonicum* que tangem o acúmulo de biomassa, crescimento em altura e diâmetro, produção de serapilheira, densidade arbórea do povoamento e estoque de carbono para a espécie. Sabe-se que os incrementos de biomassa e a assimilação de carbono como consequência de reflorestamentos dependem de características do local de estudo, espécies envolvidas, adubação, espaçamento, entre outros (FREITAS, 2010), sendo de grande importância estudos que avaliem a biomassa e estoque de carbono em diferentes condições de sítio e manejo.

## 2.2 Carbono no contexto florestal

No ecossistema florestal, o carbono é armazenado na biomassa viva (caule, folhas e raízes), na necromassa (serapilheira, galhos e troncos caídos) e no solo

(CLARK et al., 2001; IPCC, 2006). O papel das florestas no ciclo do carbono é dependente do manejo adotado e de como são utilizados os produtos gerados, podendo funcionar tanto como fontes de carbono quanto como reservatórios. Para exercer função de reservatório, as plantas devem absorver carbono atmosférico pelo processo fotossintético e retê-lo na biomassa, principalmente alocado no fuste, em um processo denominado produtividade primária bruta. Porém, devido aos distúrbios (corte, queima, herbivoria) e a respiração, ocorre a liberação do carbono contido no ecossistema florestal para a atmosfera (CHAPIN; MATSON; MOONEY, 2002; DE LUCIA et al., 2007; FREITAS, 2010). Assim, a floresta fixa carbono quando possui produtividade primária líquida positiva, ou seja, possui material orgânico produzido durante um intervalo específico (CLARK et al., 2001), incluindo o que é transferido da planta para o solo por meio da ciclagem biogeoquímica.

A quantidade de carbono estocada em povoamentos florestais depende da espécie, da taxa de crescimento, da longevidade, da qualidade do sítio, do clima, da rotação de cultura, além dos fatores inerentes ao solo, sendo que povoamentos jovens e florestas secundárias sequestram mais carbono quando comparada com florestas em estágio avançado de sucessão (AREVALO; ALEGRE; VILCAHUAMAN, 2002). Estes autores afirmam que as florestas primárias e plantações maduras atingem equilíbrio na fixação de carbono, pois liberam carbono na mesma medida via decomposição da madeira morta e senescência das árvores.

Porém, Luysaert et al. (2008) compilaram dados de 519 estudos do ciclo do carbono em todo o mundo, envolvendo florestas temperadas e boreais e concluíram que florestas entre 15 e 800 anos de idade possuem produção primária líquida positiva, isto é, funcionam como reservatórios de CO<sub>2</sub>. Malhi et al. (2009) avaliando a produtividade, a alocação e o estoque de carbono em florestas amazônicas situadas em Manaus (AM), Tapajós e Caxiuanã (PA) encontraram valores de produtividade primária líquida positiva de 10,1±1,4 Mg C ha ano<sup>-1</sup>, para Manaus; 14,4±1,3 Mg C ha ano<sup>-1</sup>, para Tapajós e 10,0±1,2 Mg C ha ano<sup>-1</sup>, para Caxiuanã. Os autores salientam ainda, que cerca de 20% a 30% do carbono fixado são subterrâneos.

Estima-se que 45% da biomassa florestal seja carbono (NOGUEIRA, 2013; SANTOS et al., 2016; WATZLAWICK et al., 2012). Com isso, tem-se que as florestas plantadas podem absorver da atmosfera cerca de 10 Mg de C por ha ano<sup>-1</sup> (NOGUEIRA, 2013). Torres et al. (2011) encontraram estoque de carbono em cultivo de *Jatropha curcas* L. aos 3 anos de idade de 4,182 Mg de C por ha<sup>-1</sup> em Viçosa-MG. Santos et al. (2016) estimaram um estoque de carbono de 5,7 Mg de C por ha<sup>-1</sup> em

oito espécies da Caatinga no município de Caicó-RN. Caldeira et al. (2015) encontraram para *Araucaria angustifolia* estoque de carbono entre 21,73 a 123,86 Mg ha<sup>-1</sup> em idades de plantio variando entre 23 e 32 anos. Em estudos sobre as respostas de quatro diferentes sítios (floresta primária; floresta secundária, capoeira pastagem dominada por *Larrea divaricata*), Conti et al. (2016) concluíram que os regimes de uso e ocupação do solo afetam significativamente a matéria orgânica do solo e os processos de estabilização da área, além de concluírem que o aporte de serapilheira é maior na floresta primária e menor nas pastagens.

### 2.3 Métodos para quantificar biomassa e carbono

Os métodos de quantificação de biomassa e carbono em florestas dividem-se em métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos são aqueles em que as árvores são cortadas e seus componentes separados, pesados e analisados, e os indiretos, quando as determinações da biomassa e do carbono são baseadas em estimativas advindas métodos diretos ou de métodos indiretos (IPCC, 2006; RATUCHNE et al., 2016; SILVEIRA et al., 2008; SOHRABI; BAKHTIARVAND-BAKHTIARI; AHMADI, 2016; SOMOGYI et al., 2007; ZHANG; GUAN; SONG, 2012a).

No método direto são selecionadas árvores representativas da população, sendo necessário a realização do inventário florestal. As árvores representativas podem ser selecionadas por duas variações metodológicas: Considerando as árvores médias da população com base no cálculo de área seccional média (dg) ou considerando um determinado número de árvores das diferentes classes diamétricas, abrangendo toda a distribuição diamétrica do povoamento. Em campo, as árvores selecionadas são derrubadas e são obtidos separadamente os pesos verdes para o tronco, galhos, folhas, flores e frutos. Em seguida, retira-se discos representativos do fuste e galhos e amostras das folhas, flores e frutos. Todas as amostras devem ser colocadas em estufa para obtenção do peso seco da árvore (SILVEIRA et al., 2008).

Outro método para quantificação direta da biomassa consiste no corte raso em pequenos pontos amostrais no interior da floresta. O método é realizado cortando-se e pesando-se toda a biomassa de uma área pré-definida, podendo também ser

separadas em estratos ou pesados apenas os fustes, estimando as demais porções (SANQUETTA, 2002).

Para a amostragem da parte aérea, deve-se coletar o conjunto de galhos e folhas, o tronco (constituído pela madeira e pela casca) e os frutos e as flores, caso estejam presentes. Assim, para determinar a biomassa seca de folhas e galhos deve-se abater a árvore e pesar todo o conjunto de folhas para obter o peso total úmido no campo – PU(c). Após isso, retira-se uma amostra de peso conhecido do conjunto de folhas – PU(a). Estas amostras devem ser secas em estufa de circulação forçada de ar. Este deverá permanecer na estufa até a estabilização do peso de sua matéria seca.

Existem diferentes metodologias para a determinação da biomassa do fuste, incluindo a madeira e a casca, entretanto, a metodologia proposta por Soares; Paula Neto; Souza (2011) é a mais operacional. O primeiro passo é cubar rigorosamente o fuste da árvore para obter o volume com casca, o volume sem casca e o volume de casca. Após isso, deve-se retirar discos de madeira de 2,5 cm de espessura ao longo do eixo longitudinal da árvore e retirar, de cada disco, amostras contendo casca e madeira para a determinação da densidade básica média da madeira e da casca em cada ponto de amostragem do fuste.

O método direto, segundo Bohm (1979), é o mais apropriado para o estudo de quantificação de biomassa do sistema radicular, uma vez que permite a pesagem imediata e a medição das raízes após sua retirada do solo, podendo-se, com isso, obter o peso das raízes por classe de tamanho. Os métodos diretos mais utilizados no estudo de raízes, segundo esse autor, são a escavação, a amostragem por monólitos e a tradagem.

O teor de carbono de diferentes partes da árvore para determinação do estoque de carbono pode ser obtido por meio de análises químicas. No entanto, segundo a literatura, o teor de carbono elementar presente na biomassa das diferentes partes da árvore está em torno de 50%, sendo este valor empregado quando não se realiza as análises químicas. Cabe mencionar que as amostras levadas ao laboratório para determinação do peso de matéria seca das diferentes partes das árvores podem ser utilizadas para determinar o teor de carbono, resultando em maior precisão das estimativas.

Os métodos indiretos empregam algum tipo de modelagem da biomassa e do carbono, com o auxílio de fatores e/ou equações (SANQUETTA et al., 2014). Entretanto, para garantir estimativas válidas, tais fatores ou equações devem ser

ajustados a uma base primária de dados coletados diretamente. Para Somogyi et al. (2007) as avaliações de biomassa de forma indiretas podem ser realizadas de duas formas: a) utilizando dados de volume de árvores ou talhões e multiplicando-os por um ou mais fatores apropriados que convertem as estimativas de volume para estimativas de biomassa ou b) realizando ajustes de equações pelo uso de técnicas de regressão.

Equações de regressão tendo o carbono como variável dependente e variáveis dendrométricas como independentes são, muitas vezes, chamadas de equações alométricas e quando disponíveis são recomendados para a estimativa de carbono (SOARES; TOMÉ, 2012), são empregadas em estudos para diferentes povoamentos florestais (BEEDY et al., 2015; RODRIGUES et al., 2014; SANQUETTA et al., 2014; SOARES; TOMÉ, 2012; TORRES et al., 2011). Por outro lado, outros estudos têm sido realizados pelo método destrutivo para o ajuste de equações (ROSENFELD; SOUZA, 2013; SILVEIRA, 2009; ZHANG; GUAN; SONG, 2012a).

## **2.4 Influência do espaçamento em povoamentos florestais**

A escolha do espaçamento de plantio para a implantação de povoamentos florestais deve ser realizada de acordo com os objetivos do plantio e do manejo florestal adotado. O espaçamento inicial é essencial no manejo florestal, pois possui relação direta com o produto florestal. A densidade de plantio influencia o crescimento em diâmetro, a qualidade da madeira, no controle da matocompetição, além de influenciar no uso múltiplo da área (ALVINO-RAYOL; ROSA; RAYOL, 2011; CARDOSO et al., 2013; MELO et al., 2014; RONDON, 2002). Informações adicionais como a resposta da espécie à diferentes espaçamentos e características de sítios também são importantes na tomada de decisão no processo de implantação florestal.

O espaçamento afeta a taxa de crescimento dos povoamentos florestais e o tamanho médio da árvore (SHARMA; BURKHART; AMATEIS, 2002; ZHANG; BURKHART; AMATEIS, 1996), determinando o tempo e a intensidade de competição entre as árvores e os recursos disponíveis. Por isso, avaliações quantitativas para o entendimento do efeito do espaçamento para objetivos específicos de manejo são necessárias para a tomada de decisão. Por exemplo, a maior densidade de plantio

induz a desrama natural e aumenta a produção em volume por unidade de área (ANTONY et al., 2012; KERR, 2003; RAIS et al., 2014).

Inúmeros estudos são realizados sobre espaçamentos de plantio para espécies exploradas economicamente, principalmente para o gênero *Pinus* e *Eucalyptus* (NASCIMENTO et al., 2012). Porém, para espécies nativas do Brasil que possuem potencial de produção ou de consórcio, poucos estudos têm sido realizados, sendo estes, conduzidos em ambientes muito específicos (ALVINO-RAYOL; ROSA; RAYOL, 2011; CARDOSO et al., 2013; NASCIMENTO et al., 2012; RONDON, 2002).

Para *Schizolobium parayba* var *amazonicum* na Região Norte do Brasil, diferentes espaçamentos tem sido adotados (3 m x 3 m; 4 m x 4 m; 3 m x 4 m; 5 m x 4 m; 6 m x 4 m), porém recentemente tem-se utilizado com maior frequência o espaçamento 4 m x 4 m (SILVEIRA, 2014). Entretanto, são escassos trabalhos com informações silviculturais desta espécie em outras regiões do país, principalmente em povoamentos puros. Para escolha do espaçamento adequado, tem que se considerar a qualidade e o peso-volume de madeira que será produzido, sítio de plantio, crescimento, espécie, taxa de sobrevivência esperada, objetivos do produto, futuros tratamentos silviculturais e o tipo de equipamento a ser empregado na implantação e colheita do povoamento (CARDOSO et al., 2013; RONDON, 2002; SEREGHETTI et al., 2015).

Rondon (2002) avaliando o efeito dos espaçamentos 1,5 m x 1,5 m, 2 m x 2 m, 3 m x 2 m, 3 m x 3 m, 4 m x 2 m, 4 m x 3 m e 4 m x 4 m sobre a produção de biomassa e o crescimento de *Schizolobium parayba* var *amazonicum*, aos 60 meses de idade em Mato Grosso - Brasil, constatou que o aumento da densidade populacional promoveu redução da altura e do diâmetro das plantas, sendo os espaçamentos 4 x 3 m e 4 x 4 m os que proporcionaram maiores crescimentos das árvores de paricá. De acordo com Costa et al. (1998), os espaçamentos mais adequados para povoamentos de paricá são 4 m x 4 m ou 4,5 m x 4,5 m, pois permitiram maior crescimento das plantas. Os autores verificaram ainda que nos plantios com espaçamento de 2,5 m x 2,5 m ocorreram maior mortalidade das árvores, devido a intensa competição por luz e nutrientes, e maiores riscos de quebra das árvores por ação do vento.

O espaçamento de plantio, além de alterar as taxas de crescimento das plantas, qualidade da madeira, idade de corte, bem como as práticas de exploração e manejo florestal, também está ligado a fatores ecológicos/silviculturais de suma importância como a infiltração e manutenção da água no solo. Da água que entra no sistema

florestal por meio da precipitação, parte é interceptada pela copa e outra parte fica armazenada no perfil do solo e posteriormente será consumida pelas plantas (LI et al., 2015; ZHANG et al., 2015). A disponibilidade de águas para as plantas depende principalmente da textura e profundidade do solo. A profundidade efetiva pode variar de alguns centímetros a vários metros a depender do tipo de solo.

Considerando áreas de características semelhantes e com espaçamento de plantio diferentes a infiltração da água no solo é maior em povoamentos florestais mais densos do que naqueles de menor densidade, devido ao maior incremento de matéria orgânica no solo, o que proporciona melhor porosidade e, conseqüentemente, maior capacidade de infiltração (KLEIN; KLEIN, 2014). A interceptação da precipitação pelas folhas e conseqüente chuva interna e escoamento de tronco, reduz o escoamento superficial e aumenta a infiltração e armazenamento de água no solo. Entretanto, outros fatores devem ser considerados como a correlação entre a densidade de plantio e a evapotranspiração e o uso de água pelo povoamento, na qual em povoamentos mais densos, o uso da água tende a aumentar, o que pode ser um fator limitante em regiões de baixa pluviosidade.

Os diferentes espaçamentos tendem a promover alterações na matéria orgânica do solo (MOS) e isso têm conseqüências importantes sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo mesmo sendo dependentes dos fatores edáficos e climáticos e também das práticas silviculturais adotadas (MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 2000). Em áreas de plantio, os teores de MOS é dependente das taxas de adição de resíduos e da intensidade dos processos de decomposição da matéria orgânica. A relação existente entre os diferentes espaçamentos de plantio e a fertilidade deve-se, principalmente, ao fato de a densidade de plantio influenciar no aporte de resíduos e na disponibilidade de luz e água, o que altera a dinâmica da ciclagem biogeoquímica do povoamento. Assim, o aumento da fertilidade do solo em povoamentos mais densos tende a ocorrer em decorrência de um incremento no aporte de resíduo vegetal produzido por unidade de área, o que implica maior adição de C ao solo na forma de raízes, folhas, ramos, ácidos orgânicos, exsudatos e mucilagens (PAVAN; CHAVES, 1996)

Alguns estudos sugerem modificação na fertilidade do solo em decorrência da densidade de plantio (LEITE et al., 2011; SILVEIRA; REINER; SMANIOTTO, 2014; VILLA et al., 2016). Portanto, em povoamentos adensados, os teores de nutrientes no solo aumentam gradativamente, devido ao processo de ciclagem, a menor adsorção de fósforo no solo e a maior retenção de nutrientes que eventualmente seriam

perdidos do sistema, seja por erosão ou por lixiviação. Mas o aumento na fertilidade do solo não é a única modificação que ocorre no sistema. Pavan et al. (1996) destacam o incremento na densidade de raízes por área em povoamentos adensados, o que acarreta maior taxa de recuperação, pelas plantas, dos nutrientes aplicados, especialmente daqueles que apresentam maior mobilidade no solo. Além disso, atribuem ao elevado sombreamento, causado pelo adensamento, um aumento do conteúdo de água no solo, o que contribui para que os mecanismos de transporte de nutrientes no solo sejam favorecidos, além do efeito direto de uma maior absorção de água pelas plantas.

Entretanto, em revisão realizada por Mallik; Hossain; Lamb (2008), os autores relatam que o efeito de diferentes espaçamentos sobre a fertilidade do solo não é tão evidente quanto o efeito das características inerentes a espécie. Portanto, estudos são necessários para a espécie *S. parayba* var. *amazonicum* afim de obter informações acerca da influência do espaçamento sobre as propriedades químicas do solo. Há evidências de aumento gradativo na fertilidade do solo, recuperação de nutrientes das camadas inferiores do solo e maior conteúdo de água no solo em espaçamento menores, indicando que densidade de plantio maior, considerando o limite devido à competição das espécies, ciclam os nutrientes de forma mais eficiente tornando-os disponíveis as plantas e aumentando a fertilidade do solo.

## **2.5 Carbono em povoamentos florestais implantados em pastagem**

Alguns estudos sugerem que as agroflorestas têm um maior potencial para sequestrar carbono do que as pastagens ou culturas de campo que crescem em condições ecológicas semelhantes (KIRBY; POTVIN, 2007; ROSHETKO et al., 2002). A conversão de pastagens para povoamentos florestais com gramínea no piso florestal tem o potencial de aumentar a profundidade e a distribuição do enraizamento, quantidade e qualidade de entrada de matéria orgânica e, portanto, potencial de sequestro de carbono (HAILE; NAIR; NAIR, 2008).

Estudos sobre a introdução de árvores em terras dominadas por pastagens pode fornecer algumas dicas sobre os efeitos potenciais dos sistemas silvipastoris no sequestro de carbono orgânico do solo. Observações sobre os efeitos do

reflorestamento no carbono orgânico do solo foram sintetizados e revisado por Li; Niu; Luo (2012) e Paul et al. (2002).

Por meio da medição e da razão natural dos isótopos de carbono ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ), na matéria orgânica do solo é possível identificar a presença ou ausência de plantas do ciclo fotossintético C<sub>3</sub>, que possuem baixa razão  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ , e C<sub>4</sub>, que possuem alta razão  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ , e sua influência sobre a matéria orgânica do solo (DALAL; THORNTON; COWIE, 2013; EHLERINGER; BUCHMANN; FLANAGAN, 2000; HAILE; NAIR; NAIR, 2010; SOUZA et al., 2016). Com isso, as medidas de carbono isotópicos da matéria orgânica do solo são usadas para avaliar os efeitos da mudança do uso do solo e das práticas de manejo.

As plantas com ciclo fotossintético C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> possuem diferenças nos processos bioquímicos fotossintéticos apresentando discriminação isotópica do  $^{13}\text{C}$ . Os tecidos da planta C<sub>3</sub> possuem valor médio de  $\delta^{13}\text{C}$  médio em torno de -28 ‰, em contrapartida, os tecidos da planta C<sub>4</sub> possuem valor médio de - 12 ‰. Isso permite identificar a contribuição das diferentes espécies do sistema na matéria orgânica do solo (CASPERSEN, 2000; HAILE; NAIR; NAIR, 2010; SOUZA et al., 2016).

Os povoamentos florestais podem funcionar como depósitos significativos de C atmosférica, devido ao seu armazenamento a longo prazo na biomassa acima e abaixo do solo. Além disso, maior integração de espécies de vegetais com características de rápida ciclagem de carbono possuem grande potencial para aumentar a absorção de C no sistema solo-planta por meio da ciclagem biogeoquímica (STEINBEISS et al., 2008).

Alguns estudos mostram uma tendência consistente de aumento da assinatura da planta C<sub>3</sub> dominando os valores de isótopos de  $^{13}\text{C}$  com a profundidade do solo (HAILE; NAIR; NAIR, 2010). Os resultados obtidos por diversos estudos sugerem que, a médio e longo prazo, a inserção de uma espécie florestal em um sistema com pastagem podem ajudar a sequestrar mais carbono orgânico no solo. Com isso, a utilização de árvores na pastagem possui grandes implicações ambientais. No entanto, mais informações sobre os processos são necessários para o potencial de inserção do *Schizolobium parayba* var. *amazonicum* com a gramínea (MATOS et al., 2011; NAIR et al., 2007; RIBEIRO et al., 2015).

