

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA**  
**ADRIELLY RODRIGUES NASCIMENTO**

**QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA E CARBONO EM POVOAMENTOS DE**  
**EUCALIPTO**

**SÃO JOÃO EVANGELISTA**  
**2019**

**ADRIELLY RODRIGUES NASCIMENTO**

**QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA E CARBONO EM POVOAMENTOS DE  
EUCALIPTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

**Orientadora:** Caroline Junqueira Sartori

**Co - Orientador:** Bruno Oliveira Lafetá

**SÃO JOÃO EVANGELISTA  
2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

N244q Nascimento, Adrielly Rodrigues.  
2020

Quantificação de biomassa e carbono em povoamentos de eucalipto. / Adrielly Rodrigues Nascimento. – 2020.  
32fl; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, 2020.

Orientadora: Dra. Caroline Junqueira Sartori.  
Coorientador: Dr. Bruno Oliveira Lafetá.

1. Aquecimento global. 2. Estimativa do teor de carbono. 3. Espaçamentos de plantio.  
I. Adrielly Rodrigues Nascimento. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista. III. Título.

CDD 634.922

Elaborada pela Biblioteca Professor Pedro Valério  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais.  
Campus São João Evangelista.  
Bibliotecária Responsável: Rejane Valéria Santos – CRB-6/2907

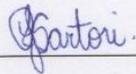
**ADRIELLY RODRIGUES NASCIMENTO**

**QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA E CARBONO EM POVOAMENTOS DE  
EUCALIPTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Aprovada em 17 / 12 / 2019

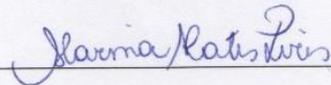
**BANCA EXAMINADORA**



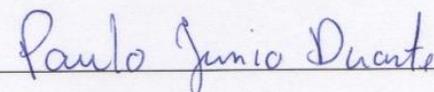
Orientadora Prof. Dra. Caroline Junqueira Sartori  
Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista



Co-orientador Prof. Dr. Bruno Oliveira Lafetá  
Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista



Me. Marina Rates Pires  
Universidade Federal de Lavras



Me. Paulo Junio Duarte  
Universidade Federal de Lavras

*“Dedico em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada. Aos meus pais Adriana e Benjamim e ao meu namorado Wemerson que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida. E a todos presentes nessa jornada.”*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora pela força e coragem durante toda esta longa caminhada, pela vitória concedida, conhecimento adquirido e por me permitir ter chegado até aqui com pessoas incríveis em minha vida.

Aos meus pais Adriana e Benjamim pelo incentivo, confiança, paciência e amor em todos os momentos.

Ao meu namorado Wemerson pelo companheirismo, amor e compreensão ao longo do curso.

A toda minha família pelo apoio e incentivo.

Aos meus amigos, pelas alegrias, tristezas e dores compartilhadas durante toda essa trajetória.

A Dalila companheira de turma e amiga que foi sempre presente na realização desse trabalho.

A professora Caroline Sartori e o professor Bruno Lafetá pela orientação, paciência e conhecimento transmitido a mim.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus São João Evangelista* pela oportunidade.

E a todos que fizeram parte da minha jornada.

**OBRIGADA!**

## RESUMO

A poluição do ar se tornou uma grande preocupação para a humanidade, que muitas das vezes tem sofrido com as consequências de tal evento que está diretamente ou indiretamente ligado ao aumento de temperatura, escassez hídrica, problemas respiratórios em humanos e demais mudanças climáticas que vem ocorrendo. O gás dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), é um dos principais gases causadores do efeito estufa, o qual é diariamente lançado em grande quantidade na atmosfera pelo homem através de suas atividades, e este mesmo gás é absorvido pelas plantas pelo processo de fotossíntese. Diante disto, o objetivo dessa pesquisa foi quantificar o estoque de biomassa, carbono e dióxido de carbono, nos diferentes espaçamentos de um povoamento de *Eucalyptus* sp, levando em consideração os diferentes componentes da árvore. Para isto estabeleceram-se 4 classes diamétricas com intervalos regulares por tratamento, baseadas na amplitude de variação do DAP. Foram abatidas 2 árvores por classe diamétrica para a realização da quantificação da Massa úmida de Folha, Galho, Cascas e Lenho, totalizando 32 indivíduos. Imediatamente em campo, retiraram-se amostras de cada compartimento para a determinação da umidade, para posterior determinação da massa seca e conversão em massa de carbono multiplicando-se por fator 0,5 e dióxido de carbono. Verificou-se que a maior parte de massa de carbono estocado na árvore é encontrada no lenho, onde representou 80,44% do total estocado, seguido pela casca, galhos e folhas. Portanto, as florestas desempenham papel importante no sequestro de carbono, pois ao estoca-lo contribuem tanto na purificação do ar como em retornos econômicos para a sociedade.

**Palavras-chave:** Aquecimento global, estimativa do teor de carbono, espaçamentos de plantio.

## ABSTRACT

Air pollution has been of great concern to mankind, which has often suffered from the consequences of such an event that may be directly or indirectly linked to rising temperatures, water scarcity, human breathing problems and other climate change that is coming. taking place. Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) gas is one of the main greenhouse gases, or it is released daily into the atmosphere by humans through its activities, and this same gas is absorbed by plants through the process of photosynthesis. Given this, the objective of this research was to quantify the biomass, carbon and carbon dioxide stock in the different spacings of a Eucalyptus sp stand, taking into account the different components of the tree. Four diametric classes were established at regular intervals per treatment, based on the DAP range of variation. Two trees were felled per diameter class to quantify the wet mass of leaves, branches, bark and wood, totaling 32 individuals. Immediately in the field, samples were taken from each compartment for moisture determination, for subsequent determination of dry mass and conversion to carbon mass by multiplying by factor 0.5 and carbon dioxide. It was found that most of the carbon stock stored in the tree is found in the wood, where it represented 80.44% of the total stock, followed by bark, branches and leaves. Therefore, forests play an important role in carbon sequestration, as storing it contributes both to air purification and economic returns to society.

**Keywords:** Global warming, carbon content estimate, planting spacing.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
2.1. AQUECIMENTO GLOBAL.....	11
2.2. MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO .....	11
2.3. BIOMASSA .....	12
2.4. AS FLORESTAS E O CICLO DE CARBONO .....	14
2.5. FLORESTAS DE <i>Eucalyptus</i> .....	15
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>17</b>
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	17
3.2. QUANTIFICAÇÃO DO ESTOQUE DE BIOMASSA EXPRESSA EM TONELADAS DE CARBONO .....	17
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	20
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>20</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>28</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>29</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Ultimamente a poluição do ar tem sido de grande preocupação para a humanidade, que muitas das vezes sofre com as consequências de tal evento que pode estar direta ou indiretamente ligado ao aumento de temperatura, escassez hídrica, problemas respiratórios em humanos e demais mudanças climáticas que vem ocorrendo. O gás dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é um dos compostos que são lançados diariamente na atmosfera pelo homem, o qual é lançado principalmente na queima de combustíveis fósseis, na produção de cimento (75% do total de emissões), no transporte, bem como nas mudanças no uso da terra promoveram um aumento na emissão desses gases causadores do efeito estufa (BARRETO, et al, 2009)

Nota-se neste contexto, que o uso alternativo do solo é um dos responsáveis pelo aumento na emissão de  $\text{CO}_2$  na atmosfera, assim, a manutenção de florestas, bem como o plantio de árvores, são mecanismos para uma tecnologia limpa que promove a redução destas emissões.

Na natureza, os ciclos do carbono e oxigênio são de suma importância na transformação das substâncias orgânicas que constituem a biosfera. Na primeira etapa, ocorre a fotossíntese onde as partes verdes das plantas absorvem o dióxido de carbono atmosférico e o fazem reagir com a água, utilizando-se da luz solar e da presença da clorofila. Formam-se com isso os compostos de carbono, que irão constituir a estrutura vegetal, ocorrendo conseqüentemente uma liberação do oxigênio (TAIZ e ZEIGER, 2004). Segundo Gardner e Mankin (1981), as florestas apresentam uma elevada taxa de fixação de  $\text{CO}_2$ , comparado com outros tipos de vegetais, e, quanto mais rápido o crescimento da planta, mais rápida será a absorção de  $\text{CO}_2$ .

