

VICENTE TOLEDO MACHADO DE MORAIS JUNIOR

**SOBREVIVÊNCIA E CRESCIMENTO INICIAL DE ESPÉCIES ARBÓREAS  
EM PLANTIOS DE NEUTRALIZAÇÃO DE CARBONO EM VIÇOSA, MG**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2017

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

T

M827s  
2017

Morais Junior, Vicente Toledo Machado de, 1991-  
Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas em  
plantios de neutralização de carbono em Viçosa, MG / Vicente  
Toledo Machado de Moraes Junior. – Viçosa, MG, 2017.  
xiii, 66 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Florestas - Conservação. 2. Mudanças climáticas.  
3. Aquecimento global. 4. Crédito de carbono.  
5. Desenvolvimento sustentável. 6. Gases estufa. I. Universidade  
Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal.  
Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. II. Título.

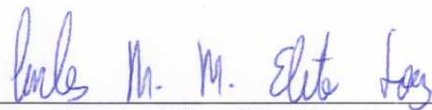
CDO adapt. CDD 22. ed. 634.923

VICENTE TOLEDO MACHADO DE MORAIS JUNIOR

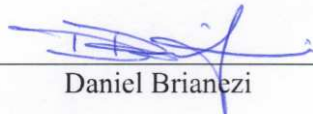
**SOBREVIVÊNCIA E CRESCIMENTO INICIAL DE ESPÉCIES ARBÓREAS  
EM PLANTIOS DE NEUTRALIZAÇÃO DE CARBONO EM VIÇOSA, MG**

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

APROVADA: 23 de fevereiro de 2017.



Carlos Moreira Miquelino Elete Torres  
(Coorientador)



Daniel Brianezi



Haroldo Nogueira de Paiva



Laércio Antônio Gonçalves Jacovine  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por nortear meus passos em todas as circunstâncias da vida. E me fazer acreditar que cada dia é um dia de evolução rumo aos seus braços.

Aos meus pais, Anair Ferreira de Moraes (*in memoriam*) e Vicente de Toledo Machado (*in memoriam*) por terem me dado a oportunidade de viver nesse mundo grandioso.

Aos meus pais de coração e alma, Ademar Aparecido da Maia (*in memoriam*) e Aparecida Regina Sanches da Maia, que não mediram esforços para ensinar os valores mais nobres que um ser humano deve possuir.

Aos meus irmãos, Ana Flávia, Silvia Elena, Luiz Fernando, Bárbara e Ritinha que, cada um com sua peculiaridade, me traz a paz, calma, alegria e proteção. Esse grande amor e união nos mantêm unidos e nos dá muita força para vencer cada obstáculo do caminho.

Ao Professor Laércio Antônio Gonçalves Jacovine, pela amizade que conquistamos nesse período e pelas oportunidades e desafios confiados a mim.

Ao Professor Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres pela alegria, companheirismo e disponibilidade para auxiliar em qualquer circunstância.

Ao Professor e coorientador Haroldo Nogueira de Paiva pela prontidão em auxiliar em vários momentos.

Ao Professor Daniel Brianezi pela disponibilidade em participar da banca e pelas contribuições para o aperfeiçoamento da dissertação.

À Tamara Braga, minha namorada, pela cumplicidade e pelo precioso dom de me transmitir a tranquilidade em vários momentos.

À Amana e Mariana minhas grandes companheiras e irmãs, sem vocês me ouvindo e auxiliando, jamais teria conseguido concluir tudo.

Aos amigos Larissa Goper, Darlan, Paulinha Kanashiro, Elke, Ana Dária, Laura, Magdalyne, Marinão, Almerinda e Luciano França por estarem sempre por perto trazendo palavras de entusiasmo e alegria.

Aos integrantes da república 1511 (Gelton, Baroa, Adrenalina, Breno, Uly e Fabrício) por proporcionarem tantos momentos inesquecíveis de alegria e descontração. E também à república Manga com Leite que sempre me acolheu como agregado de uma maneira tão fraterna.

Aos amigos de infância Milena, Maria Alice, Jonathan Rafaele João Paulo que sempre mostraram que a distância não é empecilho para quem ama de verdade.

Aos amigos da ENF-2009, em especial, Amandinha, Bruninha, Abul, V8, Celhão, Mateusão, Caiafa, Danilo, Cassão, Indira, Carlinha, Jú Viana, Luiz, Mauzinzin, Vitão, Emylle, Ana.T, PseudoLuque e Jupops.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal e todos os professores pelos ensinamentos.

Ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF) e Universidade Federal de Viçosa (UFV) por todo o suporte para o desenvolvimento do projeto. Em especial aos funcionários Alexandre, Betty Balanço, Dilson, Chiquinho, Paulo e Marquione pela prontidão e paciência em me atender sempre em tudo o que precisei.

Aos amigos da pós-graduação pelo incentivo em inúmeros momentos. Em especial, Joãozinho, Simone, Lívia Figueiredo, Lyvia Rego, Matheus Perdigão, Guilherme, Erlon, Brunão e Villa.

Aos colaboradores dos viveiros do DEF, IEF e da hidrologia: Josimar, Sr. Ivo, Sr. João, Dininha e Machado, Marquinhos e Sr. José Otacilio e também meu amigo Wagner Darlon por auxiliar com inúmeras atividades no experimento.

Ao Grupo de Estudo em Economia Ambiental pela oportunidade de aprendizado conjunto com outros estudantes e Professores. E a todos os estagiários que auxiliaram com as coletas de dados em especial: Tamara, Maria Paula, Karina, Klisman, Pedro, Matheus Pedro, Rômulo, Camila Ribeiro, Mirza, Valéria, Josiane, Gustavo, Ana Carolina, Dona Euzébia, Welton, Rodrigo, Lira, Michel, Isabella, Wesley, Lauana e Pri.

A Pró-Reitoria de Extensão e Cultura e ao Programa Carbono Zero pelo aprendizado e também pelo fornecimento dos plantios para a pesquisa. Em especial aos amigos Eliana e Samuel pelos incontáveis auxílios e também a nossa preciosa amizade.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos.

Aos familiares Vó Negrinha, Vó Lena, Tata, Tia Vani, Tia Catarina, Tio Tõem, Tia Maria, Sandro, Iza Mariana, Henrique, Marcelo, Nay, Camila, Ana. M. e Madrinha Benvinda pelas boas energias e orações.

A todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente. Muito Obrigado!

*“Sem sonhos, as perdas se tornam insuportáveis, as pedras do caminho se tornam montanhas, os fracassos se transformam em golpes fatais... Mas, se você tiver grandes sonhos, seus erros produzirão crescimento, seus desafios produzirão oportunidades, seus medos produzirão coragem.”*

Madre Teresa de Calcutá

*“Não deixe que ninguém tire a sua esperança.”*

Papa Francisco

## **BIOGRAFIA**

VICENTE TOLEDO MACHADO DE MORAIS JUNIOR, filho de Vicente de Toledo Machado e Anair Ferreira de Morais, nasceu em 15 de Maio de 1991, na cidade de Iturama, MG.

Em 2008, concluiu o Ensino Médio no Colégio Magnum Agostiniano, em Belo Horizonte, MG.

Em Março de 2009, ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais, concluindo-o em Janeiro de 2015.

Em Março de 2015, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da UFV, em nível de Mestrado, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2017.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	xi
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. OBJETIVO GERAL.....	4
REFERÊNCIAS.....	5
ARTIGO 1 .....	6
POTENCIAL DE NEUTRALIZAÇÃO DE CARBONO DE ESPÉCIES ARBÓREAS, AOS 29 MESES, SOB ÁREA DEGRADADA NO SUDESTE DO BRASIL .....	6
RESUMO .....	6
ARTICLE 1.....	8
POTENTIAL OF TREE SPECIES, AT 29 MONTHS, IN CARBON OFFSET PLANTATION IN SOUTHEASTERN BRAZIL.....	8
ABSTRACT .....	8
1. INTRODUÇÃO .....	10
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
2.1 Caracterização da área de estudo .....	11
2.2 Implantação do experimento.....	11
2.3 Parâmetros avaliados.....	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
3.1 Sobrevivência, diâmetro, altura e estoque de carbono .....	14
3.2 Pontuações e listagem do potencial das espécies para plantios de neutralização de carbono sob área degradada.....	17
4. CONCLUSÕES .....	19
REFERÊNCIAS.....	20
ARTIGO 2 .....	34
CRESCIMENTO E SOBREVIVÊNCIA DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM PLANTIO DE NEUTRALIZAÇÃO DE CARBONO, AOS 40 MESES, SOB ÁREA DEGRADADA NO SUDESTE DO BRASIL .....	34
RESUMO .....	34
ARTICLE 2.....	36



<b>GROWTH AND SURVIVAL OF TREE SPECIES IN CARBON NEUTRALIZATION PLANTS, AT 40 MONTHS, UNDER A DEGRADED AREA IN SOUTHEAST BRAZIL.....</b>	<b>36</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>36</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>38</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>40</b>
<b>2.1 Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>40</b>
<b>2.2 Implantação do experimento.....</b>	<b>40</b>
<b>2.3 Parâmetros avaliados e análises .....</b>	<b>41</b>
<b>2.4 Análise estatística e ordenamento da estocagem de carbono .....</b>	<b>43</b>
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>45</b>
<b>4. DISCUSSÃO.....</b>	<b>47</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>
<b>CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>66</b>

## RESUMO

MORAIS JUNIOR, Vicente Toledo Machado de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2017. **Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas em plantios de neutralização de carbono em Viçosa, MG.** Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Coorientador: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres.

A necessidade das nações migrarem para uma economia de baixa emissão de carbono é algo que se discute intensamente dentro do cenário econômico, ambiental e social no mundo. O tema ganhou força principalmente na 21ª Conferência das Partes (COP 21) ocorrido no ano de 2015, em Paris, França. Nessa conferência foi definido um acordo climático global (Acordo de Paris) no qual os países se comprometem com metas voluntárias de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) até o ano de 2030. O Brasil, por sua vez, vem sendo um dos países protagonistas em assuntos relacionados a mudanças climáticas. Fato que reforça isso é a criação da Política Nacional de Mudanças climáticas (PNMC) em 2009, antes mesmo de acontecer o Acordo de Paris. No Acordo de Paris, o Brasil se comprometeu a reduzir suas emissões de GEE em 37% e 43% até 2025 e 2030, respectivamente (considerando o ano de 2005 como o ano-base das emissões). Diante disso, o país estabeleceu diversas metas relacionadas à diminuição das emissões de GEE, como aumento das energias renováveis, diminuição do uso de combustíveis fósseis, aumento da área de Integração Lavoura Pecuária e Floresta (ILPF), zerar o desmatamento ilegal, restauração e reflorestamento de áreas, entre outros. Especificamente a respeito dessa última meta, ainda é preciso muitos avanços técnico-científicos visando alcançar o objetivo de restaurar/reflorestar 12 milhões de hectares até 2030. Outra oportunidade que está em consonância com essa meta é o fomento de ações voluntárias de neutralização, por meio de plantios de neutralização de carbono em propriedades rurais. Um dos grandes desafios para implementação dessas metas é o conhecimento do potencial das espécies arbóreas. Nesse contexto se insere o objetivo geral desse estudo, que busca fornecer bases sólidas que subsidiem a escolha de espécies para esses plantios, principalmente na Mata Atlântica. Além disso, utilizam-se duas diferentes metodologias não destrutivas para determinar os potenciais das espécies. O estudo foi dividido em dois artigos: o primeiro teve como objetivo identificar o potencial de neutralização de carbono de 25 espécies arbóreas

em área degradada na região da Mata Atlântica brasileira. Quinhentas mudas (20 mudas de cada espécie florestal) foram plantadas em blocos casualizados. O diâmetro, a altura do solo e altura dos indivíduos foram mensurados aos 29 meses para estimar os incrementos anuais. Três indivíduos de cada espécie foram selecionados e cubados pelo método não-destrutivo e, a partir da fórmula de Smalian, o volume e o estoque carbono foram estimados de cada planta, por espécie. O incremento médio anual de carbono dos indivíduos foi estimado pela equação ajustada a partir do modelo Schumacher & Hall. O potencial de estocagem de carbono das plantas testadas foi elaborado de acordo com um sistema de pontuação baseado nos parâmetros de SB e IMA<sub>C</sub>. A SB média das plantas foi de 47,0%, com variação de 5,0% a 100,0%, com destaque para *Schinus terebinthifolius* (100,0%); *Sapindus saponaria* (95,0%); *Senna multijuga* (80,0%); *Handroanthus chrysotricha* (80,0%); *Plathymenia foliolosa* (75,0%); *Cassia grandis* (75,0%) e *Colubrina glandulosa* (60,0%). Todas essas espécies são pioneiras, exceto *H. chrysotricha* e *C. grandis*. As menores SB foram de *Caesalpinia peltophoroides* (20,0%); *Tibouchina granulosa* (10,0%); *Anadenanthera pavonina* (5,0%); *Cariniana legalis* (5,0%); *Samanea inopinata* (5,0%) e *Syzygium jambos* (5,0%). Todas essas espécies são não pioneiras, exceto *A. pavonina*. O crescimento das espécies não pioneiras foi, em geral, menor que o das pioneiras, exceto para *Ceiba speciosa*. Além dessa, entre as não pioneiras, *T. granulosa*, *Bombacopsis glabra* e *C. grandis* destacaram-se para as variáveis de crescimento. Nenhuma das espécies alcançou pontuação máxima (10 pontos) na soma dos parâmetros considerados. As maiores pontuações (nove pontos) foram de *Schizolobium parahyba* e *S. multijulga*, ambas pioneiras. As menores pontuações foram de *Anadenanthera macrocarpa* e *Sterculia chicha* (quatro pontos), seguidas de *Cedrela fissilis*, *Caesalpinia peltophoroides*, *Cytharexylum myrianthum*, *Hymenaea courbaril*, *Psidium guineense* e *Tibouchina granulosa* (três pontos) e *A. pavonina*, *Cariniana legalis*, *Lecythis pisonis*, *Samanea inopinata* e *S. jambos* (dois pontos). A metodologia adotada permitiu determinar o potencial das espécies para a composição de projetos de neutralização de carbono em áreas degradadas, especificamente, na Mata Atlântica brasileira. As espécies com maior potencial de neutralização de carbono são: *Bombacopsis glabra*, *Cassia grandis*, *Ceiba speciosa*, *Colubrina glandulosa*, *Handroanthus chrysotricha*, *Joannesia princeps*, *Plathymenia foliolosa*, *Sapindus saponaria*, *Schinus terebinthifolius*, *Schizolobium parahyba*, *Senna macranthera* e *Senna multijulga*. Já as espécies *Anadenanthera macrocarpa*,

*Anadenanthera pavonina*, *Caesalpinia peltophoroides*, *Cariniana legalis*, *Cytharexylum myrianthum*, *Cedrela fissilis*, *Hymenaea courbaril*, *Lecythis pisonis*, *Psidium guineense*, *Samanea inopinata*, *Syzygium jambos*, *Sterculia chicha* e *Tibouchina granulosa* possuem menor potencial e exigem mais tratamentos silviculturais, aumentando os custos de projetos de neutralização de carbono. O segundo artigo teve como objetivo: avaliar o crescimento e sobrevivência de 15 espécies arbóreas, aos 40 meses, em plantio de neutralização de carbono sob área degradada no sudeste do Brasil. Assim, 509 mudas (15 espécies florestais) foram plantadas em delineamento inteiramente casualizado. O diâmetro e altura dos indivíduos foram mensurados aos 40 meses. Três indivíduos de cada espécie foram selecionados e cubados pelo método não-destrutivo. O volume foi estimado a partir do somatório do volume das seções dos indivíduos, obtidos pela fórmula de Smalian. O incremento médio anual de carbono dos indivíduos foi estimado pela equação ajustada a partir do modelo Schumacher & Hall. O potencial de neutralização das plantas testadas foi avaliado a partir das análises da SB e  $\mu\text{C}$ . O método REML (*Restricted Maximum Likelihood*)/BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*) foi utilizado na predição de valores de  $\mu\text{C}$  para o ordenamento das espécies com potencial de neutralização de carbono. A sobrevivência foi de 47,54 % aos 40 meses. O estoque de carbono do plantio foi de  $2,60 \text{ KgC.indivíduo}^{-1}$  ( $\pm 6,2 \text{ KgC.indivíduo}^{-1}$ ) e o Incremento Médio Anual em Carbono (IMAC) foi de  $0,78 \text{ KgC.indivíduo}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Esse valor é inferior ao valor médio estipulado para projetos de neutralização que é de  $6,0 \text{ KgCO}_2.\text{indivíduo}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . As espécies pioneiras contribuíram mais para estocagem de carbono do que as espécies não pioneiras. Porém, é importante a utilização dos dois grupos funcionais para garantir a estocagem de carbono por longos períodos de tempo. *Peltophorum dubium*, *Albizia hassleri*, *Anadenanthera macrocarpa*, *Andira anthelmia*, *Samanea inopinata* e *Inga vera* apresentaram maior potencial de neutralização de carbono. *Anadenanthera Pavonina*, *Joannesia princeps*, *Hymenaea courbaril*, *Lecythis pisonis*, *Cytharexylum myrianthum*, *Genipa americana* e *Guarea guidonia* apresentaram o menor potencial de neutralização. A espécie *Syzygium cumini* apresentou potencial satisfatório, contudo seu emprego merece atenção devido ao comportamento de dominância intrínseco da espécie.

## ABSTRACT

MORAIS JUNIOR, Vicente Toledo Machado de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2017. **Survival and initial growth of arboreal species in carbon neutralization plantings in Viçosa, MG.** Advisor: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Co-advisor: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres.

The need for a lower carbon economy is something that has already been discussed intensely within the economic, environmental and social world. This issue gained momentum at the 21st Conference of the Parties (COP 21) in Paris, France, 2015. This conference created a global climate agreement (Paris Agreement), in which countries have committed to voluntarily reduce greenhouse gas (GHG) emissions by the year 2030. Brazil, in turn, has been a protagonist country in climate change issues. A fact that reinforces this is the creation of the National Climate Change Policy (PNMC), which took place in 2009, even before the Paris Agreement. In the Paris Accord, Brazil committed to reduce its GHG emissions by 37% and 43% by 2025 and 2030, respectively (considering 2005 as the base year of emissions). In this view, the country has established several goals related to reduction of GHG emissions, such as: increase renewable energies, reduce the use of fossil fuels, increase of Livestock and Forest Intake Area (ILPF), achieve zero illegal deforestation, restore and reforest areas, among others. However, many technical and scientific advances are still needed to accomplish the goal of restoring / reforesting the 12 million hectares by 2030. Another opportunity that may take place with this goal is the promotion of voluntary neutralization actions, through Carbon Neutralization plantations in rural properties. One of the greatest challenges for implementing these goals is the background knowledge about the tree species potential. In this context, the general objective of this study is inserted, which seeks to provide solid bases that subsidize the choice of species for these plantations, especially in the Atlantic Forest. In addition, two different non-destructive methodologies are used to determine the species' potential. The study was divided into two articles: The first one had the objective of identifying the carbon neutralization potential of 25 tree species in a degraded area of the Brazilian Atlantic Forest. Five hundred seedlings (20 seedlings of each forest species) were planted in randomized blocks. The diameter at soil height and the height of the individuals were measured at month 29 to estimate the annual increment. Three individuals of each

species were selected and cubed by non-destructive method and, with Smalian formula, the volume and carbon stock were estimated for each individual of all species. The average annual increment in carbon was estimated by the adjusted Schumacher & Hall model. The carbon storage potential of the tested plants was elaborated according to a scoring system based on the SB and IMAC parameters. The SB mean was 47.0%, with variation from 5.0% to 100.0%, with highlights for *Schinus terebinthifolius* (100.0%); *Sapindus saponaria* (95.0%); *Senna multijuga* (80.0%); *Handroanthus chrysotricha* (80.0%); *Plathymenia foliolosa* (75.0%); *Cassia grandis* (75.0%) and *Colubrina glandulosa* (60.0%). All these species are pioneers, except *H. chrysotricha* and *C. grandis*. The lowest SB were *Caesalpinia peltophoroides* (20.0%); *Tibouchina granulosa* (10.0%); *Anadenanthera pavonina* (5.0%); *Cariniana legalis* (5.0%); *Samanea inopinata* (5.0%) and *Syzygium jambos* (5.0%). All these species are non-pioneering except *A. pavonina*. The non-pioneer growth was generally smaller than the one for pioneers, except for *Ceiba speciosa*. In addition, among the non-pioneers, *T. granulosa*, *Bombacopsis glabra* and *C. grandis* stood out for the growth variables. None of the species reached the maximum score (10 points) in the sum of the parameters considered. The highest scores (nine points) were from *Schizolobium parahyba* and *S. multijulga*, both pioneers. The lowest scores were from *Anadenanthera macrocarpa* and *Sterculia chicha* (four points), followed by *Cedrela fissilis*, *Caesalpinia peltophoroides*, *Cytharexylum myrianthum*, *Hymenaea courbaril*, *Psidium guineense* and *Tibouchina granulosa* (three points) and *A. pavonina*, *Cariniana legalis*, *Lecythis pisonis*, *Samanea inopinata* and *S. jambos* (two points). The methodology adopted allowed to determine the species potential for the composition of carbon neutralization projects in degraded areas, specifically, in the Brazilian Atlantic Forest. The species with the greatest potential for carbon neutralization are: *Bombacopsis glabra*, *Cassia grandis*, *Ceiba speciosa*, *Colubrina glandulosa*, *Handroanthus chrysotricha*, *Joannesia princeps*, *Plathymenia foliolosa*, *Sapindus saponaria*, *Schinus terebinthifolius*, *Schizolobium parahyba*, *Senna macranthera* and *Senna multijulga*. The species *Anadenanthera macrocarpa*, *Anadenanthera pavonina*, *Caesalpinia peltophoroides*, *Cariniana legalis*, *Cytharexylum myrianthum*, *Cedrela fissilis*, *Hymenaea courbaril*, *Lecythis pisonis*, *Psidium guineense*, *Samanea inopinata*, *Syzygium jambos*, *Sterculia chicha* and *Tibouchina granulosa* have the lowest potential and need more silvicultural treats, which increase the costs of Carbon Neutralization Projects. The