### 3 METODOLOGIA

Os passos metodológicos (Figura 1) requeridos para realizar a coleta de biomassa, estoque de carbono orgânico na biomassa e solo e sua dinâmica no povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum* usando o método direto de determinação foram:

1. Configuração do experimento
2. Amostragem da biomassa e carbono acima do solo
3. Amostragem da biomassa e carbono das raízes
4. Contribuição de *S parayba* var. *amazonicum* no carbono orgânico do solo

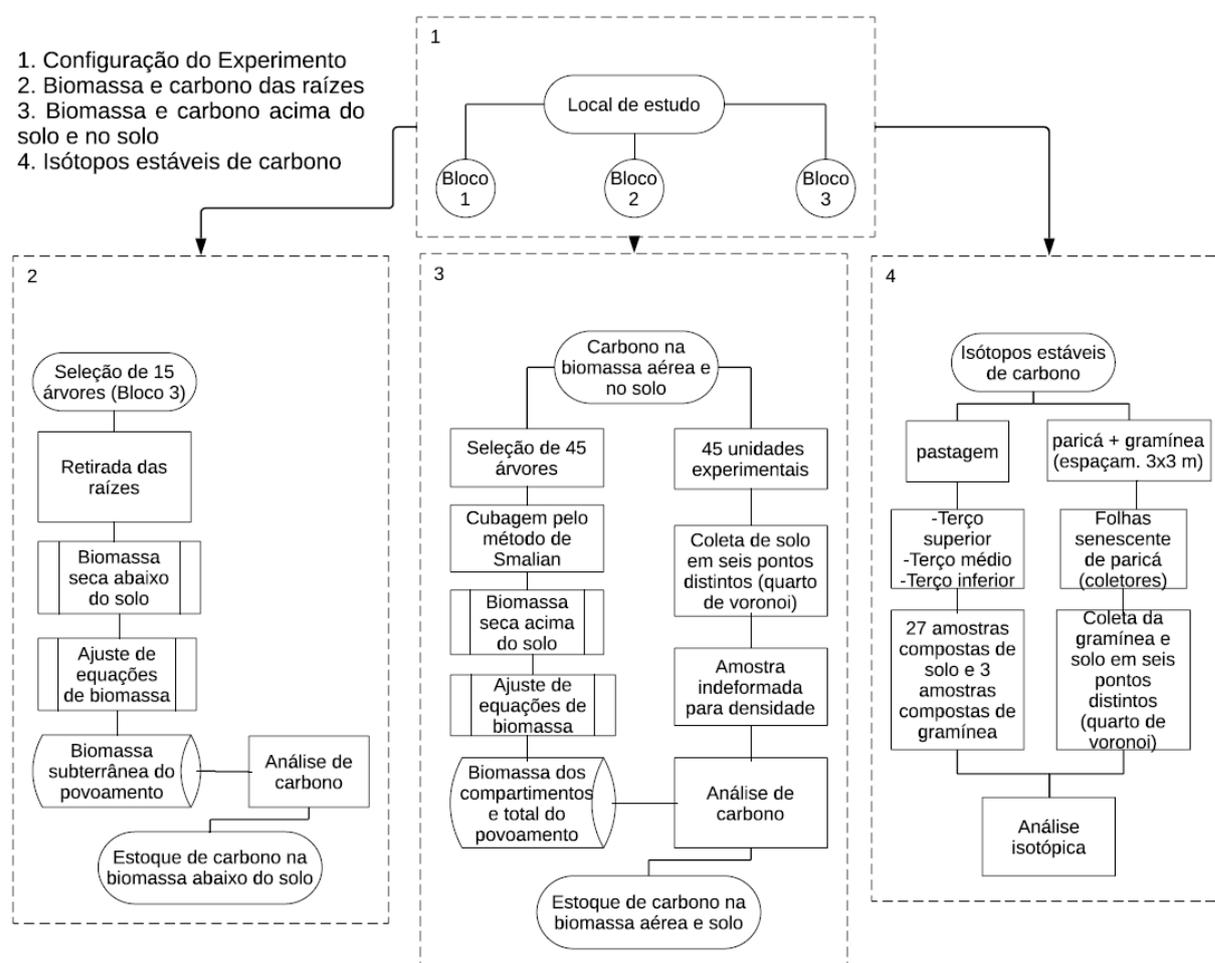


Figura 1 - Passos metodológicos utilizados para quantificar a biomassa e o estoque de carbono em plantios de *S. parayba* var. *amazonicum*, e avaliar o efeito da inserção de árvores sobre o carbono do solo

Fonte: o autor

### 3.1 Área de estudo

O estudo localiza-se no município de Alegre, ES, Brasil, em área concedida pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus de Alegre, ES (Figura 2). Este está inserido na bacia hidrográfica do rio Itapemirim que drena as águas de uma área de aproximadamente 5.919,5 km<sup>2</sup>, localizada no Sul do estado do Espírito Santo, nas coordenadas 20°46'26.09"S e 41°27'26.21"O.

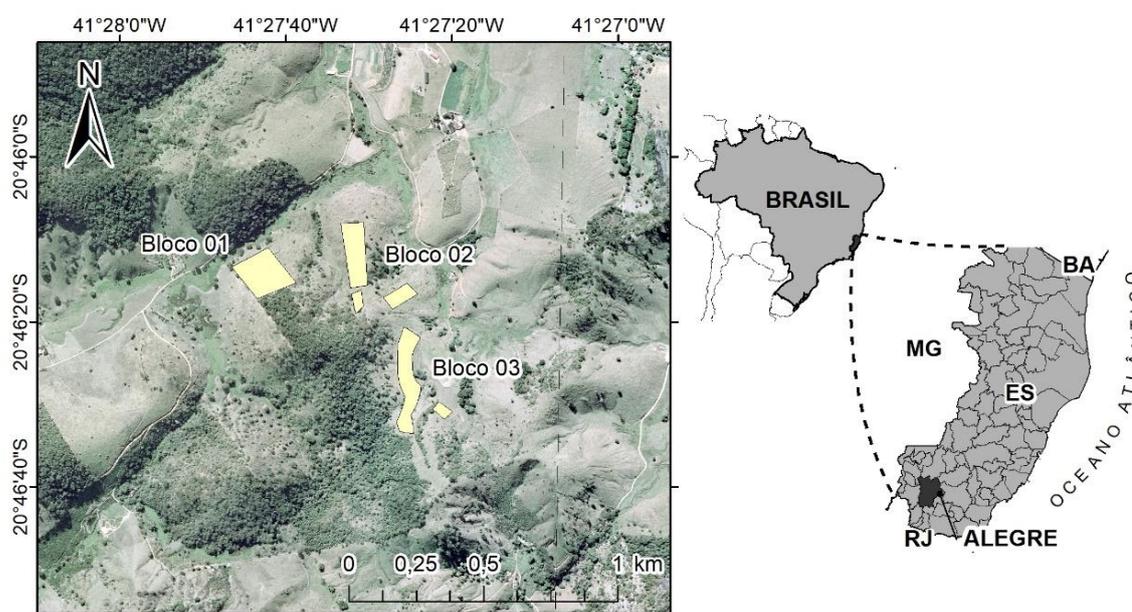


Figura 2 - Localização da área de estudo e indicação dos blocos onde foi realizado o plantio de *S. parahyba* var. *amazonicum*, em Rive, Alegre, ES

Fonte: o autor

O clima da região é do tipo *Aw*, com inverno seco e verão chuvoso, segundo classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). No período de crescimento analisado (2011 a 2016) a precipitação média foi de 1222 mm (chuvas concentradas na estação chuvosa no período de novembro a março) e a temperatura média de 23,9 °C, tendo como base os dados da Estação Meteorológica Automática, localizada no distrito de Rive, Alegre - ES, e que foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

No local onde foi implantado o povoamento o relevo é montanhoso, ocorrendo pontos com declividades acentuadas e pontos de relevo ondulado (Figura 3). A

altitude dos blocos de estudos varia entre 130 m nos pontos mais baixos, até aproximadamente 180 m nos pontos de maior elevação do povoamento.

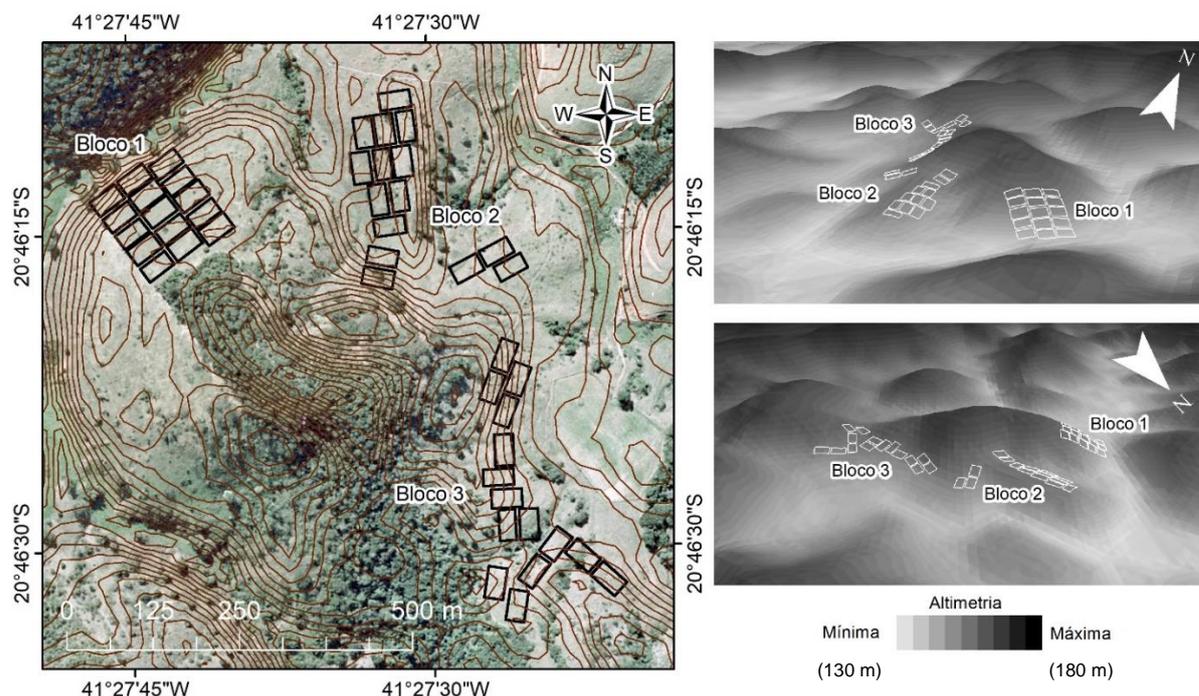


Figura 3 - Modelo digital de elevação com indicação da distribuição espacial das parcelas e altitude nos três blocos experimentais com plantio de *S. parayba* var. *amazonicum*, em Rive, Alegre, ES

Fonte: o autor

O relevo da área é do tipo faixa de dobramentos remobilizados, com base no mapeamento geomorfológico do estado do Espírito Santo (COELHO et al., 2012). Segundo os autores, essas faixas caracterizam-se pelas movimentos crustais, com marcas de falhas, deslocamentos de blocos e falhamentos transversos, impondo nítido controle estrutural sobre a morfologia atual. Ainda de acordo com Coelho et al. (2012), a área total do Espírito Santo ocupado por este tipo de relevo é de 51%, sendo a maior parte desse total encontrada na região sul e central do estado e uma pequena área na região norte.

Segundo informações do IBGE (2012), a região de estudo possui vegetação natural classificada como Floresta Estacional Semidecidual que é caracterizada pela caducifolia de 20 a 50% dos indivíduos dominantes na floresta no período de menor precipitação do ano. De acordo com o mapeamento dos solos do local, realizado pelo Ifes (1984, dados não publicados), com nova nomenclatura dada pela EMBRAPA

(2006), o experimento, composto por três blocos, foi instalado em sítios com ocorrência Latossolo Vermelho Amarelo.

Nove meses antes do plantio das mudas de *S. parayba* var. *amazonicum* (setembro de 2010) efetuou-se amostragem de solo na área de implantação do projeto. Na ocasião foram realizadas análises dos atributos químicos e físicos em amostras coletadas em pontos sistemáticos distanciados em quadrantes de 70 x 70 m. As coletas foram realizadas nas profundidades de 0-20 cm e de 20-40 cm e cada amostra composta foi originada de seis amostras simples. Todas as análises de solo foram realizadas no laboratório de Recursos Hídricos do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira – DCMF/CCAIE da Universidade Federal do Espírito Santo, em Jerônimo Monteiro, ES, de acordo com os procedimentos descritos pela EMBRAPA (1997).

Foram selecionados no mínimo oito pontos amostrais por bloco. A caracterização química (Tabela 1) e física (Tabela 2) de cada bloco foi realizada para permitir concluir sobre o efeito do plantio nas características do solo.

Tabela 1 - Valores médios da análise química do solo na área, aos nove meses antes da implantação do povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum* em Rive (setembro/2010), Alegre, ES

Bloco	camada (cm)	pH H <sub>2</sub> O	S	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	C	MO	CTC(t)	CTC(T)	SB	V	m	ISNa	Fe	Cu	Zn	Mn	B
			mg dm <sup>-3</sup>					cmol/dm <sup>3</sup>					g/kg		cmol/dm <sup>3</sup>		%		mg/dm <sup>3</sup>				
B1	0-20	5,2	7,8	1,8	42,3	1,7	1,0	0,8	0,3	3,2	8,1	14,0	2,2	5,0	1,9	37,2	17,9	0,1	58,9	0,4	1,7	21	0,2
	20-40	5,1	5,4	2,1	24,6	0,3	0,7	0,6	0,4	2,7	6,7	11,6	1,8	4,1	1,4	34	29,2	0,0	42,4	0,4	0,8	11,1	0,2
B2	0-20	5,7	5,2	1,7	90,2	1,9	1,7	1,3	0,0	2,4	8,8	15,1	3,3	5,7	3,3	57,6	0,0	0,1	54,8	0,8	2,8	45,0	0,1
	20-40	5,9	4,8	2,0	78,9	1,8	1,9	1,4	0,0	1,6	7,8	13,4	3,5	5,1	3,5	68,6	0,0	0,1	43,8	0,9	1,7	32,9	0,1
B3	0-20	6,1	3,8	2,7	95,4	3,5	3,4	1,5	0,0	2,7	11,4	19,6	5,2	7,8	5,1	65,6	0,0	0,2	78,7	1,7	7,1	137,2	0,1
	20-40	6,1	4,0	2,6	72,1	2,8	3,3	1,3	0,0	1,7	7,7	13,3	4,8	6,5	4,8	73,2	0,0	0,2	33,4	1,5	4,1	60,9	0,1

Fonte: o autor.

Tabela 2 - Valores médios da análise física do solo na área, aos nove meses antes da implantação de *S. parayba* var. *amazonicum* em Rive (setembro/2010), Alegre, ES

Bloco	Profundidade de coleta (cm)	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	*Ds (g cm <sup>3</sup> )
B1	0-20	373,7	55,9	570,4	1,50
	20-40	485,8	52,6	461,7	1,47
B2	0-20	259,5	86,8	653,7	1,60
	20-40	386,7	80,1	533,2	1,61
B3	0-20	334,7	94,5	570,8	1,53
	20-40	449,4	77,7	472,9	1,53

\* Densidade do solo

Fonte: o autor

### 3.2 Implantação e configuração do experimento

A área antes da implantação do experimento com *S. parayba* var. *amazonicum* foi utilizada como pastagem, com domínio da *Brachiaria* sp., como pecuária extensiva sem nenhum tipo de manejo. A pastagem era controlada exclusivamente pela herbivoria do gado e sem adição de fertilizantes a pelo menos 40 anos.

As mudas foram produzidas e doadas pela Reserva Natural Vale, Linhares, ES (Instituto Ambiental Vale do Rio Doce) com sementes provenientes de árvores matrizes localizadas em Dom Elizeu – Pará, com elevada diversidade genética (SILVA JÚNIOR et al., 2017).

Para implantação do projeto e garantir a sobrevivência do plantio o gado foi retirado e o controle da *Brachiaria* sp. realizado com a aplicação de herbicida glifosato®. E em seguida fez-se a marcação das faixas e abertura das covas de plantio com dimensões de 0,30 m x 0,30 m x 0,30 m. Realizou-se uma adubação de base com 220 g por cova de NPK 06-30-6 e micronutrientes (0,2% B; 0,2% Cu; e 0,2% Zn). Ressalta-se que não foi feito calagem na implantação, bem como durante a manutenção do plantio da *S. parayba* var. *amazonicum*.

O plantio das mudas de *S. parayba* var. *amazonicum* foi realizado em junho de 2011, sob o delineamento em blocos com repetições ao acaso, contendo cinco espaçamentos, três blocos e três repetições por espaçamento de plantio. Cada espaçamento foi considerado como um tratamento: T1: 3 m x 2 m; T2: 3 m x 3 m; T3: 3 m x 4 m; T4: 4 m x 4 m; T5: 5 m x 5 m. Cada unidade experimental possui 30 m x 50 m. Os blocos com os talhões experimentais foram alocados em três classes de declividades médias diferentes, <15%, 15 a 30% e 30 a 45%.

### 3.3 Caracterização do povoamento

O inventário florestal das unidades experimentais foi realizado aos 45 meses de idade (março de 2015). Foi medida a circunferência a altura de 1,30 m do solo (CAP) de todas as árvores presentes no interior das parcelas, com a utilização de fita diamétrica. Para o processamento dos dados do inventário florestal, os valores de CAP foram convertidos em diâmetro a 1,30 m do solo (DAP).

A medição da altura total (Ht) das árvores foi feita com o auxílio de hipsômetro Suunto. Foram medidas 30 árvores em cada unidade amostral, totalizando 270 em cada tratamento. Estas árvores foram selecionadas de forma sequencial nas linhas centrais de cada unidade amostral.

De posse dos dados de DAP e Ht, para cada espaçamento, foram ajustados modelos hipsométricos para predição das demais alturas do povoamento. Os modelos que apresentaram os melhores ajustes foram selecionados com base no coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) e no erro padrão residual (Syx), ambos em valores relativos. Os resultados das melhores equações ajustadas para a estimativa da Ht das árvores, em cada espaçamento com seus respectivos valores de  $R^2_{aj.}$  e Syx são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Equações ajustadas e suas respectivas estatísticas para a estimativa da altura total das árvores de *S. parayba* var. *amazonicum*, aos 44 meses de idade, em Rive, Alegre, ES

Espaçamento (m x m)	Equação	$R^2_{aj.}$ (%)	Syx (%)
3 x 2	$Y=1,907129+1,44394*DAP-0,030937*DAP^2$	0,55	17,01
3 x 3	$Y=17,2935/(1+EXP((9,7931-DAP)/4,4074))$	0,66	19,61
4 x 3	$Y=15,9735/(1+EXP((9,3846-DAP)/4,3516))$	0,59	15,26
4 x 4	$Y=18,87/(1+EXP((11,3868-DAP)/4,0261))$	0,69	20,47
5 x 5	$Y=17,6477/(1+EXP((9,8337-DAP)/4,93451))$	0,56	21,38

$R^2_{aj.}$  = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão residual; Ht = altura total (m) e DAP = diâmetro a 1,30 m do solo

Fonte: o autor

A distribuição das frequências das árvores do povoamento, por classe diamétrica e espaçamento de plantio, estão apresentadas na Figura 4. A distribuição de indivíduos por classe de diâmetro auxiliou na escolha de indivíduos para a amostragem da biomassa e carbono no povoamento de *S. parayba* var *amazonicum*.

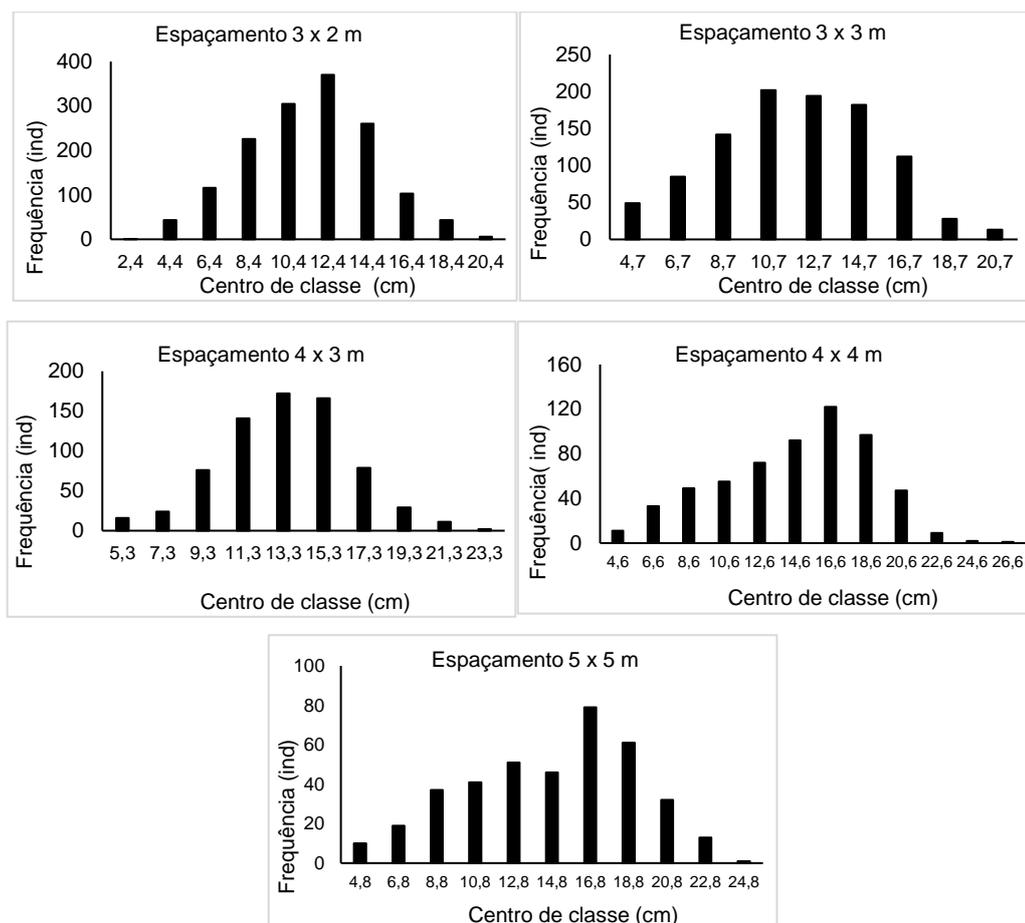


Figura 4 - Distribuição de frequência das árvores de *S. parayba* var. *amazonicum*, aos 44 meses de idade, em diferentes espaçamentos de plantio, em Rive, Alegre, ES

Fonte: o autor

### 3.4 Amostragem da biomassa acima do solo

Para estimativa do volume das árvores foram amostradas 45 árvores, sendo 9 indivíduos em cada espaçamento. A seleção das árvores abatidas foi feita de acordo com a distribuição diamétrica de cada tratamento em cada bloco, considerando a média aritmética acrescida ou reduzida do desvio padrão, conforme utilizado por Valério et al. (2016).

Tabela 4 – Critérios de seleção e quantidade de árvores de *S. parayba* var. *amazonicum* abatidas para a obtenção da biomassa individual para cada espaçamento

Critério de seleção	Quantidade			
	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Total
Árvore igual ao dg	1	1	1	3
Árvore igual ao dg + 1S <sub>d</sub>	1	1	1	3
Árvore igual ao dg - 1S <sub>d</sub>	1	1	1	3
Total/tratamento				9

dg = diâmetro relativo à área seccional média do tratamento, em cm e S<sub>d</sub> = desvio padrão dos diâmetros em cada tratamento.

Fonte: o autor.

Com o auxílio de uma suta mecânica, foram selecionadas para o abate as árvores na região central das parcelas que apresentaram o DAP médio o mais próximo do valor obtido na aplicação do critério de desvio-padrão. Na cubagem, foi medida a altura total da árvore e do fuste até a inserção da primeira bifurcação que caracterizasse de forma clara a sua subdivisão, por meio de uma trena. O fuste foi então subdividido em seções com comprimento máximo de 1,0 m, sendo o diâmetro do fuste com casca e a espessura da casca no início e final de cada seção mensurados com auxílio de uma suta mecânica e de um paquímetro digital, respectivamente.

O volume do tronco com casca foi calculado utilizando o método de Smalian, conforme a equação 1.

$$Vi = \frac{(AS_1 + AS_2)}{2} l \quad (1)$$

Em que:

Vi = volume da seção i da tora com casca, em m<sup>-3</sup>;

AS<sub>1</sub> = área seccional na extremidade 1 da seção do fuste, em m<sup>2</sup>;

AS<sub>2</sub> = área seccional na extremidade 2 da seção do fuste, em m<sup>2</sup>;

l = comprimento da seção da tora em metros;

Desta forma o volume do fuste da árvore foi determinado pelo somatório do volume das diferentes seções mais o volume da ponta, determinada pela equação

$$Vp = \frac{(ASp lp)}{2}, \text{ em que } Vp = \text{volume da ponta; } ASp = \text{área seccional da ponta e } lp$$

comprimento da ponta.

A partir dos valores de DAP, Ht e volume do fuste das 45 árvores abatidas foi utilizado o modelo de regressão descrito por Schumacher e Hall para estimar o volume das demais árvores do povoamento. A equação ajustada por este modelo foi:  $V = 0,00007296 * DAP^{1,986} * Ht^{0,7784}$ , em que: V = Volume; DAP= diâmetro a altura do peito e Ht = altura total.