O Brasil é líder mundial em produtividade de madeira, oriunda principalmente de florestas plantadas. Tais florestas reduzem a pressão sobre as florestas naturais, contribuindo entre outros na formação de estoques de carbono. A área total de árvores plantadas no Brasil no ano de 2018 totalizou 7,83 milhões de hectares mantendo-se praticamente estável em relação ao ano de 2017. Os plantios de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares desse total, enquanto as áreas com pinus somam 1,6 milhão de hectares, e outras espécies, entre elas seringueira, acácia, teca e paricá, representam cerca de 590 mil hectares. O segmento de siderurgia a carvão vegetal responde por 12% da área plantada, sendo utilizada madeira de Eucalipto, em que a maior área está localizada no Estado de Minas Gerais (24%) (IBA, 2019).

O uso do carvão vegetal tem muitas vantagens em relação aos combustíveis fósseis (petróleo e carvão mineral) pois emite uma menor quantidade de  $\text{CO}_2$ , já que só libera o que fixa na assimilação; se trata de uma fonte renovável de energia; polui menos pelo fato de possuir

uma menor quantidade de enxofre; é mais barato, tanto por tonelada quanto por unidade de calor; diminui o êxodo rural; seu armazenamento e transporte exigem menos logística (SILVA, 2008).

O crescente aumento da demanda de projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), que consiste na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), torna a quantificação do carbono estocado na biomassa florestal uma importante ferramenta. Além disso, existe o reconhecimento de que as florestas constituem o maior reservatório de carbono de todos os ecossistemas terrestres e funciona, em muitos casos, como sumidouros de carbono, o que corrobora a sua inclusão em projetos de MDL (CAMPOS, 2001). A utilização de equações alométricas na estimação de biomassa pelo uso de variáveis independentes (diâmetro e altura), proporciona uma determinação próxima à real produção, bem como uma seleção adequada do modelo (FONTOURA et al., 2017).

Resultados advindos de pesquisas a respeito da quantificação de carbono fixado em diferentes partes de uma planta servirão de instrumento de promoção da importância das florestas na manutenção de uma atmosfera mais limpa, sem quantidades excessivas de CO<sub>2</sub>, e favorecem para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, mostrando a importância também das florestas plantadas de *Eucalyptus*, tanto na purificação além dos seus retornos econômicos para a sociedade, visto que este constitui a principal fonte de economia local da região, gerando grande número de empregos, sendo a base econômica de inúmeras famílias.

Amaro, et al., 2013, ao estudar estoques de carbono em biomassa de uma floresta Estacional Semidecidual, em que os autores separaram a biomassa em diferentes compartimentos e verificaram rendimentos em ordem decrescentes em fuste com casca de espécies arbóreas vivas; copa de espécies arbóreas vivas; em raízes de espécies arbóreas vivas; serapilheira; com um estoque total de carbono de  $108,98 \pm 35,33 \text{ t ha}^{-1}$ .

Diante disto, o objetivo desse trabalho é quantificar o estoque de biomassa expressa em toneladas de carbono e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nos diferentes espaçamentos de um povoamento de *Eucalyptus*, levando em consideração os diferentes compartimentos do indivíduo.

## 2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

### 2.1. AQUECIMENTO GLOBAL

O aquecimento global é um fenômeno climático de larga extensão, que corresponde, um aumento da temperatura média superficial global, provocado por fatores internos e/ou externos. Os fatores internos estão associados a sistemas climáticos como a atividade solar, a composição físico-química atmosférica, o tectonismo e o vulcanismo. Já os externos são antropogênicos e relacionados a emissões de gases-estufa por queima de combustíveis fósseis, principalmente carvão e derivados de petróleo, indústrias, refinarias, motores, queimadas etc (SILVA e PAULA, 2009).

A atmosfera corresponde a camada de ar que envolve o planeta terra, e em sua constituição encontra-se vários gases, incluindo os conhecidos como “gases de efeito estufa” (GEE). De acordo com Miguez (2000), são considerados GEE: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ) e as famílias dos perfluorcarbonos e perfluormetano ( $\text{C}_2\text{F}_6$ ) e dos hidrofluorcarbonos (HFCs). Esses gases são denominados gases de efeito estufa por terem a capacidade de reter o calor na atmosfera assim como o revestimento de uma estufa para cultivo de plantas.

A concentração dos gases de efeito estufa está aumentando cada vez mais na atmosfera. O gás carbônico é o mais importante destes gases, e sua concentração tem aumentado cerca de 25% desde o início da Revolução Industrial, no século XVIII. Alguns estudos têm mostrado que a concentração de gás carbônico e a temperatura da atmosfera variaram conjuntamente nas últimas dezenas de milhares de anos o que reforça a preocupação de que se houver um grande aumento desses gases na atmosfera, ocorrerão grandes mudanças climáticas, como por exemplo, de mudanças na quantidade e no período de chuvas e secas em uma região (ALECHANDRE e BROWN, 2000).

### 2.2. MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO

Segundo Campos (2001), projetos de conservação florestal no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foram intensamente debatidos durante a regulamentação do Protocolo de Quioto e apenas atividades de florestamento e reflorestamento ficaram definidas como passíveis de compensação das emissões de GEE dos países industrializados.

O MDL foi criado na Terceira Sessão da Conferência das Partes (COP-3), em Quioto, Japão, em dezembro de 1997 Framework Convention on Climate Change (1997). Ele se originou na proposta brasileira com o objetivo de estabelecer elementos para definição do Protocolo à Convenção. Essa proposta consistia na criação de um Fundo de Desenvolvimento Limpo formado por contribuições dos países desenvolvidos que não cumprissem suas metas de redução (PACIORNIK; MACHADO FILHO, 2000).

A partir do Protocolo, ficou claro que o mercado poderia auxiliar no processo de redução das emissões de GEE através da proposta de se criar um valor transacionável para essas reduções, semelhante aos mecanismos existente para alguns gases poluidores na Europa e Estados Unidos (ROCHA, 2003). Segundo Paixão (2004) o MDL permite que países desenvolvidos invistam nos países em desenvolvimento com projetos de redução de emissões de baixo custo e com isso recebam créditos pela redução das emissões.

A proposta do MDL consiste em que cada tonelada de CO<sub>2</sub> deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial, promovendo um novo atrativo para redução das emissões globais. As empresas que não conseguirem reduzir suas emissões poderão comprar Certificados de Emissões Reduzidas (CER) em países em desenvolvimento e usá-los para cumprir suas obrigações. Assim os países em desenvolvimento deverão utilizar o MDL para promover seu desenvolvimento sustentável (ROCHA, 2003).

Nesse contexto o Brasil se beneficia do MDL no setor florestal com projetos de “florestamento” e reflorestamento, permitindo que o carbono, pelo crescimento das árvores, seja removido da atmosfera. A floresta plantada atua como um sumidouro de carbono ou promoveria o “sequestro de carbono”. Este “sequestro” é possível porque a vegetação realiza fotossíntese, processo durante o qual as plantas retiram carbono da atmosfera, em forma de CO<sub>2</sub>, e o incorporam a sua biomassa (raízes, tronco, galhos). Exemplos de tais projetos são o reflorestamento, a silvicultura e o enriquecimento de florestas degradadas (INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA, 2002).

### 2.3. BIOMASSA

Biomassa corresponde a massa orgânica produzida por unidade de área, expressa em massa seca, massa úmida e massa em carbono (ODUM, 1986). A sua medição é bastante útil na avaliação de ecossistemas, em prol da aplicação na análise da produtividade, ciclagem de

nutrientes, conservação de energia, absorção e armazenagem de energia solar, etc. (CAMPOS, 1991).

Para Martinelli et al. (1994) citado por Silveira et al. (2008), a biomassa pode ser definida como a quantidade expressa em massa do material vegetal que é disponível em uma floresta, sendo estes geralmente estimados como biomassa viva horizontal acima do solo, composta de árvores e arbustos, a biomassa morta acima do solo, composta pela serapilheira e troncos caídos, e a biomassa abaixo do solo, composta pelas raízes. A biomassa total é dada pela soma de todos estes componentes.