second article aimed to: Evaluate the growth and survival of 15 tree species, at 40 months, in Carbon Neutralization Plantations on southeast Brazil degraded areas. Thus, five hundred and nine seedlings were planted in completely randomized design. The individuals' diameter and height were measured at 40 months. Three individuals of each species were selected and cubed by the non-destructive method. The volume was estimated through sum of the volume sections of the individuals, obtained by the Smalian formula. The average annual increment in carbon of individuals was estimated by the adjusted Schumacher & Hall model. The neutralization potential of the tested plants was evaluated by SB and  $\mu\text{C}$  analyzes. The Restricted Maximum Likelihood / BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) method was used to predict  $\mu\text{C}$  values to order the species by their carbon neutralization potential. Survival was 47.54% at 40 months. The carbon stock of the plantation was  $2.60 \text{ KgC.individual}^{-1}$  ( $\pm 6.2 \text{ KgC.individual}^{-1}$ ) and the Average Annual Increase in Carbon (IMAC) was  $0.78 \text{ KgC.individual}^{-1}.\text{year}^{-1}$  and this value is lower than the average value stipulated for neutralization projects that is  $6.0 \text{ KgCO}_2.\text{individual}^{-1}.\text{year}^{-1}$ . Pioneer species contributed more to carbon storage than non-pioneer species. However, it is important to use the two functional groups to ensure carbon storage for long periods of time. *Peltophorum dubium*, *Albizia hassleri*, *Anadenanthera macrocarpa*, *Andira anthelmia*, *Samanea inopinata* and *Inga vera* presented higher potential for carbon neutralization. *Adenanthera Pavonina*, *Joannesia princeps*, *Hymenaea courbaril*, *Lecythis pisonis*, *Citharexylum myrianthum*, *Genipa americana* e *Guarea guidonia* presented lower neutralization potentials. *Syzygium cumini* presented satisfactory potential, however its use deserves attention due to its intrinsic dominance behavior.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) deixou como legado um dos mais importantes acordos climáticos firmados entre as nações de todo o planeta, o chamado “Acordo de Paris”, que apresentou como objetivo central manter o aumento da média global da temperatura entre 2°C e 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (UNFCCC COP, 2015). O Acordo foi ratificado em abril de 2016 e os países signatários apresentaram seus esforços voluntários para alcançar o objetivo proposto.

O Brasil apresentou a meta de reduzir suas emissões de GEE em 37% e 43% até os anos de 2025 e 2030, respectivamente (considerando o ano-base de 2005). Para o atendimento dessa meta, o Brasil adotou algumas medidas prioritárias, entre elas, aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética, aumentar a participação de energias renováveis, promover novos padrões tecnológicos de baixa emissão de carbono no setor industrial, melhorar a eficiência do transporte público nos grandes centros, fortalecer o cumprimento do Código Florestal e as políticas de prevenção e combate ao desmatamento ilegal e restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas até 2030 (Brasil, 2015).

A restauração e reflorestamento dos 12 milhões de hectares assumidos no compromisso brasileiro possui potencial de gerar co-benefícios, que podem tornar ainda mais interessante a iniciativa. Cita-se como exemplo: a recuperação e proteção do solo, a proteção dos recursos hídricos, a estabilidade climática, o incentivo a regularização ambiental das propriedades rurais, a criação de um novo setor de arrecadação de imposto, a geração de novos empregos dentre outros aspectos (MMA, 2017). Além disso, essa meta também poderá fazer parte das “metas brasileiras de biodiversidade”, outro importante compromisso assumido pelo Brasil no âmbito das metas de Aichi da Convenção sobre Diversidade Biológica, ocorrido no Japão em 2010.

Em 2016, alguns indicadores foram divulgados com relação a área brasileira ocupada por sistemas de Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Entre 2005 e 2015, a expansão dessa área correspondeu a aproximadamente 10 milhões de hectares, crescimento que resulta em uma área de 11,47 milhões de hectares de ILPF no país (Embrapa, 2016). No entanto, são inexistentes os documentos que tratam do panorama atual e as perspectivas de restauração com florestas nativas perante o



Acordo de Paris. Na meta de restauração e reflorestamento não existe nenhuma submeta que defina a área total específica de restauração com florestas nativas. Esse fato pode levar o país a utilizar predominantemente o setor de florestas plantadas ou ILPF para atingir as metas propostas (MMA, 2017), já que o investimento para restaurar os 12 milhões de hectares com vegetação nativa pode ser na ordem de 31 a 52 bilhões de reais (Kishinami e Watanabe Junior, 2016).

Além dos altos custos inerentes a restauração, é preciso uma série de avanços técnicos-científicos para atingir essas metas. No documento-base para subsidiar os diálogos estruturados sobre a elaboração de uma estratégia de implementação e financiamento da contribuição nacionalmente determinada do Brasil ao Acordo de Paris, muitas dessas dificuldades foram mencionadas. Entre elas, destaca-se: falta de políticas públicas incentivadoras, pouca divulgação do conhecimento técnico da restauração florestal obtido por empresas, instituições de pesquisa e organizações não governamentais; falta de informações silviculturais das espécies nativas; pequena diversidade de produção de sementes das espécies nativas; utilização de matrizes sem melhoramento genético, identificação do potencial da regeneração dos locais, entre outros (MMA,2017).

No Brasil, há uma escassez de estudos, principalmente sobre a Mata Atlântica, relacionados ao comportamento silvicultural das espécies florestais nativas, sendo imprescindíveis os plantios experimentais para testar os potenciais silviculturais das espécies (Mendonça et al., 2017). O conhecimento do comportamento das espécies é o primeiro passo para se ter programas de neutralização de carbono ou de restauração florestal com sucesso. Estudos que contemplam essa temática podem também subsidiar a escolha de espécies a serem produzidas em viveiros florestais, diminuindo esforços e custos com produção de mudas indesejáveis para plantios em campo.

Mesmo diante dos diversos desafios existem iniciativas bem-sucedidas no país, entre elas destaca-se a experiência relatada por Joly et al. (2010) e Pinto et al. (2014). Iniciativas como essas vêm servindo de propulsão para o desenvolvimento de outras ações relacionadas à restauração de ecossistemas degradados e também são responsáveis pela difusão de conhecimento nessa esfera do conhecimento. O Programa Carbono Zero da Universidade Federal de Viçosa é também uma dessas iniciativas que, a partir da quantificação das emissões de GEE em eventos da Instituição, executa a neutralização por meio de plantios de árvores em área

degradada (Alves, 2014). Além da importância para a imagem da Instituição, o Programa gera uma série de conhecimentos técnicos relacionada à sobrevivência e crescimento das espécies arbóreas. O estudo está dividido da seguinte forma:

- ARTIGO 1: Potencial de neutralização de carbono de espécies arbóreas, aos 29 meses, sob área degradada no sudeste do Brasil.
- ARTIGO 2: Crescimento e sobrevivência de espécies arbóreas em plantios de neutralização de carbono, aos 40 meses, sob área degradada no sudeste do Brasil.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Avaliar a sobrevivência e o crescimento inicial de espécies arbóreas em plantios de neutralização de carbono, em Viçosa, Minas Gerais.

## REFERÊNCIAS

Alves, E. B. B. M. (2014). *Mudanças climáticas: percepção do produtor, balanço de carbono em propriedades rurais e neutralização de evento da Universidade Federal de Viçosa*. (Dissertação de Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

Brasil. (2015). *Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (INDC) Para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. Disponível em: [http://www.itamaraty.gov.br/images/ed\\_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf](http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf). acesso: 20/03/2018.

Embrapa. (2016). *ILPF em núm3r05*. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158636/1/2016-cpamt-ilpf-em-numeros.pdf>. acesso: 22/03/2018.

Joly, C. A., Rodrigues, R. R., Metzger, J. P., Haddad, C. F., Verdade, L. M., Oliveira, M. C., Bolzani, V. S. (2010). Biodiversity conservation research, training, and policy in São Paulo. *Science*, 328(5984), 1358-1359.

Kishinami, R., Watanabe Junior, S. (2016). *Quanto o Brasil precisa investir para recuperar 12 milhões de hectares de florestas? sumário executivo*. Disponível em: [https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/18770/GVces\\_Quanto%20o%20Brasil%20precisa%20investir%20para%20recuperar%2012%20milh%C3%B5es%20de%20hectares%20de%20florestas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/18770/GVces_Quanto%20o%20Brasil%20precisa%20investir%20para%20recuperar%2012%20milh%C3%B5es%20de%20hectares%20de%20florestas.pdf?sequence=1&isAllowed=y). acesso: 22/03/2018.

Mendonça, G. C., Chichorro, J. F., Mendonça, A. R., Guimarães, L. A. O. P. (2017). Avaliação silvicultural de dez espécies nativas da mata atlântica. *Ciência Florestal*, 27(1), 277-290.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. (2017). *Documento-base para subsidiar os diálogos estruturados sobre a elaboração de uma estratégia de implementação e financiamento da contribuição nacionalmente determinada do Brasil ao Acordo de Paris..* Disponível em: [http://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/ndc/documento\\_base\\_ndc\\_2\\_2017.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/ndc/documento_base_ndc_2_2017.pdf). acesso: 21/03/2018.

Pinto, S. R., Melo, F., Tabarelli, M., Padovesi, A., Mesquita, C. A., de Mattos Scaramuzza, C. A., César, R. G. (2014). Governing and delivering a biome-wide restoration initiative: The case of Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. *Forests*, 5(9), 2212-2229.

UNFCCC COP. (2015). *Adoption of the Paris agreement*. United Nations Office at Geneva, Geneva.

## ARTIGO 1

# POTENCIAL DE NEUTRALIZAÇÃO DE CARBONO DE ESPÉCIES ARBÓREAS, AOS 29 MESES, SOB ÁREA DEGRADADA NO SUDESTE DO BRASIL

## RESUMO

A avaliação sobre o desempenho das espécies arbóreas colabora para a seleção daquelas mais apropriadas em programas de restauração e neutralização de carbono. Espécies com desempenho insatisfatório devem ser evitadas por reduzirem o sucesso da restauração florestal. O objetivo desse estudo foi identificar o potencial de neutralização de carbono de 25 espécies arbóreas, aos 29 meses, em área degradada na região sudeste do Brasil. A partir de um sistema de pontuação baseado nos parâmetros de sobrevivência (SB) e Incremento Médio Anual em Carbono (IMAc). Quinhentas mudas (20 mudas por espécie florestal) foram plantadas em blocos casualizados. O diâmetro e altura dos indivíduos foram mensurados para estimar os incrementos anuais. Três indivíduos de cada espécie foram selecionados e cubados pelo método não-destrutivo e, a partir da fórmula de Smalian, o volume e o estoque carbono foram estimados de cada planta por espécie. O incremento médio anual de carbono dos indivíduos foi estimado pela equação ajustada a partir do modelo Schumacher & Hall. O potencial de estocagem de carbono das plantas testadas foi elaborado de acordo com um sistema de pontuação baseado nos parâmetros de SB e IMAc. A SB média das plantas foi de 47,0% com variação de 5,0% a 100,0%, com destaque para *Schinus terebinthifolius* (100,0%); *Sapindus saponaria* (95,0%); *Senna multijuga* (80,0%); *Handroanthus chrysotricha* (80,0%); *Plathymenia foliolosa* (75,0%); *Cassia grandis* (75,0%) e *Colubrina glandulosa* (60,0%). Todas essas espécies são pioneiras, exceto *H. chrysotricha* e *C. grandis*. As menores SB foram de *Caesalpinia peltophoroides* (20,0%); *Tibouchina granulosa* (10,0%); *Anadenanthera pavonina* (5,0%); *Cariniana legalis* (5,0%); *Samanea inopinata* (5,0%) e *Syzygium jambos* (5,0%). Todas essas espécies são não-pioneiras, exceto *A. pavonina*. O crescimento das espécies não pioneiras foi, em geral, menor que o das pioneiras, exceto para *Ceiba speciosa*. Além dessa, entre as não pioneiras, *T. granulosa*, *Bombacopsis glabra* e *C. grandis* destacaram-se para as

variáveis de crescimento. Nenhuma das espécies alcançou pontuação máxima (10 pontos) na soma dos parâmetros considerados. As maiores pontuações (nove pontos) foram de *Schizolobium parahyba* e *S. multijuga*, ambas pioneiras. As menores pontuações foram de *Anadenanthera macrocarpa* e *Sterculia chicha* (quatro pontos), seguidas de *Cedrela fissilis*, *Caesalpinia peltophoroides*, *Cytharexylum myrianthum*, *Hymenaea courbaril*, *Psidium guineense* e *Tibouchina granulosa* (três pontos) e *A.pavonina*, *Cariniana legalis*, *Lecythis pisonis*, *Samanea inopinata* e *S. jambos* (dois pontos). A metodologia adotada permitiu determinar o potencial das espécies na composição projetos de neutralização de carbono em áreas degradadas, especificamente, na Mata Atlântica brasileira. As espécies com maior potencial de neutralização de carbono são: *Bombacopsis glabra*, *Cassia grandis*, *Ceiba speciosa*, *Colubrina glandulosa*, *Handroanthus chrysotricha*, *Joannesia princeps*, *Plathymenia foliolosa*, *Sapindus saponaria*, *Schinus terebinthifolius*, *Schizolobium parahyba*, *Senna macranthera* e *Senna multijuga*. As espécies *Anadenanthera macrocarpa*, *Anadenanthera pavonina*, *Caesalpinia peltophoroides*, *Cariniana legalis*, *Cytharexylum myrianthum*, *Cedrela fissilis*, *Hymenaea courbaril*, *Lecythis pisonis*, *Psidium guineense*, *Samanea inopinata*, *Syzygium jambos*, *Sterculia chicha* e *Tibouchina granulosa* possuem menor potencial de neutralização de carbono. Portanto, essas espécies exigem tratamentos silviculturais diferenciados e isto aumenta os custos dos projetos de neutralização de carbono em áreas degradadas.

**Palavras-chave:** Mata Atlântica; restauração; sobrevivência.

## ARTICLE 1

### POTENTIAL OF TREE SPECIES, AT 29 MONTHS, IN CARBON OFFSET PLANTATION IN SOUTHEASTERN BRAZIL

#### ABSTRACT

A database of tree species performance under different environmental conditions can improve the selection of species for restoration programs and carbon neutralization. The objective of this work was to identify the potential of 25 species for carbon offsetting in a degraded area of the Brazilian Atlantic Forest, with a scoring system based on the survival (SB) and average annual carbon increment (IMAC). Trees' diameter and height were measured to estimate the annual increments in carbon. Three individuals of each species were selected and cubed by the non-destructive method and, from the Smalian formula, the volume and carbon stock were estimated for each plant of all species. The average annual increment in carbon was estimated by the adjusted Schumacher & Hall model. The mean SB of trees was 47% with high variability, ranging from 5 to 100%, especially for *Schinus terebinthifolius* (100%); *Sapindus saponaria* (95%); *Senna multijuga* (80%); *Handroanthus chrysotricha* (80%); *Plathymenia foliolosa* (75%); *Cassia grandis* (75%) and *Colubrina glandulosa* (60%), all pioneers except for *H. chrysotricha* and *C. grandis*. The lowest SB were for *Caesalpinia peltophoroides* (20%); *Tibouchina granulosa* (10%); *Anadenanthera pavonina* (5%); *Cariniana legalis* (5%); *Samanea inopinata* (5%) and *Syzygium jambos* (5%), all non-pioneering species, except for *A. pavonina*. The growth of non-pioneer species was generally lesser than pioneer ones, except for *Ceiba speciosa*. Among non-pioneers species, *T. granulosa*, *Bombacopsis glabra* and *C. grandis* stood out considering their growth variables. None of the species reached a maximum score (10 points) for the sum of the considered parameters. The highest scores (nine points) were from *Schizolobium parahyba* and *S. multijuga*, both pioneers. The lowest scores (two points) were from *A. pavonina*, *Cariniana legalis*, *Lecythis pisonis*, *Samanea Inopinata* and *S. jambos* followed by *Cedrela fissilis*, *Caesalpinia peltophoroides*, *Cytharexylum myrianthum*, *Hymenaea courbaril*, *Psidium guineense* and *Tibouchina granulosa* (three points) and *Anadenanthera macrocarpa* and *Sterculia chicha* (four points). The methodology adopted allowed the determination of the plant specie potential for carbon offsetting projects in degraded areas, specifically in the Brazilian Atlantic Forest. The species with the highest potential for carbon neutralization are: *Bombacopsis glabra*, *Cassia grandis*, *Ceiba speciosa*, *Colubrina glandulosa*, *Handroanthus chrysotricha*, *Joannesia princeps*, *Plathymenia foliolosa*, *Sapindus saponaria*, *Schinus terebinthifolius*, *Schizolobium parahyba*, *Senna macranthera* and *Senna multijuga*. The species *Anadenanthera macrocarpa*, *Anadenanthera pavonina*, *Caesalpinia peltophoroides*, *Cariniana legalis*, *Cytharexylum myrianthum*, *Cedrela fissilis*, *Hymenaea courbaril*,

*Lecythis pisonis*, *Psidium guineense*, *Samanea inopinata*, *Syzygium jambos*, *Sterculia chicha* and *Tibouchina granulosa* have lower potential for carbon neutralization. Therefore, these species require differentiated silvicultural treatments and this increases the costs of carbon neutralization projects in degraded areas.

**Keywords:** Atlantic Forest, Restoration, Survival



## 1. INTRODUÇÃO

O uso adequado da terra, incluindo a restauração florestal, contribui para que os países alcancem a meta estipulada no Acordo de Paris, que propõe limitar a elevação da temperatura em 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais (UNFCCC, 2015; Delgado et al., 2015). A preservação de florestas e o uso de plantios florestais para restaurar áreas degradadas podem mitigar os efeitos das mudanças climáticas (West et al., 2010).

Os plantios florestais vêm ganhando destaque na manutenção climática global por removerem o carbono emitido por atividades antrópicas. Esse fato é importante enquanto os países migram para o uso de fontes renováveis de energia (Houghton et al., 2015). A restauração, além desses benefícios, auxilia no cumprimento da legislação florestal e na conservação da biodiversidade, pontos relevantes para a Mata Atlântica brasileira e para o mundo, pois esse bioma é um *hotspot* global com número elevado de propriedades rurais que não cumprem a legislação florestal do Brasil (Matos et al., 2007; Carnaval et al., 2009; Preece et al., 2017).

No acordo de Paris, o Brasil assumiu o compromisso de restaurar e implantar 12 milhões de hectares de plantios florestais até 2030 (Brasil, 2015). No entanto, os custos da restauração florestal são elevados, sendo necessário o aprimoramento de técnicas e seleção de plantas para aumentar o desempenho desses projetos (Kanowski & Catterall, 2010).

O sucesso dos plantios florestais está relacionado às condições ambientais que afetam a capacidade das mudas resistirem aos estresses locais (Moratelli et al., 2007). Essas condições e a capacidade diferenciada de fixação de carbono pelas plantas requerem a determinação de parâmetros para escolher espécies adequadas para programas de restauração e neutralização de carbono (Kaul et al., 2010). Um banco de dados do desempenho de espécies florestais, sob diferentes condições ambientais, pode aumentar o sucesso dos programas de restauração por selecionar espécies mais apropriadas para esses projetos (Wuethrich 2007; Rodrigues et al., 2009; Breugel et al., 2011).

O objetivo deste estudo foi identificar o potencial de neutralização de carbono de 25 espécies arbóreas, aos 29 meses, em área degradada da Mata Atlântica brasileira.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada no Espaço Aberto de Eventos da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em Viçosa, Minas Gerais, Brasil (20° 45' 35,73" S, 42° 52' 30,84" O) (Figura 1). A altitude do local é de 697 m e se encontra no bioma Mata Atlântica, com vegetação regional classificada como Floresta Estacional Semidecidual Montana (IBGE, 2012).