Com base na curva de distribuição diamétrica, foi obtida a biomassa nos compartimentos da árvore acima do solo pelo método destrutivo, com a amostragem de nove árvores em cada tratamento, totalizando 45 árvores para o experimento (uma árvore por unidade experimental ou três árvores por tratamento em cada bloco do povoamento).

Nas 45 árvores abatidas foi quantificada a biomassa fresca nos seguintes compartimentos: fuste com casca, casca, galhos e folhas e, caso houvesse presença, estruturas reprodutivas (flores e frutos) (MISHRA et al., 2014; RIBEIRO et al., 2011b, 2015a). Todos os compartimentos foram pesados em campo com auxílio de uma balança portátil de capacidade máxima de 50 kg e precisão de 0,1 g. De cada compartimento foram retiradas 4 amostras para obtenção do peso seco. Dessa maneira, para a amostragem de galhos e de folhas foram retiradas subamostras nas porções no terço inferior, médio e superior da copa da árvore.

Para determinação da densidade e do teor de umidade da madeira, foram retirados discos com aproximadamente 5,0 cm de espessura, na base, no DAP, a 50% da altura total e na extremidade superior do fuste de cada árvore. Para a casca foram retiradas porções em diferentes alturas ao longo do fuste, considerando o terço inferior, médio e superior, para formar uma amostra composta representativa de cada árvore.

As amostras dos compartimentos de cada árvore (fuste, casca, folhas e galhos) foram acondicionadas em sacos de papel pardo, devidamente identificados, e transferidas para o Núcleo de Pesquisa Científica e Tecnológica em Meio Ambiente, Silvicultura e Ecologia (NUPEMASE) da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, em Jerônimo Monteiro, ES, onde foram previamente pesadas em balança portátil com precisão de 0,01 kg para a obtenção do peso fresco. Na sequência, as amostras identificadas foram secas em estufa com circulação e renovação de ar até peso constante à temperatura de 65°C para obtenção da massa seca.

Após a obtenção do peso seco da amostra de disco de madeira com casca, estas duas frações (Fuste e casca) foram individualizadas, de modo a obter o peso

seco de casca na amostra e a porcentagem de casca no fuste. A biomassa seca individual para cada árvore amostrada, considerando cada compartimento separadamente (fuste, galhos e folhas), foi calculada por meio da Equação 2, utilizada por Soares; Paula Neto; Souza (2011).

$$PS(c) = \frac{PU(c) * PS(a)}{PU(a)} \quad (2)$$

Em que:

$PS(c)$  = biomassa, em kg;

$PU(c)$  = peso total de matéria úmida do compartimento (fuste, folhas, galhos, raízes ou necromassa), em kg;

$PU(a)$  = peso úmido da amostra, em kg;

$PS(a)$  = peso seco da amostra, em kg.

A biomassa de casca do fuste, em cada espaçamento, foi calculada utilizando-se a porcentagem média de casca neste compartimento, por meio da equação 3:

$$Bio\ Casca = \frac{BioFuste \times \% Casca}{100} \quad (3)$$

Em que:

$Bio\ casca$  = biomassa de casca, em kg;

$Bio\ Fuste$  = biomassa do fuste, em kg;

$\% Casca$  = porcentagem média de casca no fuste.

A biomassa dos componentes da árvore acima do solo e do total, foi estimada para os tratamentos com base nos valores individuais das 45 árvores abatidas. Foram testados 6 modelos alométricos lineares, totalizando 45 modelos ajustados (biomassa seca total, fuste, casca, folhas e galhos). O diâmetro na altura do peito e a altura do povoamento foram utilizadas como variáveis independentes. Para avaliar os modelos foram utilizados três diferentes critérios de avaliação de desempenho: coeficiente de determinação de Schlaegel ( $R^2_{aj.}$ ), erro padrão da estimativa percentual ( $S_{yx}\%$ ) (Tabela 5).

Tabela 5 - Equações ajustadas para estimativa da biomassa total e dos compartimentos da árvore acima do solo para a população de *S. parayba* var. *amazonicum*, aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES

Compartimento	Equação ajustada	R <sup>2</sup> aj	Syx(%)
Total	$Bio = -11,323296 + (0,313999 * DAP^2) + 0,001973 * (DAP^2 * Ht)$	0,94	8,64
Folhas	$Bio = 2,0114073 + (-0,3166008 * DAP) + (0,0097108 * DAP^2) + (0,0007603 * (DAP^2 * Ht))$	0,72	0,90
Galhos	$Bio = -3,789381 - (0,901851 * DAP) + (0,21063 * DAP^2) - 0,005204 * (DAP^2 * Ht)$	0,49	7,46
Casca	$Bio = -5,78683 + (0,63483 * DAP) + (0,15817 * Ht)$	0,92	0,70
Fuste	$Bio = -3,09641 + (0,16979 * DAP^2) + 0,00505 * (DAP^2 * Ht)$	0,95	5,54

R<sup>2</sup>aj. = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão residual; Bio = biomassa; DAP = diâmetro a 1,30 m do solo e Ht = altura total da árvore.

Fonte: o autor.

### 3.5 Amostragem da biomassa de raízes

Devido a inviabilidade de acesso e dificuldades operacionais, a amostragem da biomassa de raízes foi realizada em 15 árvores localizadas no Bloco 3 do experimento de *S. parayba* var. *amazonicum*, sendo amostradas as raízes das mesmas três árvores derrubadas para a avaliação da biomassa acima do solo, em cada espaçamento de plantio.

Com o auxílio de uma retroescavadeira pneumática, foram quantificadas as raízes situada na área aproximada da projeção da copa, o que resultou em áreas escavadas variando entre 4 a 6,0 m<sup>2</sup>. Após a escavação, as raízes foram separadas do solo por meio de uma peneira com malha de 1,0 x 1,0 cm. Em seguida, as mesmas foram limpas com pano úmido e pesadas em balança portátil para a obtenção do peso úmido total no campo. Não foi realizada a separação das raízes por classe de diâmetro.

De cada árvore foi retirada uma amostra composta do sistema radicular, contendo raízes com diferentes diâmetros para obtenção do peso seco, tal como adotado para os componentes da parte aérea da árvore e utilizando a Equação 2.

A biomassa de raízes dos tratamentos (expresso em Mg ha<sup>-1</sup>) até 1,0 m de profundidade foi estimada usando a equação ajustada  $Y = -8,416673 + (0,218092 \cdot DAP^2) - 0,006885 \cdot (DAP^2 \cdot Ht)$ , com  $R^2_{aj} = 0.87$  e  $Sy_x (\%) = 1,99$ , em que: Y: biomassa de raízes (kg); DAP: Diâmetro a altura do peito e Ht: Altura total.

### 3.6 Teor e estoque de carbono orgânico nos tecidos vegetais

Após a obtenção da massa seca, todas as amostras de tecidos vegetais, foram trituradas em moinho do tipo Willey, peneiradas em malha de 1,0 mm (20 mesh) e armazenadas em frascos de polietileno devidamente lacrados e etiquetados com a identificação da amostra. Em seguida, todos os frascos foram encaminhados para o Centro de Excelência em Pesquisas sobre Fixação de Carbono na Biomassa (BIOFIX)/Departamento de Ciências Florestais/Universidade Federal do Paraná para obtenção dos teores de carbono orgânico total.

O teor de carbono das amostras foi analisado por meio de equipamento especializado para a análise de carbono, o analisador de carbono LECO, modelo C-144 (LECO, 2008). O equipamento analisa o carbono pela combustão total, na qual a amostra é submetida à temperatura de 1.000°C por cerca de 60 segundos. Além disso, possui um *software* para registro digital dos resultados. Nesse método, a amostra de material sólido é levada à combustão, sendo que um sensor detecta a quantidade de dióxido carbono (CO<sub>2</sub>) gerado, relacionando automaticamente com a quantidade de carbono elementar existente na amostra.

O estoque de carbono presente na biomassa e nas raízes foi quantificado em função da quantidade de biomassa seca e do teor de carbono obtido para cada amostra. (Equação 5)

$$\text{EstC} = \text{Bio} * \text{Tc} \quad (5)$$

Em que Est C= estoque de carbono (kg. ha<sup>-1</sup>),

Biomassa = peso seco da amostra (kg. ha<sup>-1</sup>)

Tc= teor de carbono orgânico total na matriz amostrada (%) valor obtido em análise laboratorial;

### 3.7 Densidade da madeira

A densidade básica da madeira foi obtida pelo método de imersão em água segundo a Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 11941, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003). Foram retiradas duas cunhas, de lados opostos, de cada disco coletado e, após a obtenção do volume saturado as cunhas foram secas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , até peso constante, para obtenção da sua massa seca. De posse dos dados foi aplicada a equação 6, onde o volume da cunha de madeira equivale ao volume da água deslocada que, por sua vez, é igual à diferença de massa ( $m_2 - m_1$ ), considerando-se a densidade da água como  $1,0 \text{ g cm}^{-3}$ .

$$db = \frac{m_3}{(m_2) - m_1} \quad (6)$$

Em que:

$db$  = densidade básica da madeira, em  $\text{g cm}^{-3}$ ;

$m_3$  = massa da amostra seca em estufa a ( $103 \pm 2^\circ\text{C}$ ), em g;

$m_2$  = massa do recipiente com água e cunha imersa, em g;

$m_1$  = massa do recipiente com água, em g.

### 3.8 Teor e estoque de carbono no solo

Aos 68 meses de idade do povoamento foi realizado a amostragem de solo (fevereiro/2017). Para atender os objetivos de avaliar a fertilidade e o estoque de carbono orgânico do solo, foram retiradas amostras em três diferentes profundidades: 0-5 cm; 5-10 cm e 10-20, em todas as 45 unidades experimentais. A amostra composta de cada unidade experimental foi obtida por meio da coleta de seis subamostras obtidas em diferentes pontos, de acordo com a metodologia do “Diagrama de Voronoi”. Este diagrama consiste na distribuição sistematizada dos pontos de amostragem na área e leva em consideração a distância horizontal em relação a um determinado ponto de referência, que nesse caso foi uma árvore escolhida no interior da parcela experimental.

Os pontos de coleta foram distribuídos dentro de uma área equivalente a  $\frac{1}{4}$  da área útil de uma planta referência (Figura 5). Cada ponto de coleta de solo teve como referência uma árvore diferente dentro parcela, respeitando duas linhas de bordadura. As árvores foram selecionadas ao acaso procurando-se obedecer à distribuição em classes de tamanho (árvores pequenas, médias e grandes). Foram evitados locais com presença de fezes de gado bovino, formigueiros e trilhas durante a coleta das amostras de solo. Esse procedimento de amostragem permite representar a área da parcela evitando viés nas estimativas de carbono em função, por exemplo, do aporte de folhas ou de exsudados radiculares que tendem a ser maior quanto mais próximo à árvore. Foram obtidas no total 45 amostras compostas de solo para este experimento, sendo 1 amostra para cada tratamento em cada bloco e para cada profundidade.

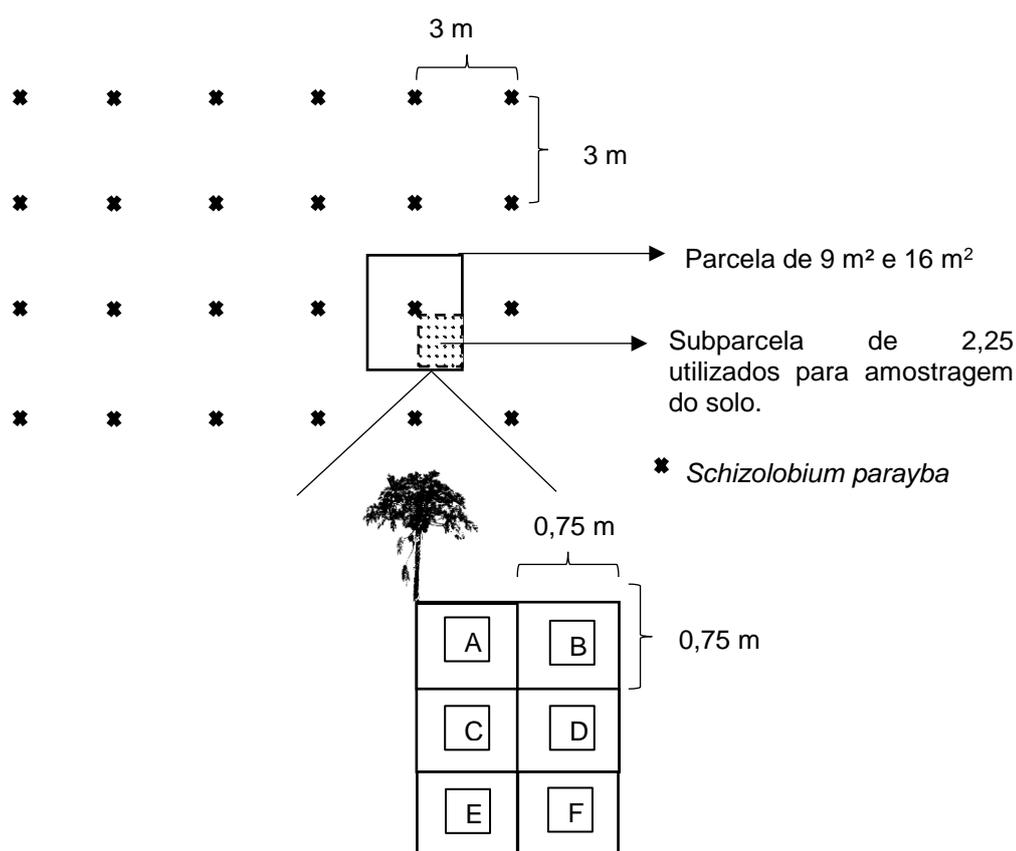


Figura 5 - Esquema de subdivisão da área para a coleta de amostras de solo no povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum*, tomando-se como exemplo o espaçamento 3 m x 3 m, em Rive, Alegre, ES

Fonte: o autor.

As amostras de solo foram analisadas no laboratório de recursos hídricos da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e após o procedimento para a obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), as análises foram realizadas seguindo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). Foram realizadas as seguintes avaliações dos atributos do solo para todas as amostras compostas coletadas: pH em água com relação de 1:2,5; fósforo e potássio foram extraídos com solução de Mehlich<sup>1</sup> (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>); cálcio, magnésio e alumínio pelo extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e o Al<sup>3+</sup> por determinação volumétrica com solução diluída de NaOH (0,025 mol L<sup>-1</sup>). A acidez potencial foi obtida por meio de extrato de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0. O teor de carbono orgânico do solo foi obtido pelo método de titulação após oxirredução por via úmida (Walkley-Black). Com os resultados obtidos das análises químicas do solo foram calculados a matéria orgânica, a soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), a saturação em bases (V%) e a saturação de alumínio (m%).

Para possibilitar quantificar o estoque de carbono orgânico no solo foi determinada a densidade do solo (D<sub>s</sub>). Por se tratar de solos argilosos, foi utilizado o método dos anéis volumétricos, conforme metodologia proposta pela (EMBRAPA, 2011). Para a estimar a densidade do solo foi retirada uma amostra simples em cada profundidade especificada anteriormente e considerando somente a posição “f” (Figura 5), em cada unidade amostral. A posição “f” correspondeu ao centro do quadrante formado por quatro árvores do plantio. Os anéis contendo as amostras de solo foram colocados para secar em estufa a 105°C por 48 horas. Após a secagem, os anéis foram pesados em balança analítica de precisão para a obtenção do peso seco. A densidade do solo foi obtida pela seguinte expressão (Equação 7):

$$D_s = \frac{M_s}{V_t} \quad (7)$$

Em que: D<sub>s</sub> = densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>); M<sub>s</sub> = massa seca do solo (g); V<sub>t</sub> = volume total do anel (cm<sup>3</sup>).

Com os resultados obtidos da densidade do solo e os respectivos teores de carbono, foi estimado para cada profundidade de solo amostrada, o estoque de carbono, por meio da equação 8 (MACHADO et al., 2011). O estoque de carbono na

profundidade total amostrada (0-20 cm) foi obtido pela soma dos estoques das profundidades individuais.

$$\text{Est} = \text{Corg} * \text{Ds} * \frac{e}{10} \quad (8)$$

Em que:

Est = Estoque de carbono orgânico na profundidade específica, em Mg ha<sup>-1</sup>;

Corg = teor de carbono orgânico da profundidade específica, em g kg<sup>-1</sup>;

Ds = Densidade do solo da profundidade específica (média do bloco), em g cm<sup>-3</sup> e;

e = Espessura da profundidade de solo, em cm.

Para a estimar a densidade do solo foi retirada uma amostra simples em cada profundidade especificada anteriormente e considerando somente a posição “f” (Figura 5), em cada unidade amostral. A posição “f” correspondeu ao centro do quadrante formado por quatro árvores do plantio. Por se tratar de solos compactados, foi utilizado neste estudo o método analítico dos anéis volumétricos contendo amostras indeformadas no seu interior (EMBRAPA, 2011).

### **3.9 Contribuição do povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum* no carbono orgânico do solo**

Para avaliar a contribuição das árvores no carbono do solo após o seu plantio em área de pastagem, foram realizadas as análises isotópicas de  $\delta^{13}\text{C}$ , sendo que esta representa a razão entre o isótopo  $^{13}\text{C}$  e o  $^{12}\text{C}$  (MACHADO et al., 2011). Essas análises foram feitas nas amostras de solo coletadas no espaçamento 3 m x 3 m (27 amostras de solo). O espaçamento 3 m x 3 m foi escolhido para este estudo devido à limitação de recursos financeiros e por este ser um intermediário entre os espaçamentos testados.

A título de comparação, foram coletadas amostras de solo em dois tipos de manejo diferentes: (1) Pastagem: onde possui dominância de *Brachiaria sp.* e nenhum

tipo de manejo; (2) Associação de pastagem e *S. parayba* var. *amazonicum* plantadas no espaçamento 3 m x 3 m (1111 ind ha<sup>-1</sup>);

Foram obtidos os valores de  $\delta^{13}\text{C}$ : (a) da matéria orgânica do solo nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20, no espaçamento 3 m x 3 m, (b) no solo da pastagem no terço superior, médio e inferior (c) folhas da base da copa em senescência de *S. parayba* e (d) das folhas da *Brachiaria* sp. Devido ao relevo declivoso, na pastagem foram coletadas três amostras compostas de solo para cada profundidade (0-5, 5-10 e 10-20 cm), sendo uma no terço superior do comprimento da encosta, uma no terço intermediário e uma no terço inferior. Cada amostra composta foi formada pela homogeneização de seis amostras simples, coletadas aleatoriamente em cada porção da encosta, num raio de 30 m.

Para a representatividade da amostragem do solo e da *Brachiaria* sp. no sistema integrado de *Brachiaria* sp. e *S. parayba* var. *amazonicum* foram coletadas em 6 pontos de referências (indivíduos de *S. parayba* var. *amazonicum*) dentro de cada repetição dos tratamentos, um ponto distinto sistematicamente distribuídos (A, B, C, D, E, F), levando em consideração a área delimitada de um quarto da área útil de cada espaçamento utilizado (quarto de voronoi de 2,25 m<sup>2</sup> (Figura 5). Após a amostragem dos seis pontos, as subamostras foram homogeneizadas afim de obter uma amostra composta.

Para amostragem das folhas senescentes de *S. parayba* var. *amazonicum*, na região central de cada uma das nove parcelas com o espaçamento 3 m x 3 m foram instalados dois coletores com dimensões de 1,5 x 1,5 m. Os coletores foram amarrados com cordas entre quatro árvores, a uma altura de 2 m em relação ao solo, sendo estes constituídos em malha de náilon com 1 mm de diâmetro (Figura 6). As folhas senescentes foram recolhidas após duas semanas de instalação dos coletores, originando uma amostra composta para cada parcela. Após a coleta estas folhas foram colocadas em sacos de papel pardo e levadas para estufa com circulação forçada de ar a 65°C de temperatura, até atingirem peso constante. Na sequência, foi feita a moagem em moinho tipo Willey e maceradas em almofariz, tomando-se o cuidado de fazer a higienização com álcool etílico e pincel do interior do moinho e utensílios utilizados.

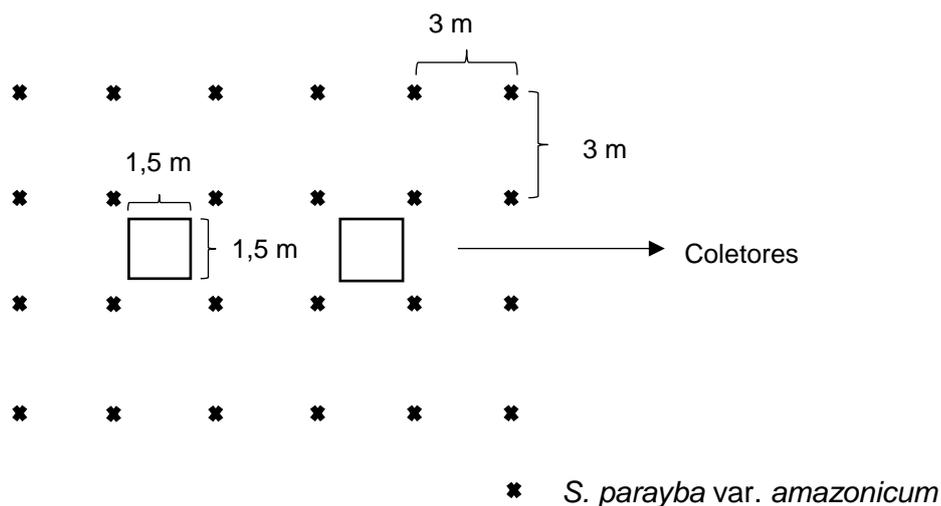


Figura 6 - Sistematização dos coletores para coleta de folhas senescentes das árvores de *S. parayba var. amazonicum*, aos 68 meses de idade, em Rive, Alegre, ES.

Fonte: o autor.

Todas as amostras vegetais foram secas em estufa a 65°C até o peso constante, pesadas e moídas em moinho tipo Willey e armazenadas em potes de acrílico. As amostras de solos foram passadas em peneira com 2 mm de malha e removido todo o material vegetal presente. Após o peneiramento do solo, as amostras foram secas ao ar e armazenadas em potes de acrílicos.

As análises de  $\delta^{13}\text{C}$  foram realizadas no Laboratório de isótopos estáveis do CENA-USP. Foi utilizado para estas análises um espectrômetro de massa acoplado a um analisador elementar automático modelo Anca, com os resultados expressos na forma de delta -  $\delta^{13}\text{C}$  (‰), em relação ao padrão internacional PDB (Pee Dee Belemnita) (BALIEIRO et al., 2008; e LOSS et al., 2016).