Na questão que engloba a biomassa subterrânea de uma vegetação, esta compreende todos os órgãos vivos localizados abaixo da linha do solo, que possui a função de fixar a vegetação, captar e transferir recursos como água e nutrientes, além de estocar reservas (ADUAN et al., 2003). O retorno da matéria orgânica ao solo e a ciclagem de nutrientes nos ecossistemas florestais naturais ou implantados ocorrem especialmente pela deposição da biomassa da parte aérea, contudo também são importantes as contribuições da biomassa radicular na dinâmica da matéria orgânica e de nutrientes nesses sistemas (MENEZES et al., 2010).

A estimativa da biomassa é bastante útil na avaliação de ecossistemas com ciclagem de nutrientes, conversão, absorção e armazenagem de energia solar (ANDRAE e KRAPPENBAUER, 1983), fornecendo assim informações que possibilitem a utilização racional dos mesmos. A aglomeração de biomassa é afetada por fatores que possuem relação com a respiração e fotossíntese (KRAMER e KOZLOWSKI, 1972), incluindo os climáticos, do sítio, adaptação genética da espécie, estágio sucessional e competição. Durante a fase inicial de desenvolvimento de uma floresta uma enorme parte dos carboidratos é canalizada para a produção de biomassa da copa. Contudo, ao passar do tempo, quando as copas começam a competir entre si, a produção relativa do tronco aumenta e a das folhas e ramos diminuem gradativamente (ANDRAE, 1982; SCHUMACHER, 1996).

Quanto a produção de biomassa arbórea Spurr e Barnes (1982) citados por Campos (1991), enfatizam que o acúmulo de biomassa é diferente em cada local onde é medida e essa variação tem por causa diversos fatores ambientais e fisiológicos, estes últimos referentes à própria planta. Há relação entre a biomassa e a produtividade primária conhecida como acúmulo de biomassa e esta relação é geralmente baixa em florestas jovens de rápido crescimento e conseqüentemente maior onde a maior parte da energia é utilizada para manter o alto estoque de biomassa existente.

A biomassa florestal pode ser dita como todo recurso renovável que é advindo da matéria orgânica, viva ou morta vegetal a qual pode ser empregada nas indústrias mundiais como produção de energia, sequestro e estoque de carbono presente nos diferentes componentes arbóreos: folha, galho, cascas, lenho e raízes. Sendo um recurso natural considerado um dos mais importantes para a humanidade (MIRANDA et al., 2011; HENRY et al., 2014). A utilização de equações alométricas na estimação de biomassa pelo uso de variáveis independentes (diâmetro e altura), proporciona uma determinação próxima à real produção, bem como uma seleção adequada do modelo (FONTOURA et al., 2017).

#### 2.4. AS FLORESTAS E O CICLO DE CARBONO

O carbono faz parte de dois gases: metano ( $\text{CH}_4$ ) e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), é o elemento “mestre” nos ciclos globais chamados ciclos biogeoquímicos. O ciclo global de carbono é composto de vários ciclos simples. O ciclo simples mais importante é denominado fotossíntese – respiração o qual depende da presença de plantas, animais e bactérias. Essas plantas sejam na terra ou nos oceanos, absorvem gás carbônico e usam água e luz do sol para transformar o gás carbônico em tecido vivo ( $\text{CH}_2\text{O}$ ), chamado frequentemente de biomassa ou matéria orgânica e o oxigênio ( $\text{O}_2$ ) é liberado durante essa produção. Assim este processo é conhecido como fotossíntese porque utiliza luz para sintetizar a biomassa (RENNER, 2004).

De acordo com Renner (2004), em um povoamento florestal a produção de massas (biomassa) vegetais, se tem origem da assimilação do  $\text{CO}_2$ , do índice de área foliar e da vida do meio produtivo (folha). Por si a fotossíntese ou assimilação de  $\text{CO}_2$  estabelece um dos fenômenos mais especiais da Terra, e sem esse fenômeno não existiria nenhum outro tipo de manifestação de vida.

As florestas correspondem um dos ecossistemas que mais permitem armazenar  $\text{CO}_2$  (SILVEIRA et al., 2008). Segundo dados de 2007 revelam que a floresta nacional sequestrou nesse mesmo ano 5,44 milhões de toneladas (Mt) de  $\text{CO}_2$ , sendo que 4,86 Mt de  $\text{CO}_2$  foram sequestrados por florestas já existentes e 0,58 Mt de  $\text{CO}_2$  por florestas que resultaram da utilização de solo para uso de plantio florestal (PEREIRA et al., 2009).

As árvores permitirem captar uma quantidade significativa de  $\text{CO}_2$  da atmosfera possibilitando armazenar o mesmo em suas diferentes partes, como folhas, ramos, caules, cascas e raízes. O carbono armazenado corresponde a praticamente 50% do peso da biomassa de uma árvore. Com isso diversos modelos foram desenvolvidos de forma a estimar o carbono sequestrado pelas florestas (JOHNSON e COBURN, 2010).

Schumacher e Caldeira (2001) estimaram a produção de biomassa em um povoamento de *Eucalyptus globulus* com 4 anos de idade, os autores verificaram que a madeira apresentou a maior quantidade de biomassa (57,5 t.ha<sup>-1</sup>), correspondendo a 69% do total acima do solo do povoamento, o que corrobora com a importância das florestas plantadas no processo de sequestro de CO<sub>2</sub>.

## 2.5. FLORESTAS DE *Eucalyptus*

Natural da Oceania, o eucalipto é uma árvore exótica cujo nome comum é atribuído, às árvores pertencentes ao gênero *Eucalyptus*. Sendo este gênero pertence à família das Myrtaceas, constituído de numerosas espécies aromáticas e adaptáveis as mais diferentes condições edáfico-climáticas (CORRÊA, 1931). Segundo Dourojeami (2004) estima-se que o gênero *Eucalyptus* compreende cerca de 800 espécies, sendo muitas delas utilizadas em cultivos comerciais destinados aos mais diversos usos, como: celulose, carvão vegetal, madeira para serraria, construção civil e indústria de móveis, postes e moirões, óleos essenciais, ornamentação, entre outros.

A expansão da cultura de *Eucalyptus* sp no Brasil foi notável, com isso o país se ascendeu no mercado internacional como um dos principais produtores de celulose. Esse cenário é resultado de algumas medidas políticas públicas por parte do governo federal que teve por objetivo o incentivo à produção florestal. No período de 1965 a 1987, as plantações de eucalipto podiam utilizar o programa federal de incentivos fiscais e, no âmbito recentemente, o Programa Nacional de Florestas (PNF) do Ministério do Meio Ambiente, Decreto nº 3.420/2000, Brasil, (2000). Assim a partir do incentivo à expansão da base florestal apareceram vários empreendimentos fundamentados em insumos florestais, tais como, a indústria para produção de painéis de madeira e mobiliários e, principalmente, papel e celulose, que destacaram-se com uma importante relevância na balança comercial do país (ABRAF, 2012).

As maiores porcentagens de plantios de eucalipto são observadas nos seguintes estados: Minas Gerais (24%), em São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%), ocupando 5,7 milhões de hectares da área de árvores plantadas do País, nos últimos cinco anos, o crescimento dessa área foi de 2,4% ao ano. O Mato Grosso do Sul tem liderado esta expansão, registrando aumento de 400 mil hectares neste período, com uma taxa média de crescimento de 13% ao ano. A área total de árvores plantadas no Brasil totalizou 7,84 milhões de hectares em 2016, crescimento de 0,5% em relação ao ano de 2015, devido exclusivamente ao aumento das áreas com eucalipto. As áreas com pinus e outros gêneros permaneceram inalteradas no período. Em

2016, o Brasil liderou o ranking global de produtividade florestal, com uma média de 35,7 m<sup>3</sup>/ha ao ano para os plantios de eucalipto e 30,5 m<sup>3</sup>/ha ao ano nos plantios de pinus, de acordo com as informações reportadas pelas principais empresas do setor (IBÁ, 2017).