O clima é do tipo Cwa (Köppen) com invernos frios e secos e verões quentes e chuvosos. O excedente hídrico de novembro a março da região é, em média, de 366,3 mm com déficit hídrico nos demais meses e precipitação e temperatura média anual de 1314,0 mm e 21,8 °C, respectivamente (Almeida et al., 2016). A precipitação acumulada desde o estabelecimento do plantio foi de 2513,9 mm e a temperatura média de 21,0 °C (UFV, 2017) (Figura 2).

A topografia tem gradiente pedogeomorfológico com topos planos com latossolos distróficos e abundantes em alumínio, com acesso a rampas colúviais com latossolos rasos e câmbicos e fundos de grotas com predomínio de cambissolos epieutróficos abundantes em nutrientes (Ferreira Júnior et al., 2012).

### 2.2 Implantação do experimento

O plantio experimental foi realizado em dezembro de 2013 em área de 2000 m<sup>2</sup> com espécies arbóreas. Quinhentas mudas, de 25 espécies (Tabela 1), foram plantadas em 20 linhas (cada uma com 25 espécies) espaçadas 2 x 2 m, orientadas no sentido paralelo ao gradiente topográfico. O delineamento foi em blocos casualizados (BC) com cada linha representando um bloco.

Uma roçada foi feita na área, inicialmente, recoberta por braquiária (*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster) para diminuir a competição e facilitar a implantação das mudas. As covas (0,3 x 0,3 x 0,3 m) foram adubadas no fundo com 300 g de 18%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Três adubações superficiais (1, 13 e 25 meses após plantio) foram feitas com 100g de 20-5-20 (NPK) cada uma. Não foi necessária irrigação nas mudas.

O manejo de plantas daninhas e formigas cortadeiras foi feito rotineiramente com glifosato (Roundup Original, 36% m/v; Monsanto do Brasil Ltda, Brasil) e iscas formicidas (AttaMex-s, 0,3% m/m sulfluramida; Unibrás Agroquímica Ltda, Brasil), respectivamente, para reduzir a competição com gramíneas e os danos por formigas.

### 2.3 Parâmetros avaliados

A sobrevivência, Diâmetro à Altura do Solo (DAS) e altura (H) foram obtidos aos 29 meses de idade das plantas. O DAS foi mensurado com paquímetro digital de precisão e a altura com fita métrica graduada. A grafia dos nomes científicos e classificação do grupo ecológico foram definidas de acordo com Lorenzi (1992), Fonseca e Perez (2003), Cruz et al., (2006), Fonseca et al., (2013) e Silva et al., (2016).

A porcentagem de sobrevivência (SB) das plantas foi determinada pela equação:  $SB_j = (N_{ff}/N_{oj}) \times 100$ , em que  $N_{ff}$ = número de indivíduos sobreviventes da *j*-ésima espécie;  $N_{oj}$ = número inicial de indivíduos plantados da *j*-ésima espécie. As médias e os desvios do Diâmetro à Altura do Solo ( $\mu$ DAS) e da altura ( $\mu$ H) das plantas foram calculados.

O incremento médio anual em diâmetro ( $IMA_D$ ) foi calculado pela equação:  $IMA_{Dj} = [(\mu DAS_j/N_j)/(I)]$ , em que:  $I$ = idade do plantio (2,42), em anos;  $N_j$ = número de indivíduos da *j*-ésima espécie;  $\mu$ DAS= média dos diâmetros a altura do solo dos indivíduos da *j*-ésima espécie (mm).

O incremento médio anual em altura ( $IMA_H$ ) foi calculado com a equação:  $IMA_{Hj} = [(\mu H_j/N_j)/(I)]$ , em que:  $I$ = idade do plantio (2,42 anos);  $N_j$ = número de indivíduos da *j*-ésima espécie;  $\mu$ H= altura média dos indivíduos da *j*-ésima espécie (cm).

A média de carbono do fuste e galhos ( $\mu$ C) foi estimada a partir da cubagem das árvores e da determinação do volume, biomassa e carbono das mesmas. As plantas foram cubadas pelo método não-destrutivo, para cumprir a legislação sobre os plantios de neutralização da UFV. Os indivíduos de cada espécie foram agrupados em classes diamétricas e três plantas foram cubadas.

O volume de cada seção foi obtido pela equação de Smalian;  $V_j = ((A_{S1}+A_{S2})/2) \times L$ , em que:  $V_j$ = volume da *j*-ésima seção, em m<sup>3</sup>;  $A_{S1}$ = área seccional inicial, em m<sup>2</sup>;  $A_{S2}$ = área seccional final, em m<sup>2</sup>;  $L$ = comprimento longitudinal da

seção, em metros. As seções foram mensuradas até o diâmetro mínimo de 5 cm. O somatório dos volumes das seções do *j-ésimo* indivíduo constituiu o volume total de cada planta mostrado pela equação:  $V_i = \sum_{j=1}^j V_j$ , em que:  $V_i$  = volume do *i-ésimo* indivíduo, m<sup>3</sup>;  $V_j$  = volume da *j-ésima* seção, em m<sup>3</sup>.

A biomassa dos galhos e fuste de cada planta foi obtida multiplicando-se a densidade básica da madeira pelo volume total individual, utilizando a equação:  $B_i = \rho_i \times V_i$ , em que:  $B_i$  = biomassa da madeira do fuste e de galhos do indivíduo da *i-ésima* espécie, em Kg;  $\rho_i$  = densidade básica de madeira da *i-ésima*, em Kg.m<sup>-3</sup>;  $V_i$  = volume (m<sup>3</sup>) do *i-ésimo* indivíduo.

A densidade básica de cada planta utilizada foi de acordo com dados do estudo de Britez et al. (2006). A conversão da biomassa em carbono foi realizada com a utilização do teor de 48% (Higushi et al., 1998). Isto permitiu gerar a equação de estoque de carbono dos fustes e galhos das árvores (Schumacher & Hall 1933) representada pela equação:  $C_{ij} = [0,000353 \times (DAS^{1,202424}) \times (H^{0,781883})]$ , ( $R^2$  ajustado = 82,12%), em que:  $C_{ij}$  = estoque de carbono do *i-ésimo* indivíduo da *j-ésima* espécie (kg); DAS = diâmetro a altura do solo (mm) e H = altura total do indivíduo (cm). Essa equação gerou as estimativas de estoque de carbono dos indivíduos do plantio. As estimativas dos parâmetros foram geradas pelo Método de Gauss-Newton no software Statistic 12.

As médias do estoque de carbono ( $\mu C$ ) e o incremento médio anual em dióxido de carbono ( $IMA_{CO_2}$ ) foram calculados por espécie florestal. Para esse último utilizou-se a equação:  $IMA_{CO_2j} = [(\mu CO_{2j} / N_j) / (I)]$ , em que:  $I$  = idade do plantio (2,42 anos);  $N_j$  = número de indivíduos da *j-ésima* espécie;  $\mu CO_{2j}$  = média do estoque de dióxido de carbono dos indivíduos da *j-ésima* espécie, em Kg. A conversão dos dados de carbono (C) para dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) foi feita por multiplicação (44/12) referente a conversão entre os pesos moleculares dos CO<sub>2</sub> e C.

Um sistema de pontuação das espécies foi estabelecido com SB e  $IMA_{CO_2}$  (Tabela 2), sendo a nota final das espécies o somatório das pontuações desses parâmetros. O total de cinco pontos foi o critério mínimo para identificar as espécies com maior potencial de neutralização de carbono em área de restauração.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Sobrevivência, diâmetro, altura e estoque de carbono

A SB média das espécies florestais foi de 47,0%, com variação de 5,0% a 100,0%. As espécies de maior destaque foram *Schinus terebinthifolius* (100,0%); *Sapindus saponaria* (95,0%), *Senna multijuga* (80,0%), *Handroanthus chrysotricha* (80,0%), *Plathymenia foliolosa* (75,0%), *Cassia grandis* (75,0%) e *Colubrina glandulosa* (60,0%); pioneiras, exceto *H. chrysotricha* e *C. grandis*. As menores SB foram registradas para *Caesalpinia peltophoroides* (20,0%), *Tibouchina granulosa* (10,0%), *Anadenanthera pavonina* (5,0%), *Cariniana legalis* (5,0%), *Samanea inopinata* (5,0%) e *Syzygium jambos* (5,0%); não pioneiras, exceto *A. pavonina* (Tabela 1 e Figura 3).

A SB do plantio foi menor que em projeto de restauração florestal conduzido em mina de bauxita no bioma Mata Atlântica em Descoberto, Minas Gerais, Brasil (Silva et al., 2016) e considerada não satisfatória de acordo com os limites estabelecidos em seleção de espécies arbóreas em florestas tropicais no norte da Tailândia (Elliot et al., 2003). A SB não satisfatória do plantio foi devido ao maior número de espécies não pioneiras (54%), as quais não toleram alta intensidade de luz, comum em áreas abertas (Douterlungne et al., 2013). Esse fato foi confirmado pelo fato da maioria das espécies com maior SB serem pioneiras e aquelas com menores SB não pioneiras.

Espécies mais susceptíveis tiveram sua SB reduzida pelo ataque das mudas por pragas. As mudas de *Cedrella fissilis* foram danificadas pela broca-do-cedro (*Hypsiphylia grandella*, Zeller, Lepidoptera: Pyralidae) e *C. speciosa* e *J. princeps*, pioneiras, por formigas cortadeiras (*Atta sexdens*, Linnaeus, Hymenoptera: Formicidae) (Figura 4A,4B e 4C). Os baixos índices pluviométricos nos meses posteriores a implantação do experimento pode também ter colaborado para a baixa SB (Figura 2).

Danos em espécies do gênero “*Cedrella*” foram relatados devido à atração de *H. grandella* por compostos orgânicos voláteis dessa planta. Isso causou danos que comprometeram sua SB em outros projetos de restauração no Brasil (Abraham et al., 2014; Nogueira et al., 2015; Souza et al., 2010). A herbivoria por *A. sexdens* se deve aos aspectos evolutivos de defesa das plantas, como mecanismos fisiológicos menos

agressivos às formigas cortadeiras (Kost et al., 2011). Danos por pragas evidenciam a necessidade de manejar esses insetos para melhorar o estabelecimento de projetos de restauração florestal com as plantas supracitadas (Ferreira, 2015; Massad et al., 2011).

O crescimento em diâmetro e altura variou entre as espécies de plantas, comprovando o potencial variável das mesmas em uma mesma condição edafoclimática. Esse fato reforça a necessidade de se determinar este parâmetro para programas de restauração florestal e neutralização de carbono (Tabela 1, Figura 5).

O crescimento diferenciado dos indivíduos se deve às estratégias de exploração dos recursos disponíveis, evidenciando a exigência diferenciada de cada espécie em determinada condição ambiental para seu estabelecimento em campo. Estruturas morfofisiológicas determinam a capacidade competitiva e a sobrevivência das plantas (Harper & Ogden 1970, Harper 1982). Os parâmetros quantitativos sobre o processo de adaptabilidade das 25 espécies avaliadas foram determinados.

O crescimento de *P. foliolosa*, *S. macranthera*, *S. multijuga* e *S. parayba* foi cerca de quatro vezes maior que o de *A. pavonina* e *H. courbaril*. As espécies *Schizolobium parayba* e *S. multijuga* apresentaram alto potencial para constituir plantios de neutralização de carbono devido a seus maiores IMA<sub>C</sub>. Espécies como essas são importantes por propiciar condições para a aceleração do desencadeamento do processo de sucessão ecológica e remover inicialmente grandes quantidades de carbono da atmosfera (Figura 5).

O maior crescimento de *S. macranthera*, *S. multijuga* e *S. parayba* não se deve, ao fato de pertencerem a família Leguminosae, cuja maioria das espécies associam-se a microrganismos fixadores de nitrogênio (Faria et al., 2010). Esse fato pode variar entre as espécies pertencentes a essa família. Para as espécies supracitadas não foi constatada nodulação de rizóbio no sistema radicular em estudo em viveiros no sul do estado de Minas Gerais, Brasil (Barberi et al., 1998). O crescimento acelerado de *S. parayba* e *S. multijuga* se deve ao fato de serem pouco exigentes em fertilidade do solo e, portanto, adaptando-se a diferentes sítios de maneira plástica (Lorenzi, 1992; Castro et al., 2014). *Senna macranthera* também adapta-se a solos pobres, principalmente em fósforo (Jaramillo-Botero et al., 2008). Maiores crescimentos iniciais foram, também, observadas para *S. parayba* e *S. multijuga* em áreas de restauração no sudeste brasileiro (Nascimento et al., 2012; Resende et al., 2015). Contudo, o crescimento acentuado de *P. foliolosa* pode ser

explicado pela associação dessa planta com microrganismos fixadores de nitrogênio (Oliveira, 1999). Esses resultados comprovam a necessidade de se comprovar a simbiose entre as espécies e os microrganismos fixadores de nitrogênio antes de recomendar leguminosas, visando acelerar a produção de biomassa em restauração de áreas degradadas.

Os diferentes IMACO<sub>2</sub> das espécies florestais evidenciam ritmos diferentes de crescimento entre espécies pioneiras e não pioneiras sob um mesmo sítio. *Ceiba speciosa*, *P. foliolosa*, *S. parahyba*, *S. macranthera* e *S. multijuga* apresentaram as maiores taxas de estocagem de carbono (Tabela 2). O crescimento das espécies não pioneiras foi menor que o das pioneiras, exceto *C. speciosa* que apresentou elevados valores de  $\mu$ DAS e  $\mu$ H. *Tibouchina granulosa*, *B. glabra* e *C. grandis* se destacaram entre as espécies não pioneiras com maiores crescimentos (Tabela 1, Figura 5). O maior  $\mu$ DAS de *B. glabra* se deve ao achatamento na base do caule dessa espécie (Figura 4D).

O elevado crescimento de *C. speciosa* pode ser explicado pela alta plasticidade fenotípica dessa planta como verificado pelas suas respostas em condições de déficit hídrico e intensidade de irradiação em teste comparativo com *Guazuma ulmifolia* (pioneira) aos seis meses (Contin et al., 2014).

O menor ritmo de crescimento das espécies não pioneiras é explicado pela falta de sombreamento nos estágios iniciais dessas plantas, as quais apresentam estratégias menos eficientes para suportar as condições de áreas degradadas (Martínez-Garza et al., 2013; Carnevali et al., 2016). Espécies não pioneiras apresentam menor ritmo de crescimento, mas tem maior aproveitamento dos recursos (luz, água, nutrientes) e maior fixação de carbono a longo prazo. Por isso, a utilização de espécies dos dois grupos ecológicos é importante para programas de neutralização de carbono com as espécies pioneiras fixando carbono em sua biomassa mais rapidamente, e as não pioneiras mantendo este elemento fixado no sistema florestal por períodos de tempo mais prolongados (Redondo-Brenes & Montagnini, 2006; Campoe et al., 2014; Shinamoto et al., 2014).

A seleção de espécies florestais com elevadas taxas de crescimento inicial como *C. speciosa*, *P. foliolosa*, *S. parahyba*, *S. macranthera* e *S. multijuga* são importantes para projetos de neutralização de carbono em área degradada, pois essas criarão condições para uma regeneração natural mais rápida (Lebrija-Trejos, 2010; Silva et al., 2016). Portanto, a determinação do IMACO<sub>2</sub> é importante,

principalmente, para escolher adequadamente as espécies para projetos de neutralização de carbono.

### **3.2 Pontuações e listagem do potencial das espécies para plantios de neutralização de carbono sob área degradada**

Nenhuma das espécies alcançaram a pontuação máxima (10 pontos) na soma dos parâmetros utilizados para listar o potencial das mesmas para plantios de neutralização de carbono. *Schizolobium parahyba* e *S. multijulga*, do grupo das pioneiras, foram as espécies com maiores pontuações (nove pontos) (Figura 6).

Formigas cortadeiras reduziram a SB de *C. speciosa*, mas o crescimento acentuado dessa planta contribuiu para que alcançasse a segunda maior nota (oito pontos). Esse fato demonstra que algumas espécies não pioneiras podem ter crescimento inicial elevado em áreas restauradas. Portanto, a avaliação de espécies desse grupo ecológico é importante para plantios de neutralização de carbono em áreas de restauração. Além disso, o uso dessa espécie requer um controle mais intensivo de formigas cortadeiras.

As espécies pioneiras, *P. foliolosa*, *S. terebinthifolius* e *S. macranthera*, alcançaram a terceira maior nota (sete pontos). *Bombacopsis glabra*, *Cassia grandis*, *C. glandulosa*, *H. chrysotricha*, *J. princeps* e *S. saponaria* atingiram cinco pontos, as três últimas não pioneiras. Esse fato mostra que o uso das 12 espécies com pontuações maior ou igual a cinco pode aumentar a eficiência de projetos de neutralização de carbono em áreas restauradas (Figura 6).

As menores pontuações foram de *A. macrocarpa* e *S. chicha* (quatro pontos), seguidas por *C. fissilis*, *C. myrianthum*, *C. peltophoroides*, *H. courbaril*, *P. guineense* e *T. granulosa* (três pontos) e *A. pavonina*, *C. legalis*, *L. pisonis*, *S. inopinata* e *S. jambos* (dois pontos). O emprego dessas espécies pode aumentar os custos e atrasar projetos de neutralização de carbono. Contudo, as taxas de sobrevivência e fixação de carbono dessas espécies florestais podem ser aumentadas com tratamentos silviculturais, contudo isso demanda custos adicionais (Campoe et al., 2014; Ferez et al., 2015).

Os resultados permitiram selecionar plantas, reduzir custos de projetos de compensação de carbono em áreas degradadas e gerar pesquisas sobre o crescimento de plantas. No entanto, outros fatores como: composição das espécies, espaçamentos,



posição no relevo, tipos de sítios entre outros podem afetar a performance das espécies (Reis & Kageyama, 2003; Costa, 2013; Morais Junior et al., 2017).

#### 4. CONCLUSÕES

A metodologia adotada permitiu determinar o potencial das espécies na composição projetos de neutralização de carbono em áreas degradadas, especificamente, na Mata Atlântica brasileira.

As espécies com maior potencial de neutralização de carbono são: *Bombacopsis glabra*, *Cassia grandis*, *Ceiba speciosa*, *Colubrina glandulosa*, *Handroanthus chrysotricha*, *Joannesia princeps*, *Plathymenia foliolosa*, *Sapindus saponaria*, *Schinus terebinthifolius*, *Schizolobium parahyba*, *Senna macranthera* e *S.multijulga*.

As espécies *Anadenanthera macrocarpa*, *Anadenanthera pavonina*, *Caesalpinia peltophoroides*, *Cariniana legalis*, *Cytharexylum myrianthum*, *Cedrela fissilis*, *Hymenaea courbaril*, *Lecythis pisonis*, *Psidium guineense*, *Samanea inopinata*, *Syzygium jambos*, *Sterculia chicha* e *Tibouchina granulosa* possuem menor potencial de neutralização de carbono. Portanto, exigem tratamentos silviculturais diferenciados e isto aumenta os custos dos projetos de neutralização de carbono em áreas degradadas.

## REFERÊNCIAS

- Abraham, J., Opuni-Frimpong, E., Weissbecker, B., Schuetz, S., Angeli, S. (2014). Olfactory cues of mahogany trees to female *Hypsipyla robusta*. *Bulletin of Insectology*, 67(1): 21-30.
- Almeida Silva, K., Martins, S. V., Neto, A. M., de Abreu Demolinari, R., Lopes, A. T. (2016). Restauração florestal de uma mina de bauxita: avaliação do desenvolvimento das espécies arbóreas plantadas. *Floresta e Ambiente*, 23(3): 309-319.
- Almeida, L. T., Monteiro, L. I. B., Silva, F. B., Corrêdo, L.P., Cesconetto, L. B. (2016). Locação de corredores ecológicos e área de preservação permanente na Universidade Federal de Viçosa. *Nativa*, 4(6): 412-418.
- Barberi, A., Carneiro, M. A., Moreira, F. M., Siqueira, J. O. (1998). Nodulação em leguminosas florestais em viveiros no sul de Minas Gerais. *Cerne*, 4(1): 145-153.
- Britez, R. M. (2006). Estoque e incremento de carbono em florestas e povoamentos de espécies arbóreas com ênfase na Floresta Atlântica do sul do Brasil. *Embrapa Florestas*; Curitiba: Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental.
- Campoe, O. C., Iannelli, C., Stape, J. L., Cook, R. L., Mendes, J. C. T., Vivian, R. (2014). Atlantic forest tree species responses to silvicultural practices in a degraded pasture restoration plantation: From leaf physiology to survival and initial growth. *Forest Ecology and Management*, 313(1): 233-242.
- Carnaval, A. C., Hickerson, M. J., Haddad, C. F., Rodrigues, M. T., Moritz, C. (2009). Stability predicts genetic diversity in the Brazilian Atlantic forest hotspot. *Science*, 323(5915): 785-789.
- Contin, D. R., Soriani, H. H., Hernández, I., Furriel, R. P., Munné-Bosch, S., Martinez, C. A. (2014). Antioxidant and photoprotective defenses in response to gradual water stress under low and high irradiance in two Malvaceae tree species used for tropical forest restoration. *Trees*, 28(6): 1705-1722.
- Costa, M. G. C. D. (2013). *Biomassa estocada em plantios de restauração com diferentes espaçamentos, diversidades e porcentagens de pioneiras na Mata Atlântica do sudeste do Brasil*. (Dissertação de mestrado), Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, ES, Brasil.
- Cruz, C.A.F., Nogueira de Paiva, H., Amadio Guerrero, C. R. (2006). Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-cascas (*Samanea inopinata* (Harms) Ducke). *Revista Árvore*, 30(4) 537-546.
- Delgado, C., Wolosin, M., Purvis, N., (2015). Restoring and protecting agricultural and forest landscapes and increasing agricultural productivity. Working paper for seizing the global opportunity: Partnerships for better growth and a better climate.