A proporção de carbono orgânico do solo derivado de planta C4 (*Brachiaria sp.*), ou pelas folhas de *S. parayba var. amazonicum* (planta C3) foi estimada baseado nas seguintes equações 9 e 10 (BALESDENT; MARIOTTI, 1996).

$$\% \text{ C4-derivado} = (\delta - \delta_T) / (\delta_G - \delta_T) \times 100 \quad (9)$$

$$\% \text{ C3-derivado} = 100 - \% \text{ C4-derivado} \quad (10)$$

Em que:  $\delta$  é o  $\delta^{13}\text{C}$  vindo da amostra do solo,  $\delta_T$  uma amostra composta da planta C3 e  $\delta_G$  é uma amostra composta das raízes e folhas da planta C4.

Em fevereiro de 2018, a frequência de gramíneas presentes no interior da área onde foi realizado o plantio de *S. parayba* var. *amazonicum* foi amostrada de forma sistemática, por meio da metodologia de alocação de transecto. A estimativa foi realizada no espaçamento 3 m x 3 m. Este espaçamento foi utilizado por possuir densidade intermediária, assim sendo representativo dos demais espaçamentos.

Para a estimativa da frequência de gramíneas foi alocado em cada unidade amostral do espaçamento 3 m x 3 m de plantio, dois transectos de 10 metros de comprimento. A cada metro do transecto foi realizada a observação da presença ou não de gramíneas, medição da altura da gramínea, e a coleta de folhas para obtenção do teor de carbono total e isotópico nas gramíneas sob o dossel do povoamento e em área de pastagem adjacente anexa (Tabela 6).

Tabela 6 - Frequência (%) e altura (m) de gramínea *Brachiaria* sp. no piso do povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum*, em Rive, Alegre, ES

Cultivo	Bloco	Cobertura do solo por gramínea (%)	Altura da gramínea (m)
<i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i> + <i>Brachiaria</i> sp.	B1	100	1,07
	B2	100	0,47
	B3	95	0,81
Pastagem aberta	Terço superior	100	1,55
	Terço Médio	100	1,36
	Terço Inferior	100	0,12

Fonte: o autor

### 3.10 Análise dos dados

#### 3.10.1 Crescimento das árvores nos diferentes espaçamentos

Os dados de crescimento do povoamento (altura e diâmetro a altura do peito) foram organizados e resumidos por meio de análise descritiva, considerando as medidas de tendência central e dispersão. Em seguida os dados foram submetidos ao teste de homogeneidade de variâncias e normalidade, por meio dos testes de Bartlett e de Shapiro-Wilk, respectivamente, ao nível de 5% de probabilidade. Se

atendidos estes pré-requisitos os dados foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA).

### 3.10.2 Teores de carbono nos compartimentos da biomassa

Inicialmente, foi verificado a existência de correlação entre a densidade básica e o teor de carbono da madeira, por meio da aplicação do teste de correlação linear de Pearson.

A comparação dos teores de carbono entre os compartimentos da biomassa acima do solo avaliados nesse estudo foi feita levando-se em consideração o delineamento em blocos casualizados com repetição. Os teores de carbono das raízes foram analisados separadamente, devido a coleta ter sido realizada exclusivamente do Bloco 3 do experimento.

Para os compartimentos folhas, galho, fuste e casca, o esquema da ANOVA, com o teste F, com até 5% de significância, para o teste de igualdade das médias de tratamentos ( $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_l$ ) está na Tabela 6. Este procedimento foi idêntico ao utilizado por Banzatto e Kronka (1989).

Tabela 7 - Esquema da ANOVA, com o teste F, para o teste de igualdade das médias de biomassa e estoque de carbono dos compartimentos da biomassa acima do solo e para o estoque de carbono no solo do *S. parayba var. amazonicum*.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Bloco (B)	J - 1	SQB	QMB	--
Tratamento (T)	I - 1	SQT	QMT	QMT / QMR
Resíduo (R)	IJK - I - J + 1	SQR	QMR	
Total	IJK - 1	SQTotal		

Fonte: o autor.

Já para as raízes, o delineamento experimental para estas análises foi o inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e três repetições de cada tratamento,

totalizando 15 unidades amostrais. Para realização da análise estatística foi adotado o seguinte modelo estatístico (Equação 13):

$$Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij} \quad (11)$$

Onde:

$i = 1, 2, \dots, I$  (I tratamentos);

$j = 1, 2, \dots, J$  (J repetições).

O efeito  $e_{ij}$  foi considerado aleatório e  $t_i$  de efeito fixo. O esquema da ANOVA, com o teste F, com até 5% de significância, para o teste de igualdade das médias de tratamentos ( $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_I$ ) está apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Esquema da ANOVA, com o teste F, para os dados de biomassa e estoque de carbono nas raízes e na necromassa e para a comparação dos teores de carbono entre os diferentes componentes da biomassa avaliados no povoamento de *S. parayba var. amazonicum*

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento (T)	$I - 1$	SQT	QMT	QMT / QMR
Resíduo (R)	$IJ - I$	SQR	QMR	
Total	$IJ - 1$	SQTotal		

Fonte: o autor.

As médias de tratamentos para estas variáveis, quando necessário, foram comparadas por meio do teste Tukey, em nível de 5% de até significância, cujo valor da diferença mínima significativa foi calculado por meio da equação 12:

$$\Delta = q_{\alpha(I; IJ - I)} \sqrt{\frac{QMR}{J}} \quad (12)$$

Em que  $\alpha$  é o nível de significância.

### 3.10.3 Densidade básica e teor de carbono da madeira

Inicialmente foi verificado a existência de correlação entre a densidade básica e o teor de carbono da madeira, por meio da aplicação do teste de correlação linear

de Pearson. A comparação da densidade da madeira e do teor de carbono da madeira nos diferentes espaçamentos de plantio foram realizadas sob o delineamento em blocos casualizados com repetição.

Foi realizado o esquema da ANOVA, com o teste F, com até 5% de significância, para o teste de igualdade das médias de tratamentos ( $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i$ ). Este procedimento foi idêntico ao utilizado por Banzatto e Kronka (1989).

As médias de densidade básica e teor de carbono da madeira, para o tratamento (espaçamento) e para a posição ao longo do fuste, foram comparadas por meio do teste Tukey, ao nível de 5% de significância, quando necessário.

#### 3.10.4 Biomassa e estoque de carbono acima do solo e no solo

O desenho experimental utilizado na análise destes dados seguiu a mesma configuração adotada no plantio, ou seja, delineamento em blocos casualizados com repetições com 5 tratamentos e 3 blocos 3 repetições. Este procedimento é indicado quando o número de tratamentos é pequeno, permitindo-se chegar ao número mínimo recomendado de 20 parcelas e 10 graus de liberdade no resíduo (BANZATTO; KRONKA, 1989).

Os dados de biomassa e estoque de carbono foram organizados e resumidos por meio de uma análise descritiva, visando avaliar suas medidas de tendência central e dispersão. O esquema da ANOVA, com o teste F, com até 5% de significância, para o teste de igualdade das médias de tratamentos ( $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i$ ).

As médias de tratamentos, quando necessário, foram comparadas por meio do teste Tukey em nível de 5% de significância, cujo valor da diferença mínima significativa foi calculado por meio da equação 14:

$$\Delta = q_{\alpha}(I, IJK - I - J + 1) \sqrt{\frac{QMR}{JK}} \quad (14)$$

Em que  $\alpha$  é o nível de significância.

No caso da biomassa e do estoque de carbono referente aos compartimentos fuste, casca, galhos vivos, folhas, estruturas reprodutivas e raízes foram confrontados considerando cada compartimento separadamente. A comparação entre as profundidades de solo amostradas foi feita por meio da estatística descritiva dos dados de teor de carbono. Foram analisadas as medidas de tendências centrais e de dispersão em torno da média.

### **3.10.5 Biomassa e estoque de carbono nas raízes**

A biomassa e estoque de carbono nas raízes foi realizada apenas no Bloco 3 do experimento. Dessa maneira, foi possível a padronização em 15 observações para todos os componentes.

O desenho experimental para estas análises foi o inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e três repetições de cada tratamento, totalizando 15 unidades amostrais.

As médias de tratamentos para estas variáveis, quando necessário, foram comparadas por meio do teste Tukey, em nível de 5% de até significância, cujo valor da diferença mínima significativa (delta) foi calculado por meio da equação 12:

### **3.10.6 Mudanças no estoque de carbono no solo**

Os dados de estoque de carbono no solo para profundidade total de 0-20 cm, calculados antes e após a implantação do povoamento de *S. parayba* foram comparados por meio do teste t-pareado, ao nível de 5% de significância. Neste estudo, o emprego do teste t-pareado permitiu verificar se a diferença mínima no estoque de carbono do solo antes e após a introdução do povoamento florestal foi estatisticamente diferente. A hipótese estatística testada foram  $H_0: \mu_D = 0$ ;  $H_1: \mu_D \neq 0$ .

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Avaliação silvicultural do *S. parayba* var. *amazonicum* estabelecido em diferentes espaçamentos

Os resultados das análises das variáveis dendrométricas avaliadas neste estudo aos 44 meses de plantio de *S. parayba* var. *amazonicum* estão apresentadas na Tabela 9. As variáveis dendrométricas variaram de forma significativa ( $p < 0,05$ ).

Tabela 9 - Valores médios das variáveis dendrométricas avaliadas no povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum*, aos 44 meses após o plantio, em Rive, Alegre, ES

Espaçamento (m x m)	DAP (cm)	G (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Ht (m)	VF (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
3 x 2	11,33 b	12,14 a	13,35 a	87,54 a
3 x 3	11,98 ab	9,06 ab	10,44 b	55,47 b
4 x 3	13,44 ab	7,94 b	10,88 b	47,86 b
4 x 4	14,29 a	7,96 b	11,43 b	52,27 b
5 x 5	14,19 a	5,39 b	11,51 b	35,18 c
Média	13,24	8,50	11,52	55,66
CV (%)	30,06	28,75	9,63	17,71

DAP = diâmetro a 1,3 m acima do solo; G = área basal; Ht = altura total; VF = volume do fuste com casca.

Fonte: o autor.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

A densidade de indivíduos esperada para cada espaçamento de plantio é de 1667 ind ha<sup>-1</sup>, 1111 ind ha<sup>-1</sup>, 833 ind ha<sup>-1</sup>, 625 ind ha<sup>-1</sup>, 400 ind ha<sup>-1</sup> para os espaçamentos 3 m x 2 m, 3 m x 3 m, 3 m x 4 m, 4 m x 4 m e 5 m x 5 m, respectivamente. Entretanto, houve uma mortalidade de indivíduos de 35%, 33%, 34%, 30% e 28% nos plantios com 3 m x 2 m, 3 m x 3 m, 3 m x 4 m, 4 m x 4 m e 5 m x 5 m de espaçamento, respectivamente. Devido ao fato desta espécie ser considerada de alta vulnerabilidade ao vento até os 36 meses de idade (RONDON, 2002) medidas preventivas devem ser adotadas no início da implantação do reflorestamento, como a utilização de faixa de mata nativa, uso de quebra-vento e evitar o plantio homogêneo.

A operação de replantio das mudas também pode ser recomendada para melhorar a ocupação e a produtividade do sistema de plantio. Entretanto, a falta de manutenção do plantio de *S. parayba* var. *amazonicum*, realizada apenas nos doze

primeiros meses da implantação do povoamento, pode ter ocasionado maior mortalidade das mudas pela mato-competição e falta de tratamentos silviculturais.

Nota-se que nos espaçamentos mais amplos, principalmente, as plantas apresentaram os maiores diâmetros médios. Entretanto, para a altura o inverso ocorreu tendo nos espaçamentos menores as maiores alturas médias. Esta tendência também foi encontrada por Lima et al. (2013), onde observaram em maiores densidades a produção de fustes com diâmetros menores, em relação às densidades mais baixas.

No que se refere a implantação de povoamentos florestais, uma atenção especial deve ser direcionada à escolha do espaçamento a ser utilizado. No Estado do Pará, onde a espécie *S. parayba* var. *amazonicum* é amplamente plantada, diversos espaçamentos têm sido utilizados (3 m x 3 m; 4 m x 4 m; 3 m x 4 m; 5 m x 4 m; 6 x 4 m), principalmente em povoamentos mais antigos, estando os mais recentes em maior padronização, com espaçamentos de 4 m x 4 m. Isso provavelmente se deve à facilidade de mecanização, na região Norte do Brasil (MARQUES et al., 2006). Além disso, estudos vêm utilizando espaçamento 4 m x 4 m como mais recomendado, por proporcionar, no Norte do Brasil, a melhor relação entre crescimento em altura e diâmetro das árvores (ROSA, 2006). Entretanto, em condições de menor precipitação e relevo montanhoso como o da região sul do Espírito Santo, as condições de crescimento são mais limitantes para o desenvolvimento do *S. parayba* var. *amazonicum*.

Para a variável área basal houve tendência de aumento com a introdução de maior número de árvores por área. A área basal aos 44 meses de idade foi maior no espaçamento 3 m x 2 m e 3 x 3 m e menor nos espaçamentos 4 m x 3 m, 4 m x 4 m e 5 m x 5 m. Nota-se que à medida que o espaço aumenta os valores de área basal diminuem progressivamente. Isso se deve à quantidade de árvores por unidade de área, que variou de 1091 ind ha<sup>-1</sup> e 289 ind ha<sup>-1</sup>. Mesmo apresentando diâmetros menores, as árvores plantadas em espaço vital disponível menor acumularam área basal superior do que as plantadas em espaçamentos mais largos. Nos estudos realizados por Inoue, Filho e Lima (2011) em *Pinus taeda* também foram encontrados valores maiores de área basal nos espaçamentos menores até a idade de oito anos.

Houve uma tendência de maiores volumes dos povoamentos serem obtidos em plantios com menores espaçamentos. A diferença no volume de madeira por área foi de 40,2%, entre os espaçamentos extremos 3 m x 2 m e 5 m x 5 m. Este resultado refere-se ao número de árvores plantadas em cada povoamento com diferentes

espaçamentos de plantios. Resultados semelhantes foram encontrados por Santos (2012) testando o efeito de diferentes espaçamentos no volume de madeira de *S. parayba* var. *amazonicum*. O autor encontrou, aos 48 meses de idade do povoamento, volume de 204,8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> no espaçamento 3 m x 2 m e 104,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> no espaçamento 5 m x 5 m, situados entre os municípios de Dom Eliseu e Paragominas, Estado do Pará, sendo cerca de quatro vezes maior do que o presente estudo.

Esse comportamento é importante do ponto de vista econômico, já que as empresas podem economizar nos custos de implantação e operações de colheita e transporte de madeira ao usar espaçamentos mais amplos em suas plantações. No entanto, quando se considera a mesma área para o mesmo período de colheita, o plantio mais denso fornece maior volume de madeira comparado com o plantio mais amplo.

Por meio da análise de correlação linear simples foi possível observar que a biomassa aérea total e a biomassa do fuste, das folhas e dos galhos foram mais correlacionadas com o DAP do que com a Ht (Tabela 10). A correlação observada entre as variáveis Ht e DAP (Tabela 10) indicou similaridade dessas variáveis na explicação da variação da biomassa. Schikowski, Corte e Sanquetta (2013) estudando *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, também encontraram valores elevados de correlação entre DAP e altura total ( $r=0,97$ ). Por sua vez, a densidade básica apresentou baixa correlação com a biomassa total e dos componentes, quando comparada com outras variáveis independentes, como DAP e Ht.

Tabela 10 - Correlações entre as variáveis biométricas utilizadas nos ajustes de esquações do povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum*, em Rive, Alegre, ES

Variáveis	DAP (cm)	Ht (m)	Dens (g cm <sup>-3</sup> )	Biomassa folhas (kg)	Biomassa galhos (kg)	Biomassa fuste (kg)	Biomassa total (kg)
DAP (cm)	1						
Ht (m)	0,787 <sup>1</sup> *	1					
Dens (g cm <sup>-3</sup> )	0,205 <sup>ns</sup>	-0,016 <sup>ns</sup>	1				
Biomassa folhas (kg)	0,789*	0,737*	0,192 <sup>ns</sup>	1			
Biomassa galhos (kg)	0,668*	0,426*	0,341 <sup>ns</sup>	0,700*	1		
Biomassa fuste (kg)	0,963*	0,816*	0,213 <sup>ns</sup>	0,840*	0,599*	1	
Biomassa total (kg)	0,960*	0,785*	0,272 <sup>ns</sup>	0,892*	0,764*	0,971*	1

<sup>1</sup>coeficiente de correlação de Pearson; ns: Não significativo pelo teste t ( $p \leq 0,05$ ); \* Significativo pelo teste t ( $p \leq 0,05$ ).

Houve elevada associação entre as variáveis (altura e diâmetro) e as quantidades de biomassa (total e dos componentes). Silveira (2009) também observou que o DAP e a altura estão altamente correlacionados com a biomassa, e afirma que o uso do variável diâmetro, na sua forma pura ou combinada, é indispensável em modelos que visam estimar biomassa ou carbono. Ao estimar biomassa e carbono em espécies nativas da Mata Atlântica por diferentes modelos, Lacerda et al. (2009) concluíram que os modelos que utilizam a variável independente DAP de forma pura apresentam melhor ajuste. A alta correlação da biomassa com o DAP é importante pois esta última variável é uma característica de fácil mensuração que possibilita estimar as variáveis dependentes de forma rápida e eficiente

#### **4.2 Biomassa das árvores aos 56 meses de idade**

As produções de biomassa total e dos compartimentos por unidade de área, variaram significativamente com as densidades de plantio (Tabela 11). A ordem decrescente de produção de biomassa de *S. parayba* var. *amazonicum* pelo espaçamento de plantio foi 3 m x 2 m > 3 m x 3 m > 4 m x 4 m > 4 m x 3 m > 5 m x 5 m. Após 56 meses de idades, a maior biomassa total, analisado no espaçamento 3 x 2 m, foi de 40,63 Mg ha<sup>-1</sup>, ou 25%, 31%, 27% e 51% maior que os plantios efetuados nos espaçamentos 3 m x 3 m, 4 m x 3 m 4 m x 4 m e 5 m x 5 m, respectivamente, porém estatisticamente diferente apenas do espaçamento 5 m x 5 m.

Tabela 11 - Biomassa total acima do solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) e de seus componentes para o povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum*, aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES

Espaçamento (m x m)	Fuste	Galhos	Casca	Folhas	Biomassa Total
3 x 2	34,28 a	5,37 a	3,96 a	1,45 a	40,63 a
3 x 3	24,21 ab	6,31 a	2,55 ab	0,85 ab	30,48 ab
4 x 3	21,54 ab	6,66 a	2,37 ab	0,70 b	28,08 ab
4 x 4	22,62 ab	6,96 a	2,34 ab	0,86 ab	29,52 ab
5 x 5	15,28 b	4,83 a	1,57 b	0,58 b	20,03 b
Média	23,58	6,03	2,56	0,89	29,75
CV (%)	40,40	41,13	44,01	48,48	39,35

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

Com exceção do componente galhos, as diferentes densidades de plantio exercem influência sobre todas os componentes da biomassa acima do solo (Tabela 13). De modo geral, houve tendência de maior quantidade de biomassa por área nos espaçamentos mais adensados (3 m x 2 m) em relação aos demais espaçamentos. Os espaçamentos 3 m x 2 m, 3 m x 3 m, 4 m x 3 m e 4 m x 4 m não diferiram estatisticamente entre si, sendo estes os que apresentaram os maiores valores para a biomassa total.

A literatura comprova a influência do espaçamento na produção de biomassa em diversas espécies florestais e em diferentes sítios (CARDOSO et al., 2013; ERKAN; AYDIN, 2016; KERR, 2003; NASCIMENTO et al., 2012; RONDON, 2002). Porém, de maneira contrária ao presente estudo Rondon (2002) constatou para *S. parayba* var. *amazonicum* aos 60 meses de idades que os maiores espaçamentos testados (4 m x 3 m e 4 m x 4 m) foram os que proporcionaram os maiores crescimento das árvores, enquanto que nos espaçamentos mais reduzidos (1,5 m x 1,5 m, 2 m x 2 m, 3 m x 2 m e 4 m x 2 m) ocorreram os menores valores para altura e de diâmetro das plantas e conseqüentemente para biomassa total. Além disso, o autor encontrou produção total de biomassa de  $92,60 \text{ Mg ha}^{-1}$  no município de Sinop - MT, enquanto em Alegre – ES, a produção máxima foi de  $40,63 \text{ Mg ha}^{-1}$ . A produção superior encontrada em Sinop-MT pode ser devido ao clima com temperatura média superior ( $29^{\circ}\text{C}$ ) e à precipitação média anual de 2.090 mm anuais, quando em Alegre - ES a precipitação foi de 1222 mm.

Nascimento et al. (2012) também relatou efeito significativo dos espaçamentos no crescimento de seis espécies diferentes, entre elas o *S. parayba* var. *parayba*, Aos 22 meses de idade. Os autores constataram que, em geral, nos espaçamentos mais amplos, observa-se maior crescimento individual das plantas, tal como observado no presente estudo, entretanto com produção por área maior nos espaçamentos menores, tal como no presente estudo.

A escolha do espaçamento de plantio é muito importante para a máxima produção de biomassa ou estoque de carbono, e para determinação do ciclo de produção da floresta. Quando os dados de *S. parayba* var. *amazonicum*, aos 56 meses de idade foram analisados, o efeito do espaçamento na produção de biomassa e armazenamento de carbono foi significativo. Dentre os espaçamentos testados, no 3 m x 2 m houve maior produção de biomassa e carbono que os demais tratamentos testados. Entretanto, um estudo mais aprofundado deve ser realizado, afim de obter dados sobre o incremento anual da espécie, para analisar a rotação do plantio na região sul do Espírito Santo.

Os valores de biomassa acima do solo deste estudo foram menores que os valores encontrados em outras regiões de clima tropical para povoamentos com idades aproximadas aos 56 meses de idade como por exemplo, para *Eucalyptus* sp., *Schizolobium parayba* var. *amazonicum* e *Acacia* sp. (HUNTER, 2001; RONDON, 2002; ZHANG; GUAN; SONG, 2012). Entretanto, não há na literatura abundância de dados relativos a espécie *S. parayba* var. *amazonicum*.

Os padrões de distribuição de biomassa variaram com a densidade de plantio, exceto para galhos. A classificação da produção de biomassa dos plantios pelos componentes foi tronco > galhos > casca > folha. A produção dos componentes de suporte da planta (ou seja, caule e ramos) foi superior em 25 vezes a do componente produtivo (folhagem). Houve ligeira mudança no padrão de distribuição com o aumento do espaçamento. Por exemplo, aos 56 meses de idade, a folhagem, casca e os galhos representaram 4%, 10% e 13% da biomassa total para o plantio no espaçamento 3 x 2 m, 3%, 8% e 21% para o 3 x 3 m, 2%, 8% e 24% para o 4 x 3 m, 3%, 8% e 24% para o 4 x 4 m e 3%, 8% e 24% para o 5 x 5 m, respectivamente, enquanto os caules representaram 84%, 79%, 77%, 77% e 76% respectivamente do menor para o maior espaçamento.