Na história do Brasil, é de suma importância observar o crescente suprimento de matéria prima pelas florestas plantadas em substituição a da extração vegetal de origem nativa. Dados da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) do IBGE (2014) citado por Moreira et al.(2017), a lenha da silvicultura teve grande participação em relação ao total consumido no país, passou de cerca de 20% em 1990, para mais de 70% em 2013.

De acordo com Shimizu (2006), do eucalipto praticamente todas as partes são aproveitadas. Em suas folhas se extraem óleos essenciais empregados em produtos de limpeza e alimentícios, em perfumes e em medicamentos, o seu tronco fornece madeira para sarrafos, ripas, vigas, postes, varas, esteios para minas, mastros para barco, tábuas para embalagens e móveis. Já a fibra é utilizada como matéria-prima para a fabricação celulose e papel. Os reflorestamentos utilizando o eucalipto apresentam grande viabilidade técnica e econômica, mostrando-se muito promissores. Com isso a espécie pode ampliar notavelmente sua participação na composição da renda agropecuária, com vantagens adicionais, nas questões sociais e ambientais (CORDEIRO et al., 2010).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em um povoamento de *Eucalyptus* localizado no campus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) *campus* São João Evangelista, município de São João Evangelista, o referido município encontra-se localizado na bacia hidrográfica do Rio Doce (sub - bacia do Suaçuí Grande), região Centro Nordeste do Estado de Minas Gerais. Apresentados os seguintes dados de localização e climáticos: coordenadas geográficas 18°32'52" de latitude Sul e 42°45'48" de longitude Oeste e altitude média de 690m. O clima é classificado como CWA pelo sistema internacional de Köppen (KÖPPEN, 1936), inverno seco e verão chuvoso, com temperatura média de 15°C, com índice médio pluviométrico anual de 1.081 mm (CORREIA et al., 2013).

O experimento foi instalado em maio de 2012 utilizando-se um híbrido de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake sobre Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com o horizonte A proeminente, textura arenosa, relevo plano e a 710 m de altitude. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três blocos, sendo os tratamentos assim constituídos: T1: 3,0 x 0,5 m – 6667 plantas ha<sup>-1</sup> ; T2: 3,0 x 1,0 m – 3333 plantas ha<sup>-1</sup> ; T3: 3,0 x 1,5 m – 2222 plantas ha<sup>-1</sup> e T4: 3,0 x 2,0 m – 1667 plantas ha<sup>-1</sup>, 3 m foi a distância fixa entre linhas de plantio. Cada unidade experimental foi definida por quatro linhas de plantio com 7 plantas, totalizando 28 indivíduos, dos quais 10 foram mensurados, por ter sido adotada a bordadura simples.

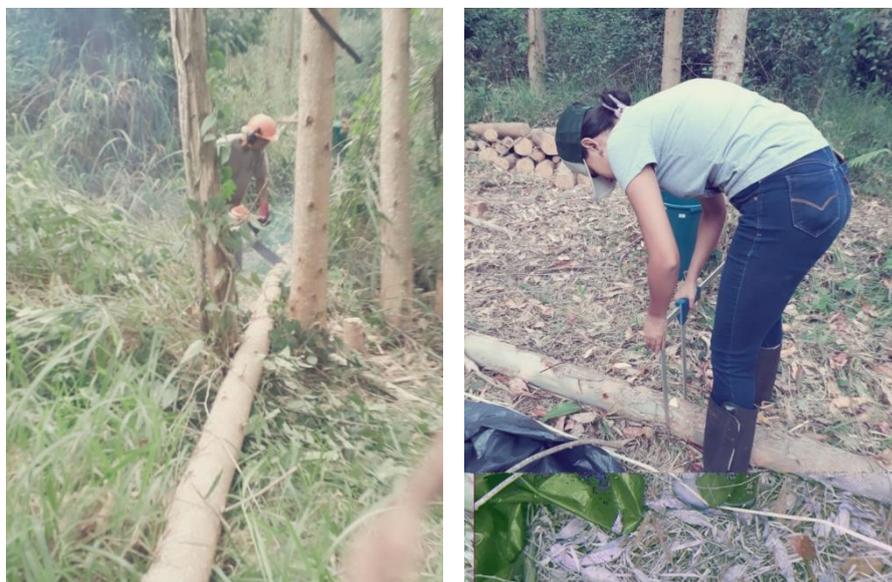
#### 3.2. QUANTIFICAÇÃO DO ESTOQUE DE BIOMASSA EXPRESSA EM TONELADAS DE CARBONO

Aos 59 meses de idade, realizou o inventário florestal mensurando o diâmetro à altura do peito (DAP – à altura de 1,30 m do solo, cm) com casca e a altura total (H, m) de todos os fustes. O DAP e as alturas dos fustes tomadas com suta e hipsômetro eletrônico Haglof, respectivamente.

Estabeleceu-se 4 classes diamétricas com intervalos regulares por tratamento, baseando-se na amplitude de variação do diâmetro (DAP); o tamanho das classes variaram entre espaçamentos de plantio. Foram abatidas 2 árvores por classe diamétrica e tratamento totalizando 32 indivíduos, para a quantificação da Massa Verde de Folha (MVF, kg fuste<sup>-1</sup>),

Massa Verde de Galho (MVG, kg fuste<sup>-1</sup>), Massa Verde de Cascas (MVC, kg fuste<sup>-1</sup>) e Massa Verde de Lenho (MVL, kg fuste<sup>-1</sup>) como mostra a Figura 1.

Figura 1. Abatimento de 2 árvores por classe diamétrica.



Fonte: Autor

Para a quantificação de biomassa, as árvores abatidas foram pesadas em campo e subamostras dos componentes cascas, lenho, folha e galho coletados para determinação da umidade e a UBS usada para obter a massa seca total de cada componente como apresentado na Figura 2. As amostras das folhas foram secas a 65 °C e as demais amostras a 100 °C até massa constante em estufa com circulação forçada de ar. Nas mesmas árvores, foram retirados discos de cerca de 6 cm de espessura a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, bem como do DAP do tronco para a determinação da umidade e quantificação de carbono na madeira.

Figura 2. Fluxograma com a representação fotográfica das árvores abatidas A) e como foram pesadas em campo letras B), C) e D) e as subamostras dos componentes cascas, lenho, folha e galho coletados E) para determinação da umidade e a UBS usada para obter a massa seca total.



Fonte: Autor

As quantidades de biomassa e carbono estocado em cada componente foram estimados pelo ajuste do modelo não linear de Schumacher e Hall (1933) em função do DAP e Ht que é representada pela seguinte equação:

$$B = \beta_0 * (DAP^{\beta_1}) * (Ht^{\beta_2}) \quad (1)$$

Onde:

B = biomassa

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = parâmetros do modelo; e

DAP = diâmetro com casca medido a 1,30 m do solo, em cm;

Ht = altura total da árvore, em metros;

A extrapolação para a unidade de hectare foi feita aplicando-se a relação entre as estimativas das equações geradas para os demais fustes inventariados e a área útil das unidades experimentais.

Calculou-se a estimativa de carbono e dióxido de carbono equivalente em cada componente da biomassa florestal pela relação multiplicativa entre tonelada de biomassa e os fatores 0,5 e 3,6667 respectivamente, conforme pelo IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) (PENMAN et al., 2003; FACE, 1994).

### 3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando verificada diferença estatística significativa, foram submetidos à análise de regressão. Os dados foram testados quanto à homogeneidade de variâncias pelo teste de Bartlett, normalidade de resíduos por Shapiro-Wilk, independência de resíduos por Durbin-Watson e aditividade por Tukey.

Na análise de regressão, foram testados os modelos polinomiais de primeiro e segundo grau pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). A seleção dos melhores modelos para as análises gráficas subsequentes foi embasada na significância dos parâmetros pelo teste t, teste de falta de ajuste (lack of fit), maior coeficiente de determinação ajustado e menores valores da raiz quadrada do erro médio (RQEM) e da média absoluta dos erros (MAE). O diagnóstico de efeito estatístico foi realizado adotando 5% de significância em todas as análises. Estas feitas com auxílio dos softwares Excel® e R versão 3.3 (R CORE TEAM, 2017).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em relação à distribuição da biomassa total dos 32 indivíduos analisados neste trabalho, verificou-se variações entre os compartimentos, em que o maior percentual foi obtido para o lenho com valor igual a 83,67% seguido pela casca com 7,58%, galhos com 6,31% e as folhas com 2,44% (lenho > cascas > galhos > folhas).