*New Climate Economy*, London and Washington, DC. Available at: <http://newclimateeconomy.report/misc/working-papers/> (accessed: 06/07/2017).

Douterlungne, D., Thomas, E., Levy-Tacher, S. I. (2013). Fast-growing pioneer tree stands as a rapid and effective strategy for bracken elimination in the Neotropics. *Journal of Applied Ecology*, 50(5): 1257-1265.

Elliott, S., Navakitbumrung, P., Kuarak, C., Zangkum, S., Anusarnsunthorn, V., Blakesley, D. (2003). Selecting framework tree species for restoring seasonally dry tropical forests in northern Thailand based on field performance. *Forest Ecology and Management*, 184(1): 177-191.

Faria, S. M., Diedhiou, A. G., De Lima, H. C., Ribeiro, R. D., Galiana, A., Castilho, A. F., Henriques, J. C. (2010). Evaluating the nodulation status of leguminous species from the Amazonian forest of Brazil. *Journal of Experimental Botany*, 61(11): 3119-3127.

Ferez, A. P. C., Campoe, O. C., Mendes, J. C. T., Stape, J. L. (2015). Silvicultural opportunities for increasing carbon stock in restoration of Atlantic forests in Brazil. *Forest Ecology and Management*, 350(1): 40-45.

Ferreira, B. Z. (2015). *Herbivoria por Atta sexdens rubropilosa Forel. 1908 sobre espécies arbóreas em restauração florestal*. (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, SP, Brasil.

Ferreira Junior, W. G., Schaefer, C. E. G. R., Silva, A. D. (2012). *Uma visão pedogeomorfológica sobre as formações florestais da Mata Atlântica*. Ecologia de Florestas Tropicais do Brasil. Viçosa, Editora UFV, 141-174.

Fonseca, S. C. L., Perez, S. C. J. G. (2003). Ação do polietileno glicol na germinação de sementes de *Adenantha pavonina* L. e o uso de poliaminas na atenuação do estresse hídrico sob diferentes temperaturas. *Revista Brasileira de Sementes*, 25(1): 1-6.

Fonseca, S. N., Ribeiro, J. H. C., Carvalho, F. A. (2013). Estrutura e diversidade da regeneração arbórea em uma floresta secundária urbana (Juiz de Fora, MG, Brasil). *Floresta e Ambiente*, 20(3): 307-315.

Jaramillo-Botero, C., Santos, R. H. S., Fardim, M. P., Pontes, T. M., Sarmiento, F. (2008). Produção de serapilheira e aporte de nutrientes de espécies arbóreas nativas em um sistema agroflorestal na Zona da Mata de Minas Gerais. *Revista Árvore*, 32(5): 869-877.

Hamer, K.C., Hill, J.K., Benedick, S., Mustaffa, N., Chey, V., Maryati, M. (2006). Diversity and ecology of carrion and fruit feeding butterflies in Bornean rain forest. *Journal of Tropical Ecology*, 22(4): 25-33.

Harper, J. L. (1982). After description. In: Newman, E. I. (ed.). *The Plant Community as a Working Mechanism*. Blackwell Scientific, Oxford, p. 11-25. 128.

- Harper, J. Ogden, J. (1970). The reproductive strategy of higher plants. I. The concept of strategy with special reference to *Senecio vulgaris* L. *Journal of Ecology* 58:681-698
- Higuchi, N., dos Santos, J., Ribeiro, R. J., Minette, L., Biot, Y. (1998). Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazônica* 28(2): 153-166.
- Houghton, R.A., Byers, B., Nassikas, A.A., (2015). A role for tropical forests in stabilizing atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature Climate Change*. 5(12): 1022–1023.
- Kanowski, J., Catterall, C. P. (2010). Carbon stocks in above-ground biomass of monoculture plantations, mixed species plantations and environmental restoration plantings in north-east Australia. *Ecological Management Restoration*, 11(2): 119-126.
- Kaul, M., Mohren, G. M., Dadhwal, V. K. (2010). Carbon storage and sequestration potential of selected tree species in India. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15(5): 489-510
- Kost, C., Tremmel, M., Wirth, R. (2011). Do leaf cutting ants cut undetected? Testing the effect of ant-induced plant defences on foraging decisions in *Atta colombica*. *PLoS ONE*, 6(7): e22340.
- Lebrija-Trejos, E., Meave, J.A., Poorter, L., Perez-Garcia, E.A., Bongers, F., (2010). Pathways, mechanisms and predictability of vegetation change during tropical dry forest succession. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*.12(1): 267–275.
- Lorenzi, H., (1992). *Árvores brasileiras*. Nova Odessa, Plantarum, 352 p.
- Lorenzi, H. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa: Plantarum, (1992). 368 p.
- Lima Pilon, N. A., Durigan, G. (2013). Critérios para indicação de espécies prioritárias para a restauração da vegetação de cerrado. *Scientia Forestalis* 41(49): 389–399.
- Martínez-Garza, C., Bongers, F., Poorter, L. (2013). Are functional traits good predictors of species performance in restoration plantings in tropical abandoned pastures? *Forest Ecology and Management*, 303(1): 35-45.
- Martinotto, F., Martinotto, C., Coelho, M. D. F. B., de Azevedo, R. A. B., de Figueiredo, M. C. (2016). Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas do Cerrado em consórcio com mandioca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(1): 22-29.
- Martins, L., Cavararo, R. (2012). Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Sistema fitogeográfico. Inventário das formações florestais e campestres. *Técnicas e manejo*

*de coleções botânicas*. Procedimentos para mapeamentos. IBGE. Rio de Janeiro, 156-166.

Massad, T. J., Chambers, J. Q., Rolim, S. G., Jesus, R. M., Dyer, L. A. (2011). Restoration of pasture to forest in Brazil's Mata Atlântica: The roles of herbivory, seedling defenses, and plot design in reforestation. *Restoration Ecology*, 19(201): 257-267.

Mattos, A. D. M. D., Jacovine, L. A. G., Valverde, S. R., Souza, A. L. D., Silva, M. L. D., Lima, J. E. D. (2007). Valoração ambiental de áreas de preservação permanente da microbacia do Ribeirão São Bartolomeu no município de Viçosa, MG. *Revista Árvore* 31(2): 347-353.

Meli, P., Martínez-Ramos, M., Rey-Benayas, J. M., Carabias, J. (2014). Combining ecological, social and technical criteria to select species for forest restoration. *Applied Vegetation Science*, 17(4): 744-753.

Morais Junior, V. T. M., Alves, E. B. M. B., Jacovine, L. A. G., Rufino, M. P. M. X., Santos, T. B., Silva, L. B. (2017). Initial behavior of arbor species in different locations of the terrain in neutralization plants. *Nativa*, 5(2): 101-106.

Moratelli, E. M., Costa, M. D., Lovato, P. E., Santos, M., Paulilo, M. T. S. (2007). Effect of water and light availability on mycorrhizal colonization and growth of *Tabebuia avellanadae* Lorentz Griseb. (Bignoniaceae). *Revista Árvore*, 31(3):555–566.

Nascimento, D. F. D., Leles, P. S. D. S., Oliveira Neto, S. N. D., Moreira, R. T. S., Alonso, J. M. (2012). Crescimento inicial de seis espécies florestais em diferentes espaçamentos. *Cerne*, 18(1): 159-165.

Nogueira, W. L. P., Ferreira, M. J., de Almeida Martins, N. O. (2015). Estabelecimento inicial de espécies florestais em plantio para a recuperação de área alterada no Amazonas. *Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 58(4): 365-371.

Oliveira, D. M. T. (1999). Morfologia de plântulas e plantas jovens de 30 espécies arbóreas de Leguminosae. *Acta Botanica Brasilica*, 13(3): 263-269.

Preece, N. D., van Oosterzee, P., Unda, G. C. H., Lawes, M. J. (2017). National carbon model not sensitive to species, families and site characteristics in a young tropical reforestation project. *Forest Ecology and Management*, 392(1): 115-124.

Redondo-Brenes, A., Montagnini, F. (2006). Growth, productivity, aboveground biomass, and carbon sequestration of pure and mixed native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 232(1-3): 168-178.

Reis, A., & Kageyama, P. Y. (2003). Restauração de áreas degradadas utilizando interações interespecíficas. In Restauração ecológica de ecossistemas naturais. Botucatu: FEPAF.

Resende, L. A. D., Pinto, L. V. A., Santos, E. C. D., Silva, S. (2015). Crescimento e sobrevivência de espécies arbóreas em diferentes modelos de plantio na recuperação de área degradada por disposição de resíduos sólidos urbanos. *Revista Árvore*, 39(1): 147-157.

Rodrigues, R. R., Lima, R. A., Gandolfi, S., Nave, A. G. (2009). On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. *Biological Conservation*, 142(6): 1242-1251.

Schumacher, F. X., Hall, F. S. (1933). Logarithmic expression of timber-tree. *Journal of Agricultural Research*, 47(9): 719-734.

Shimamoto, C. Y., Botosso, P. C., Marques, M. C. (2014). How much carbon is sequestered during the restoration of tropical forests? Estimates from tree species in the Brazilian Atlantic forest. *Forest Ecology and Management*, 329(1): 1-9.

Silva, K. D. A., Martins, S. V., Miranda Neto, A., Demolinari, R. D. A., Lopes, A. T. (2016). Forest restoration after Bauxite mining: Assessment of planted tree species. *Floresta e Ambiente*, 23(3): 309-319.

Silva, L. H., de Freitas, C. H., dos Santos, D. R., da Silva, J. D. F. (2014). Composição do substrato e parâmetros fisiológicos de crescimento de mudas de guapuruvú (*Schizolobium parahyba* vell. blake). *Brazilian Journal of Sustainable Agriculture*, 4(1): 70-75.

Souza, C. R., Azevedo, C. P., Lima, R. M., Rossi, L. M. B. (2010). Comportamento de espécies florestais em plantios a pleno sol e em faixas de enriquecimento de capoeira na Amazônia. *Acta Amazonica*, 40(1): 127-134.

UNFCCC. (2015). *United Nations: Framework Convention on Climate Change – Adoption of the Paris Agreement.*: Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf> (Acesso: 07/07/2017).

Universidade Federal De Viçosa – UFV (2017). Departamento de Engenharia Agrícola. Estação Climatológica Principal de Viçosa. *Boletim Meteorológico*.

Van Breugel, M., Hall, J. S., Craven, D. J., Gregoire, T. G., Park, A., Dent, D. H., Wishnie, M. H., Mariscal, E., Deago, J., Ibarra, D., Cedeño, N., Ashton, M. S. (2011). Early growth and survival of 49 tropical tree species across sites differing in soil fertility and rainfall in Panama. *Forest Ecology and Management*, 261(10): 1580-1589.

West, P. C., Gibbs, H. K., Monfreda, C., Wagner, J., Barford, C. C., Carpenter, S. R., Foley, J. A. (2010). Trading carbon for food: global comparison of carbon stocks vs. crop yields on agricultural land. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(46):19645–19648.

Wuethrich, B. (2007). Biodiversity: reconstructing Brazil's Atlantic rainforest. *Science*, 315(5815):1070–1072.



Tabela 1 - Sobrevivência (SB%), Diâmetro a Altura do Solo ( $\mu$ DAS, mm), Altura ( $\mu$ H, cm), estoque de Carbono ( $\mu$ C, kg) e Incremento Médio em Diâmetro ( $IMA_D$ , mm.ano<sup>-1</sup>), Incremento Médio Altura ( $IMA_H$ , cm.ano<sup>-1</sup>) e Incremento Médio Anual em dióxido de carbono ( $IMA_{CO_2}$ , kg.ano<sup>-1</sup>) por espécies florestais e Grupos Ecológicos (GE); ( $\pm$  desvio padrão)

Espécies	G.E	SB	$\mu$ DAS	$\mu$ H	$\mu$ C	$IMA_D$	$IMA_H$	$IMA_{CO_2}$
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	P	50,0	87,9 $\pm$ 22,6	458,0 $\pm$ 146,9	9,7 $\pm$ 4,5	36,3	189,3	14,6
<i>Anadenanthera pavonina</i>	P	5,0	32,1 $\pm$ *	205,0 $\pm$ 0,0	1,5 $\pm$ 0,0	13,3	84,7	2,2
<i>Bombacopsis glabra</i>	NP	55,0	88,3 $\pm$ 18,8	205,9 $\pm$ 97,2	5,1 $\pm$ 2,5	36,5	85,1	7,8
<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	NP	20,0	53,9 $\pm$ 28,1	262,0 $\pm$ 150,6	4,0 $\pm$ 4,4	22,3	108,3	6,1
<i>Cariniana legalis</i>	NP	5,0	9,4 $\pm$ *	21,5 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,0	3,9	8,9	0,1
<i>Cassia grandis</i>	NP	75,0	56,7 $\pm$ 28,0	325,5 $\pm$ 133,9	4,8 $\pm$ 3,9	23,4	134,5	7,3
<i>Cedrela fissilis</i>	NP	50,0	65,6 $\pm$ 10,0	103,3 $\pm$ 25,4	2,1 $\pm$ 0,6	27,1	42,7	3,1
<i>Ceiba speciosa</i>	NP	35,0	206,0 $\pm$ 51,8	568,0 $\pm$ 160,0	32,0 $\pm$ 13,2	85,1	234,7	48,5
<i>Colubrina glandulosa</i>	P	60,0	66,2 $\pm$ 33,2	306,0 $\pm$ 138,7	5,7 $\pm$ 4,3	27,3	126,5	8,7
<i>Cytharexylum myrianthum</i>	NP	40,0	34,0 $\pm$ 9,0	150,4 $\pm$ 60,6	1,3 $\pm$ 0,7	14,1	62,1	2,0
<i>Handroanthus chrysotricha</i>	NP	80,0	48,2 $\pm$ 23,0	297,8 $\pm$ 142,3	3,9 $\pm$ 2,9	19,9	123,0	5,8
<i>Hymenaea courbaril</i>	P	50,0	35,1 $\pm$ 17,0	186,7 $\pm$ 94,9	1,8 $\pm$ 1,5	14,5	77,1	2,7
<i>Joannesia princeps</i>	P	55,0	76,3 $\pm$ 40,1	266,3 $\pm$ 160,2	6,4 $\pm$ 6,5	31,5	110,1	9,8
<i>Lecythis pisonis</i>	NP	25,0	33,0 $\pm$ 16,7	172,2 $\pm$ 134,0	1,7 $\pm$ 1,5	13,6	71,2	2,5
<i>Plathymenia foliolosa</i>	P	75,0	134,3 $\pm$ 46,2	534,6 $\pm$ 204,1	19,2 $\pm$ 10,4	55,5	220,9	29,1
<i>Psidium guineense</i>	NP	45,0	28,4 $\pm$ 10,7	84, $\pm$ 27,90	0,7 $\pm$ 0,3	11,73	34,7	1,0
<i>Samanea inopinata</i>	NP	5,0	31,0 $\pm$ *	121,0 $\pm$ 0,0	0,9 $\pm$ 0,0	12,8	50,0	1,4
<i>Sapindus saponaria</i>	P	95,0	40,3 $\pm$ 13,3	201,6 $\pm$ 105,7	2,1 $\pm$ 1,5	16,7	83,3	3,2
<i>Schinus terebinthifolius</i>	P	100,0	103,2 $\pm$ 53,9	363,1 $\pm$ 141,2	10,4 $\pm$ 8,3	42,6	150,0	15,7
<i>Schizolobium parahyba</i>	P	55,0	170,5 $\pm$ 59,6	770,7 $\pm$ 357,3	33,4 $\pm$ 22,8	70,5	318,5	50,5
<i>Senna macranthera</i>	P	55,0	124,1 $\pm$ 52,2	485,2 $\pm$ 171,5	16,6 $\pm$ 9,6	51,3	200,5	25,1
<i>Senna multijuga</i>	P	80,0	148,5 $\pm$ 68,2	541,0 $\pm$ 192,4	22,4 $\pm$ 14,7	61,4	223,6	33,9
<i>Sterculia chicha</i>	P	45,0	72,9 $\pm$ 33,8	234,3 $\pm$ 137,4	5,3 $\pm$ 4,3	30,1	96,8	8,0
<i>Syzygium jambos</i>	NP	5,0	27,7 $\pm$ *	84,5 $\pm$ 0,0	0,6 $\pm$ 0,0	11,4	34,9	0,9
<i>Tibouchina granulosa</i>	NP	10,0	91,6 $\pm$ 12,3	338,5 $\pm$ 2,1	7,7 $\pm$ 1,2	37,9	139,9	11,6
Média geral	-	47,0	84,5 $\pm$ 58,7	334,6 $\pm$ 226,4	9,5 $\pm$ 12,2	34,9	138,3	14,4

\*Indica que o desvio é zero pelo fato de apenas ter sobrevivido um indivíduo da espécie.

Tabela 2 - Sistema de pontuação adotado para listar o potencial das espécies florestais para plantios de neutralização de carbono em área degradada. Viçosa, Minas Gerais, Brasil (SB – Sobrevivência; IMACO<sub>2</sub> – Incremento Médio Anual de Carbono, por indivíduo, por ano)

Classes atribuídas	Intervalos SB	Pontos	Intervalos IMACO <sub>2</sub>	Pontos
Classe 1	≤25%	1	≤6 kg	1
Classe 2	25,1% - 50%	2	6,1kg-15,0kg	2
Classe 3	50,1% - 75%	3	15,1kg-24,0kg	3
Classe 4	75,1% - 100%	4	24,1kg-33,0kg	4
Classe 5	-		33,1kg-42,0kg	5
Classe 6	-		42,1kg-51,00kg	6

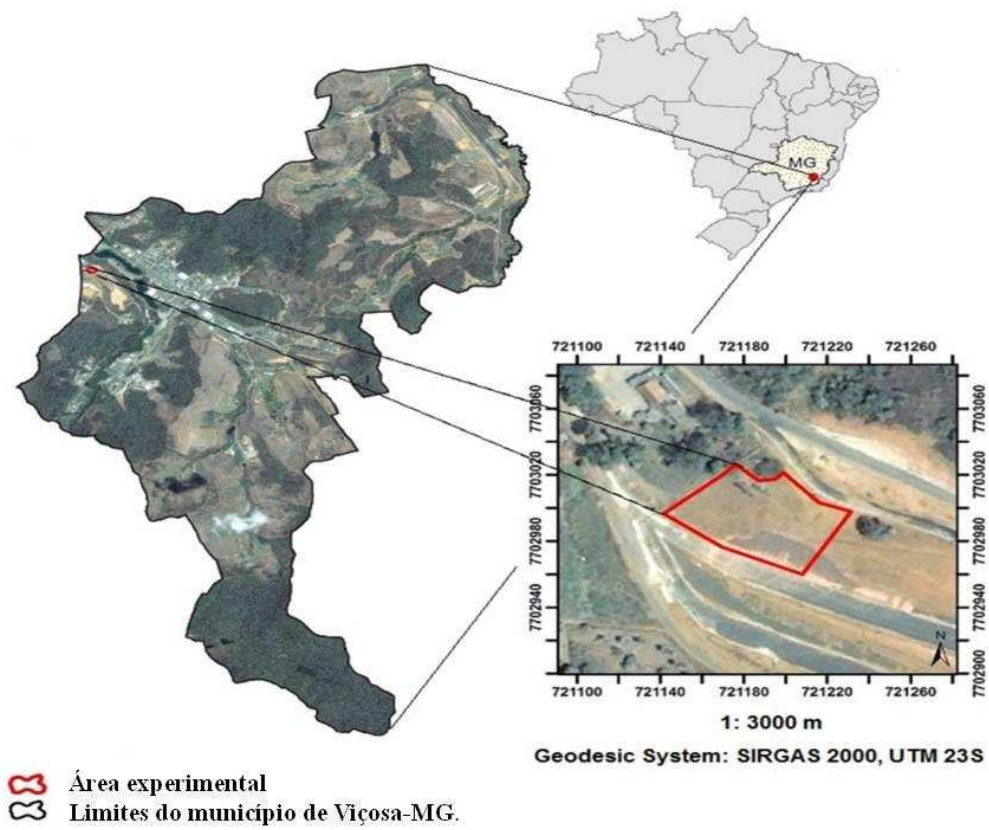


Figura 1 - Área de estudo antes da implantação dos plantios de neutralização de carbono em 2009. Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