A maior densidade de plantio (espaçamento 3 m x 2 m) produz o dobro de biomassa total do que a menor densidade de plantio (espaçamento 5 m x 5 m) (Tabela 11). Entretanto, nota-se que a produção de galhos, apesar do número de árvores por

unidade de área serem diferentes, é estatisticamente igual entre os espaçamentos analisados. Este fato, é devido provavelmente à ocorrência de desrama natural nos plantios mais adensados, característica silvicultural importante para o uso comercial da espécie.

Com poucas exceções, a resposta do aumento do espaçamento foi o incremento no crescimento individual e produção de biomassa individual de todos os compartimentos da árvore (Tabela 12).

Tabela 12 - Biomassa individual (kg) em diferentes espaçamentos de plantio do povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum*, em Rive, Alegre, ES

Espaçamento	Folha	Fuste com casca	Galhos	Casca	Biomassa total
3 x 2 m	1,33 a	31,39 a	4,92 b	3,62 a	37,21 a
3 x 3 m	1,14 a	32,46 a	8,45 ab	3,41 a	40,86 a
4 x 3 m	1,32 a	40,61 a	12,56 ab	4,46 a	52,95 a
4 x 4 m	1,96 a	51,76 a	15,93 a	5,34 a	67,56 a
5 x 5 m	2,01 a	52,89 a	16,72 a	5,45 a	69,34 a
Média	1,54	41,59	11,65	4,43	53,28
CV	46,84	40,64	57,97	39,13	43,96

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

Houve um incremento estatisticamente diferente na proporção de material alocado nos galhos em relação a biomassa total da árvore (13% vs. 24%) com o aumento do espaçamento de plantio, devido à competição entre indivíduos nos espaçamentos mais adensados ( $p < 0,05$ ). A produção de galhos por árvore foi menor no espaçamento 3 m x 2 m e estatisticamente superior nos espaçamentos 4 m x 4 m e 5 m x 5 m. Resultados semelhantes foram encontrados em Sinop - MT, para *S. parayba* var. *amazonicum* (RONDON, 2002) e também para outras espécies como *Eucalyptus urophylla*, *E. pellita* e *E. camaldulensis* (BERNARDO et al., 1998).

Essas mudanças em quantidades relativas de material alocado a diferentes partes da planta em função do espaçamento mostram que, em geral, a espécie *S. parayba* var. *amazonicum*, quando plantadas em espaçamentos maiores, responderá alocando um crescimento mais proporcional aos galhos, reduzindo assim a quantidade de material alocado no fuste. Esta situação, contudo, pode ser controlada por meio da realização da desrama artificial no povoamento, caso o objetivo seja a produção de biomassa individual do fuste em proporções maiores, porém, isso gera

custos, que poderiam ser evitados com o uso de espaçamentos mais adensados, quando a mesma será estimulada a ocorrer naturalmente.

É importante ressaltar que não foi realizado nenhuma operação de desrama no povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum*. Assim, a superioridade do componente fuste no espaçamento mais amplo, indica potencial de utilização da espécie para fins madeireiros, considerando a avaliação aos 56 meses de idade. Como o processo de desrama natural tende a aumentar com o aumento da competição entre árvores, a proporção do fuste em relação a copa tende a aumentar nos espaçamentos menores.

Ao comparar a biomassa individual da copa, composta pelos componentes folhas e galhos, com a biomassa individual do fuste com casca, se torna evidente a maior alocação de biomassa no fuste, principalmente quando se avalia os espaçamentos mais adensados, onde existe maior competição entre indivíduos. A ordem crescente de alocação de biomassa individual relativa ao fuste com casca e biomassa total foi do menor para o maior espaçamento: 3 m x 2 m > 3 m x 3 m > 4 m x 3 m > 4 m x 4 m > 5 m x 5 m (84,35%; 79,44%, 76,69%, 76,62% e 76,28%, respectivamente). Estes valores estão de acordo com o encontrado por Oliveira et al. (2018), onde para a espécie *Araucaria angustifolia* que também possui crescimento monopodial, a biomassa do fuste representou 80,31% da biomassa total, enquanto a biomassa da copa apresentou 19,69%, indicando que a maior parte da biomassa aérea está localizada no fuste das árvores.

Bernardo et al. (1998), observaram que a participação de cada compartimento no total da biomassa individual acima do solo é semelhante para três espécies de *Eucalyptus* onde se tem o incremento de biomassa com o aumento do espaçamento e maior alocação de biomassa na copa (galhos e folhas) em espaçamentos de plantios mais amplos. O crescimento monopodial da espécie *S. parayba* var. *amazonicum* proporcionou, em média, alocação de 78,6% da biomassa no fuste.

Assim, estes resultados indicam que, para a idade estudada, nos espaçamentos menores predominam árvores de porte menor, sendo esta menor produção individual compensada pela densidade de indivíduos na área. Além disso, a distribuição da biomassa nos diferentes compartimentos das plantas encontradas neste trabalho, obteve comportamento de acordo com o que preconiza a literatura, com acúmulo maior da biomassa no fuste, galhos e, por último, nas folhas (SCHIKOWSKI; CORTE; SANQUETTA, 2013; SOCHER; RODERJAN; GALVÃO, 2016).

A biomassa individual de casca de *S. parayba* var. *amazonicum* não teve diferença significativa entre os espaçamentos testados. Entretanto, devido ao número inferior de árvores, a biomassa de casca por unidade de área foi estatisticamente inferior no espaçamento com 5 m x 5 m (Tabela 13). Estes resultados indicam a manutenção da proporção de casca nos plantios menos adensados em relação aos plantios adensados. Esta característica se torna favorável à produção comercial da espécie, já que a casca é descartada na exploração econômica da madeira de *S. parayba* var. *amazonicum*.

Para avaliação da biomassa de raízes foram utilizadas 15 árvores no bloco 3 do plantio de *S. parayba* var. *amazonicum*. A média do DAP das árvores amostradas foi de  $13,76 \pm 2,92$  cm, sendo os valores mínimo e máximo de 7,73 cm e 19,00 cm, respectivamente.

As médias da biomassa de raízes não diferenciaram entre os espaçamentos de plantio analisados (Tabela 13). Dessa maneira, o maior número de indivíduos nos espaçamentos mais adensados não foi capaz de compensar o crescimento individual maior das árvores plantadas nos espaçamentos mais amplos.

Tabela 13 – Biomassa de raízes ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em diferentes espaçamentos no povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum* aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES

Espaçamento (m x m)	Biomassa de raízes ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )
3 x 2	8,97 a
3 x 3	9,42 a
4 x 4	9,38 a
4 x 3	9,21 a
5 x 5	6,34 a
Média	8,66
CV (%)	35,59

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

A distribuição da biomassa de raízes em relação a parte aérea é de 18%, 24%, 25%, 24% e 24%, nos espaçamentos 3 m x 2 m, 3 m x 3 m, 4 m x 3 m, 4 m x 4 m e 5 m x 5 m, respectivamente. Assim, em média o *S. parahyba* var. *amazonicum* aloca 23% da biomassa em suas raízes. O aumento da proporção da biomassa de raízes nos espaçamentos mais amplos pode estar associado a menor competição entre árvores e para sustentação dos indivíduos com maior porte aéreo, devido ao maio

crescimento individual. Além disso, cabe ressaltar que a literatura evidencia que a proporção de alocação da biomassa nas raízes em povoamentos florestais tendem a diminuir com o avanço da idade do povoamento, sendo alocada maior quantidade de biomassa na parte aérea (FORSTER; MELO, 2007).

Muitos estudos publicados identificaram a relação raiz/parte aérea (razão de raízes) tanto de espécies temperadas (RANGER; GELHAYE, 2001) quanto tropicais (HASE; FOELSTER, 1983; KRAENZEL et al., 2003). Geralmente, essa proporção diminui progressivamente com a idade e varia de 0,5 a 0,3 para árvores jovens a 0,3 a 0,15 para árvores velhas. Como exemplo, Hase e Foelster (1983) trabalhando com a espécie *Tectona grandis* encontraram razão de raízes igual a 0,42 aos 4 anos de idade e 0,20 aos 9 anos. Kraenzel et al. (2003) também trabalhando com a espécie *Tectona grandis*, encontrou 0,16 aos 20 anos de idade. Tendências semelhantes foram encontradas por Laclau (2003) para *Pinus* sp. (0,24 aos 10 anos em comparação com 0,16 aos 20 anos).

Além disso, em estudo realizado por Forster e Melo (2007) com 44 espécies, em nove áreas de reflorestamento heterogêneos, na região do Médio Vale do Paranapanema-SP, avaliaram que, em média, 20% da biomassa da árvore está alocada nas raízes. Além disso, constataram que para o *S. parahyba* var. *amazonicum*, 14,8% da biomassa está alocada nas raízes.

Assim, os estudos visando a avaliação do potencial de fixação de carbono não devem desprezar a biomassa de raízes, visto que os resultados obtidos no presente estudo demonstram que sua contribuição, aos 56 meses de idade, para a biomassa total das árvores é expressiva.

#### **4.3 Teores de carbono de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* nos diferentes compartimentos da biomassa**

Os teores de carbono entre os diferentes compartimentos da árvore de *S. parahyba* var. *amazonicum* (fuste, casca, folhas e galhos) foram significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ). O teor de carbono dos galhos de *S. parahyba* var. *amazonicum* foi obtido pela média aritmética da amostragem do teor de carbono em galhos finos (%C= 44,24%), galhos grossos (%C= 44,24%) e galhos secos presos a árvore (%C=44,39%). Os três tipos de galhos foram coletados de forma separada e não

obtiveram diferença significativa entre si para o teor de carbono ( $p > 0,05$ ), sendo então considerados de forma conjunta (Figura 7).

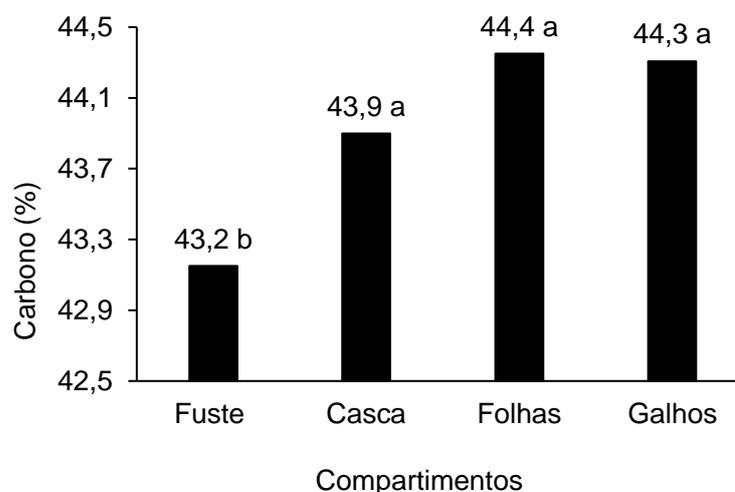


Figura 7 - Teores médios de carbono para os diferentes compartimentos da biomassa avaliados no povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum*, aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

Em média, o maior teor de carbono foi obtido nos compartimentos folhas, casca e galhos, não diferindo entre si ( $p < 0,05$ ), enquanto a menor concentração foi mostrada no compartimento fuste. O maior teor de carbono nas folhas é um resultado esperado devido a densidade de estômatos que permitem a entrada de  $\text{CO}_2$ , com consequente realização do processo de fotossíntese e teor de carbono no tecido foliar (TAIZ; ZEIGER, 2009; DALLAGNOL et al., 2011). Conforme os autores complementam, a rota de fixação normal entre os compartimentos seria: folhagem, galhos, madeira, raiz e casca. A distribuição da concentração de carbono entre os diferentes espaçamentos seguiu a ordem Folha>Casca>Galhos>Fuste, semelhante ao encontrado por Ribeiro et al. (2015) para *Eucalyptus* no sudeste do Brasil. A média do teor de carbono encontrado para raízes foi de  $44,25 \pm 0,18\%$ . A média de C encontrada para a gramínea foi de  $41,12 \pm 1,74\%$  (Figura 8).

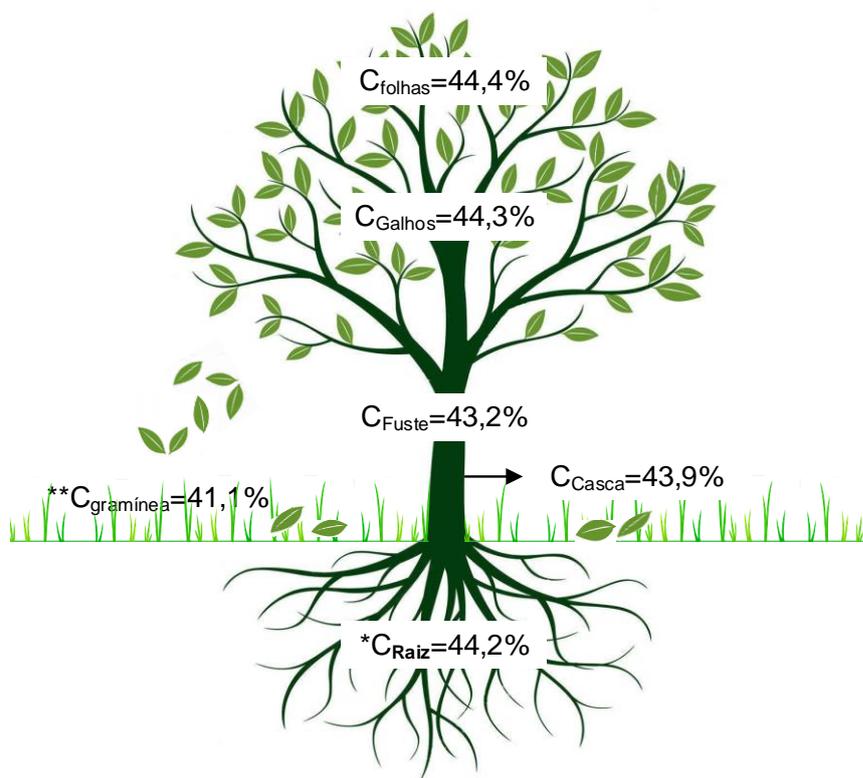


Figura 8 - Teores médios de carbono para os diferentes compartimentos da biomassa avaliados no povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum*, aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES.

\* Teor de carbono obtido nas raízes das árvores do Bloco 3 de plantio; \*\* Teor obtido nas gramíneas do espaçamento 3 m x 3 m.

Fonte: o autor

Os teores de carbono nos compartimentos da mesma espécie podem ser afetadas pelos meios de análise, idade do povoamento, condições edafoclimáticas e origem (BERT; DANJON, 2006). Por exemplo, Ribeiro et al. (2015) estudaram os teores de C do ramo, caule e folhas de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake X *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos 5,5 anos, na ordem de 42,89%, 44,61% e 46,10%, respectivamente, no Brasil. No entanto, Gifford (2000) realizou estudo com diferentes espécies nativas de *Eucalyptus* no leste da Austrália e obteve um teor médio de carbono para folhas, galhos e madeira de 52,9%, 46,8% e 49,8%, respectivamente

No entanto, as comparações com o *S. parayba* var. *amazonicum* são dificultadas pelo escasso número de estudos que quantificaram os teores de carbono

em diferentes compartimentos dessa espécie. Vidaurre (2010) analisou o teor de carbono apenas para o fuste de *S. parayba* var. *amazonicum* para povoamentos com 5, 7, 9 e 11 anos de idade e obteve médias superiores à encontrada neste estudo (45,39%, 45,33%, 45,32% e 45,65%, respectivamente), em plantios localizados em Dom Elizeu, Pará, Brasil. A localização do plantio e a idade do povoamento pode ter influenciado no teor de carbono no fuste do presente estudo.

Estudos anteriores haviam mostrado que o teor de carbono varia entre espécies. Por exemplo, o teor média de carbono do caule de 135 espécies de árvores tropicais variou de 41,9–51,6% (THOMAS; MARTIN, 2012), enquanto variou de 48 a 54,4% na madeira de pinheiros de clima temperado (MATHEWS, 1993). Mesmo se tratando de um povoamento jovem, os valores encontrados no presente estudo se encontram dentro da faixa avaliada para árvores de clima tropical.

A maioria dos estudos que objetivam estimar o estoque de carbono de plantios florestais (MIEHLE et al., 2006; RAZAKAMANARIVO et al., 2011; ZHANG; GUAN; SONG, 2012b) utilizam um valor genérico de 50% para estimar o teor de carbono na biomassa. O uso de 50% como valor genérico para o conteúdo de carbono na biomassa é uma simplificação excessiva, pois pode levar a uma sub ou superestimação da alocação de créditos de carbono em projetos que são baseados no uso de florestas (LAMLOM; SAVIDGE, 2003).

Os valores observados para *S. parayba* var. *amazonicum* foram inferiores em relação ao teor fixo de 50%, indicando assim, que se estaria gerando uma superestimativa para todos os compartimentos analisados. Assim, o uso de um fator genérico de conversão não é apropriado, gerando de estimavas irreais (LAMLOM; SAVIDGE, 2003).

#### 4.4 Densidade básica e teores de carbono em função do espaçamento de plantio e da posição axial no fuste

A média de densidade básica da madeira das árvores de *S. parayba* var. *amazonicum*, aos 56 meses de idade, foi de  $0,30 \pm 0,05 \text{ g cm}^{-3}$ . A densidade máxima encontrada foi de  $0,38 \text{ g cm}^{-3}$  e a mínima de  $0,26 \text{ g cm}^{-3}$ , considerando todos os espaçamentos e posições no eixo longitudinal do fuste. De acordo com as classificações sugeridas por Farmer (1972), a madeira *S. parayba* var. *amazonicum* com 56 meses de idade é classificada como leve.

No presente estudo, os diferentes espaçamentos de plantio influenciaram na densidade média na madeira das árvores de *S. parayba* var. *amazonicum* aos 56 meses de idade (Tabela 14) ( $p < 0,05$ ). Foi verificado que menores densidades de plantio proporcionaram densidade média da madeira maior quando comparadas às densidades de plantio maiores. Resultados que confirmam o efeito do espaçamento de plantio na densidade básica foi verificado por Rocha et al. (2016), no qual constataram que para *Eucalyptus grandis* x *E. camaldulensis* plantados no nordeste de Minas Gerais, Brasil, em espaçamento com  $9 \text{ m}^2$  (3 m x 3 m) possuiu densidade 8% maior que os mesmos clones plantados e espaçamento com  $1,5 \text{ m}^2$  (3 m x 0,5 m).

Tabela 14 - Densidade média da madeira de *S. parayba* var. *amazonicum* em diferentes espaçamentos de plantio, aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES.

Espaçamento (m x m)	Densidade (g cm <sup>3</sup> )
3x2	0,29 ab
3x3	0,28 b
4x3	0,31a
4x4	0,31 a
5x5	0,31 a
Média	0,30
CV (%)	16,11

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de significância pelo Teste de Tukey.

O espaçamento com  $25 \text{ m}^2$  (5 m x 5 m) possui densidade da madeira aproximadamente 9,64% superior do que a menor média avaliada, no espaçamento 3

m x 3 m, variando de  $0,28 \text{ g cm}^{-3}$  a  $0,31 \text{ g cm}^{-3}$ . Estudo realizado por Melo et al. (2014), com *Schizolobium parayba* var. *amazonicum*, com 9 anos de idade, em Garrafão do Norte/ PA -Brasil, encontraram média geral para densidade básica de  $0,33 \text{ g cm}^{-3}$ , considerando dois espaçamentos contrastantes de 4 m x 4 m e 8 m x 4 m. Além disso, os autores evidenciaram que a densidade não foi afetada pelo espaçamento de plantio. O espaçamento entre plantas mais denso ocasiona a estagnação do crescimento em idades mais jovens, enquanto plantios com maior espaçamento tendem a exibir diminuição do ritmo de crescimento em idades mais avançadas. Infere-se que a maior competição nos espaçamentos mais adensados além de afetar o crescimento em diâmetro da madeira pode ocasionar em madeira com densidade básica menor.

Resultados semelhantes aos do presente estudo também foram encontrados por Brasil e Ferreira (1971) no qual relataram que não houve variação significativa da densidade básica da madeira em espécies de *Eucalyptus* plantadas em espaçamentos de 3 m x 1,5 m e 3 m x 2 m. Lima, Florsheim e Longui (2009), também não observaram influência significativa do espaçamento na densidade básica da madeira de *Tectona grandis* aos 31 anos de idade.

A densidade básica da madeira diferiu estatisticamente no sentido base-topo, sendo que, a maior densidade ( $0,37 \text{ g cm}^{-3}$ ) foi verificada na base do fuste ( $p < 0,05$ ). As densidades básicas no DAP, metade da altura total e no topo do fuste não diferiram entre si ( $p > 0,05$ ) (Figura 9). Entretanto, a tendência da diminuição da densidade básica no sentido base-topo não foi evidenciada no estudo realizado por Vidaurre et al. (2018) para *S. parayba* var. *amazonicum*, aos 5 anos de idades em Dom Elizeu, Pará, Brasil, plantadas com espaçamento 4 m x 4 m.

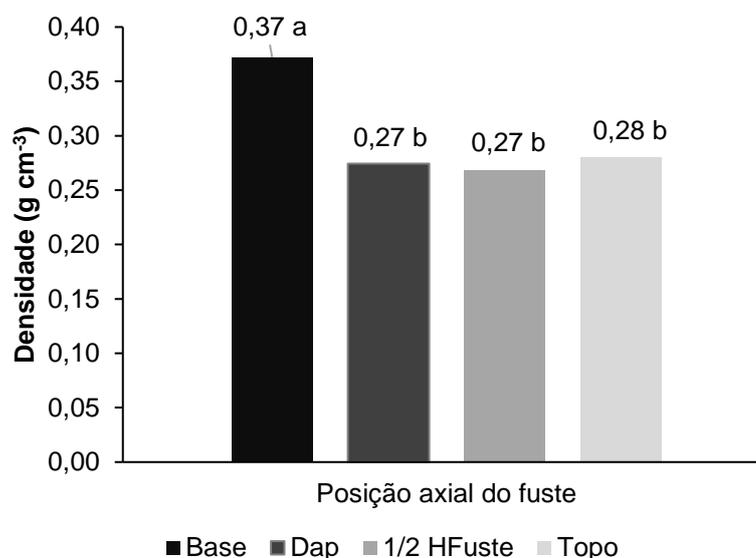


Figura 9 - Densidade básica da madeira de *S. parayba* var. *amazonicum* ao longo do fuste, aos 56 meses de idade.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância

Vários padrões de variação da densidade no sentido base-topo são encontrados na literatura, sendo variável de acordo com as características inerentes a espécie e ao sítio. Trevisan et al. (2016) mencionaram a existência de redução da densidade no sentido longitudinal para *Araucaria angustifolia*. Corroborando com estes resultados, Oliveira; Hellmeister e Tomazello Filho (2005) avaliaram a redução da densidade básica da madeira em seis das sete espécies de eucaliptos avaliadas e Ribeiro et al. (2011a) avaliaram diferença significativa apenas para uma das três localidades avaliadas, observando o aumento da densidade com o aumento da altura, para a espécie *Toona ciliata*.