Fontoura et al., 2017, analisando a distribuição da biomassa total de 26 indivíduos analisados em sua pesquisa com *Ateleia glazioviana* Baill, verificaram variações entre os compartimentos conforme o aumento do diâmetro, onde o maior percentual obtido foi o lenho com valor igual a 59,4% seguido pelos galhos com 33,9% e as folhas com 6,7% (lenho > galhos > folhas), observando ainda uma tendência de aumento gradativo da partição da massa seca total nos componentes galhos e folhas ao longo das classes diamétricas, tal comportamento também foi verificado neste estudo para biomassa seca de madeira, galho e folhas.

Schikowsk et al., (2013), observaram que as variáveis altura total e DAP possuem correlações muito aproximadas, o que indica a similaridade dessas duas variáveis na explicação da biomassa, bem como o alto grau de correspondência entre elas. Em seu estudo os modelos para biomassa seca total em função de DAP e altura tiveram ajustes precisos, com o coeficiente de determinação oscilando entre 0,84 e 0,97 e o erro padrão da estimativa entre 15,30% e 37,20%.

Os valores mínimos encontrados para massa seca de lenho das árvores estudadas foi de 14,92 (MSL, kg fuste<sup>-1</sup>) para árvore da classe 1 com DAP de 19,75 cm no espaçamento 3,0 x 0,5 m a qual também apresentou os menores valores de massa seca de folhas de 0,54 (MSF, kg fuste<sup>-1</sup>), massa seca de galhos 2,03 (MSG, kg fuste<sup>-1</sup>) e massa seca de casca com 1,48 (MSC, kg fuste<sup>-1</sup>). Já os valores máximos encontrados para massa seca de lenho foi de 223,75 (MSL, kg fuste<sup>-1</sup>) com DAP de 24,55 cm da classe 4 no espaçamento 3,0 x 2,0 m. O máximo valor encontrado para massa seca de folhas foi de 7,45 (MSF, kg fuste<sup>-1</sup>) na árvore com o DAP de 23,25 cm presente na classe 4 com espaçamento 3,0 x 2,0 m, para massa seca de galho 17,07 (MSG, kg fuste<sup>-1</sup>) na árvore com DAP de 21,6 cm presente na classe 4 com o espaçamento 3,0 x 1,5 m, e 21,95 (MSC, kg fuste<sup>-1</sup>) para massa seca de casca da árvore com o DAP de 23,25 presente na classe 4 com espaçamento 3,0 x 2,0 m.

No setor florestal as indústrias geram um volume significativo de resíduos em suas fases operacionais, que vão desde a exploração florestal até o produto final, podendo ser considerados como uma importante fonte de biomassa. Estes resíduos são compostos de galhos, cascas e folhas (PINCELLI, 2011). Neste estudo verificou que as cascas correspondem a segunda maior fonte de biomassa entre os compartimentos, dessa forma as mesmas apresentam potencial de utilização para fins energéticos, reduzindo os impactos causados devido à sua subutilização.

Os parâmetros das equações obtidas para a biomassa dos componentes folha, galho, casca e lenho de eucalipto em diferentes espaçamentos de plantio são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros e estatísticas das equações obtidas com o ajuste do modelo não linear de Schumacher e Hall para as estimativas de biomassa de eucalipto em diferentes espaçamentos de plantio.

Espaçamento	Atributos	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	RQEM	MAE	AIC
3x0,5	Bio_Folha	$6,2 \times 10^{-5}$	-0,9254	5,5402	2,2624	1,6906	43,7660
3x0,5	Bio_Galho	0,0039	1,9577	0,8593	3,6578	3,1231	51,4530
3x0,5	Bio_Casca	0,1512	2,2940	-0,3893	1,8243	1,4162	40,3220
3x0,5	Bio_Lenho	0,0945	1,0668	1,5181	40,3717	33,5687	89,8731
3x1	Bio_Folha	0,0385	0,8216	0,9558	2,2278	1,7467	43,5191
3x1	Bio_Galho	8,6659	0,0491	0,1774	10,5825	7,7852	68,4502
3x1	Bio_Casca	0,0113	0,6404	1,8715	2,8403	2,3473	47,4058
3x1	Bio_Lenho	0,0222	0,6020	2,3450	21,7754	17,8998	79,9955
3x1,5	Bio_Folha	0,0311	2,0169	-0,0522	1,3207	1,1655	35,1533
3x1,5	Bio_Galho	14,5283	4,4443	-3,8139	3,5872	2,9509	51,1411
3x1,5	Bio_Casca	0,0032	2,5638	0,5033	4,8807	4,7011	56,0678
3x1,5	Bio_Lenho	0,1379	1,3749	1,0396	51,5342	41,4751	93,7789
3x2	Bio_Folha	2,0404	4,9938	-4,0221	3,1276	2,3353	48,9475
3x2	Bio_Galho	57,0569	3,6762	-3,6333	9,3495	7,5638	66,4682
3x2	Bio_Casca	0,4054	1,0727	0,4105	10,8045	8,5801	68,7824
3x2	Bio_Lenho	5,3062	1,1895	0,1290	128,7037	104,4193	108,4232

RQEM = raiz quadrada do erro médio; MAE = média dos desvios absolutos; AIC: Akaike critério de informação; Bio\_Folha = biomassa de folha; Bio\_Galho = biomassa de galho; Bio\_Casca= biomassa de casca e; Bio\_Lenho = biomassa de lenho.

As premissas testadas de normalidade, homogeneidade de variância, independência de resíduos e aditividade foram atendidas. Os coeficientes de variação foram inferiores a 36% (Tabela 2), relativamente baixos para experimentos de campo. A análise de variância com o teste F não indicou diferença estatística significativa entre tratamentos ( $p > 0,05$ ). Os espaçamentos de plantio não influenciaram a biomassa dos componentes de árvores de eucalipto aos 59 meses de idade.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para a biomassa de eucalipto em diferentes espaçamentos de plantio aos 59 meses de idade

F.V.	G.L.	Q.M.	P	Q.M.	P	Q.M.	P	Q.M.	p
		Bio_Folha		Bio_Galho		Bio_Casca		Bio_Lenho	
<b>Blocos</b>	2	7,25	0,67	34,64	0,69	11,26	0,91	2948,00	0,61
<b>Tratamentos</b>	3	18,93	0,42	97,65	0,42	57,79	0,69	10357,00	0,24
<b>Resíduo</b>	6	17,16		88,16		111,67		5562,00	
<b>Média Geral</b>		11,60		27,50		37,87		316,43	
<b>CV<sub>exp</sub>(%)</b>		35,72		34,15		27,90		23,57	

CV<sub>exp</sub> = coeficiente de variação experimental; Bio\_Folha = biomassa de folha; Bio\_Galho = biomassa de galho; Bio\_Casca= biomassa de casca e; Bio\_Lenho = biomassa de lenho.