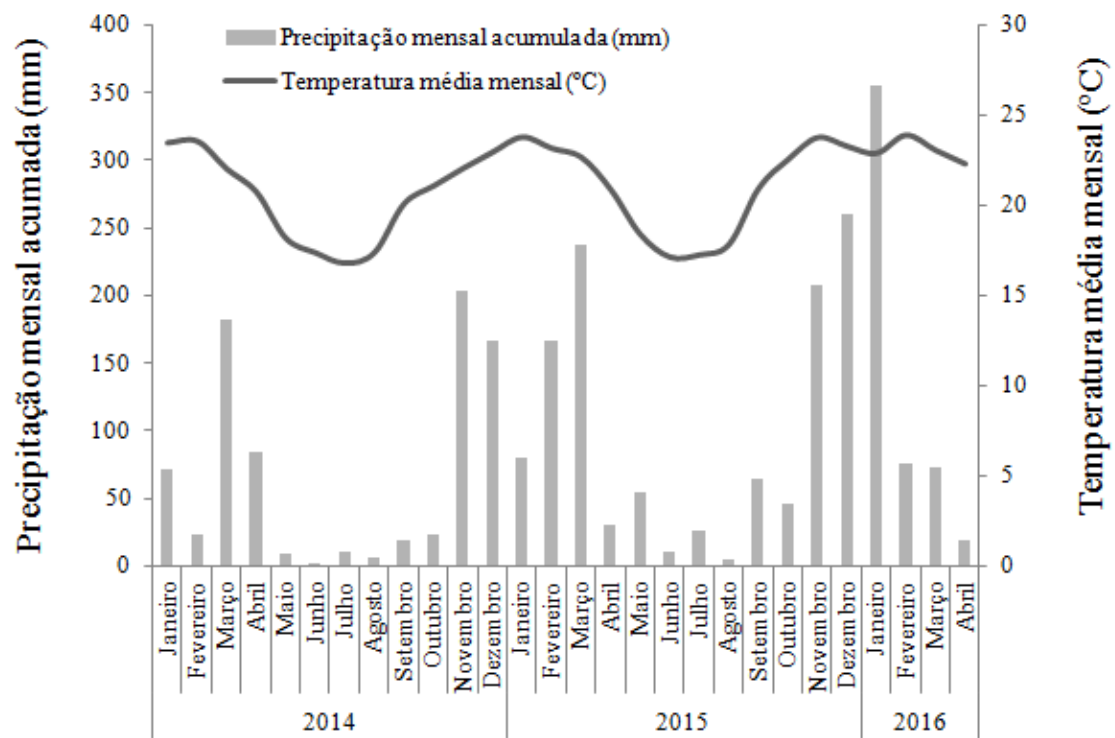


Figura 2 - Precipitação acumulada (mm) e temperatura média (°C) mensal no período de avaliação do estudo, em Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

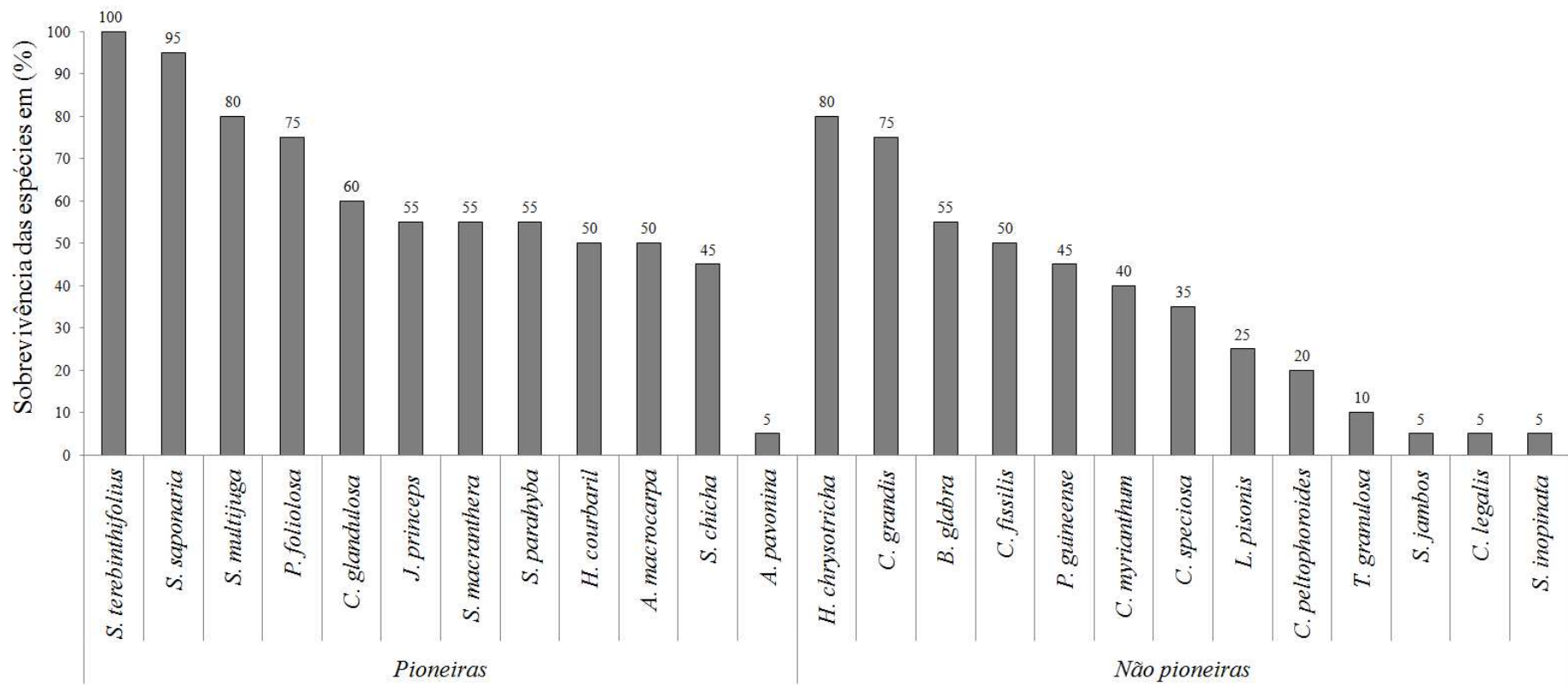


Figura 3 - Sobrevivência (SB) (%) das espécies pioneiras e não pioneiras em plantio de neutralização de carbono sob áreas degradadas, aos 29 meses em Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

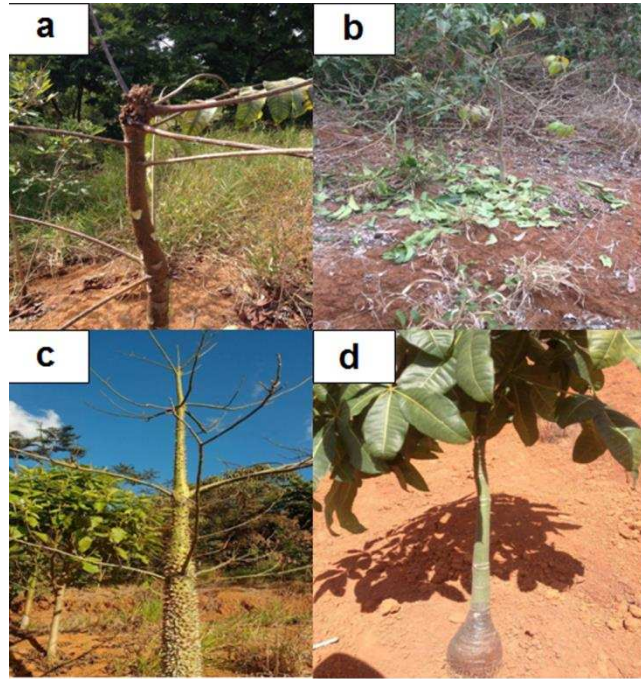


Figura 4 - Ponteiro de *Cedrela fissilis* danificado pela broca-do-cedro (*Hypsiphylia grandella*) (A); Desfolha em *J. Princeps* após intensos ataques por formigas-cortadeiras (*Atta sexdens*) (B); Planta de *C. speciosa* desfolhada após intensos e sucessivos danos por formigas-cortadeiras (*Atta sexdens*) (C); Destaque para o elevado diâmetro a altura do solo de *B. glabra* (D). Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

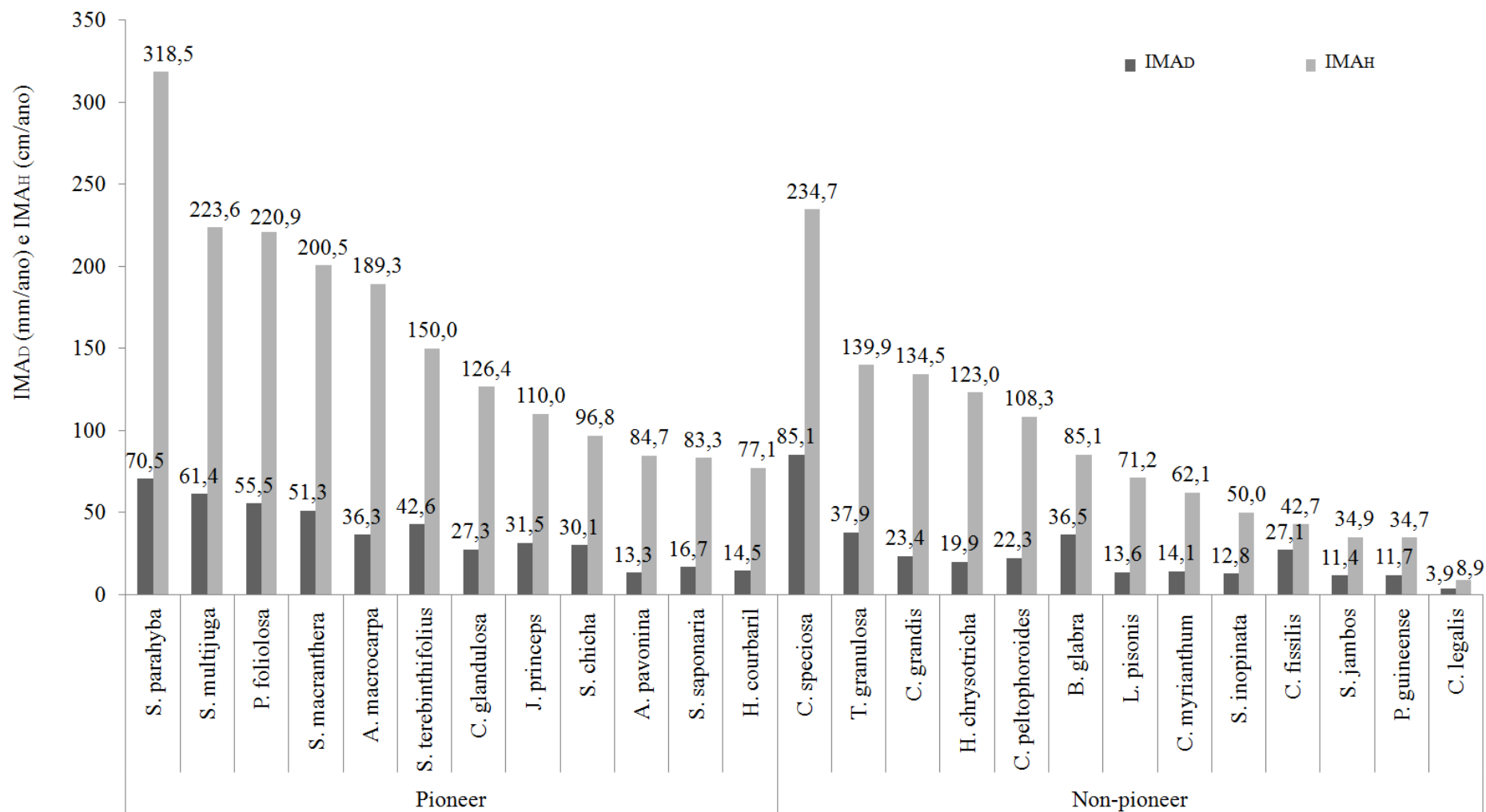


Figura 5 - Incremento Médio Anual em Diâmetro (IMAD) e em Altura (IMAH) das espécies pioneiras e não pioneiras em plantios de neutralização de carbono sob área degradada, aos 29 meses, em Viçosa, Minas Gerais.

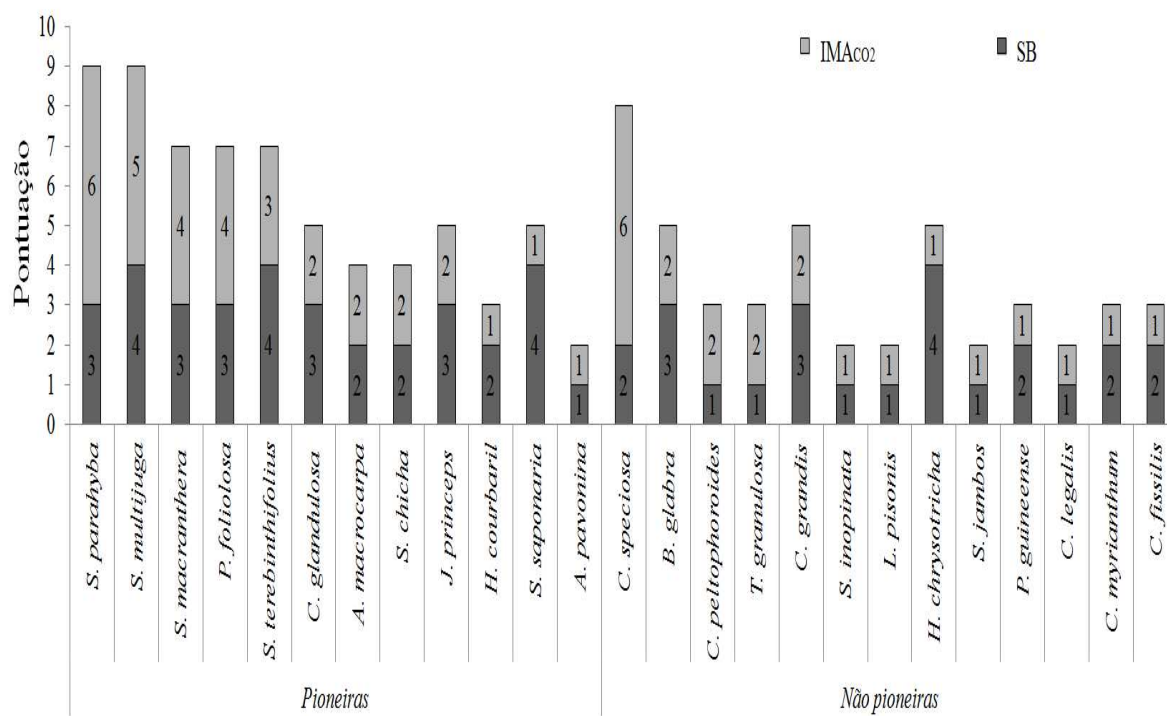


Figura 6 - Pontuação atingida de acordo com parâmetros de sobrevivência (SB) e incremento médio anual em dióxido de carbono (IMACO<sub>2</sub>) por espécie e grupos ecológicos em plantio de neutralização de carbono sob áreas degradadas, aos 29 meses em Viçosa, Minas Gerais, Brasil.



## **ARTIGO 2**

### **CRESCIMENTO E SOBREVIVÊNCIA DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM PLANTIO DE NEUTRALIZAÇÃO DE CARBONO, AOS 40 MESES, SOB ÁREA DEGRADADA NO SUDESTE DO BRASIL**

#### **RESUMO**

O Acordo de Paris, lançado no final de 2015, possui como objetivo central a limitação da elevação da temperatura média global entre 1,5° C e 2,0°C, comparado aos níveis pré-industrial, e alcançar um equilíbrio entre emissões antropogênicas e remoções de Gases de Efeito Estufa (GEE). Diante disso, foram apresentadas as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC's) de cada país. Esse é o mecanismo pelo qual as nações, incluindo o Brasil, atestam seu compromisso de redução das emissões de GEE perante o mundo. Uma das metas do Brasil é a restauração de 12 milhões de hectares de áreas degradadas até 2030. Paralelamente a isto, é crescente o desenvolvimento de projetos de plantios mistos relacionados à neutralização de carbono em áreas degradadas, como forma de demonstrar responsabilidade ambiental e social das organizações corporativas e governamentais. Mesmo diante do grande potencial dos plantios mistos de restauração em mitigar as mudanças climáticas, ainda há muitos desafios a serem superados para o país alcançar as metas ratificadas no âmbito do Acordo climático global e, também, alcançar a efetividade de seus projetos de neutralização de carbono. Nesse contexto, esse estudo possui como objetivo avaliar o crescimento e sobrevivência, aos 40 meses, de espécies arbóreas em plantio de neutralização de carbono sob área degradada no sudeste do Brasil. Avaliar o crescimento e sobrevivência de 15 espécies arbóreas, aos 40 meses, em plantio de neutralização de carbono sob área degradada no sudeste do Brasil. Assim, 509 mudas (15 espécies florestais) foram plantadas em delineamento inteiramente casualizado. O diâmetro ao nível do solo e altura dos indivíduos foi mensurado aos 40 meses. Três indivíduos de cada espécie foram selecionados e cubados pelo método não-destrutivo. O volume foi estimado a partir do somatório do volume das seções dos indivíduos, obtidos pela fórmula de Smalian. O incremento médio anual de carbono dos indivíduos foi estimado pela equação ajustada a partir do modelo Schumacher & Hall. O potencial de

neutralização das plantas testadas foi avaliado a partir das análises da SB e  $\mu\text{C}$ . O método REML (*Restricted Maximum Likelihood*)/BLUP(*Best Linear Unbiased Prediction*) foi utilizado na predição de valores de  $\mu\text{C}$  para o ordenamento das espécies com potencial de neutralização de carbono. A sobrevivência foi de 47,54 % aos 40 meses. O estoque de carbono do plantio foi de 2,60  $\text{KgC.indivíduo}^{-1}$  ( $\pm 6,2 \text{ KgC.indivíduo}^{-1}$ ) e o Incremento Médio Anual em Carbono (IMAC) foi de 0,78  $\text{KgC.indivíduo}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e esse valor está inferior ao valor médio estipulado para projetos de neutralização que é de 6,0  $\text{KgCO}_2.\text{indivíduo}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . As espécies pioneiras contribuíram mais para estocagem de carbono do que as espécies não pioneiras. Porém, é importante a utilização dos dois grupos funcionais para garantir a estocagem de carbono por longos períodos de tempo. *Peltophorum dubium*, *Albizia hassleri*, *Anadenanthera macrocarpa*, *Andira anthelmia*, *Samanea inopinata* e *Inga vera* apresentaram maior potencial de neutralização de carbono. *Adenanthera Pavonina*, *Joannesia princeps*, *Hymenaea courbaril*, *Lecythis pisonis*, *Citharexylum myrianthum*, *Genipa americana* e *Guarea guidonia* apresentaram o menor potencial de neutralização. A espécie *Syzygium cumini* apresentou potencial satisfatório, contudo seu emprego merece atenção devido ao comportamento de dominância intrínseco da espécie. Para entender melhor a respeito do potencial de neutralização de *Ceiba speciosa* são necessários mais estudos.

**Palavras-chave:** compensação; gases de efeito estufa; mitigação; restauração.

## **ARTICLE 2**

### **GROWTH AND SURVIVAL OF TREE SPECIES IN CARBON NEUTRALIZATION PLANTS, AT 40 MONTHS, UNDER A DEGRADED AREA IN SOUTHEAST BRAZIL**

#### **ABSTRACT**

The Paris Agreement, launched at the end of 2015, has as its central objective the limitation of the rise in global average temperature between 1.5°C and 2.0°C, compared to pre-industrial levels, and achieve a balance between anthropogenic and removal of greenhouse gases (GHG). Thus, the Nationally Determined Contributions (NDCs) of each country were presented. This is the mechanism by which nations attest their commitment to reduce GHG emissions in the world. One of Brazil's goals is the restoration of 12 million hectares by 2030. Parallel to this, the development of mixed planting projects related to carbon neutralization in degraded areas is increasing, as a way to demonstrate environmental and social responsibility of corporate and governmental organizations. Even with great potential of mixed restoration plantations to mitigate climate change, there are still many challenges ahead for the country to achieve the goals ratified under the Global Climate Agreement and to achieve the effectiveness of its carbon neutralization projects. In this context, this study aims to evaluate the growth and survival, at 40 months, of tree species in planting of carbon neutralization under degraded area in southeastern Brazil. To evaluate the growth and survival of 15 tree species, at 40 months, in plantation of carbon neutralization under degraded area in southeastern Brazil. Five hundred and nine seedlings (15 forest species) were planted in a completely randomized design. The diameter and height of the individuals were measured to select individuals of each species to be covered by the non-destructive method. The volume was estimated by the sum of the volume sections of the individuals, obtained by the Smalian formula. The average annual increment in carbon of individuals was estimated by the adjusted Schumacher & Hall model. The potential of the tested plants was evaluated by SB and  $\mu\text{C}$  analyzes. The Restricted Maximum Likelihood / BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) method was used to predict  $\mu\text{C}$  values aiming to order the species by their neutralization potential.