A análise de correlação de Pearson ( $r = 0,02$ ) não indicou correlação significativa ( $p < 0,05$ ) entre a densidade básica e o teor de carbono do fuste. A literatura mostra a baixa correlação entre a densidade básica e o teor de carbono no fuste (CASTAÑO-SANTAMARÍA; BRAVO, 2012; SANQUETTA et al., 2016; YEBOAH et al., 2014).

O espaçamento de plantio não influenciou os teores de carbono estudados no compartimento fuste, casca, folhas, galhos e raízes ( $p > 0,05$ ). Assim, os espaçamentos afetam a produção em volume de madeira e não alteram o teor de carbono nos diferentes compartimentos da árvore (Tabela 15). Porém, o teor de

carbono pode variar com a idade e o tamanho das árvores (WATZLAWICK et al., 2011). Marcene et al. (2006) observaram variações significativas do teor de carbono entre árvores de tamanhos diferentes de *Gmelina arborea*. Assim, alguns estudos sugerem que a influência do espaçamento no teor de carbono pode estar atribuída ao diferente tamanho das árvores encontradas em diferentes densidades de plantios, o que não foi evidenciado para *S. parayba* var. *amazonicum*, aos 56 meses de idade.

Tabela 15 - Teores médios de carbono (%) entre os diferentes espaçamentos de plantio avaliados no povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum*, aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES.

Espaçamento	Fuste	Casca	Folhas	Galhos	Raízes*
3 m x 2 m	42,72 a	43,90 a	44,35 a	44,26 a	44,19 a
3 m x 3 m	43,23 a	43,84 a	44,34 a	44,25 a	44,21 a
4 m x 3 m	43,35 a	43,91 a	44,33 a	44,23 a	44,25 a
4 m x 4 m	43,18 a	43,83 a	44,36 a	44,27 a	44,40 a
5 m x 5 m	43,25 a	43,98 a	44,36 a	44,37 a	44,20 a
Média	43,15	43,89	44,35	44,27	44,25
CV (%)	1,88	0,33	0,25	0,22	0,40

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey. \* Teor de carbono obtido nas raízes das árvores do Bloco 3 de plantio

Em condições em que árvore esteja com recursos disponíveis ao crescimento, espera-se que as proporções entre os componentes químicos da madeira, inclusive o carbono, obedeçam a relações estequiométricas específicas, de acordo com a sua atividade metabólica (LAMLLOM; SAVIDGE, 2003). Porém, em condições atípicas de crescimento, parte do carbono fixado via fotossíntese pode ir de forma preferencial para determinados órgãos da planta, na forma de hidratos de carbono, a fim de compensar o estresse sofrido (LARJAVAARA, 2010). Este resultado, pode indicar que, as árvores do povoamento ainda não estão em competição pelos fatores de crescimento vegetal.

Os teores médios de carbono em função da posição axial no fuste foram de 43,30%, 43,15%, 43,00% e 43,15%, na base, DAP, metade da altura do fuste e topo, respectivamente. Os teores de carbono também não sofreram influência quando se analisa a posição axial do fuste ( $p > 0,05$ ). Sendo assim, a avaliação em apenas uma

posição no fuste representaria este compartimento para estudos futuros e representaria a economia de recursos no inventário de carbono.

#### 4.5 Estoque de carbono pelas árvores aos 56 meses de idade

Com base nas concentrações de carbono e na produção de biomassa de cada componente da biomassa, o estoque médio de carbono no plantio de *S. parayba* var. *amazonicum* com cinco diferentes densidades de plantio foi estimado aos 56 meses de idade do povoamento (Tabela 16). Verifica-se que o espaçamento teve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) sobre o armazenamento total de carbono e dos compartimentos com exceção para galhos ( $p > 0,05$ ). Aos 56 meses de idade, o maior armazenamento de carbono no plantio foi de  $19,43 \text{ Mg ha}^{-1}$ , no espaçamento 3 m x 2 m, sendo 50% maior do que no plantio com espaçamento 5 m x 5 m.

Tabela 16 - Estoque de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) da biomassa acima do solo e de seus componentes para o povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum*, aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES

Espaçamento	Fuste	Galhos	Casca	Folhas	Total
3 x 2 m	14,67 a	2,38 a	1,74 a	0,64 a	19,43 a
3 x 3 m	10,44 ab	2,79 a	1,12 ab	0,38 ab	14,73 a
4 x 3 m	9,36 ab	2,95 a	1,04 ab	0,31 b	13,65 a
4 x 4 m	9,84 ab	3,08 a	1,02 ab	0,38 ab	14,33 a
5 x 5 m	6,63 b	2,14 a	0,69 b	0,26 b	9,72 b
Média	10,19	2,67	1,12	0,39	14,37
CV (%)	41,96	42,46	45,35	50,08	40,57

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

Como o teor de carbono não variou significativamente entre os espaçamentos, o estoque de carbono orgânico na biomassa acima do solo seguiu a mesma tendência da biomassa acima do solo. Assim, o estoque de carbono do fuste corresponde, em média, por 70,4% da biomassa acima do solo, seguido dos galhos com 19,2%, casca com 7,7% e folhas com 2,7% da biomassa total de *S. parayba* var. *amazonicum*. Assim, o padrão de estoque de carbono segue a ordem: fuste>galhos>casca>folhas.

Para o estoque total de carbono houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ), apenas para o espaçamento 5 m x 5 m, sendo este o tratamento com menor acúmulo de carbono por unidade de área na biomassa acima do solo de *S. parayba* var. *amazonicum*. Com base nos resultados do nosso estudo, em plantios com espaçamento de plantio 3 m x 2 m, as árvores estocam  $19,49 \text{ Mg ha}^{-1}$ , aos 56 meses de idade, sendo este valor semelhante as espécies *Populus deltoides* (FANG; XUE; TANG, 2007), *Eucalyptus urophylla* e *Acacia mangium* (ZHANG; GUAN; SONG, 2012b).

O espaçamento não teve influência no estoque de carbono de raízes de *S. parayba* var. *amazonicum* (Tabela 17). Esse resultado é idêntico a biomassa das raízes (Tabela 17), pois não houve diferença entre as médias de teores de carbono das raízes em função do espaçamento.

Tabela 17 - Estoque de carbono nas raízes com os espaçamentos em árvores de *S. parayba* var. *amazonicum* aos 56 meses de idade, em Rive, Alegre, ES

Espaçamento	EstC Raiz ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ )
3 m x 2 m	3,96 a
3 m x 3 m	4,16 a
4 m x 4 m	4,15 a
4 m x 3 m	4,09 a
5 m x 5 m	2,81 a
Média	3,84
CV (%)	35,61

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey.

As árvores de *S. parayba* var. *amazonicum*, alocam 17%, 22%, 23%, 22% e 22%, do total de carbono para o sistema radicular nos espaçamentos 3 m x 2 m, 3 m x 3 m, 4 m x 3 m, 4 m x 4 m e 5 m x 5 m, respectivamente. As plantas com 56 meses de idade, alocam em média  $3,84 \text{ Mg ha}^{-1}$  de carbono nas raízes.

A alocação de carbono para as raízes das árvores encontradas no presente estudo foi dentro do intervalo de valores relatado por estudos anteriores. Mekonnen; Buresh e Jama (1997) mostraram que 36% do carbono total da árvore de *Sesbania* foi alocada ao sistema radicular, enquanto Oelbermann et al. (2005) encontraram valores variando entre 28%, aos 4 anos de idade, e 16%, aos 10 anos de idade, de carbono alocada nas raízes de *Erythrina poeppigiana*.

Atualmente, existem dados limitados sobre a biomassa e o estoque de carbono das raízes para *S. parayba* var. *amazonicum*. Entretanto, estudos sobre os sistemas radiculares em sistemas agroflorestais, utilizando outras espécies arbóreas, mostraram que a maior proporção de raízes estava situada mais próxima à superfície, até 20 cm de solo. Por exemplo, Das e Chaturvedi (2008) avaliaram que a biomassa mais alta e conseqüentemente a maior alocação de carbono (47-91%) de raízes estava contida no horizonte de 0-20 cm de solo e diminuía com o aumento da profundidade do solo nas 5 espécies estudadas, *Acacia auriculiformis*, *Azadirachta indica*, *Bauhinia variegata*, *Bombax ceiba* e *Wendlandia exserta*. Eles sugeriram que as raízes na superfície do solo ajudam as espécies de árvores a se estabelecerem em solos pobres em nutrientes, aumentando assim o processo de ciclagem e exploração de nutrientes.

As médias estatisticamente iguais da alocação de carbono e biomassa nas raízes entre os espaçamentos pode estar relacionada à idade das árvores e o plantio ainda não estar em competição por nutrientes. Segundo Oelbermann et al. (2005) o conceito de exploração de nutrientes pode explicar os diferentes padrões de enraizamento entre as árvores com maior idade de plantio (10 anos) e menor idade de plantio (4 anos). Os autores encontraram maior estoque de carbono nas raízes a uma profundidade de 0 a 20 cm para as árvores de 10 anos de idade, devido ao baixo nível de nutrientes do solo no momento do estabelecimento das árvores e maior concentração de nutrientes nesta faixa de solo. Dhyani e Tripathi (2000) observaram que a profundidade do enraizamento é influenciada pela aplicação de fertilizantes e uso do solo, no qual a utilização de adubos e maior deposição de material orgânico na superfície do solo torna os horizontes do solo superiores mais propensos para a produção de sistemas radiculares superficiais.

#### **4.6 Carbono estocado no solo**

Aos 68 meses de idade os diferentes espaçamentos de plantio não influenciaram no teor de carbono orgânico do solo nas camadas de 0-5, 5-10 cm e 10-20 cm ( $p > 0,05$ ). Em média, os solos do plantio de *S. parayba* var. *amazonicum* possuem  $1,66\% \pm 0,33$  de carbono na camada superficial,  $1,38\% \pm 0,23$  na camada

intermediária (5-10 cm) e  $1,20\% \pm 0,18$  na camada mais profunda avaliada (10-20 cm) (Figura 10).

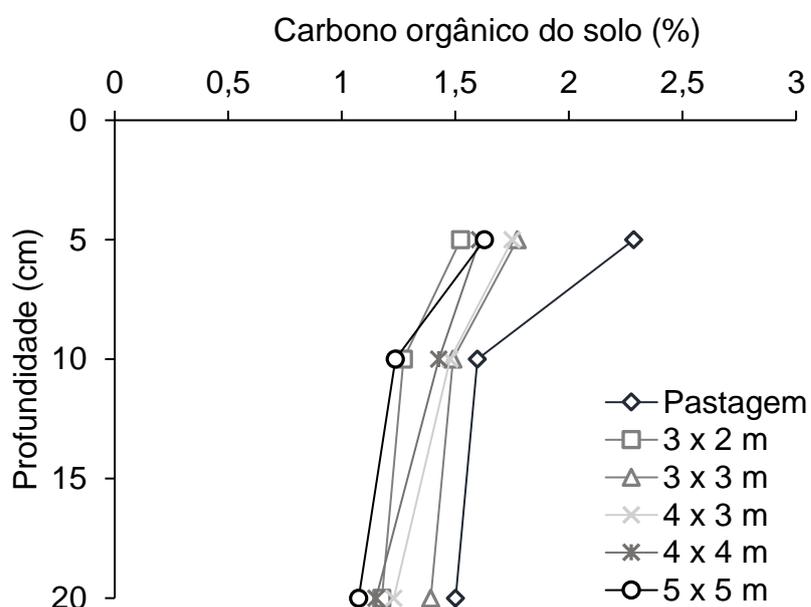


Figura 10 - Teor de carbono orgânico do solo (%) em diferentes profundidades para o povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum*, aos 68 meses de idade, em Rive, Alegre, ES

Em geral, o teor de carbono orgânico do solo observado decresce com a profundidade. Isso ocorre devido à decomposição da matéria orgânica ocorrer na camada superficial do solo. Para o presente estudo o teor máximo de carbono orgânico do solo foi de 2,31%, encontrado na camada superficial do solo, e o valor mínimo de 0,96%, obtido na camada de 10-20 cm de solo.

Para todas as camadas estudadas não houve diferença significativa na concentração de carbono orgânico do solo ( $p > 0,05$ ). Em todos os espaçamentos de plantio, foram observadas concentrações de C semelhantes em todas as camadas avaliadas (Figura 10). Em povoamentos em áreas com presença de gramínea no piso florestal, a literatura atribui a maior parte do C armazenado no solo à gramínea (FUJISAKA et al., 1998; LAL, 2002). Devido a presença de gramínea em todo sistema de plantio incluindo todos os diferentes espaçamentos, o tempo de plantio e as diferentes densidades de árvores pode não ter influenciado na concentração de carbono orgânico no solo, devido ao elevado aporte de material vegetal comumente proporcionado pelas pastagens (DIEKOW et al., 2005).

Quanto a densidade do solo, nota-se que aos 68 meses de idade, diferentes espaçamentos de plantio não proporcionaram alterações significativas nesta propriedade física em todas as camadas de solo estudadas. A densidade média na camada de 0-5 cm foi de  $1,26 \pm 0,07$ , na camada de 5-10 cm de  $1,28 \pm 0,10$  e na camada de 10-20 cm de  $1,31 \pm 0,10$ . Entretanto, notou-se que a densidade de solo variou entre os blocos de plantio, sendo este fato, considerado para o cálculo do estoque de carbono do solo, no qual foi realizado com a densidade média de cada bloco.

Quando se avalia os espaçamentos de plantio aos 68 meses de idade, nota-se que as diferentes densidades de árvores não afetam o estoque de carbono orgânico do solo nas três camadas analisadas, ( $p > 0,05$ ) (Tabela 18). A grande presença de gramínea em todos espaçamentos e a pouca idade do povoamento podem explicar a não alteração nos estoques de carbono do solo.

Tabela 18 - Estoque de carbono no solo com os espaçamentos em árvores de *S. parayba* var. *amazonicum* aos 68 meses de idade, em Rive, Alegre, ES

Espaçamento	Estoque de carbono no solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )			
	0-5	5-10	10-20	0-20
3 x 2 m	9,54 a	8,06 a	15,34 a	32,95 a
3 x 3 m	11,11 a	9,41 a	18,09 a	38,61 a
4 x 3 m	10,96 a	9,31 a	15,88 a	36,16 a
4 x 4 m	10,36 a	9,09 a	14,92 a	34,37 a
5 x 5 m	10,24 a	7,90 a	13,99 a	32,13 a
Média	10,44	8,76	15,64	34,84
CV (%)	16,96	12,87	12,48	10,39

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de significância pelo teste F

A média geral para estoque de carbono orgânico no perfil total estudado (0-20 cm) foi de  $34,84 \text{ Mg ha}^{-1}$ . O valor encontrado neste estudo corrobora com estudos em ambientes nativos com  $38,87 \text{ Mg ha}^{-1}$  na Floresta estacional semidecidual (CARDOSO et al., 2010) e  $37,89$  no Cerrado (D'ANDREA et al., 2004). Além disso, o valor é próximo aos cultivos de *Brachiaria decumbens*, plantio direto com milho e plantio convencional de longa duração, nos quais estocam  $40,61$ ,  $40,16$  e  $34,06 \text{ Mg ha}^{-1}$  de carbono orgânico na camada de 0-20 cm de solo, respectivamente (D'ANDREA et al., 2004).

O maior estoque de carbono no solo foi encontrado na camada superficial avaliada (0-5 cm). Isso é decorrente da maior concentração de raízes finas na camada superior do solo que por meio da sua decomposição no processo de renovação radicular adiciona carbono ao solo, considerando tanto as raízes de *Brachiaria sp.* e *S. parayba var. amazonicum*. Além disso, a camada superficial do solo recebe o aporte de material orgânico, tais como galhos e folhas, que ao decomporem adicionam carbono ao solo.

Apesar de não ter havido diferenças no estoque de carbono, o menor espaçamento de plantio apresentou uma tendência em armazenar menos carbono orgânico no solo, na primeira camada de estudo. Esta tendência pode ser devido ao menor crescimento da *Brachiaria sp.* na maior densidade de plantio, devido ao maior sombreamento e competição proporcionado pelo componente arbóreo do sistema. Essa observação se aplica pelo fato da gramínea fornecer grande parte do carbono orgânico do solo quando presentes no piso florestal (LAL, 2002).

A biomassa foliar de *S. parayba var. amazonicum* foi significativamente maior no espaçamento 3 m x 2 m e não diferiu dos espaçamentos 3 m x 3 m e 4 m x 4 m. Com isso, o provável maior sombreamento nos espaçamentos mais adensados contribuem para a menor produção da *Brachiaria sp.* e conseqüentemente menor estoque de carbono na camada superficial do solo. Estudo de Dias-Filho (2000) comprova que na medida que o povoamento florestal se desenvolve e ocorre o aumento da área de solo coberta pela copa das árvores, a gramínea tende a diminuir a produção de biomassa. Com o sombreamento, a gramínea reduz gradativamente a sua atividade fotossintética e a partir daí inicia-se um processo de senescência.

Os padrões de carbono orgânico do solo apresentados aqui podem contribuir para o entendimento da ciclagem biogeoquímica dos ecossistemas onde houve implantação de árvores em ambiente com predominância de gramínea. Até a profundidade estudada (0-20 cm) o solo armazena uma grande quantidade de carbono, levantando questões importantes sobre a mudança de uso do solo e seus impactos no contexto das mudanças climáticas. Mudanças no tipo de vegetação também podem desempenhar um papel importante. A introdução de vegetação com raízes profundas (*S. parayba var. amazonicum*) em sistemas de raízes rasas (*Brachiaria sp.*) pode aumentar o armazenamento de carbono orgânico do solo, especialmente em camadas mais profundas, atuando como um potencial estoque de carbono por longos períodos de tempo.

#### 4.6.1 Mudanças no estoque de carbono do solo após a introdução das árvores

As médias de estoque de carbono no solo para a profundidade de 0-20 cm foram estatisticamente iguais para o bloco 1 de plantio ( $p > 0,05$ ) e estatisticamente diferentes para os blocos 2 e 3 ( $p < 0,05$ ), para as amostras coletadas antes (9 meses antes do plantio) e após a implantação do povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum* (68 meses de idade) de acordo com o teste t-pareado (Tabela 19).

Tabela 19 - Estoque de carbono no solo, para a profundidade 0-20 cm, antes e após a implantação do povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum*, em Rive, Alegre, ES

Bloco	Estoque de carbono orgânico do solo (Mg ha <sup>-1</sup> )	
	Antes	Depois
B1	24,35 a	25,31 a
B2	28,06 a	15,11 b
B3	34,73 a	17,97 b
Média	29,05	19,46

\* Médias seguidas de letras diferentes na linha são diferentes estatisticamente entre si ( $p < 0,05$ ) pelo teste t-pareado.

No período avaliado neste estudo, após a implantação das árvores de *S. parayba* var. *amazonicum* em diferentes espaçamentos, o teor de carbono decresceu em aproximadamente 30,1%, na camada de 0-20 cm. O bloco 1 de plantio foi o único que não houve diferença no carbono estocado na camada de 0-20 cm, após 68 meses do plantio.

A redução do carbono armazenado na camada de 0-20 cm do solo, em parte pode ser explicada pela redução da densidade básica do solo, utilizada para o cálculo do estoque de carbono orgânico (Equação 8). Sendo que, nove meses antes da implantação do povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum* foi avaliado as densidades de 1,50 g cm<sup>-3</sup>, 1,60 g cm<sup>-3</sup> e 1,53 g cm<sup>-3</sup> para os blocos 1, 2 e 3, respectivamente. Entretanto, aos 68 meses do povoamento implantado, as densidades básicas amostradas foram de 1,29 g cm<sup>-3</sup>, 1,36 g cm<sup>-3</sup> e 1,19 g cm<sup>-3</sup> para os blocos 1, 2 e 3, respectivamente.

O sistema radicular da árvore quando se desenvolve pode promover a desagregação das partículas pela exploração de novas camadas de solo, o que pode levar à diminuição da densidade do solo. Além disso, com o desenvolvimento do sistema radicular ocorre a maior exsudação de compostos no solo, que favorece a atividade microbiana, promovendo a decomposição e a mineralização mais rápida da matéria orgânica (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

O estoque de carbono orgânico do solo pode se alterar após a mudança do uso da terra (MATOS et al., 2011). Estes autores avaliaram os estoques de C, e as frações orgânicas de C em solos sob terra constantemente arada e sistema silvipastoril; e após 4 anos de conversão do sistema silvipastoril em terras aradas e conversão do sistema silvipastoril para pastagem. Após 4 anos de conversão, tanto a área arada quanto a pastagens convertidas apresentou estoques de C semelhantes aos observados para o sistema silvipastoril, quando a profundidade de 0-20 cm foi considerada.

Para uma melhor compreensão das alterações no estoque de carbono do solo em função da conversão da área anteriormente dominada por pastagem para um sistema com árvores de *S. parayba* var. *amazonicum*, a análise de abundância natural dos isótopos de carbono se fez necessária. A média geral do valor de  $\delta^{13}\text{C}$  na pastagem aberta foi de -16,49‰, considerando o terço superior, médio e inferior. Este valor foi significativamente maior ( $p < 0,05$ ) que o valor obtido para o sistema com *S. parayba* var. *amazonicum* e gramínea, considerando a média geral de -20,27‰ (Tabela 20).

Tabela 20 - Abundância isotópica natural do  $^{13}\text{C}$  do solo da pastagem e do solo do povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum*, aos 68 meses após a implantação e até 20 cm de profundidade, em Rive, Alegre, ES

Profundidade	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
	<i>S. parayba</i> var. <i>amazonicum</i>	Pastagem aberta
0-5	-20,28 b	-15,65 a
5-10	-20,02 b	-16,35 a
10-20	-20,50 b	-17,47 a

Médias seguidas de letras diferentes na linha são diferentes estatisticamente entre si ( $p < 0,05$ ) pelo teste t-pareado.

Em geral, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  do solo no sistema com árvores demonstraram sinais de participação da planta C3 (*S. parayba* var. *amazonicum*), com valores variando de -20,02 ‰ a -20,50‰ em todas as profundidades (Tabela 22). Os valores

de  $\delta^{13}\text{C}$  do solo tiveram um valor máximo de 15,65‰ na superfície (0-5 cm) na pastagem aberta e um valor mínimo de -20,50‰ no perfil mais profundo do solo com árvores implantados em pastagem dominante.