A produção média de biomassa total por hectare, em cada espaçamento de plantio está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Valores médios de Biomassa por hectare entre os espaçamentos

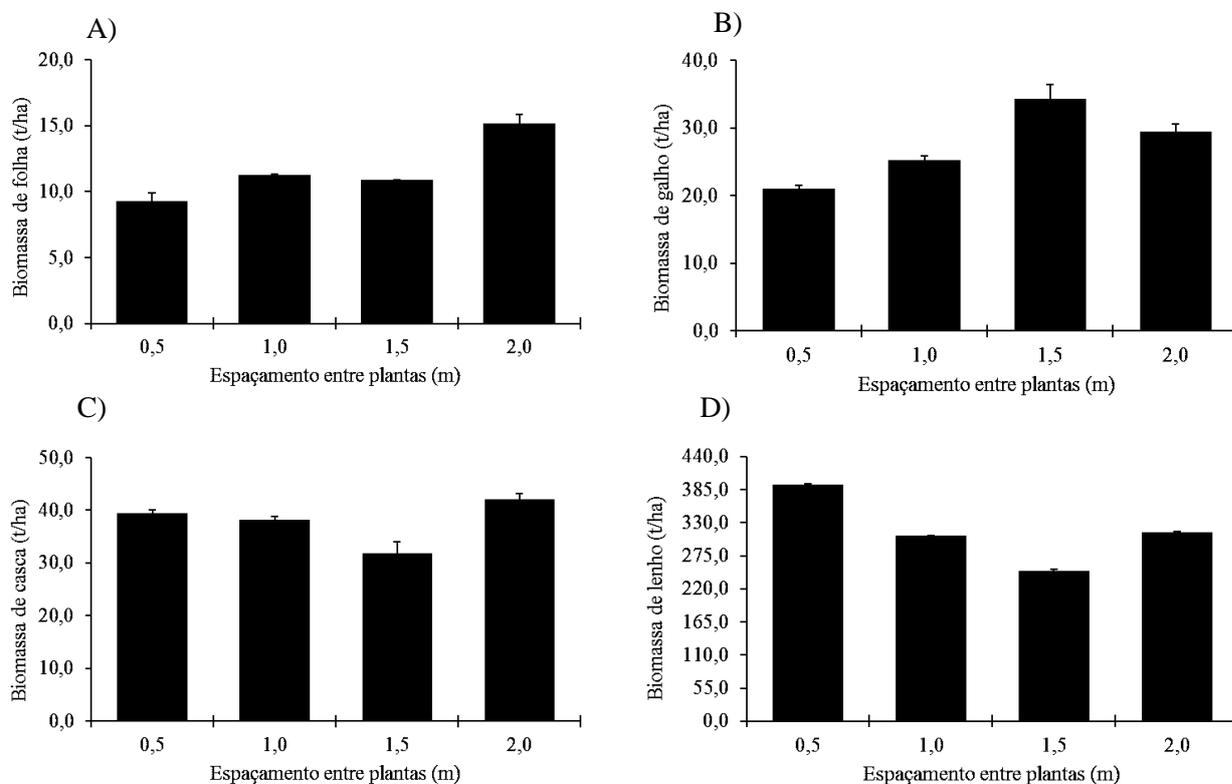
<b>Biomassa média em t/ha</b>				
<b>Espaçamento</b>	<b>Folha</b>	<b>Galho</b>	<b>Casca</b>	<b>Lenho</b>
<b>3x0,5</b>	9,20	20,96	39,47	392,97
<b>3x1</b>	11,22	25,26	38,13	308,45
<b>3x1,5</b>	10,84	34,27	31,77	249,86
<b>3x2</b>	15,13	29,50	42,10	314,43
<b>Média</b>	11,60	27,50	37,90	316,43
<b>DP</b>	2,51	5,71	4,39	58,76
<b>CV (%)</b>	21,64	20,75	11,60	18,57

Observa-se na tabela anterior que a maior quantidade de biomassa (valores médios é verificada no componente lenho com um total de t/ha 316,43 equivalente a 80,44%, seguido da casca com 37,90 t/ha equivalente a 9,63%, galho com 27,50 t/ha equivalente a 6,99% e folha com 11,60 t/ha equivalente a 2,95%. O que é confirmado por Spurr e Barnes (1982) citado por Campos (1991), quanto a produção de biomassa arbórea este acúmulo é diferente em cada local onde é medida e essa variação tem por causa diversos fatores ambientais e fisiológicos, estes últimos referentes à própria planta.

O plantio estudado apresentou um total de 393,43 toneladas de biomassa aérea por hectare médio entre os espaçamentos, sendo a biomassa do lenho mais representativa com 80,44%. O que é muito importante pois o Brasil é líder mundial em produtividade de madeira, oriunda principalmente de florestas plantadas. Sendo o segmento de siderurgia a carvão vegetal o setor que mais utiliza madeira de Eucalipto (biomassa de lenho), em que a maior área de produção está localizada no Estado de Minas Gerais (IBA, 2019).

A figura 3, apresenta a relação entre o espaçamento e a biomassa seca nos diferentes compartimentos avaliados.

Figura 3. Relação entre a quantidade de biomassa dos componentes folha, galho, casca e lenho em t/ha.



Para partição de biomassa dos componentes arbóreos foram verificadas relações significativas para folha, galho e lenho de eucalipto em relação aos diferentes espaçamentos de plantio, os valores dos parâmetros são apresentados na Tabela 4. Já os valores de cascas não foram significativos entre os espaçamentos, mostrando que o espaçamento de plantio não influenciou na produção percentual de biomassa de casca.

Tabela 4. Parâmetros e estatísticas das equações obtidas com o ajuste do modelo não linear de Spurr para as estimativas de partição da biomassa de eucalipto em diferentes espaçamentos de plantio.

Atributos	Bo	$\beta 1$	$\beta 2$	R	RQEM	MDA	AIC
Partição Bio_Folha	1,551600	1,144300	-	0,8207	0,4454	0,3327	20,6423
Partição Bio_Galho	-	11,234100	-3,629900	0,7809	1,5147	1,1378	50,0201
Partição Bio_Lenho	93,631000	-19,890000	6,081000	0,8893	1,5578	1,2862	52,6933

RQEM = raiz quadrada do erro médio; MAE = média dos desvios absolutos; AIC: Akaike critério de informação; Bio\_Folha = biomassa de folha; Bio\_Galho = biomassa de galho; e Bio\_Lenho = biomassa de lenho.

A análise de variância com o teste F indicou diferença estatística significativa entre tratamentos ( $p < 0,05$ ) nas folhas, galhos e lenho e não significativos nas cascas Tabela 5. Os

espaçamentos de plantio influenciaram a partição de biomassa dos componentes de árvores de eucalipto aos 59 meses de idade.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para a partição de biomassa de eucalipto em diferentes espaçamentos de plantio aos 59 meses de idade.

<b>F.V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>p</b>	<b>Q.M.</b>	<b>P</b>	<b>Q.M.</b>	<b>P</b>	<b>Q.M.</b>	<b>p</b>
		Partição Bio_Folha		Partição Bio_Galho		Partição Bio_Casca		Partição Bio_Lenho	
<b>Blocos</b>	2	0,06	0,85	2,11	0,32	0,96	0,32	5,38	0,17
<b>Tratamentos</b>	3	1,72*	0,04	17,85*	0,01	1,97	0,13	38,34*	0,00
<b>Resíduo</b>	6	0,33		1,54		0,70		2,24	
<b>Média Geral</b>		2,98		7,17		9,68		80,17	
<b>CVexp(%)</b>		19,39		17,29		8,62		1,87	

CV<sub>exp</sub> = coeficiente de variação experimental; Partição Bio\_Folha = biomassa de folha (%); Partição Bio\_Galho = biomassa de galho (%) e; Partição Bio\_Lenho = biomassa de lenho (%).