In the plantation of Zero Carbon Program at 3.3 years the survival was 47.54%, which indicated the need to replant some seedlings. The average annual removal of carbon from the planting is below the average value stipulated for neutralization projects. However, it is still not possible to conclude consistently about this removal, as there are other factors that can raise this average in the long term. Pioneer species initially contributed more to carbon storage than non-pioneer species. However, it is important to use the two functional groups to ensure carbon storage for long periods of time. *Pelatophorum dubium*, *Albizia hassleri*, *Anadenanthera macrocarpa*, *Andira anthelmia*, *Samanea inopinata* and *Inga vera* are promising to constitute carbon neutralization plantations. *Adenanthera Pavonina*, *Joannesia princeps*, *Hymenaea courbaril*, *Lecythis pisonis*, *Citharexylum myrianthum*, *Genipa americana* and *Guarea guidonia* had the worst performances among the evaluated species. The species *Syzygium cumini* presented satisfactory performances, however its use deserves attention due to their intrinsic dominance behavior. To better understand the survival and growth performance of *Ceiba speciosa*, further studies are needed.

**Keywords:** compensation; greenhouse gases; mitigation; restoration.

## 1. INTRODUÇÃO

O Acordo de Paris, lançado em dezembro de 2015, é um acordo global engajado no enfrentamento das mudanças climáticas, cujo objetivo central é limitar a elevação da temperatura global entre 1,5 °C e 2,0 °C até 2100, comparado com a temperatura dos períodos pré-industriais e alcançar um equilíbrio entre emissões antropogênicas e remoções de gases de efeito estufa (GEE) (Arantegui & Jäger-Waldau; Rogelj et al., 2016; Viñuales et al., 2016). O Acordo foi ratificado em dezembro de 2016 e para as nações direcionarem seus esforços para o alcance da meta, criaram-se as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) que formaliza os compromissos de diminuição das emissões de gases de efeito estufa (GEE) dos países frente às nações globais (Klein et al., 2017; UNFCCC, 2016; UNFCCC, 2017).

O Brasil, devido à sua grande extensão territorial, pela elevada produção agropecuária e por abrigar ecossistemas de relevância global tem papel fundamental na discussão das NDCs relacionadas ao uso da terra, mudança no uso da terra e florestas. Nesse âmbito, uma das metas brasileiras é a restauração de 12 milhões de hectares com florestas para usos múltiplos até 2030. Essa meta converge ainda para outros objetivos brasileiros importantes como a agenda de regularização ambiental perante o Código Florestal e alcance das metas brasileiras para a biodiversidade (Brasil, 2012; Conabio, 2013; Brasil, 2015).

Paralelamente a essas metas voluntárias do país, vem sendo desenvolvidas outras iniciativas que vêm ganhando destaque no cenário das preocupações climáticas aliadas a restauração de áreas degradadas, que são os chamados “plantios de neutralização de carbono”. Esses são uma forma do meio corporativo e público demonstrarem sua preocupação com o meio ambiente, além de ser um mecanismo de marketing usado para atrair clientes e investidores mais exigentes (Hassan, 2009). No setor público tem-se como exemplo o município de São Paulo que adotou por meio da portaria 06/2007 a obrigatoriedade da neutralização de carbono de eventos realizados em 32 parques municipais.

Contudo, para o Brasil alcançar as metas de NDCs relacionadas à restauração e a efetivação de projetos confiáveis de neutralização de carbono, uma série de desafios são encontrados, entre eles a pouca divulgação do conhecimento técnico de restauração florestal, falta de informação do comportamento silvicultural das

espécies nativas regionais, falta de definição de linhas de bases para remoções oriundas da restauração (toneladas de CO<sub>2</sub>e/hectare/ano), falta de indicação de coeficientes que reduzam o risco da não permanência dos estoques de carbono por remoções em plantios, falta de regulamentação de projetos de neutralização, pouca atenção dada ao monitoramento e acompanhamento da evolução da remoção de carbono em plantios, falta de transparência dos projetos de neutralização de carbono e incipiência de fatores de conversão (árvore/CO<sub>2</sub>e) (Hassan, 2009; MMA, 2017). Assim, pode-se inferir até o momento que, apesar das evidências de que a restauração de florestas em áreas degradadas é uma ferramenta potencialmente importante para aumentar o carbono terrestre, e potencializar os seus diversos benefícios ecossistêmicos, as pesquisas ainda são escassas (Miranda et al., 2011; Wheeler, et al., 2016).

Diante disso, esse estudo tem como objetivo avaliar o crescimento e sobrevivência, aos 40 meses, de espécies arbóreas em plantio de neutralização de carbono sob área degradada no sudeste do Brasil.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada no Espaço Aberto de Eventos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no município de Viçosa, Minas Gerais, Brasil (20° 45' 37,62" S e 42° 52' 29,59" O) (Figura 1). A altitude do local é de 708 m no bioma Mata Atlântica com vegetação regional classificada como Floresta Estacional Semidecidual Montana (Martins & Cavararo, 2012).

O clima é do tipo Cwa (Köppen) com invernos frios e secos e verões quentes e chuvosos. O excedente hídrico de novembro a março da região é, em média, 366,3 mm com déficit hídrico nos demais meses e precipitação e temperatura média anual de 1314,0 mm e 21,8 °C, respectivamente (Almeida et al., 2016). A precipitação acumulada desde o estabelecimento do plantio foi de 4044,50 mm (precipitação média acumulada anual=1213,35 mm) e a temperatura média de 20,8 °C (UFV, 2017) (Figura 2).

A topografia tem gradiente pedogeomorfológico com topos planos com latossolos distróficos e abundantes em alumínio com acesso a rampas coluviais com latossolos rasos, câmbicos e fundos de grotas com predomínio de cambissolos e pieutróficos abundantes em nutrientes (Ferreira et al., 2012). As condições químicas do solo foram levantadas durante o período de avaliação, a análise foi realizada por laboratório certificado pela Universidade Federal de Viçosa (Tabela 3). A resistência física do solo foi mensurada por meio da média das resistências físicas (Mpa) de dois pontos avaliados no interior do experimento, nas profundidades de 0 a 60 cm (em intervalos de 5 cm) (Figura 3).

### 2.2 Implantação do experimento

O plantio experimental com espécies arbóreas foi realizado em dezembro de 2012, ocupando uma área de 2036 m<sup>2</sup>. Quinhentas e nove mudas de 15 espécies (Tabela 1) foram plantadas de maneira casualizada no terreno e o espaçamento adotado foi de 2 x 2 m. Uma roçada foi feita na área, inicialmente, recoberta por braquiária (*Urochola decumbens* (Stapf) R.D. Webster) para diminuir a competição e facilitar a implantação das mudas. As covas (0,3 x 0,3 x 0,3 m) foram adubadas no

fundo com 300 g de 18%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Foram realizadas três adubações superficiais de cobertura (1, 13 e 25 meses após o plantio) contendo 100g/cova de 20-5-20 na formulação NPK.

O manejo de plantas daninhas e formigas cortadeiras foram feito rotineiramente com glifosato (Roundup Original, 36% m/v; Monsanto do Brasil Ltda, Brasil) e iscas formicidas (AttaMex-s, 0,3% m/m sulfluramida; Unibrás Agroquímica Ltda, Brasil), respectivamente.

### **2.3 Parâmetros avaliados e análises**

O Programa Carbono Zero utiliza o índice de remoção de carbono de 6,0 KgCO<sub>2</sub>. indivíduo<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e considera um horizonte de neutralização de 30 anos. Com o intuito de avaliar se a estocagem de carbono está ocorrendo conforme previsto, foram analisados os parâmetros de estoque médio de carbono das espécies e incremento médio anual em carbono.

A sobrevivência, Diâmetro a Altura do Solo (DAS) e altura (H) foram obtidos aos 40 meses de idade das plantas. O DAS foi mensurado com paquímetro digital de precisão e H com fita métrica graduada. A grafia dos nomes científicos e classificação do grupo ecológico foram definidas de acordo com a bibliografia consultada (Tabela 1).

A porcentagem de sobrevivência (SB) das plantas foi determinada pela equação:  $SB_j = (N_{fj}/N_{0j}) \times 100$ , em que  $N_{fj}$  = número de indivíduos sobreviventes da j-ésima espécie;  $N_{0j}$  = número inicial de indivíduos plantados da j-ésima espécie. Foram calculados as médias e os desvios do diâmetro a altura do solo ( $\mu$ DAS) e da altura ( $\mu$ H) das plantas (Tabela 1). Os dados de  $\mu$ DAS e  $\mu$ H foram apresentados com intuito de fornecer parâmetros adicionais em crescimento de espécies arbóreas, contudo a discussão estará centrada nas estimativas médias de estocagem de carbono ( $\mu$ C).

A média do estoque de carbono do fuste e dos galhos ( $\mu$ C) foi estimada a partir da cubagem das árvores e da determinação do volume, biomassa e carbono das mesmas. As plantas foram cubadas pelo método não-destrutivo. Os indivíduos de cada espécie foram agrupados em classes diamétricas e foram cubadas três plantas por classe.



O volume de cada seção foi obtido pela equação de Smalian;  $V_j = ((AS_1 + AS_2)/2) \times L$ , em que:  $V_j$  = volume da j-ésima seção, em  $m^3$ ;  $AS_1$  = área seccional inicial, em  $m^2$ ;  $AS_2$  = área seccional final, em  $m^2$ ;  $L$  = comprimento longitudinal da seção, em metros. As seções foram mensuradas até o diâmetro mínimo de 5 cm. O somatório dos volumes das seções do j-ésimo indivíduo constituiu o volume total de cada planta apresentada pela equação:  $V_i = \sum_{j=1}^n V_j$ , em que:  $V_i$  = volume do i-ésimo indivíduo,  $m^3$ ;  $V_j$  = volume da j-ésima seção, em  $m^3$ .

A biomassa dos galhos e fuste de cada planta foi obtida multiplicando-se a densidade básica da madeira pelo volume total individual, utilizando a equação:  $B_i = \rho_i \times V_i$ , em que:  $B_i$  = biomassa da madeira do fuste e de galhos do indivíduo da i-ésima espécie, em Kg;  $\rho_i$  = densidade básica de madeira da i-ésima, em  $Kg \cdot m^{-3}$ ;  $V_i$  = volume ( $m^3$ ) do i-ésimo indivíduo.

A densidade básica de todas as espécies/gêneros foi obtida em consulta aos dados de literatura de Britez et al., (2006). A conversão da biomassa em carbono foi realizada com um teor de 48% (Higuchi et al., 1998). Isto permitiu ajustar a equação  $C_{ij} = (5,85996 \times 10^{-11}) \times (DAS^{0,652085}) \times (H^{3,83808})$  ( $R^2$  ajustado = 96,91%) de estimativa de estoque de carbono (C) dos fustes e galhos das árvores para as espécies. Em que:  $C_{ij}$  = estoque de carbono do i-ésimo indivíduo da j-ésima espécie (kg);  $DAS$  = diâmetro a altura do solo (mm) e  $H$  = altura total do indivíduo (cm). O modelo de Schumacher & Hall (Schumacher & Hall, 1933) foi escolhido para gerar a equação e utilizou-se o *software* R para realizar o ajuste (R Core Team, 2015). As equações ajustadas foram utilizadas para estimar o estoque de carbono (C) de todos os indivíduos.

As médias de estocagem de carbono ( $\mu C$ ) e o incremento médio anual em carbono (IMAC) foram calculados por espécie. Para o incremento utilizou-se a equação:  $IMAC_j = [(\mu C_j / N_j) / (I)]$ , em que:  $I$  = idade do plantio (3,33 anos);  $N_j$  = número de indivíduos da j-ésima espécie;  $\mu C_j$  = média do estoque de carbono dos indivíduos da j-ésima espécie, em Kg. A conversão dos dados de carbono (C) para dióxido de carbono ( $CO_2$ ) foi feita pela multiplicação por 3,67, referente a conversão entre os pesos moleculares do  $CO_2$  e C. Essa conversão é adotada para facilitar a discussão dos dados referentes aos fatores de remoção de dióxido de carbono, nos quais utilizam a maioria dos Programas de Neutralização de Carbono.

## 2.4 Análise estatística e ordenamento da estocagem de carbono

Os valores preditos para as espécies foram obtidos pelo método REML (*Restricted Maximum Likelihood*) / BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*) para a variável  $\mu C$  com o seguinte modelo estatístico misto:  $Y = Xu + Za + e$ . Em que  $Y$  é o vetor de dados,  $u$  é vetor de efeitos fixos (média geral),  $a$  é o vetor de efeito das espécies (aleatórios) e “ $e$ ” é o vetor de resíduos (aleatórios),  $X$  e  $Z$  representam as matrizes de incidência dos referidos efeitos. O ajuste do modelo foi feito no *software* SELEGEN – REML/BLUP (Resende, 2016). Seguem as distribuições de média e variância, as equações de modelo misto e os estimadores de componentes de variância do referido método.

Distribuição média (E) e variância (Var):

$$E \begin{bmatrix} y \\ a \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xu \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad Var \begin{bmatrix} a \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I\sigma_a^2 & 0 \\ 0 & I\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

Equação do modelo misto:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + I \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{u} \\ \hat{a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \end{bmatrix}$$

No qual:

$I$  = Matriz identidade;

$\sigma_a^2$  = Variância genética aditiva;

$\sigma_e^2$  = Variância residual.

Estimadores da variância e componentes do REML via Algoritmo “EM”:

$$\sigma_e^2 = [y'y - \hat{u}' X'y - \hat{a}' Z'y] / [N - r(x)]$$

$$\sigma_a^2 = [\hat{a}' \hat{a} + \sigma_e^2 tr(C^{22})] / q$$

$C^{22}$  vem de:

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} \\ C^{21} & C^{22} \end{bmatrix}$$

No qual:

$C$  = Matriz de coeficientes do Modelo Misto

$tr$  = traço;

$r(x) = \text{Ranque da Matriz X};$

$N, q = \text{Número total de indivíduos e espécies, respectivamente.}$

As espécies foram ranqueadas em ordem decrescente de estocagem de carbono ( $\mu\text{C}$ ) de acordo com os ordenamentos de seus valores preditos. Para verificar a significância do efeito das espécies foi feita a Análise de *deviance* (ANADEV), na qual foi obtida a deviance com e sem o efeito das espécies ( $a$ ). Posteriormente, fez-se o teste da razão de verossimilhança (*Likelihood Ratio Test* – LRT) e os valores foram comparados com o valor tabelado de qui-quadrado (3.84) com um grau de liberdade a 1% de probabilidade de erro tipo I.

### 3. RESULTADOS

A sobrevivência geral (SB) foi de 47,54%. A estocagem média de carbono do plantio foi de 2,60 KgC.indivíduo<sup>-1</sup> ( $\pm$  6,2 KgC.indivíduo<sup>-1</sup>) e o Incremento Médio Anual em Carbono (IMAC) foi de 0,78 KgC. indivíduo<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, que corresponde a 2,86 KgCO<sub>2</sub>. indivíduo<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Tabela 2). A estocagem média de carbono foi maior para o grupo das espécies pioneiras (3,20 kg C.indivíduo<sup>-1</sup>) quando comparado com as espécies não pioneiras (0,60 kg C.indivíduo<sup>-1</sup>) (Figura 4).

As espécies *Peltophorum dubium*, *Albizia hassleri* e *Anadenanthera macrocarpa* apresentaram as maiores SB, sendo 84,0%; 80,0% e 70,0%, respectivamente, e estiveram entre as espécies com maior estocagem de carbono no ranking avaliado (Tabela 1, Tabela 2 e Figura 4).

As espécies *Andira anthelmia*, *Inga vera* e *Samanea inopinata* possuíram SB moderadas, obtiveram respectivamente, 60,0%; 54,0% e 63,2% (Tabela 1). Contudo, em relação a  $\mu$ C/IMAC verificou-se que *Andira anthelmia* e *Samanea inopinata* assumiu as posições de 12º e 10º, respectivamente, indicando que a estocagem de carbono foi baixa entre as espécies avaliadas (0,1 KgC.indivíduo<sup>-1</sup> e 2,2 KgC.indivíduo<sup>-1</sup>) (Tabela 2 e Figura 4). Em contraste, *Inga vera* alcançou a quarta colocação em termos de estocagem de carbono entre as espécies (Tabela 2 e Figura 4).

A utilização de espécies exóticas do Brasil em plantios de neutralização de carbono, assim como em plantios de restauração, deve ser feita com cautela. É necessário avaliar se o comportamento da espécie na área em que foi inserida pode trazer prejuízos para diversidade de espécies do plantio, atentando-se principalmente para a capacidade de dominância das espécies. Especificamente no plantio, foram utilizadas duas espécies exóticas do país: *Syzygium cumini* e *Adenanthera pavonina*. A primeira apresentou uma alta SB e alta estocagem de carbono, em detrimento da segunda que apresentou baixa SB e baixa estocagem de carbono (Tabela 1 e Tabela 2).

As espécies *Joannesia princeps* e *Hymenaea courbaril* apresentaram baixa SB, 48,0% e 29,2%, respectivamente. Porém essas apresentaram alta estocagem de carbono (7º e 6º colocadas no ranking) (Tabela 1 e Tabela 2).

As espécies *Lecythis pisonis*, *Genipa americana* e *Citharexylum myrianthum* tiveram SB abaixo de 48,0% e baixa  $\mu$ C (inferior 1,0 KgC.ind<sup>-1</sup>) (Tabela 1 e Tabela

2). A utilização dessas espécies em plantios de neutralização de carbono deve ser avaliada com cautela, uma vez que pelos dados do presente estudo essas podem onerar substancialmente os custos do projeto.

A única espécie que não teve nenhum indivíduo sobrevivente foi *Ceiba speciosa*, evidentemente não foi possível obter também nenhum dado relacionado à estocagem de carbono da mesma (Tabela 1).

## 4. DISCUSSÃO

Manter a alta SB de plantios mistos em área restaurada podem ter custos elevados associados à manutenção e ao monitoramento da área ao longo do tempo (Lamb et al., 2005). Esse fato pode interferir na neutralização final do projeto e requer que as organizações que realizam essa ação tenham um planejamento que considere uma margem adicional de árvores, visando suprir as possíveis perdas relacionadas à mortalidade. Nesse contexto, torna-se necessário a utilização de espécies que são mais adaptadas para cada situação. Esse fato reforça a necessidade de estudos como este que priorizem avaliações específicas a nível espécies (Thomas et al., 2014). O Programa Carbono Zero utiliza uma margem de segurança de 20% a mais de mudas em seus plantios, esse valor é o que tem sido utilizado em seus plantios de neutralização, pode-se notar que a mortalidade desse plantio superou a essa margem pré-estabelecida pela margem de segurança, isso indica a necessidade de replantios para esse projeto (Carbono Zero-UFV, 2017).

Ao considerar a estocagem obtida no plantio, constata-se que os valores encontrados são inferiores ao valor considerado pelo Programa Carbono Zero e na maioria dos projetos de neutralização ( $6,0 \text{ KgCO}_2 \cdot \text{indivíduo}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ) (Carbono Zero-UFV, 2017). Dados sobre fatores de remoção ainda são controversos e carecem de informações e regulamentações precisas para os projetos relacionados à neutralização (Hassan, 2009). Porém, mesmo não obtendo uma estocagem de carbono conforme esperado, existem alguns aspectos que devem ser considerados. O primeiro é que esse estudo apenas quantificou o carbono estocado nos troncos e galhos, sendo desprezados os outros compartimentos, como serapilheira, raízes, galhos finos e folhas, que podem representar acréscimo no estoque de carbono. Em estudo conduzido para avaliação do estoque de carbono aos 6 anos, em áreas restauradas sob diferentes sistemas silviculturais em São Paulo, os compartimentos raízes grossas, horizonte Orgânico do solo e vegetação herbácea contribuíram em 57,0% e 36,8% para o estoque de carbono em sistemas sob silvicultura tradicional e intensiva, respectivamente (Ferez et al., 2015). Outro aspecto relevante é o fato do plantio possuir 40 meses e ainda não ter atingido as taxas constantes de crescimento. Contudo, existe a necessidade de determinar esses indicadores mesmo em fase inicial de crescimento, pois os mesmos podem contribuir para mostrar alguns direcionamentos para projetos atuais, que podem ser refinados à medida que tiverem

novas pesquisas com idades mais avançadas. Nesse contexto, entende-se que ainda são necessárias mais pesquisas para se determinar o potencial de remoção de carbono pelas árvores em longo prazo para mitigação das emissões atmosféricas (Silver et al., 2000; Wheeler et al., 2016).