O valor de  $\delta^{13}\text{C}$  para a amostra composta de serapilheira foliar de *S. parayba* var. *amazonicum* ( $\delta_T$ ) medido neste estudo foi de -29,5‰. Os valores encontrados neste estudo estão similares aos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  relatados na literatura para uma amostra composta de partes de plantas C3 (CASPERSEN, 2000; HAILE; NAIR; NAIR, 2010; PRASOLOVA et al., 2003; SILVEIRA et al., 2014). A faixa de valores de  $\delta^{13}\text{C}$  das plantas terrestres em condições naturais está entre -9‰. e -19‰. para plantas C4 e -20‰. a -35‰. para plantas C3 (BIEDENBENDER et al., 2004; STADDON, 2004). O valor de  $\delta^{13}\text{C}$  para a *Brachiaria* sp. medido neste estudo também foi muito próximo do valor  $\delta^{13}\text{C}$  de -12,9‰, relatado por Haile, Nair e Nair (2010). O valor de  $\delta^{13}\text{C}$  das amostras compostas de *Brachiaria* sp. ( $\delta_G$ ) neste estudo foi de -13,9‰.

Embora os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  medidos no solo do sistema com o *S. parayba* var. *amazonicum* neste estudo (em média -20,27‰) estivessem dentro da faixa geral de valores para plantas terrestres C3, como dado em literaturas, eles foram maiores que o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  (-29,5‰) para a amostra composta de *S. parayba* var. *amazonicum*. É correto afirmar que o aumento nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  tenha sido causado pelo aporte de carbono orgânico do solo pela *Brachiaria* sp. (C4) que compõe o sistema. Entretanto, como o histórico de uso da área mostra que a *Brachiaria* sp. é cultivada por décadas na região de implantação das árvores, é plausível que as árvores contribuam para a formação do carbono orgânico do solo.

A principal fonte de entrada de C no solo é geralmente a biomassa das raízes, que é transformada em carbono orgânico do solo por microorganismos. Comparadas com as árvores, as espécies de gramíneas geralmente desenvolvem sistemas radiculares superficiais ou, alternativamente, alocam a principal biomassa das raízes às camadas mais superficiais do solo (HAILE; NAIR; NAIR, 2010). Entretanto, neste estudo a variação entre as camadas de solo não foi significativa, provavelmente devido à baixa profundidade de coleta.

O tempo de residência do carbono orgânico do solo é menor em camadas superficiais do solo quando comparadas às camadas em profundidades maiores, ou seja, a decomposição carbono do solo é relativamente mais rápida na camada superficial do solo (YANG et al., 2009). Estudos de radiocarbono também indicam que a idade média do carbono orgânico do solo aumenta com a profundidade do perfil (BALESDENT; MARIOTTIT; D., 1990). O carbono orgânico do solo na camada

superficial deve ser composto por material orgânico recém depositado na superfície do solo. Assim, parte deste carbono orgânico do solo avaliando neste estudo, pode ser considerado como advindo do componente arbóreo (plantas C3) recém implantadas na pastagem.

Wynn e Bird (2007) verificaram que o carbono orgânico do solo derivado das plantas C4 ciclam mais rapidamente que o carbono orgânico do solo derivado de plantas C3 em solos com cultivo misto entre gramíneas e árvores. Isto implica que a rápida presença de carbono orgânico do solo derivado de C3 no sistema com histórico de predominância de gramínea pode também ser um resultado de menor taxa de decomposição de carbono orgânico do solo derivado de plantas C3 e não apenas de seu maior incremento ao solo.

O solo sob a pastagem aberta, sem implantação de árvores obteve  $\delta^{13}\text{C}$  média igual a  $-16,49\text{‰}$ , sendo este valor menos negativo do que o apresentado pelo solo sob o povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum*,  $\delta^{13}\text{C}$  médio =  $-20,27\text{‰}$  (Tabela 22). Esse resultado indica que na área da pastagem a composição da MOS é influenciada pela gramínea (C4), enquanto que na área sob o povoamento florestal, aos 68 meses após o plantio, uma fração da MOS inicial foi substituída pelo carbono oriundo das árvores plantadas.

Nos dois locais avaliados e em todas as profundidades o carbono derivado da planta C4 (*Brachiaria* sp.) foi maior. Em termos quantitativos, a contribuição das árvores de *S. parayba* var. *amazonicum* no estoque de carbono do solo variou de 39,14 a 42,25% (média 40,73%). Assim a pastagem contribuiu entre 57,75 a 60,86% (média 59,26%) (Figura 11).

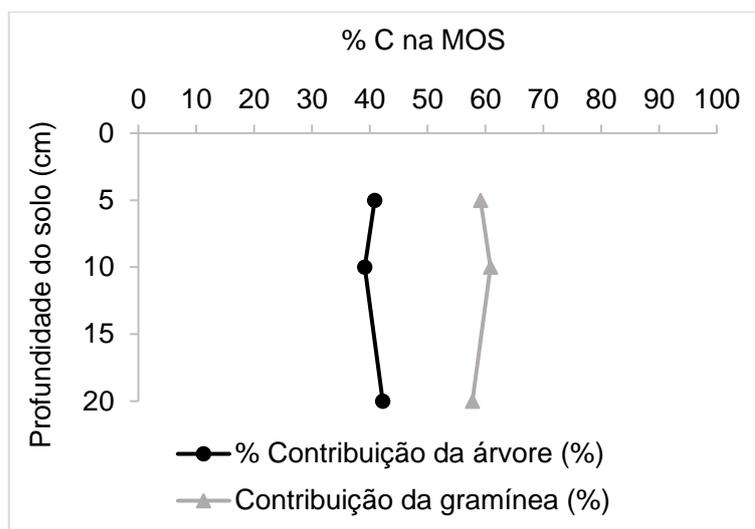


Figura 11 - Participação relativa das árvores de *S. parayba* var. *amazonicum* e da pastagem na matéria orgânica do solo, em Rive, Alegre, ES

O solo sob as árvores de *S. parayba* var. *amazonicum* estocam em média 34,85 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono na camada de 0-20 cm de solo. Considerando que contribuição média no carbono orgânico do solo das árvores de *S. parayba* var. *amazonicum* é de 40,73%, as árvores implantadas no sistema de pastagem fornecem cerca de 14,2 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono no solo. Estes valores corroboram com o estudo realizado por Salimoni, Wadtii e Melo (2007), no qual encontraram participação das árvores na formação da matéria orgânica do solo próximo a 50%.

Devido ao pouco tempo de inserção das árvores na pastagem, a porcentagem de carbono derivada das árvores de *S. parayba* var. *amazonicum* foi menor em relação ao carbono proveniente das plantas C4 (*Brachiaria* sp.). Entretanto, aos 68 meses de idade percebe-se a participação do componente arbóreo no fornecimento de matéria orgânica do solo, sendo um fator importante para manutenção das propriedades físicas e químicas do solo.

As informações apresentadas no presente estudo, combinado com uma melhor compreensão de como o carbono orgânico do solo se comportam com profundidade, pode auxiliar na construção e melhoraria dos modelos de carbono do solo, nos ajudar a entender as consequências da mudança de vegetação e melhorar as estratégias eficientes de uso da terra e manejo da vegetação para maximizar a manutenção do carbono orgânico no solo.

#### 4.7 Biomassa e estoque de carbono total no povoamento

O estoque total de carbono estimado no povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum*, considerando a biomassa acima do solo, abaixo do solo e o solo, foi de 49,78 Mg ha<sup>-1</sup>. O solo no sistema avaliado estoca aproximadamente 70% do carbono total, considerando apenas a camada de 0-20 cm de profundidade, enquanto que a parte aérea das árvores contribuiu com 28,9% (Tabela 21).

Tabela 21 - Estoque total de carbono (Mg), considerando a parte aérea das árvores de *S. parayba* var. *amazonicum* e o solo do povoamento, em Rive, Alegre, ES

	Parte aérea*	Raiz**	Solo***	Total
Carbono (Mg)	97,00 (14,37)	8,62 (3,83)	235,19 (34,84)	336,02 (49,78)
CO <sub>2eq</sub> (Mg)	355,66 (52,69)	31,60 (14,04)	862,38 (127,76)	1232,09 (182,53)
CV (%)	40,57	35,61	10,76	

\* = 56 meses de idade, \*\* = estimativa realizada apenas para o Bloco 3 do estudo (1/3 da área total) \*\*\* = 68 meses após implantação do povoamento, CO<sub>2eq</sub> = carbono equivalente, CV (%) = coeficiente de variação. Valores entre parênteses referem-se ao estoque de carbono em Mg ha<sup>-1</sup>.

Fonte: o autor.

As árvores de *S. parayba* var. *amazonicum* apresentaram incremento anual de carbono de aproximadamente 3,8 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, até os 56 meses de idade. No estudo realizado por (NETO et al., 2017) foi estimado incremento de 3,124 MgC ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, para um sistema silvipastoril, (eucalipto + capim braquiária/gado), menor em relação à do presente trabalho. Valores próximos ao desta pesquisa foram observados em dois sistemas silvipastoris no município de Alegrete, RS, no qual Oliveira et al. (2008) estimou um incremento de carbono para um sistema silvipastoril com eucalipto, com densidade de 500 e 1.000 árvores por hectare, de 3,40 Mg e 3,82 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de carbono.

Segundo o IPCC (2006) a conversão do estoque de carbono em um dado ecossistema em CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2e</sub>) pode ser realizada multiplicando-se o total de carbono pelo fator 3,6667, que corresponde à razão entre o peso molecular do CO<sub>2</sub> e o peso atômico do carbono, ou seja, 44/12. Com isso, obtém-se a possibilidade de inserção no mercado voluntário de créditos de carbono, na forma de Redução Certificada de Emissão (CER), prevista no Protocolo de Kyoto.

As árvores de *S. parayba* var. *amazonicum* estocam na parte aérea 355,66 Mg de CO<sub>2</sub>. Levando-se em consideração o preço de U\$ 10,00 por tonelada de carbono

estocado (PAIXÃO et al., 2006) e a estimativa do total de carbono estocado por hectare ( $52,67 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), obteria-se uma receita de US\$ 526,70 por hectare ou US\$  $112,86 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . O valor encontrado neste estudo é inferior ao encontrado por Paixão et al. (2006), no qual encontraram receita de US\$ 711,30 por hectare em povoamento de eucalipto com 72 meses de idade.

O valor encontrado para o mercado de carbono no presente estudo pode não ser suficiente para viabilizar economicamente o plantio de *S. parayba* var. *amazonicum* visando apenas o mercado de crédito de carbono. Assim, medidas tais como a redução do custo de implantação e o aumento da receita total com produto de origem florestal e animal pode tornar o sistema de plantio na pastagem mais atrativos economicamente (PAIXÃO et al., 2006). Entretanto, estudos específicos que objetivam quantificar o estoque de madeira para outros usos e avaliar economicamente diferentes alternativas de manejo, considerando-se o uso da madeira para carvão e serraria e o potencial para geração de créditos de carbono presente na floresta são necessários para maior entendimento sobre viabilidade econômico do plantio em questão.

Quando se considera o sistema de plantio por completo o solo foi o que estocou a maior quantidade de carbono, considerando a camada de 0-20 cm, seguido pela parte aérea e depois pelas raízes. Esta ordem decrescente de participação dos componentes do sistema no estoque de carbono é comum de ser encontrada (CHEN et al., 2015; HAILE; NAIR; NAIR, 2010; MASS, 2015). O estoque de carbono do solo, segundo Swift (2001) contém mais carbono do que as quantidades totais combinadas da vegetação e da atmosfera, sendo conseqüentemente, um importante reservatório de carbono e o principal componente do ciclo desse elemento no ecossistema terrestre.

Considerando apenas a árvore de *S. parayba* var. *amazonicum*, a parte aérea estoca o correspondente à 73,35% do carbono presente na biomassa. Assim as raízes possuem cerca de 26,65% do carbono presente nas árvores desta espécie (Figura 12). Com relação ao carbono estocado na parte aérea/raiz, de forma semelhante ao presente estudo, Torres et al. (2013) encontraram 84,10% do carbono contidos na parte aérea e 15,90% nas raízes das espécies, para um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual. Paixão et al. (2006) também encontraram resultados semelhantes ao desse estudo para uma plantação de eucalipto com seis anos de idade, sendo 67,06% do carbono estavam estocados na parte aérea das árvores e 20,68% nas raízes.

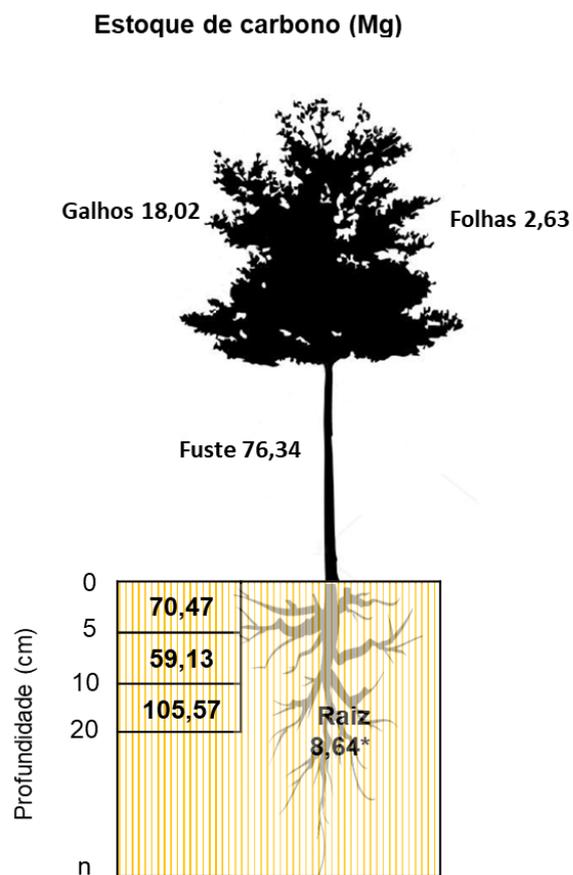


Figura 12 – Estoque de carbono mensurado no povoamento de *S. parayba* var. *amazonicum*, em Rive, Alegre, ES

## 5 CONCLUSÕES

Os maiores teores de carbono na biomassa foram encontrados nos compartimentos cascas, galhos e folhas, e o menor teor de carbono encontrado no fuste de *S. parayba* var. *amazonicum*.

Os diferentes espaçamentos de plantio não influenciaram os teores de carbono na madeira, entretanto, árvores de *S. parayba* var. *amazonicum* plantadas em maiores espaçamentos possuem densidade básica da madeira maior. A posição axial no fuste afetou os teores de carbono e a densidade, sendo que os valores decrescem no sentido base-ponta da árvore.

Devido a maior densidade de plantio, os espaçamentos menores foram responsáveis pelos maiores valores de biomassa e estoque de carbono acima e abaixo do solo para o povoamento, inclusive para os componentes: fuste, folhas e casca, separadamente.

Os teores de carbono orgânico do solo diminuem com a profundidade, sendo que, aos 68 meses de idade, os espaçamentos de plantio não alteraram os estoques de carbono orgânico do solo.

O estudo destaca a rápida mudança na origem do carbono do solo após a conversão da pastagem não manejada para plantios florestais, tendo em média 40,73% do carbono orgânico do solo derivado das árvores.

A espécie *Schizolobium parayba* var. *amazonicum*, apesar da baixa densidade básica, possui crescimento elevado e crescimento monopodial, por isso mostrou-se promissora na estocagem de carbono e utilização com a pastagem. Entretanto, devido ao mercado limitado desta madeira na região sudeste do Brasil e sua arquitetura de copa, recomenda-se o consórcio com outras culturas de ciclo anual ou com pastagens para se ter viabilidade de implantação.

## 6. REFERÊNCIAS

- ACKER, S. A et al. Trends in bole biomass accumulation, net primary production and tree mortality in *Pseudotsuga menziesii* forests of contrasting age. **Tree Physiology**, v. 22, p. 213–217, 2002.
- ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVINO-RAYOL, F. O.; ROSA, L. S.; RAYOL, B. P. Efeito do espaçamento e do uso de leguminosas de cobertura no manejo de plantas invasoras em reflorestamento de *Schizolobium amazonicum* Huber Ex . Ducke. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 391–399, 2011.
- ANTONY, F. et al. Modeling the effect of initial planting density on within tree variation of stiffness in loblolly pine. **Annals of Forest Science**, v. 69, n. 5, p. 641–650, 2012.
- AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. J. M. Metodologia para Estimar o Estoque de Carbono em Diferentes Sistemas de Uso da Terra. **Embrapa**, p. 1–38, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941: **madeira: determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003. 6 p
- BALESDENT, J.; MARIOTTI, A. Measurement of soil organic matter turnover using <sup>13</sup>C natural abundance. 1996.
- BALESDENT, J.; MARIOTTI, A.; D., B. Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from <sup>13</sup>C abundance in maize fields. **Journal of Soil Science**, v. 41, p. 587–596, 1990.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. D. N. **Experimentação Agrícola**. Jaboticabal-SP: FUNEP, 1989.
- BĀRDULIS, A. et al. Above ground and below ground biomass in grey alder *Alnus incana* (L.) Moench. young stands on agricultural land in central part of Latvia. **Agronomy Research**, v. 13, n. 2, p. 277–286, 2015.
- BEEDY, T. L. et al. Allometric equations for estimating above-ground biomass and carbon stock in *Faidherbia albida* under contrasting management in Malawi. **Agroforestry Systems**, n. 1999, 2015.
- BENOMAR, L.; DESROCHERS, A.; LAROCQUE, G. R. The effects of spacing on growth , morphology and biomass production and allocation in two hybrid poplar clones growing in the boreal region of Canada. **Trees**, p. 939–949, 2012.
- BERNARDO, A. L. et al. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 104, n. 1–3, p. 1–13, 1998.
- BERT, D.; DANJON, F. Carbon concentration variations in the roots, stem and crown of mature *Pinus pinaster* (Ait.). **Forest Ecology and Management**, v. 222, n. 1–3, p. 279–295, 2006.
- BIEDENBENDER, S. H. et al. Landscape patterns of vegetation change indicated by soil carbon isotope composition. *Geoderma*, v. 119, p. 69–83, 2004.
- BOHM, W. **Methods of studying roots system**. New York: Springer Verlag, 1979. 188 p.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw, *E. saligna* Smith e *E. grandis* Hill Ex-Maiden aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. **Dados**, v. 2, n. 3, p. 129–149, 1971.

BROWN, S.; LUGO, A. E. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle the storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. **Biotropica**, v. 14, n. 3, p. 161–187, 1982.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Biomassa e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 1027–1034, 2015.

CARDOSO, D. J. et al. Influence of spacing regimes on the development of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in Southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 310, n. 8, p. 761–769, 2013.

CARDOSO, E. L. et al. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p. 1028–1035, 2010.

CAREY, E. V. et al. Are old forests underestimated as global carbon sinks? **Global Change Biology**, v. 7, n. 4, p. 339–344, 2001.

CARVALHO, C. J. R. DE. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [*S. parahyba* var. *amazonicum*] e *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 907–914, 2005.

CASPERSEN, J. P. Contributions of Land-Use History to Carbon Accumulation in U.S. Forests. **Science**, v. 290, n. 5494, p. 1148–1151, 2000.

CASTAÑO-SANTAMARÍA, J.; BRAVO, F. Variation in carbon concentration and basic density along stems of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) and *Pyrenean oak* (*Quercus pyrenaica* Willd.) in the Cantabrian Range (NW Spain). **Annals of Forest Science**, v. 69, n. 6, p. 663–672, 2012.

CHAPIN, F. S.; MATSON, P. A; MOONEY, H. A. **Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology**. 2012.

CHEN, Y. et al. Carbon storage and allocation pattern in plant biomass among different forest plantation stands in guangdong, China. **Forests**, v. 6, n. 3, p. 794–808, 2015.

CLARK, D. A et al. Measuring net primary production in forest concepts and field methods. **Ecological Applications**, v. 11, n. 2, p. 356–370, 2001.

COELHO, A. L. N. et al. Mapeamento geomorfológico do estado do Espírito Santo (Nota Técnica 28). **Nota técnica**, p. 21, 2012.

CONTI, G. et al. Altered soil carbon dynamics under different land-use regimes in subtropical seasonally-dry forests of central Argentina. **Plant and Soil**, n. 8, p. 1–13, 2016.

CORDEIRO, I. M. C. C. et al. INDUÇÃO DE CALOS IN VITRO DE PARICÁ Indução de calos in vitro de paricá... (*Schizolobium amazonicum* HUBER EX DUCKE). **Plant Cell Culture & Micropropagation**, v. 3, n. 1, p. 1–54, 2007.

CORDEIRO, I. M. C. C. et al. Avaliação de plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby de diferentes idades e sistemas de cultivo no município de aurora do Pará - PA (BRASIL). **Ciência**

**Florestal**, v. 25, n. 3, p. 679–687, 2015.

D'ANDREA, A. F. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 179–186, 2004.

DALAL, R. C.; THORNTON, C. M.; COWIE, B. A. Turnover of organic carbon and nitrogen in soil assessed from <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N changes under pasture and cropping practices and estimates of greenhouse gas emissions. **Science of the Total Environment**, v. 465, n. August 2016, p. 26–35, 2013.

DALLAGNOL, F. S. et al. Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 410–416, 2011.

DAS, D.; CHATURVEDI, O. P. Root biomass and distribution of five agroforestry tree species. **Agroforestry Systems**, v. 74, p. 222–230, 2008.

DE LUCIA, E. H. et al. Forest carbon use efficiency: Is respiration a constant fraction of gross primary production? **Global Change Biology**, v. 13, n. 6, p. 1157–1167, 2007.

DEL AMO, R. S.; RAMOS, P. J. Use and management of secondary vegetation in a humid-tropical area. **Agroforestry Systems**, v. 21, n. 1, p. 27–42, 1993.

DHYANI, S. K.; TRIPATHI, R. S. Biomass and production of fine and coarse roots of trees under agrisilvicultural practices in north-east India. **Agroforestry Systems**, v. 50, p. 107–121, 2000.

DIAS-FILHO, M. B. Growth and biomass allocation of the grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 35, n. 12, p. 2335–2341, 2000.

DIEKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilisation. **Plant and Soil**, v. 268, p. 319–328, 2005.

ECO. **C-144 Carbon Determinator**. Specification Sheet 209-134-003. LECO Corporation, 2008. 2 p.

EHLERINGER, J. R.; BUCHMANN, N.; FLANAGAN, L. B. Carbon isotope ratios in belowground carbon cycle processes. **Ecological Applications**, v. 10, n. 2, p. 412–422, 2000.