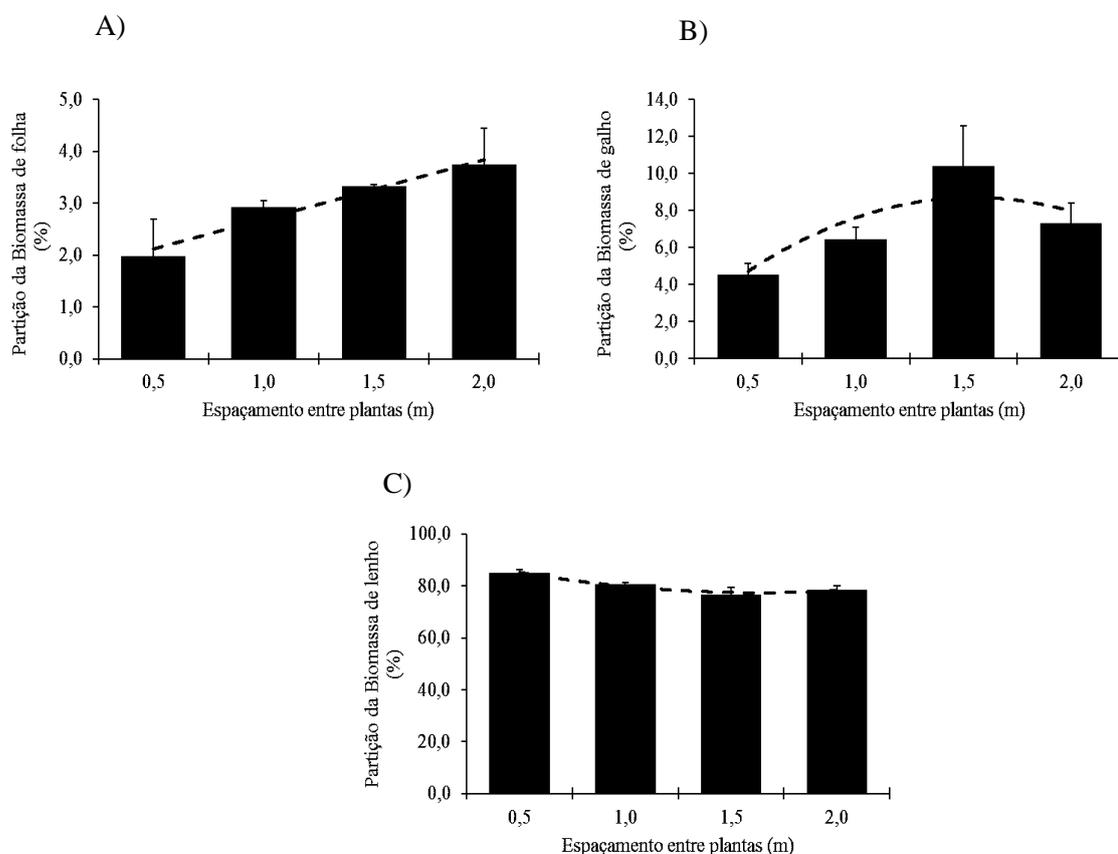
Na tabela 6 a seguir encontra-se os resultados da partição da biomassa em percentual que pode ser dito como a quantidade de cada componente médio entre os blocos em cada espaçamento em relação a biomassa total da árvore. Os valores de cascas não foram significativos entre os espaçamentos, mostrando que o espaçamento de plantio não influenciou no percentual de biomassa de casca.

Tabela 6. Valores médios de partição de Biomassa percentual por hectare entre os espaçamentos

<b>Partição da Biomassa média em t/ha</b>				
<b>Espaçamento</b>	<b>Folha</b>	<b>Galho</b>	<b>Casca</b>	<b>Lenho</b>
<b>3x0,5</b>	1,96	4,53	8,59	84,92
<b>3x1</b>	2,91	6,46	9,95	80,68
<b>3x1,5</b>	3,32	10,39	9,67	76,62
<b>3x2</b>	3,73	7,29	10,52	78,46
<b>Média</b>	2,98	7,17	9,68	80,17
<b>DP</b>	0,76	2,44	0,81	3,57
<b>CV (%)</b>	25,42	34,03	8,36	4,46

A figura 4, apresenta a relação entre o espaçamento e a partição de biomassa seca nos compartimentos que tiveram ajustes significativos sendo eles as folhas, galhos e lenho.

Figura 4. Partição de biomassa dos componentes folha, galho e lenho (%).



A produção média de carbono total por hectare, em cada espaçamento de plantio está apresentada na Tabela 7.

Tabela 7. Quantidade estocada de Carbono médio entre espaçamentos em t/ha

Carbono médio em t/ha				
Espaçamento	Folha	Galho	Casca	Lenho
<b>3x0,5</b>	4,60	10,48	19,74	196,48
<b>3x1</b>	5,61	12,63	19,07	154,23
<b>3x1,5</b>	5,42	17,14	15,88	124,93
<b>3x2</b>	7,56	14,75	21,05	157,22
<b>Média</b>	5,80	13,75	18,94	158,21
<b>DP</b>	1,26	2,85	2,20	29,38
<b>CV (%)</b>	21,63	20,75	11,60	18,57

O carbono estocado em cada componente (média entre os espaçamentos) pode ser dito como maior no componente lenho com 158,21 t/ha equivalente a 80,44%, seguido pelas cascas

com 18,94 t/ha equivalente a 9,63%, galho com 13,75 t/ha equivalente a 6,99% e folhas com 5,80 t/ha equivalente a 2,95% e no total possui 196,7 toneladas por hectare de carbono estocado na parte aérea desse estudo.

O que é comprovado por Paixão et al., 2006 em seu estudo com *Eucalyptus grandis*, e com uso das equações de carbono e das unidades de amostra (parcelas) presentes em sua área de estudo, obteve-se as seguintes estimativas médias de carbono estocado por hectare para o fuste (sem casca), casca, galhos e folhas de 81,84%, 8,05%, 7,74% e 2,57% respectivamente. E verificou-se que o povoamento de *Eucalyptus grandis* estudado possuiu em média, 47,7 toneladas de carbono por hectare estocado na parte aérea das árvores.

A produção média de dióxido de carbono total por hectare, em cada espaçamento de plantio está apresentada na Tabela 8.

Tabela 8. Quantidade estocada de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) médio entre os espaçamentos em t/ha.

<b>Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) médio em t/ha</b>				
<b>Espaçamento</b>	<b>Folha</b>	<b>Galho</b>	<b>Casca</b>	<b>Lenho</b>
<b>3x0,5</b>	16,87	38,42	72,37	720,45
<b>3x1</b>	20,56	46,31	69,91	565,50
<b>3x1,5</b>	19,89	62,83	58,24	458,08
<b>3x2</b>	27,74	54,09	77,19	576,46
<b>Média</b>	21,26	50,41	69,43	580,12
<b>DP</b>	4,61	10,46	8,05	107,72
<b>CV</b>	21,66	20,75	11,59	18,57

Os valores de CO<sub>2</sub> assim como na biomassa e no carbono em toneladas por hectare também foi maior no lenho (valores médios entre espaçamentos) com 580,12 t/ha seguido da casca com 69,43 t/ha, galho com 50,41 t/ha e folha com 21,26 t/ha. O que pode se dizer que a floresta estudada possui 721,22 toneladas por hectare de CO<sub>2</sub> estocado em suas partes aéreas. Entre os GEEs (gases de efeito estufa), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), devido à quantidade em que é emitido pelas indústrias e usos alternativos do solo, é o gás que mais contribui para o aquecimento global. Suas emissões representam aproximadamente 55% do total de gases emitidos em todo o planeta Terra e o seu tempo de permanência na atmosfera é de no mínimo cem anos (CARVALHO et al., 2002 citado por COTTA E TONELLO, 2006). O que corrobora a importância das florestas plantadas na estocagem de CO<sub>2</sub>.

## 5. CONCLUSÕES

O lenho (fuste sem casca) é o componente da árvore que apresentou maior quantidade de biomassa e conseqüentemente o que mais contribuiu, em média, para o total de carbono e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da parte aérea (80,44%), seguido por casca (9,63%), galhos (6,99%) e folhas (2,95%).

Encontrou-se um total de 393,43 toneladas de biomassa aérea por hectare no estudo, como a biomassa do lenho foi a mais representativa com 80,44%, mostra a grande importância da mesma pois o Brasil é líder mundial em produtividade de madeira principalmente para carvão vegetal, setor que mais utiliza madeira de Eucalipto (biomassa de lenho).

No presente estudo 196,7 toneladas de carbono e 721,22 toneladas de CO<sub>2</sub> por hectare estão estocadas na parte aérea das árvores, aos 59 meses de idade. O que corrobora a importância das florestas na manutenção de uma atmosfera mais limpa, sem quantidades excessivas de CO<sub>2</sub>, e favorecimento para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

As florestas plantadas de *Eucalyptus* proporcionam também retornos econômicos para a sociedade, visto que este constitui uma das principais fontes de economia local da região, gerando grande número de empregos, e sendo a base econômica de inúmeras famílias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011 / **ABRAF**. – Brasília: 2012. 150p.

ADUAN, R. E.; VILELA, M. de F.; KLINK, C. A. Ciclagem de Carbono em Ecossistemas Terrestres – O Caso do Cerrado Brasileiro. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 30 p., 2003.