A diferença observada em termos de estocagem de carbono para os grupos sucessionais mostra uma tendência das espécies pioneiras de contribuírem mais na estocagem de carbono inicialmente (aproximadamente nos primeiros 37 anos), quando comparadas às espécies não pioneiras. Contudo, a longo prazo (acima de 60 anos) é esperado que essa tendência se inverta e que as espécies não pioneiras contribuam duas vezes mais para estocagem da floresta. Assim, a utilização de diferentes grupos sucessionais nos plantios de neutralização é importante para manter o carbono estocado por longos períodos, além de auxiliar em diversos outros co-benefícios (Shimamoto et al., 2014; Silva et al., 2016). Dessa forma, conclui-se que a diversidade de espécies em plantios de neutralização é importante para manter o estoque de carbono por longos períodos de tempo e também pelos diversos benefícios ambientais e sociais que esses podem trazer nas áreas inseridas (Hassan, 2009; Shimamoto et al., 2014).

O sucesso de *Peltophorum dubium* é decorrente da rusticidade intrínseca da mesma, a capacidade de suportar a altas taxas de incidência de luz e temperatura, bem como ser muito adaptada às diferentes situações ambientais e pouco exigente em fertilidade de solos (Donadio & Demattê, 2000; Inoue & Galvão, 1986; Lima et al., 2015). Essa mesma espécie, em estudos de outras áreas de neutralização do Programa Carbono Zero, aos 17 meses, obtiveram 100% de SB (Morais et al., 2017). Em estudo conduzido em diversas áreas de restauração no estado de São Paulo, em idades variando de 4 a 20 anos, essa espécie também contribuiu como uma das principais na estocagem de carbono (Stucchi, 2013).

A *Albizia hassleri* é uma espécie com potencial para recompor áreas degradadas e apresenta capacidade de fixação do nitrogênio atmosférico. O acentuado crescimento dessa espécie nesse estudo, pode ser explicado por essa capacidade (Fowler et al., 2006). Contudo, ainda são poucos os estudos que avaliam a adaptabilidade e o crescimento da mesma. Além disso, sabe-se que essa espécie está na lista de espécies ameaçadas do Brasil (Gonzales et al., 2010). Esse fato revela um aspecto importante para conservação dessa espécie, evidenciando uma

importante contribuição que os plantios de neutralização de carbono podem promover para as espécies ameaçadas.

A alta SB de *Anadenanthera macrocarpa* é algo esperado para o plantio, pois ao redor da área de estudo é possível verificar a presença maciça dessa espécie na paisagem, indicando que a *A. macrocarpa* possui sucesso no estabelecimento nas condições da localidade (Amaro, 2010; Torres, 2011; Peloso, 2012). O favorável estabelecimento e crescimento se deve à capacidade dessa espécie de tolerar solos compactados, mal drenados, com textura média a argilosa e também ao fato de fazer simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio (Barberi et al., 1998; Carvalho, 2003). Contudo, cabe ressaltar que o emprego dessa espécie deve ser criterioso, pois essa pode possuir comportamento de forte domínio e alelopático, o que pode resultar em um efeito seletivo sobre o banco de sementes e a regeneração natural, diminuindo a diversidade dos plantios mistos e a estocagem de carbono (Souza et al., 2012). No presente estudo acredita-se que essa espécie conviverá em equilíbrio com as demais, uma vez que na paisagem próxima não há registros de dominância dessa espécie.

Diante disso, entende-se que *P. dubium*, *A. hassleri* e *A. macrocarpa* são espécies promissoras para a composição de plantios de neutralização de carbono sob áreas degradadas, principalmente para assegurar a remoção mais rápida de carbono e desencadear importantes papéis ambientais na restauração da paisagem. Contudo cabe ressaltar que o uso dessas espécies deve ser feito de maneira moderada e intercalada com outras espécies de crescimento mais lento, para assegurar a permanência do estoque de carbono por longos períodos no plantio.

Pelo fato de *Andira anthelmia* e *Samanea inopinata* serem espécies não pioneiras já era esperado que as mesmas possuíssem baixa estocagem inicial de carbono. A identificação e utilização de espécies potenciais pertencentes a esse grupo funcional é primordial para subsidiar as escolhas de espécies que contribuirão com a remoção de carbono a longo prazo pelo plantio e uma melhor eficiência no aproveitamento dos recursos (água, luz e nutrientes) (Redondo-Brenes & Montagnini, 2006; Shimamoto et al., 2014). Ambas as espécies ocorrem preferencialmente em áreas úmidas (várzeas e vales de encostas úmidas), o que possibilita inferir que a SB pode ser ainda maior em projetos de neutralização de carbono em áreas ciliares (Giachini et al., 2010; Lorenzi, 1992). Porém, cabe ressaltar que diante da performance de SB e  $\mu\text{C}$  dessas espécies nesse estudo, infere-



se que também possuem potencial de sucesso em projetos de neutralização de carbono em áreas menos úmidas.

*Inga vera* também é uma espécie adaptada a solos úmidos e por esse motivo a espécie pode ter obtido sobrevivência moderada no estudo. Isto indica que a espécie pode ter ainda um maior potencial em projetos de neutralização em áreas ciliares (Lorenzi, 1992). A espécie se destaca por possuir uma remoção alta de carbono, copas grandes e frondosas e realizar fixação biológica de nitrogênio (Carpanezzi, 2005; Faria e Franco 2002). Esses fatores corroboram com as informações existentes na literatura de que essa espécie é facilitadora da sucessão (Marcuzzo & Vieira, 2015; Ricklefs, 2003). Por esses motivos é interessante seu uso em plantios mistos de neutralização de carbono, pois estocará inicialmente quantidades consideráveis de carbono e ao mesmo tempo fornecerá condições para que as espécies de sucessão tardia se desenvolvam posteriormente.

*Syzygium cumini* apresentou excelente SB e alta estocagem de carbono, mas essa espécie deve ser evitada, pois essa pode apresentar comportamento dominante e pode formar povoamentos homogêneos (Marcuzzo & Vieira, 2015; Nóbrega et al., 2008).

A *Adenantha pavonina* também apresentou baixa sobrevivência aos 20 meses e, conseqüentemente, baixa estocagem de carbono em área próxima, também pertencente ao Programa Carbono Zero, podendo inferir que essa espécie possui baixo potencial de utilização em plantios de neutralização de carbono (Morais et al., 2016). Mesmo encontrando estudos afirmando que essa espécie encontra-se muito adaptada no Brasil (Corrêa, 1978), o presente estudo revelou que essa não apresentou resultados satisfatórios em termos de SB. Ainda são poucos os estudos que tratam a respeito do comportamento da *A. pavonina* em plantios mistos sob áreas degradadas, o que dificulta afirmar o real motivo dessa espécie não ter possuído alta SB.

As espécies *Joannesia princeps* e *Hymenaea courbaril* são não pioneiras e o fato da sobrevivência não ter sido alta pode estar relacionado à baixa tolerância à luminosidade, característica intrínseca a esse grupo funcional (Martínez-Garza et al., 2013).

O insucesso no estabelecimento das espécies *Lecythis pisonis*, *Genipa americana*, *Citharexylum myrianthum* e *Guarea guidonia* podem estar também relacionados ao fato de todas serem mais adaptadas a áreas ripícolas (Baylão et al., 2013; Campos & Landgraf, 2001; Lorenzi, 1992). Além disso, *Citharexylum*

*myrianthum* e *Genipa americana* preferem solos férteis, característica antagônica à situação do plantio, além disso, existem registros de inadaptabilidade para essa última em plantios mistos com alta competição por água e nutrientes (Durigan, 1990; Petit & Montagnini, 2006). Assim, essas espécies poderiam ter taxas de SB maior em plantios de neutralização de carbono em zonas com maior umidade e fertilidade do solo.

O fato de *Ceiba speciosa* mostrar-se com a pior performance do plantio para os parâmetros avaliados é algo que deve ser melhor avaliado, pois mesmo essa espécie sendo não pioneira, geralmente tolera diversas condições no campo (falta de água e alta incidência de luz) pela sua alta plasticidade fenotípica (Contin et al., 2014). Essa mesma espécie em plantio de neutralização muito próximo à essa área apresentou sobrevivência de 78,9% aos 17 meses e um dos maiores crescimentos entre 18 espécies testadas (Morais et al., 2017). A causa mais provável associada à mortalidade de todos os indivíduos de *C. speciosa* pode estar relacionada ao fato dessa ser muito preferida pelas formigas cortadeiras, mesmo essa demandando uma elevada frequência de ataques para levar à morte definitiva. Além disso, na área existem alguns aglomerados com fragmentos de *Mabea fistulifera* que associam-se simbioticamente com formigas cortadeiras e podem ser a causa da intensificação de ataques em determinadas épocas do ano na área (Ferreira, 2015; Peternelli et al., 2004). Dessa forma, infere-se que essa espécie deve ter seu potencial melhor investigado e que, se selecionada para constituir plantios mistos, o combate de formigas cortadeiras deve ser um item prioritário na implantação e manutenção.

Estudos que avaliam espécie individualmente em seus primeiros estágios de vida são importantes, uma vez que podem fornecer bases de dados importantes para subsidiar a escolha de espécies em plantios mistos de neutralização de carbono e restauração de áreas degradadas. É difundido o conhecimento que diversos fatores podem afetar a sobrevivência e a estocagem de carbono em áreas degradadas, no entanto, é necessária a construção de um banco de dados que avaliem o comportamento das espécies frente às diferentes condições de campo, visando aumentar o sucesso desses projetos (Moscogliato & Torezan 2017; Pilon & Durigan, 2013). Assim esse estudo torna-se parte constituinte da formação desse banco de dados.

## 5. CONCLUSÕES

A sobrevivência em plantios mistos de neutralização é baixa, o que indica a necessidade de planejar replantios ou plantar um número maior de mudas para aumentar a probabilidade de sucesso dos projetos de neutralização.

A remoção média anual de carbono do plantio é inferior ao valor estabelecido no planejamento e que, geralmente é utilizada nos plantios de neutralização.

As espécies pioneiras contribuem mais para estocagem de carbono do que as espécies não pioneiras na fase inicial de plantio. Porém, é importante a utilização dos dois grupos funcionais para garantir a estocagem de carbono por longos períodos de tempo.

*Peltophorum dubium*, *Albizia hassleri*, *Anadenanthera macrocarpa*, *Andira anthelmia*, *Samanea inopinata* e *Inga vera* são promissoras para constituir plantios de neutralização.

*Adenanthera Pavonina*, *Joannesia princeps*, *Hymenaea courbaril*, *Lecythis pisonis*, *Citharexylum myrianthum*, *Genipa americana* e *Guarea guidonia* possuem baixa performance entre as espécies avaliadas. A espécie *Syzygium cumini* possui performances satisfatórias, contudo seu emprego merece atenção devido ao comportamento de dominância intrínseco da espécie.

Para entender melhor a respeito da performance da sobrevivência e crescimento de *Ceiba speciosa* são necessários mais estudos.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, L. T., Monteiro, L. I. B., Silva, F. B., de Paula Corrêdo, L., & Cesconetto, L. B. (2016). Locação de corredores ecológicos e área de preservação permanente na Universidade Federal de Viçosa. *Nativa*, 4(6). (pp. 412-418).  
<http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v04n06a12>
- Amaro, M. A. (2010). *Quantificação do estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, MG*. (Tese de doutorado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.
- Arantegui, R. L., & Jäger-Waldau. (2018). Photovoltaics and wind status in the European Union after the Paris Agreement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(2), (pp. 2460-2471). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.052>
- Barberi, A., Carneiro, M. A., Moreira, F., & Siqueira, J. O. (1998). Nodulação em leguminosas florestais em viveiros no sul de Minas Gerais. *Revista Cerne*, 4(1), (pp. 145-153).
- Barbosa, L. M. (2015). Restauração ecológica: novos rumos e perspectivas. *Anais do VI Simpósio de Restauração Ecológica*, São Paulo, SP, Brasil, (p.436).
- Baylão, H.F., Jr., Valcarcel, R., & Cito Nettesheim, F. (2013). Fatores do meio físico associados ao estabelecimento de espécies rústicas em ecossistemas perturbados na Mata Atlântica, Piraí, RJ-Brasil. *Ciência Florestal*, 23(3), (pp. 305-315).  
<http://dx.doi.org/10.5902/1980509810542>
- Brasil, N. C. F. (2012). *Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012 (2012)*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, (pp. 2-166).
- Britez, R. M. (2006). Estoque e incremento de carbono em florestas e povoamentos de espécies arbóreas com ênfase na Floresta Atlântica do sul do Brasil. *Embrapa Florestas*; Curitiba: Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental.
- Campos, J. C. D., & Landgraf, P. R. C. (2001). Análise da regeneração natural de espécies florestais em matas ciliares de acordo com a distância da margem do lago. *Ciência Florestal*, 11(2), (pp. 143-151). <http://dx.doi.org/10.5902/19805098>
- Carpanezzi, A. A. (2005). Fundamentos para a reabilitação de ecossistemas florestais. In: Galvão, A. P. M., Silva, V. P. Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso. Colombo: *Embrapa Florestas*, (pp. 27-46).
- Carvalho, P. E. R. (2003). Espécies arbóreas brasileiras. Colombo, Brasil. *Embrapa Florestas*, 1, (p. 1039).
- Carvalho, L. R., Silva, E. A. A., & Davide, A. C. (2006). Classificação de sementes florestais quanto ao comportamento no armazenamento. *Revista Brasileira de Sementes*, 28(2), (pp. 15-25). <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222006000200003>

Comissão Nacional da Biodiversidade. Resolução n. 06, de 3 de setembro de 2013 (2013). Brasília, DF.

Contin, D. R., Soriani, H. H., Hernández, I., Furriel, R. P., Munné-Bosch, S., Martínez, C. A. (2014). Antioxidant and photoprotective defenses in response to gradual water stress under low and high irradiance in two Malvaceae tree species used for tropical forest restoration. *Trees*, 28(6), (pp. 1705-1722).  
<https://doi.org/10.1007/s00468-014-1079-x>

Corrêa, M. P. (1984). Dicionário de plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas. In Dicionário de plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas. Rio de Janeiro, Brasil. *Imprensa Nacional Brasília*, 6, (pp. 1926-1978).

Cruz, C. A. F., Nogueira de Paiva, H., & Amadio Guerrero, C. R. (2006). Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-cascas (*Samanea inopinata* (Harms) Ducke). *Revista Árvore*, 30(4). <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000400006>

Nóbrega, A. M. F., Valeri, S. V., Paula, R. C. D., & Silva, S. A. D. (2008). Regeneração natural em remanescentes florestais e áreas reflorestadas da várzea do rio Mogi-Guaçu, Luiz Antônio-SP. *Revista Árvore*, 32(5).  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000500016>

Donadio, N. M. M., & Demattê, M. E. S. P. (2000). Morfologia de frutos, sementes, e plântulas de canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.) e jacarandá-da-Bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. ex Benth.)-Fabaceae. *Revista Brasileira de Sementes*, 22(1), (pp. 64-73).

Durigan, G. (1990). Taxa de sobrevivência e crescimento inicial das espécies em plantio de recomposição da mata ciliar. *Acta Botanica Brasilica*, 4(2), (pp. 35-40).  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33061990000300005>

Faria, S. M. D., & Franco, A. A. (2002). *Identificação de bactérias eficientes na fixação biológica de nitrogênio para espécies leguminosas arbóreas*. Seropédica: Embrapa Agrobiologia. (p. 16). Recuperado em 24 de novembro, 2017, de <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB-2010/27435/1/doc158.pdf>

Ferez, A. P. C., Campoe, O. C., Mendes, J. C. T., & Stape, J. L. (2015). Silvicultural opportunities for increasing carbon stock in restoration of Atlantic forests in Brazil. *Forest Ecology and Management*, 350, (pp. 40-45).  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.04.015>

Ferreira, B. Z. (2015). *Herbivoria por *Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908 sobre espécies arbóreas em restauração florestal*. (Dissertação de mestrado), Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, SP, Brasil.

Ferreira, J., W. G., Schaefer, C. E. G. R., & Silva, A. D. (2012). Uma visão pedogeomorfológica sobre as formações florestais da Mata Atlântica. *Ecologia de Florestas Tropicais do Brasil*. Viçosa, Editora UFV, (pp. 141-174).

- Fonseca, S. C. L., & Perez, S. C. J. G. 2003. Ação do polietileno glicol na germinação de sementes de *Adenantha pavonina* L. e o uso de poliaminas na atenuação do estresse hídrico sob diferentes temperaturas. *Revista Brasileira de Sementes*, 25(1), (pp. 1-6). <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222003000100001>
- Fowler, J. A. P., Carpanezzi, A. A., & Zuffellato-Ribas, K. C. (2006). Tecnologia para o Manejo Adequado de Sementes de Farinha-seca. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, (53), (pp. 195-208).
- Giachini, R. M., Almeida, L., F., Figueiredo, M. C., & Ortíz, C. E. R. (2010). Influência da escarificação e da temperatura sobre a germinação de sementes de *Samanea tubulosa* (Benth.). *Acta Amazonica*, 40(1), (pp. 75-80). <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672010000100010>
- Gonzales, J. L. S., Valeri, S. V., Paula, R. C. (2010). Germination of *Albizia hassleri* seeds at different temperatures, under laboratory conditions. *Bosque*, 31(1), (pp. 39-44). <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002010000100005>
- Hassan, A. D. S. (2009). *Reservas legais e projetos de neutralização de emissões de carbono: uma estratégia para auxiliar a implementação de áreas protegidas na mata atlântica*. (Dissertação de mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Higuchi, N., Santos, J., Ribeiro, R. J., Minette, L., Biot, Y. (1998). Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazonica* 28(2), (pp. 153-166). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-43921998282166>
- Inoue, M. T., & Galvão, F. (1986). Desempenho assimilatório de *Mimosa scabrella*, *Peltophorum dubium*, *Schinus terebinthifolius* e *Matayba elaeagnoides*, em dependência da intensidade luminosa. *Acta forestalia brasiliensis*, 1(1), (pp. 89-98).
- Klein, D., Carazo, M. P., Doelle, M., Bulmer, J., & Higham, A. (Eds.). (2017). *The Paris Agreement on Climate Change: Analysis and Commentary*. Oxford University Press.
- Lamb, D., Erskine, P. D., & Parrotta, J. A. (2005). Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science*, 310(5754), (pp. 1628-1632). <http://dx.doi.org/10.1126/science.1111773>
- Lima, I. L., Longui, E. L., Cerato, C., Freitas, M. L. M., Florsheim, S. M. B., & Zanatto, A. C. S. (2015). Densidade aparente e anatomia da madeira de *Peltophorum dubium* em função da procedência e posição radial. *Rev. Inst. Flor.* 27(1), (pp. 19-29). <http://dx.doi.org/10.4322/rif.2015.002>
- Lorenzi, H. (1992). *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil* (p. 368). Nova Odessa: Plantarum.

Marcuzzo, S. B., & Viera, M. (2015). Ecological restoration in conservation units. In: Biodiversity in Ecosystems-Linking Structure and Function. *InTech*.  
<http://dx.doi.org/10.5772/59090>

Martínez-Garza, C., Bongers, F., Poorter, L. (2013). Are functional traits good predictors of species performance in restoration plantings in tropical abandoned pastures?. *Forest Ecology and Management*, 303(1), (pp. 35-45).  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.046>

Martins, L., & Cavararo, R. (2012). *Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Sistema fitogeográfico. Inventário das formações florestais e campestres. Técnicas e manejo de coleções botânicas. Procedimentos para mapeamentos*. IBGE. Rio de Janeiro, Brasil, (pp. 156-166).

Ministério do Meio Ambiente. (2017). *Documento base para subsidiar os diálogos estruturados sobre a elaboração de uma estratégia de implementação e financiamento da contribuição nacionalmente determinada do Brasil ao acordo de Paris*. Recuperado em 26 de novembro, 2017, de  
<http://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/ndc/NCDocBase.pdf>

Miranda, D. L. C., DeMelo, A. C. G., & Sanquetta, C. R. (2011). Equações alométricas para estimativa de biomassa e carbono em árvores de reflorestamentos de restauração. *Revista Árvore*, 35(3). <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622011000400012>

Morais, V. T. M., Jr., Alves, E. B. M. B., Jacovine, L. A. G., Rufino, M. P. M. X., dosSantos, T. B., Silva, L. B. (2017). Initial behavior of arbor species in different locations of the terrain in neutralization plants. *Nativa*, 5(2), (pp. 101-106).  
<http://dx.doi.org/10.5935/2318-7670.v05n02a04>

Morais, V. T. M., Jr., Rocha, S. J. S. S., Comini, I. B., Alves, E. B. B. M., Jacovine, L. A. (2016). Sobrevivência e desenvolvimento de espécies nativas em plantio de recuperação da mata atlântica aos vinte meses de idade em Viçosa, Minas Gerais. *Enciclopédia Biosfera*. Centro Científico Conhecer, Goiânia, Brasil, 13(23), (pp. 1251-1261). [http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia\\_Biosfera\\_2016\\_110](http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2016_110)

Moscogliato, A. V., Torezan, J. M. D. (2017). Aboveground biomass in reforestation with native species established by means of Taungya agroforestry system. *Hoehnea*, 44(2), (pp. 202-210).