EKOUNGOULOU, R. et al. Evaluating the carbon stock in above-and below-ground biomass in a moist central african forest " Evaluating the carbon stock in above-and below-ground biomass in a moist central african. **Applied Ecology and Environmental Sciences**, v. 3, n. 2, p. 51–59, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. Dados eletrônicos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

- ERKAN, N.; AYDIN, A. C. Effects of spacing on early growth rate and carbon sequestration in *Pinus brutia* Ten. plantations. **Forest Systems**, v. 25, n. 2, p. e064, 2016.
- FANG, S.; XUE, J.; TANG, L. Biomass production and carbon sequestration potential in poplar plantations with different management patterns. **Journal of Environmental Management**, v. 85, n. 3, p. 672–679, 2007.
- FIELD, C.B., et al., 2014. IPCC, 2014: **Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. In: Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- FORSTER, H. W.; MELO, A. C. G. Biomassa aérea e de raízes em árvores de reflorestamentos heterogêneos no Vale do Paranapanema, SP. **IF Série Registros**, 2007.
- FREITAS, J. F. B. DE. **Estoques e fluxos de carbono em plantações florestais jovens de *Acacia mangium* e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* na Amazônia Oriental**. Dissertação. 97f. 2010.
- FUJISAKA, S. et al. The effects of forest conversion on annual crops and pastures : Estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. **Ecosystems and Environment**, v. 69, p. 17–26, 1998.
- GIFFORD, R. M. National carbon accounting system technical report nº. 22 Carbon Contents of Above-Ground Tissues of Forest and Woodland Trees. **Australian Greenhouse Office**, p. 24 pp., 2000.
- GIRI, N.; RAWAT, L. Assessment of biomass carbon stock in an *Ailanthus excelsa* Roxb. plantation Uttarakhand, India. **Journal of Ecology and the Natural Environment**, v. 5, n. 11, p. 352–359, 2013.
- GIRI, N.; RAWAT, L.; KUMAR, P. Assessment of Biomass Carbon Stock in a *Tectona Grandis* Linn F . Plantation Ecosystem of Uttarakhand , India. **Forest Ecology and Environment Division**, v. 3, n. 5, p. 46–53, 2014.
- GOMES, L. DE C. et al. Trees modify the dynamics of soil CO<sub>2</sub> efflux in coffee agroforestry systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 224, n. 8, p. 30–39, 2016.
- HAILE, S. G.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D. Carbon storage of different soil-size fractions in florida silvopastoral systems. **Journal of Environment Quality**, v. 37, n. 5, p. 1789, 2008.
- HAILE, S. G.; NAIR, V. D.; NAIR, P. K. R. Contribution of trees to carbon storage in soils of silvopastoral systems in Florida, USA. **Global Change Biology**, v. 16, n. 1, p. 427–438, 2010.
- HARMON, M. E.; FERRELL, W. K.; FRANKLIN, J. F. Effects on carbon storage of conversion of old-growth forests to young forests. **Science** (New York, N.Y.), v. 247, n. 4943, p. 699–702, 1990.
- HASE, H.; FOELSTER, H. Impact of plantation forestry with teak (*Tectona grandis*) on the nutrient status of young alluvial soils in West Venezuela. **Forest Ecology and Management**, v. 6, n. 1, p. 33–57, 1983.
- HUNTER, I. Above ground biomass and nutrient uptake of three tree species (*Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* and *Dalbergia sissoo*) as affected by

irrigation and fertiliser, at 3 years of age, in southern India. **Forest Ecology and Management**, v. 144, n. 1–3, p. 189–199, 2001.

IBÁ (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES). Relatório 2017. 2016. 100 p. Disponível em: [https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf). Acesso em: 10 nov. 2017

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 271p. 2012.

INOUE, M. T.; FILHO, A. F.; LIMA, R. Influência do espaço vital de crescimento na altura e diâmetro de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 39, n. 91, p. 377–385, 2011.

IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Agriculture, Forestry and other land use, v. 4, n. 2, p. 4.1-4.83, 2006.

JOBÁGY, E. G.; JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. **Ecological Applications**, v. 10, n. 2, p. 423–436, 2000.

KEITH, H. et al. Accounting for biomass carbon stock change due to wildfire in temperate forest landscapes in Australia. **PLoS ONE**, v. 9, n. 9, 2014.

KERR, G. Effects of spacing on the early growth of planted *Fraxinus excelsior* L. canadian journal of forest research-revue canadienne de recherche forestiere, v. 33, n. 7, p. 1196–1207, 2003.

KIRBY, K. R.; POTVIN, C. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. **Forest Ecology and Management**, v. 246, n. 2–3, p. 208–221, 2007.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Influência do manejo do solo na infiltração de água. **REMOA**, v. 13, n. 5, p. 3915–3925, 2014.

KRAENZEL, M. et al. Carbon storage of harvest-age teak (*Tectona grandis*) plantations, Panama. **Forest Ecology and Management**, v. 173, n. 1–3, p. 213–225, 2003.

LACERDA, J. S. DE et al. Estimativa da biomassa e estoque de carbono em áreas de nativas da Aracruz. **Emendabis Mensvram Silvarvm**, v. 5, p. 1–23, 2009.

LACLAU, P. Root biomass and carbon storage of ponderosa pine in a northwest Patagonia plantation. **Forest Ecology and Management**, v. 173, n. 1–3, p. 353–360, 2003.

LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 353–362, 2002.

LAMEIRA, O. A. et al. Efeito da escarificação sobre a germinação de sementes de Paricá (*Schizolobium amazonicum*) in vitro. **Comunicado técnico**. 2000.

LAMLON, S. H.; SAVIDGE, R. A. A reassessment of carbon content in wood: Variation within and between 41 North American species. **Biomass and Bioenergy**, v. 25, n. 4, p. 381–388, 2003.

LEITE, F. P. et al. Nutrient relations during as Eucalyptus cycle at different populations densities. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 949–959, 2011.

LI, D.; NIU, S.; LUO, Y. Global patterns of the dynamics of soil carbon and nitrogen stocks following afforestation: a meta-analysis. **New Phytol**, v. 195, n. 1, p. 172–181, 2012.

- LI, Y. et al. Canopy interception loss in a *Pinus sylvestris* var. *mongolica* forest of Northeast China. **Journal of Arid Land**, v. 7, n. 6, p. 831–840, 2015.
- LIMA, I. L. DE; FLORSHEIM, S. M. B.; LONGUI, E. L. INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO EM ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE *Tectona grandis* Linn. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 244–250, 2009.
- LIMA, S. F. DE et al. Comportamento do paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb.) submetido à aplicação de doses de boro. **Cerne**, v. 9, n. 2, p. 192–204, 2003.
- LIMA, R. et al. Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 2, p. 223–230, 2013.
- LUYSSAERT, S. et al. Old-growth forests as global carbon sinks. **Nature**, v. 455, n. 7210, p. 213–215, 2008.
- MACHADO, D. N. et al. Enriquecimento e alocação de <sup>13</sup>C em plantas de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 857-866, 2011
- MALHI, Y. et al. Comprehensive assessment of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. **Global Change Biology**, v. 15, n. 5, p. 1255–1274, 2009.
- MALLIK, A. U.; HOSSAIN, M. K.; LAMB, E. G. Species and spacing effects of northern conifers on forest productivity and soil chemistry in a 50-year-old common garden experiment. **Forest Ecology**, p. 83–90, 2008.
- MALLQUE, M.A.; KIKATA, Y. **Atlas of Peruvian Woods: National Agrarian University La Molina – Peru e Nagoya**. Niigata : University Japan, 1994.
- MARCATI, C. R.; MILANEZ, C. R. D.; MACHADO, S. R. Seasonal development of secondary xylem and phloem in *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Leguminosae: Caesalpinioideae). **Trees - Structure and Function**, v. 22, n. 1, p. 3–12, 2008.
- MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. DE. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 35, p. 1177–1182, 2000.
- MARQUES, L. C. T.; YARED, J. A. G.; SIVIERO, M.A. **A evolução do conhecimento sobre o paricá para reflorestamento no Estado do Pará**. Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 5 p. (Comunicado Técnico, 158).
- MAAS, G. C. B. **Compartimentação do estoque de carbono em Floresta Ombrófila Mista**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 2015, 169 f.
- MATHEWS, G. The carbon content of trees. Forestry Commission Technical Paper 4. p. 21, 1993.
- MATOS, E. S. et al. Carbon, nitrogen and organic C fractions in topsoil affected by conversion from silvopastoral to different land use systems. **Agroforestry Systems**, v. 81, n. 3, p. 203–211, 2011.
- MEKONNEN, K.; BURESH, R. J.; JAMA, B. Root and inorganic nitrogen distributions in sesbania fallow , natural fallow and maize fields. **Plant and Soil**, v. 188, p. 319–327, 1997.
- MELO, L. E. D. L. et al. Influence of spacing on some physical properties of *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke). **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 42, n. 104, p. 483–490, 2014a.
- MELO, L. E. D. L. et al. Influence of spacing on some physical properties of

*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* ( Huber ex Ducke ). **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 483–490, 2014b.

MIEHLE, P. et al. Assessing productivity and carbon sequestration capacity of *Eucalyptus globulus* plantations using the process model Forest-DNDC: Calibration and validation. **Ecological Modelling**, v. 192, n. 1–2, p. 83–94, 2006.

MISHRA, A. K. et al. Carbon sequestered through biomass and soil organic carbon dynamics in *Jatropha curcas* L. Ecology, **Environment and Conservation**, v. 20, n. 2, p. 561–565, 2014.

MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v. 61, p. 281–295, 2004.

NAIR, V. D. et al. Environmental quality improvement of agricultural lands through silvopasture in southeastern United States. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 5, p. 513–519, 2007.

NASCIMENTO, D. F. DO et al. Initial growth of six forest tree species in different spacing conditions. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 159–165, 2012.

NETO, F. DE C. et al. Balanço de Carbono – Viabilidade Econômica de Dois Sistemas Agroflorestais em Viçosa , MG Carbon Balance and Economic Viability in Two Agroforestry Systems . **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1–9, 2017.

NOGUEIRA, M. DE O. G. **Estoque de carbono na biomassa radicular e no solo em ecossistema florestal em processo de recuperação**. Dissertação (mestrado), 143f.

OELBERMANN, M. et al. Above- and below-ground carbon inputs in 19-, 10- and 4-year-old Costa Rican Alley cropping systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 105, n. 1–2, p. 163–172, 2005.

OLIVEIRA, T. W. G. DE et al. Ajuste simultâneo na predição de biomassa aérea em *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 137, 21 mar. 2018.

OLIVEIRA, E. B. et al. Produção , Carbono e Rentabilidade Econômica de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis* em Sistemas Silvopastoris no Sul do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 57, p. 45–56, 2008.

OLIVEIRA, J. T. DA S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 115–127, 2005.

PAIXÃO, F. A. et al. 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.

PAUL, K. I. et al. Change in soil carbon following afforestation or reforestation. **Forest Ecology and Management**, v. 168, n. 2002, p. 241–257, 2002.

PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D. **Influência da densidade de plantio de cafeeiro sobre a fertilidade do solo**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFEEIRO ADENSADO, Londrina, 1996. Anais. Londrina, IAPAR/CNPq, 1996. p.76-89.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 911–920, 2008.

PENNE, C. et al. The impact of the canopy structure on the spatial variability in forest floor carbon stocks. **Geoderma**, v. 158, n. 3–4, p. 282–297, set. 2010.

POORTER, L. Growth responses of 15 rain forest tree species to a light gradient; the relative importance of morphological and physiological traits. **Functional Ecology**, v. 13, p. 396–410, 1999.

PRASOLOVA, N. V et al. Genetic variation in foliar carbon isotope composition in relation to tree growth and foliar nitrogen concentration in clones of the F 1 hybrid between slash pine and *Caribbean pine*. **Forest Ecology and Management**, v. 172, p. 145–160, 2003.

RAIS, A. et al. Influence of initial plant density on sawn timber properties for Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). **Annals of Forest Science**, v. 71, n. 5, p. 617–626, 2014.

RAMOS, M. B. P.; VARELA, V. P.; MELO, M. DE F. F. Influência da temperatura e da água sobre a germinação de sementes de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke – LEGUMINOSAE-CAESALPINIOIDEAE). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 1, p. 163–168, 2006.

RANGER, J.; GELHAYE, D. Belowground biomass and nutrient content in a 47-year-old Douglas-fir plantation. **Annals of Forest Science**, v. 58, n. 4, p. 423–430, 2001.

RATUCHNE, L. C. et al. Estado da Arte na Quantificação de Biomassa em Raízes de Formações Florestais. **Floresta e Ambiente**, v. 8087, n. ahead, p. 0–0, 2016.

RAZAKAMANARIVO, R. H. et al. Mapping organic carbon stocks in eucalyptus plantations of the central highlands of Madagascar: A multiple regression approach. **Geoderma**, v. 162, n. 3–4, p. 335–346, 2011.

REIS, I. N. R. DE S.; LAMEIRA, O. A.; CORDEIRO, I. M. C. C. Indução da Calogênese em Paricá ( Huber ex Ducke ) Barneby ) Através da Adição de AIB e BAP. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 501–503, 2007.

RIBEIRO, A. DE O. et al. Variação da densidade básica da madeira de *Toona ciliata* Roem cultivada em diferentes localidades. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, n. 91, p. 359–366, 2011a.

RIBEIRO, S. C. et al. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 3, p. 491–499, 2011b.

RIBEIRO, S. C. et al. Aboveground and belowground biomass and carbon estimates for clonal Eucalyptus trees in southeast Brazil. **Revista Árvore**, v. 39, n. 2, p. 353–363, 2015a.

RIBEIRO, S. C. et al. Aboveground and belowground Biomass and Carbon Estimates for Clonal Eucalyptus Trees in Southeast Brazil. **Revista Árvore**, v. 39, n. 2, p. 353–363, 2015b.

ROCHA, M. F. V. et al. Effects of plant spacing on the physical , chemical and energy properties of Eucalyptus wood and bark. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 28, n. 3, p. 243–248, 2016.

RODRIGUES, L. et al. Allometric equations for estimating tree biomass in restored mixed-species Atlantic. **Biota Neotropica**, v. 14, n. 2, p. 1–9, 2014.

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

ROSA, L. DOS S. Características botânicas, anatômicas e tecnológicas do paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). **Revista Ciências Agrárias**, n. 46, p. 63–79, 2006.

ROSA, L. DOS S.; PINHEIRO, K. A. O. Propagação vegetativa de estacas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber Ex. Ducke) obtidas de material juvenil e imersas em ácido indol-3-butírico. **Revista Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 79–88, 2001.

ROSÁRIO, V. DO S. V. et al. Edaphic insect fauna associated with reforestation with *Schizolobium parahyba* Barneby in Amazonia. *Revista de Ciências Agrarias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v. 57, n. 4, p. 373–381, 2014.

ROSENFELD, M. F.; SOUZA, A. F. Biomassa e carbono em florestas subtropicais: Determinantes, métodos de quantificação e estimativas. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 8, n. 2, p. 103–110, 2013.

ROSHETKO, J. M. et al. Carbon stocks in Indonesian homegarden systems: Can smallholder systems be targeted for increased carbon storage? **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 17, n. 3, p. 138–148, 2002.

SALIMONI, C. I.; WADTII, P. G. S.; MELO, A. W. F. DE. Dinâmica do Carbono na Conversão de Floresta para Pastagens em Argissolos da Carbon dynamics of the pasture-forest conversion in Ultisols from Solimões Geologic Formation, in Southwestern Amazon. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, p. 29–38, 2007.

SANQUETTA, C. R. et al. Estimativa de carbono individual para *Araucaria angustifolia*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 1–8, 2014.

SANQUETTA, M. N. I. et al. Wood density and carbon content in young teak individuals from Pará, Brazil. **Científica**, v. 44, n. 4, p. 608–614, 2016.

SANTOS, E. M. DOS. **Crescimento e produção de plantios de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) sob diferentes espaçamentos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - 74f, 2012.

SANTOS, R. C. DOS et al. Estoques de volume, biomassa e carbono na madeira de espécies da Caatinga em Caicó, RN. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 85, p. 1, 2016.

SCHIKOWSKI, A. B.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Modelagem do crescimento e de biomassa individual de Pinus. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 75, p. 269–278, 2013.

SEREGHETTI, G. C. et al. Efeito do espaçamento no crescimento e na densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em florestas de ciclo curto. **Revista energia na agricultura**, v. 30, n. 3, p. 257–262, 2015.

SHARMA, M.; BURKHART, H. E.; AMATEIS, R. L. Modeling the effect of density on the growth of loblolly pine trees. **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 26, n. 3, p. 124–133, 2002.

SHIMIZU, E. S. C. et al. Plântulas de *Schizolobium amazonicum* em resposta à escarificação of *Schizolobium amazonicum* in response to sandpaper and hot. **Revista Árvore**, v. 35, n. 4, p. 791–800, 2011.

SILVA, A. K. L. et al. Litter dynamics and fine root production in *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* plantations and regrowth forest in Eastern Amazon. **Plant and Soil**, v. 347, n. 1, p. 377–386, 2011.

- SILVA JÚNIOR, A. L. et al. Genetic diversity of *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) barneby, in a forest area in Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, 2017.
- SILVEIRA, R. DA. **Avaliação econômica da produção de madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber Ex Ducke) sob diferentes espaçamentos de plantio**. 2014. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES.
- SILVEIRA, E. R.; REINER, D. A.; SMANIOTTO, J. R. Efeito do espaçamento de plantio na produção de madeira e serapilheira de *Eucalyptus dunni* na região sudoeste do Paraná. **Revista técnico-científica**, n. 2, p. 1–9, 2014.
- SILVEIRA, M. L. et al. Effects of land use intensification on soil C dynamics in subtropical grazing land ecosystems. **Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales**, v. 2, p. 142–144, 2014.
- SILVEIRA, P. et al. O Estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, v. 38, n. 2004, p. 185–206, 2008.
- SILVEIRA, P. Ajuste de modelos matemáticos para estimar biomassa aérea em floresta ombrófila densa. **Floresta**, v. d, p. 743–752, 2009.
- SOARES, P.; TOMÉ, M. Biomass expansion factors for *Eucalyptus globulus* stands in Portugal. **Forest Systems**, v. 21, n. 1, p. 141–152, 2012.
- SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. 2. ed. Viçosa-MG: UFV, 2011. 272p.
- SOCHER, L. G.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F. Dissimilaridade Florística E Espécies Indicadoras De Floresta. **Floresta**, n. February, 2016.
- SOHRABI, H.; BAKHTIARVAND-BAKHTIARI, S.; AHMADI, K. Above- and below-ground biomass and carbon stocks of different tree plantations in central Iran. **Journal of Arid Land**, v. 8, n. 1, p. 138–145, 2016.
- SOMOGYI, Z. et al. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. **European Journal of Forest Research**, v. 126, n. 2, p. 197–207, 2007.
- SOUZA, C. R. DE et al. Paricá: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby. **Circular Técnica**, 2003.
- SOUZA, I. F. DE et al. Decomposition of eucalypt harvest residues as affected by management practices, climate and soil properties across southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 374, p. 186–194, 2016.
- STADDON, P. L. Carbon isotopes in functional soil ecology. **TRENDS in Ecology and Evolution**, v. 19, n. 3, p. 1–2, 2004.
- STEINBEISS, S. et al. Plant diversity positively affects short-term soil carbon storage in experimental grasslands. **Global Change Biology**, v. 14, n. 12, p. 2937–2949, 2008.
- STINSON, G. et al. An inventory-based analysis of Canada's managed forest carbon dynamics, 1990 to 2008. **Global Change Biology**, v. 17, n. 6, p. 2227–2244, 2011.
- STOCKMANN, U. et al. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. Agriculture, **Ecosystems and Environment**, v. 164, n. 2013, p. 80–99, 2013.
- SWIFT, R. S. Sequestration of carbon by soil. *Soil Science*, v. 166, n. 11, p. 858–

871, 2001.

TEREZO, R. F.; SZÜCS, C. A. Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de parica (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex. Ducke). **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, n. 87, p. 471–480, 2010.

THOMAS, S. C.; MARTIN, A. R. Carbon content of tree tissues: A synthesis. **Forests**, v. 3, n. 2, p. 332–352, 2012.

TOMAZELLO FILHO, M. et al. Anatomical features of increment zones in different tree species in the State of São Paulo, Brazil. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, n. 66, p. 46–55, 2004.

TONUCCI, R. G. et al. Soil Carbon Storage in Silvopasture and Related Land-Use Systems in the Brazilian Cerrado. All rights reserved. No part of this periodical may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording. **Journal of Environmental Quality**, v. 40, n. 3, p. 833–841, 2011.

TORRES, C. M. M. E. et al. Biomass and carbon stock in *Jatropha curcas* L. **Cerne**, v. 17, n. 3, p. 353–359, 2011.

TORRES, C. M. M. E. et al. Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma floresta estacional semidecidual, no parque tecnológico de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 647–655, 2013.

TREVISAN, R. et al. Axial variation of basic density of *Araucaria angustifolia* wood in different diameter classes. Variação axial da massa específica básica da madeira de. **Ciência Rural**, v. 46, n. 44, p. 1969–1972, 2016.

TUFEKCIOGLU, A. et al. Biomass, carbon and nitrogen dynamics of multi-species riparian buffers within an agricultural watershed in Iowa, USA. **Agroforestry Systems**, v. 57, n. 3, p. 187–198, 2003.

VIDAURRE, G. B. Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica. 74f. Tese (doutorado), 2010

VIDAURRE, G. B. et al. Physical and mechanical properties of PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA JUVENIL DE SCHIZOLOBIUM AMAZONICUM. **Revista Árvore**, v. 42, n. 1, 2018.

VIEIRA, T. A. et al. Sistemas agroflorestais em áreas de agricultores familiares em Igarapé-Açu, Pará: caracterização florística, implantação e manejo. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 4, p. 549–558, 2007.

VILLA, E. B. et al. Aporte de Serapilheira e Nutrientes em Área de Restauração Florestal com Diferentes Espaçamentos de Plantio Litter Production and Forest Nutrients in Forest Restoration Area with Different Planting Spacing. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 1, p. 90–99, 2016.

WATZLAWICK, L. F. et al. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana Paraná Stock of biomass and carbon in the montane mixed shade forest, Paraná. Resumo. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 40, n. 95, p. 353–362, 2012.

WYNN, J. G.; BIRD, M. I. C4-derived soil organic carbon decomposes faster than its C3 counterpart in mixed C3 / C4 soils. **Global Change Biology**, v. 13, p. 2206–2217, 2007.

YANG, Y. et al. Changes in topsoil carbon stock in the *Tibetan grasslands* between the 1980s and 2004. **Global Change Biology**, v. 15, p. 2723–2729, 2009.

YEBOAH, D. et al. Variation in wood density and carbon content of tropical plantation tree species from Ghana. **New Forests**, v. 45, n. 1, p. 35–52, 2014.

ZHANG, H.; GUAN, D.; SONG, M. Biomass and carbon storage of Eucalyptus and Acacia plantations in the Pearl River Delta, South China. **Forest Ecology and Management**, v. 277, n. August, p. 90–97, 2012a.

**ZHANG, H.; GUAN, D.; SONG, M.** Biomass and carbon storage of *Eucalyptus* and Acacia plantations in the Pearl River Delta, South China. **Forest Ecology and Management**, v. 277, p. 90–97, 2012b.

ZHANG, S.; BURKHART, H. E.; AMATEIS, R. L. Modeling individual tree growth for juvenile loblolly pine plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 89, n. 1–3, p. 157–172, 1996.

ZHANG, Y. FENG et al. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss by two xerophytic shrubs within a rain-fed re-vegetated desert ecosystem, northwestern China. **Journal of Hydrology**, v. 527, p. 1084–1095, 2015.