ALECHANDRE, A S.; BROWN, I.F. O Carbono nos Ecossistemas Brasileiros. In: SCHWARTZMAN, S; MOREIRA, A G. **As mudanças Climáticas Globais e os Ecossistemas Brasileiros**. Brasília, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, The Woods Hole Reserach Center, Environmental Defense,. p. 51-54,2000

AMARO, M. A. et al. Estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma floresta estacional semidecidual em viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.5, p.849-857, 2013.

ANDRAE, F.; KRAPFENBAUER, A. Inventário de um reflorestamento de araucária de 17 anos em Passo Fundo, RS. Parte II: Inventário de nutrientes. In: **PESQUISAS AUSTRO-BRASILEIRAS 1973-1982 sobre *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lambertii* e *Eucalyptus saligna***. Santa Maria. UFSM, p.30-35. 112 p. 1983

ANDRAE, F. **Zweitinventur eines *Eucalyptus saligna* Bestandes in Suedbrasilien. Centralblatt fuer das Gesamte Forstwesen**, 99, v.4, p 944-953, 1982.

BARRETO, Luciano et. al. **Sequestro de carbono**. Centro Cientifico Conhecer, Goiânia, Enciclopédia Biosfera N.07, 2009

BRASIL. **Decreto n. 3.420, de 20 de abril de 2000**. Dispõe sobre a criação do Programa Nacional de Florestas - PNF, e dá outras providências. Publicado originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil na Edição Extra, 22 abr. 2000.

CAMPOS, C. P. **A conservação das florestas no Brasil, mudança do clima e o mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto**. 2001. 169f. Dissertação (Mestrado Planejamento Energético) – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

CAMPOS, M. A. A. **Balanço de biomassa e nutrientes em povoamento de *Ilex paraguarienses*, avaliação na safra e na safrinha**. Dissertação. 106f. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

CORDEIRO, S. A. Contribuição do fomento do órgão florestal de Minas Gerais na lucratividade e na redução de riscos para produtores rurais. **Revista Árvore**, v.34, p.367-376, 2010.

CORREIA, A. C. G. et al. Volume de substrato e idade: influência no desempenho de mudas clonais de eucalipto após replantio. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 185-191, 2013.

CÔRREA, M. P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil**, v2, Rio de Janeiro. Ministério da Agricultura, 707 p., 1931.

COTTA, M. K.; TONELLO, K. C. Os projetos florestais no contexto das mudanças climáticas. An. 6. **Enc. Energ. Meio Rural** 2006.

DOUROJEAMI M. **O eucalipto não é vilão**. Sociedade Brasileira de Silvicultura. 2004. Disponível em: [www.oeco.com.br](http://www.oeco.com.br) . Acesso em: 07 de setembro de 2018.

FACE. Forest absorbing carbon dioxide emission. **Annual Report**. 1993. Arnheim: 1994.

FONTOURA, M. R. et al. Modelos alométricos para estimativa de biomassa em área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana* Baill. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 47, n. 4, p. 469 - 478, out/dez. 2017.

FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Conference of the Parties**. 3., 1997, Quioto. Geneva: United Nations – FCCP/CP. 60 p., 1997.

GARDNER, R. H.; MANKIN, J. B. Analysis of biomass allocation in forest ecosystems of the IBP. In: REICHLE, P. D. **Dynamic properties of forest ecosystems**. Cambridge, Cambridge University Press. Cap. 8, 451-497, 1981.

HENRY, M. H. et al. Recommendations for the use of tree models to estimate national forest biomass and assess their uncertainty. **Annals of Forest Science**, v. 72, n. 6, p. 1 - 9, 2014.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBA 2017**. São Paulo. 2017

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBA 2019**. Brasília. 2019

INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA. **Perguntas e Respostas sobre Mudanças Climáticas**. Fundação Biblioteca Nacional, Belém, 2002. 30p.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. eds. 2007. **Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 996p

JOHNSON, I.; R. COBURN (2010), “**Trees for carbon sequestration**”, Prime facts for profitable, adaptive and sustainable primary industries, Nº 981, State of New South Wales through Department of Industry and Investment (Industry & Investment NSW) 2010.

KÖPPEN, W. **Das geographische system der klimate**. Berlin: Gerbrüder Bornträger, 1936. 44 p.

KRAMER, R.J.; KOSLOWSKI, T.T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Kalouste Gouldbenkian, 1972.

MARTINELLI, L. A. et al. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais. seminário emissão x seqüestro de CO<sub>2</sub> – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, Rio De Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CURD, p. 197-221, 1994.

- MENEZES, C. E. G. Aporte e decomposição da serapilheira e produção de biomassa radicular em florestas com diferentes estágios sucessionais em pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, vol. 20, n. 3, julio-septiembre, p. 439-452, 2010. Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria, Brasil
- MIGUEZ, J. M. O Brasil e o Protocolo de Quioto. **Cenbio Notícias**, v. 3, n.8, p.3, 2000.
- MIRANDA, D. L.C. et al. Equações alométricas para estimativas de biomassa e carbono em árvores de reflorestamento de restauração. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 679 - 689, 2011.
- MOREIRA J. M. Á.; SIMIONI F. J.; OLIVEIRA E. B.; Importância e desempenho das florestas plantadas no contexto do agronegócio brasileiro. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 47, n. 1, p. 85 - 94, jan. / mar. 2017
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 434p., 1986
- PACIORNIK, N.; MACHADO FILHO, H. Política e Instrumentos Legais Internacionais da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. In: SCHWARTZMAN, S; MOREIRA, A G.. As mudanças Climáticas Globais e os 79 Ecossistemas Brasileiros. Brasília, **Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia**, The Woods Hole Reserach Center, Environmental Defense, p. 14, 2000.
- PAIXÃO, F. A. et al. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto<sup>1</sup>. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.411-420, 2006
- PAIXÃO, F. A. **Quantificação do Estoque de Carbono e Avaliação Econômica de Alternativas de Uso de um Povoamento de Eucalipto**. Dissertação. Viçosa: UFV, 2004.
- PEREIRA, H. M. et al. “Uma avaliação dos serviços dos ecossistemas em Portugal”, in: **Ecossistemas e Bem-Estar Humano – Resultados da Avaliação para Portugal do Millennium Ecosystem Assessment** Capítulo 20, p. 687-716, 2009.
- PENMAN, J. et al. Good practice guidane for land use, land-use change and forestry. Kanagawa: **IPCC**, 2003.
- PINCELLI, A. L. P. S. M.; **Características dos resíduos da colheita de madeira de eucalipto e pinus, submetidos ao tratamento térmico, com foco na aplicação genética**. Tese. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 126 p., 2011.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2017.
- RENNER, R. M.; **Sequestro de carbono e a viabilização de novos reflorestamentos no Brasil**. Dissertação. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- ROCHA, M.T.: **Aquecimento Global e o Mercado de Carbono: uma aplicação do Modelo CERT**. Tese. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Área de Concentração. Economia Aplicada. Piracicaba, 196 p., 2003.

SCHIKOWSKI, A. B. **Modelagem do crescimento e de biomassa individual de Pinus**. *Pesq. flor. bras.*, Colombo, v. 33, n. 75, p. 269-278, jul./set. 2013

SCHUMACHER, F.X & HALL, F.S. **Logarithmic expression of tree volume**. *Journal of agricultural Research*, v.47, p. 719- 34, 1993.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) subespécie maidenii. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 45-53, jun. 2001.

SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: Simpósio sobre Ecossistemas Naturais do Mercosul: O Ambiente da Floresta, 1. 1996. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CEPEF,1996.

SHIMIZU, J. Y. Pinus na silvicultura brasileira. **Revista da Madeira**, v.16, p.4-14, 2006.

SILVA, A. D. O lado bom do carvão. **Revista da Madeira**, Edição N° 114, Junho de 2008.

SILVA, R. W C.; PAULA, B. L. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. **Terrae Didatica**, v.5, n. 1, p. 42-49, 2009.

SILVEIRA, P. et al. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 1, pp.185-206, 2008.

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York: Ronald Press,476 p, 1952.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed. p.184-188, 2004.