Peloso, R. V. D. (2012). *Dinâmica e sucessão de um fragmento de Floresta Atlântica*. (Dissertação de mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

Peternelli, E. F. O., Della Lucia, T. M. C., & Martins Venâncio, S. (2004). Espécies de formigas que interagem com as sementes de *Mabea fistulifera* Mart. (Euphorbiaceae). *Revista Árvore*, 28(5), (pp. 733-738).  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000500013>

Petit, B., & Montagnini, F. (2006). Growth in pure and mixed plantations of tree species used in reforesting rural areas of the humid region of Costa Rica, Central America. *Forest Ecology and Management*, 233(2), (pp. 338-343).  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.05.030>

Pilon, N. A. L., & Durigan, G. (2013). Critérios para indicação de espécies prioritárias para a restauração da vegetação de cerrado. *Scientia Forestalis*, 41(49), (pp. 389–399).

Programa Carbono Zero. (2017). *Metodologia*. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil. Recuperado em 26 de novembro, 2017, de  
[http://www.carbonozero.ufv.br/?page\\_id=233](http://www.carbonozero.ufv.br/?page_id=233)

Redondo-Brenes, A., & Montagnini, F. (2006). Growth, productivity, aboveground biomass, and carbon sequestration of pure and mixed native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 232(1-3), (pp. 168-178). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.05.067>

Brasil. (2015). *Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada- Para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. Recuperado em 26 de novembro, 2017, de  
[http://www.itamaraty.gov.br/images/ed\\_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf](http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf)

Resende, M. D. V., & Duarte, J. B. (2007). Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 37, (pp. 182-194).

Ricklefs, R. E. (2003). *Economia da Natureza: um livro-texto em ecologia básica* (3ª ed., pp. 357-358). Rio de Janeiro: Guanabara / Koogan.

Rogelj, J., Den Elzen, M., Höhne, N., Fransen, T., Fekete, H., Winkler, H., & Meinshausen, M. (2016). Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 C. *Nature*, 534(7609), (pp. 631-639).  
<http://dx.doi.org/10.1038/nature18307>

Schumacher, F. X., & Hall, F. S. (1933). Logarithmic expression of timber-tree. *Journal of Agricultural Research*, 47(9), (pp. 719-734).

Shimamoto, C. Y., Botosso, P. C., & Marques, M. C. (2014). How much carbon is sequestered during the restoration of tropical forests? Estimates from tree species in the Brazilian Atlantic forest. *Forest ecology and management*, 329, (pp. 1-9).  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.06.002>

Silva, K. A., Martins, S. V., Neto, A. M., Demolinari, R. A, Lopes, A. T. (2016). Restauração Florestal de uma Mina de Bauxita: Avaliação do Desenvolvimento das Espécies Arbóreas Plantadas. *Floresta e Ambiente*, 23(3), (pp. 309-319).  
<http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.142515>

Silver, W. L., Ostertag, R., & Lugo, A. E. (2000). The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture



lands. *Restoration ecology*, 8(4), (pp. 394-407). <http://dx.doi.org/10.1046/j.1526-100x.2000.80054.x>

Souza, P.B., Souza, A. L., Costa, W. S., Peloso, R. V., & Lana, J. M. (2012). Florística e diversidade das espécies arbustivo-arbóreas regeneradas no sub-bosque de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. *Revista Cerne*, 18(3), (pp. 413-421). <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000300008>

Stucchi, G. B. (2013). *Estimativa dos estoques de carbono na parte aérea de reflorestamentos de espécies nativas e remanescentes florestais*. (Dissertação de Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Thomas, E., Jalonen, R., Loo, J., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S., & Bozzano, M. (2014). Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management*, 333, (pp. 66-75). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.015>

Torres, C. M. M. E. (2011). *Análises técnica e econômica da geração de créditos de carbono em projetos florestais na região de Viçosa, MG*. (Dissertação de mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

United Nations Framework Convention on Climate Change. (2016). *Relatório de síntese sobre o efeito agregado das contribuições previstas a nível nacional: uma atualização*. Recuperado em 26 de novembro, 2017, de <http://unfccc.int/resource/docs/2016/cop22/esp/02.pdf>

United Nations Framework Convention on Climate Change. (2017). *Acordo de Paris - Status da Ratificação*. Recuperado em 26 de novembro, 2017, de [http://unfccc.int/paris\\_agreement/items/9444.php](http://unfccc.int/paris_agreement/items/9444.php)

Universidade Federal De Viçosa. (2017). Departamento de Engenharia Agrícola. Estação Climatológica Principal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil. *Boletim Meteorológico*.

Viñuales, J. E., Depledge, J., Reiner, D. M., & Lees, E. (2017). Climate policy after the Paris 2015 climate conference. *Climate policy*, 17(1), (pp. 1-8). <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1242060>

Wheeler, C. E., Omeja, P. A., Chapman, C. A., Glipin, M., Tumwesigye, C., & Lewis, S. L. (2016). Carbon sequestration and biodiversity following 18years of active tropical forest restoration. *Forest Ecology and Management*, 373, (pp. 44-55). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.025>.

Tabela 1 - Variáveis mensuradas para as espécies arbóreas (Ni= Número de indivíduos plantados; Nf= Número de indivíduos sobreviventes aos 3,33 anos;  $\mu$ DAS e  $\mu$ H= médias dos diâmetros a altura do solo (mm) e alturas (cm), respectivamente aos 3,33 anos e desvio-padrão ( $\pm$ SD) para as variáveis). Determinação do Grupo ecológico (G.E) e grafia dos nomes científicos das espécies de acordos com as Referências G.E.

Espécies	G.E	Ni	Nf	SB (%)	$\mu$ DAS	$\mu$ H	Referências grafia e G.E
<i>Albizia hassleri</i>	P	30	24	80	69,49 $\pm$ (26,20)	262,63 $\pm$ (98,66)	Barbosa et al., 2015
<i>Andira anthelmia</i>	NP	25	15	60	48,43 $\pm$ (16,07)	87,46 $\pm$ (41,78)	Barbosa et al., 2015
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	P	50	35	70	52,37 $\pm$ (33,26)	238,82 $\pm$ (130,56)	Barbosa et al., 2015
<i>Guarea guidonia</i>	NP	25	2	8	23,9 $\pm$ (13,47)	99,00 $\pm$ (12,73)	Barbosa et al., 2015
<i>Joannesia princeps</i>	NP	25	12	48	55,56 $\pm$ (34,74)	143,33 $\pm$ (100,89)	Barbosa et al., 2015
<i>Peltophorum dubium</i>	P	25	21	84	103,54 $\pm$ (36,43)	299,66 $\pm$ (100,56)	Barbosa et al., 2015
<i>Inga vera</i>	P	50	27	54	82,15 $\pm$ (21,69)	230,77 $\pm$ (60,31)	Barbosa et al., 2015
<i>Syzygium cumini</i>	P	24	19	79,17	73,34 $\pm$ (31,57)	259,26 $\pm$ (75,03)	Silva et al., 2016
<i>Hymenaea courbari</i>	NP	24	7	29,17	38,92 $\pm$ (34,04)	147,42 $\pm$ (120,53)	Barbosa et al., 2015
<i>Genipa americana L.</i>	NP	25	11	44	16,48 $\pm$ (6,93)	26,58 $\pm$ (18,56)	Barbosa et al., 2015
<i>Ceiba speciosa</i>	NP	26	0	0	-	-	Barbosa et al., 2015
<i>Citharexylum myrianthum</i>	P	46	17	36,96	46,00 $\pm$ (34,24)	133,79 $\pm$ (115,73)	Barbosa et al., 2015
<i>Lecythis pisonis</i>	NP	25	12	48	36,45 $\pm$ (13,56)	137,16 $\pm$ (63,33)	Carvalho, 2006
<i>Samanea inopinata</i>	NP	49	31	63,27	36,22 $\pm$ (28,42)	123,94 $\pm$ (130,01)	Cruz et al., 2006
<i>Adenanthera pavonina</i>	P	49	9	18,37	18,79 $\pm$ (5,59)	75,86 $\pm$ (36,98)	Fonseca et al., 2003
Não identificado	-	11	0	0	-	-	-
Total/Média geral	-	509	242	47,54	56,58 $\pm$ 35,82	186,41 $\pm$ 123,02	

Tabela 2 - Estimativas de média de estoque de Carbono ( $\mu\text{C}$ ) ( $\text{KgC.indivíduo}^{-1}$ ) e desvio-padrão ( $\pm\text{SD}$ ) para as espécies. Incremento médio anual de carbono (IMAC) ( $\text{KgC. indivíduo}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ) *Ranking* das espécies com relação ao valor predito de  $\mu\text{C}$  e sua acurácia . Incremento médio anual de carbono (IMAC) ( $\text{KgC. indivíduo}^{-1}\text{ano}^{-1}$ )

Espécie	$\mu\text{C}$	IMAC	Valor predito	Acurácia (%)	Colocação <i>Ranking</i>
<i>Peltophorum dubium</i>	7,8( $\pm$ 13,7)	2,35	2,770	92,4	1°
<i>Albizia hassleri</i>	3,4( $\pm$ 3,1)	1,02	2,562	92,8	2°
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	5,1( $\pm$ 9,2)	1,53	2,500	93,3	3°
<i>Inga vera</i>	1,8( $\pm$ 1,1)	0,55	2,367	92,9	4°
<i>Syzygium cumini</i>	3,1( $\pm$ 4,2)	0,93	2,350	92,0	5°
<i>Hymenaea courbari</i>	1,4( $\pm$ 2,5)	0,41	1,671	85,3	6°
<i>Joannesia princeps</i>	1,0( $\pm$ 1,8)	0,29	1,463	90,1	7°
<i>Lecythis pisonis</i>	0,3( $\pm$ 0,4)	0,08	1,408	90,1	8°
<i>Citharexylum myrianthum</i>	1,0 $\pm$ 2,0	0,30	1,368	91,6	9°
<i>Samanea inopinata</i>	2,2 $\pm$ 5,7	0,65	1,330	93,2	10°
<i>Guarea guidonia</i>	0,0 $\pm$ 0,0	0,01	1,305	71,6	11°
<i>Andira anthelmia</i>	0,1 $\pm$ 0,1	0,02	0,956	91,1	12°
<i>Adenanthera pavonina</i>	0,01 $\pm$ 0,0	0,01	0,903	88,4	13°
<i>Genipa americana L.</i>	0,01 $\pm$ 0,0	0,00	0,459	89,6	14°
<i>Ceiba speciosa</i> <sup>1</sup>	-	-	-	-	15°
Total	2,6 $\pm$ 6,2	0,78	-	-	-

<sup>1</sup>A espécie *Ceiba speciosa* não apresentou nenhum indivíduo sobrevivente por isso não há valores das variáveis avaliadas para essa espécie.

Tabela 3 - Análise química do solo na área de estudo

pH	pH	pH	P	K	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	m
H <sub>2</sub> O	KCl	CaCl <sub>2</sub>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>	%	%
4,46	-	-	0,3	18	0,11	0,49	4,6	0,62	1,11	5,22	11,9	44,1

pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5 pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5 P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Cd - Pb - Ni - Cr - Extrator Mehlich-1 Ca<sup>2+</sup> - Mg<sup>2+</sup> - Al<sup>3+</sup> - Extrator: KCl - 1 mol/L H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0 SB = Soma de Bases Trocáveis; t - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva T - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0 V= Índice de Saturação por Bases m= Índice de Saturação por Alumínio.



Figura 1 - Foto aérea da área de estudo em agosto de 2017. Localizada no Espaço Aberto de Eventos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

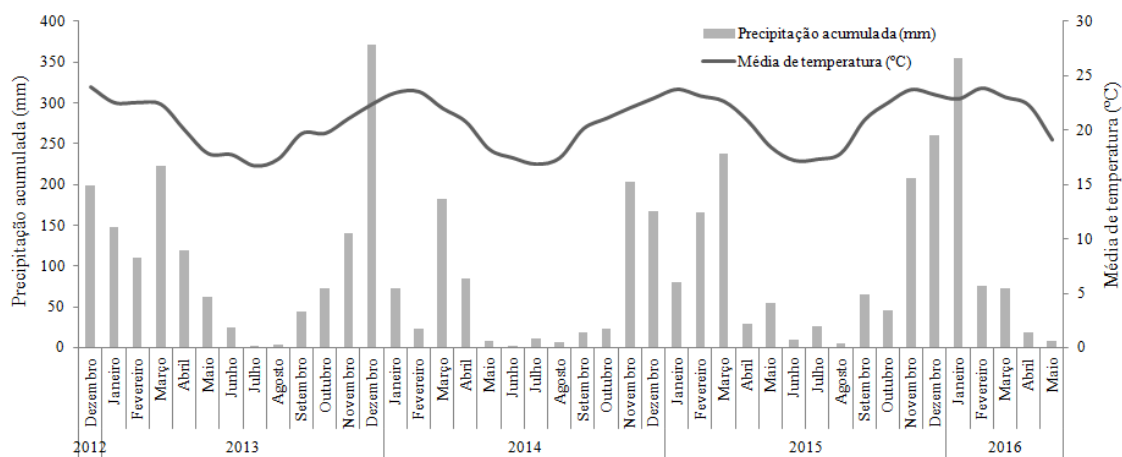


Figura 2 - Precipitação mensal acumulada (mm) e temperatura média (°C) para o município de Viçosa entre dezembro de 2012 (instalação do experimento) e maio de 2016 (coleta de dados).

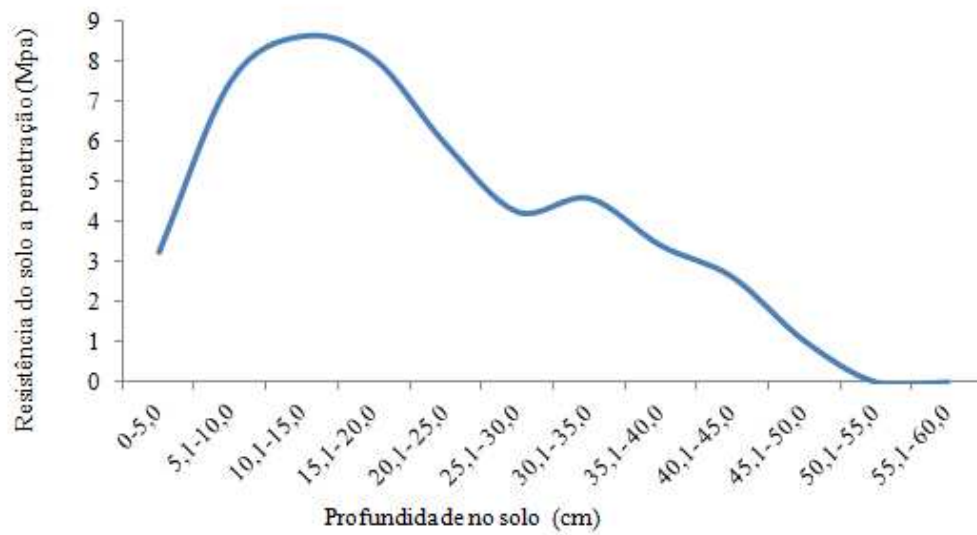


Figura 3 - Resistência física do solo a penetração (Mpa) em função da profundidade (0 a 60 cm) no experimento aos 40 meses de idade.

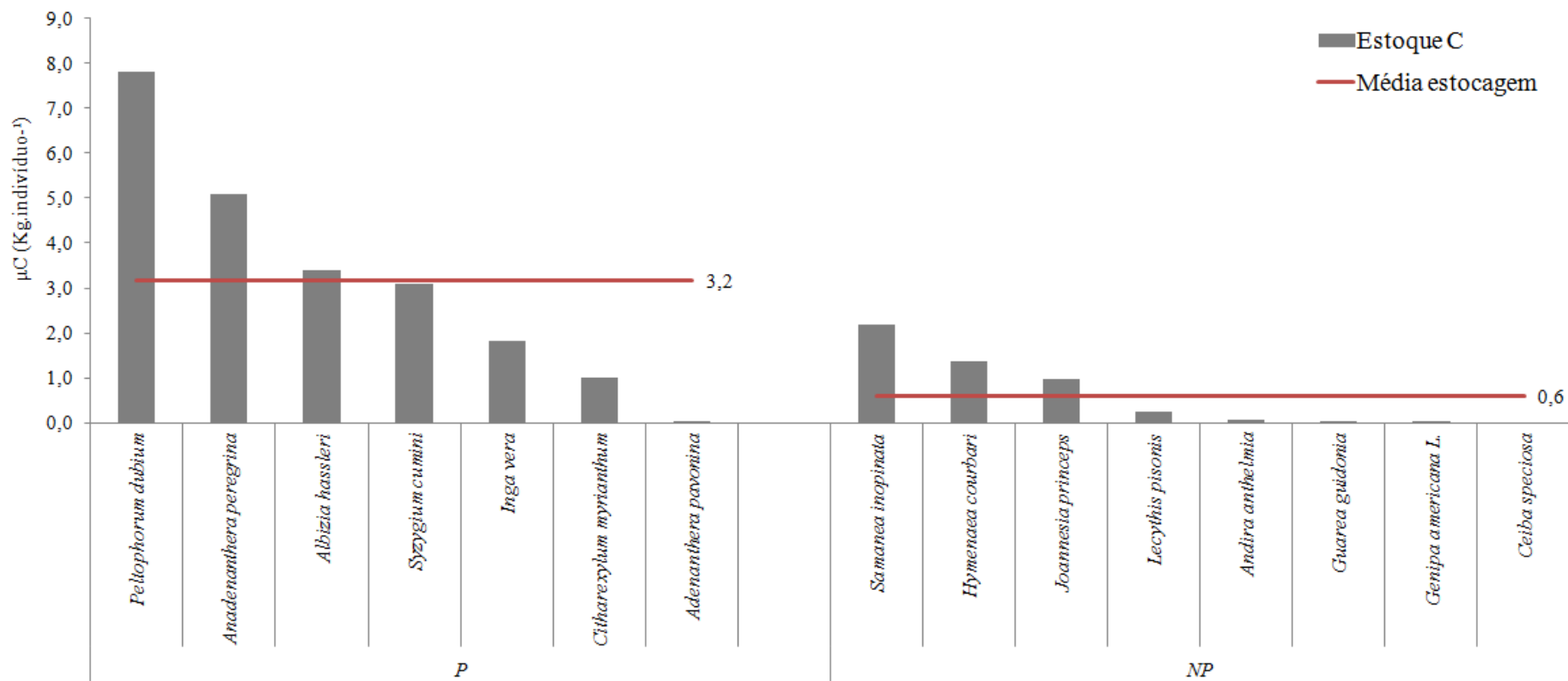


Figura 4 - Média da estocagem de carbono por espécie em kg de C.indivíduo<sup>-1</sup> para os grupos das espécies pioneiras (P) e não pioneiras (NP).



## CONCLUSÕES GERAIS

Os plantios florestais arbóreos em fase jovem contribuem para a mitigação das mudanças climáticas a partir da remoção de gases de efeito estufa da atmosfera. A elaboração de metodologias e uma base de dados confiável permitem subsidiar a escolha de espécies para composição desses plantios.

A determinação dos indicadores de sobrevivência e crescimento de espécies arbóreas em plantios mistos florestais contribui para eficiência dos projetos de restauração e/ou neutralização de carbono. Assim, esses indicadores são importantes ferramentas auxiliaadoras para avaliar a eficiência desses projetos no Brasil. Isso pode contribuir para um alcance mais eficiente das metas relacionadas à restauração/reflorestamento no âmbito do Acordo de Paris.

As duas metodologias avaliadas permitiram determinar as performances das espécies sem precisar destruir plantas. Metodologias como essas são importantes ferramentas na gestão e manutenção de plantios de neutralização de carbono em áreas que existem restrição ao abate das árvores.

A espécie *C. speciosa*, mesmo com baixa sobrevivência verificada no “Artigo 2”, é possível concluir que possui um alto potencial para constituir projetos de restauração e neutralização de carbono, dada sua alta capacidade de remoção de carbono verificada no “Artigo 1”. No entanto, sua utilização necessita de um intenso combate de formigas-cortadeiras.

*Joannesia princeps* esteve alocada em grupos diferentes nos artigos do presente estudo. Esse fato é decorrente do rigor metodológico diferenciado dos artigos, o que possibilita afirmar que, de uma maneira geral, essa espécie encontra-se no limiar entre as espécies de melhores e piores performances avaliadas em ambos os capítulos. Contudo, é notável seu alto potencial de remoção de carbono nos primeiros anos e conclui-se que são necessários mais estudos ao longo dos anos para entender melhor a adaptabilidade e crescimento dessa espécie.

As espécies *A. macrocarpa* e *S. inopinata* apresentaram sobrevivência contrastantes nos dois artigos que compõem o presente estudo. Infere-se que essa diferença está relacionada à menor qualidade das mudas dessas espécies utilizada no experimento do capítulo 1. Assim, sugere-se que em experimentos seja realizada inicialmente uma avaliação da qualidade das mudas para obtenção de resultados com maior consistência.