

VICENTE TOLEDO MACHADO DE MORAIS JUNIOR

**RESTAURAÇÃO FLORESTAL E NEUTRALIZAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES
DE EFEITO ESTUFA: PROGRAMA CARBONO ZERO (UFV) E ADEQUAÇÃO
AMBIENTAL DE PROPRIEDADES RURAIS EM MINAS GERAIS**

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

Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine

Coorientador: Carlos Moreira M. Eleto Torres

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

M827r
2021

Morais Junior, Vicente Toledo Machado de, 1991-

Restauração florestal e neutralização de emissões de gases de efeito estufa: Programa Carbono Zero (UFV) e adequação ambiental de propriedades rurais em Minas Gerais / Vicente Toledo Machado de Moraes Junior. – Viçosa, MG, 2021.

1 tese eletrônica (158 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.104>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Universidades e faculdades - Aspectos ambientais.
2. Mudanças climáticas. 3. Florestas tropicais - Conservação.
4. Comunidade e universidade. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDO adpt. CDD 634.91811

Bibliotecário(a) responsável: Renata de Fátima Alves CRB6/2578

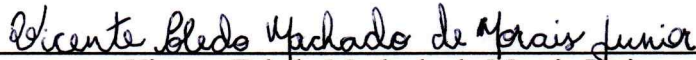
VICENTE TOLEDO MACHADO DE MORAIS JUNIOR

**RESTAURAÇÃO FLORESTAL E NEUTRALIZAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES
DE EFEITO ESTUFA: PROGRAMA CARBONO ZERO (UFV) E ADEQUAÇÃO
AMBIENTAL DE PROPRIEDADES RURAIS EM MINAS GERAIS**

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

APROVADA: 16 de julho de 2021.

Assentimento:



Vicente Toledo Machado de Moraes Junior
Autor



Laércio Antônio Gonçalves Jacovine
Orientador

*À minha Mãe (Aparecida Regina Sanches da Maia), esposa (Elri Daiana Silva C)
e ao meu filho (Bernardo Silva de Moraes).*

AGRADECIMENTOS

A Deus Pai, Filho e Espírito Santo.

Nossa Senhora de Aparecida e todos os anjos e santos por intercederem por mim.

À minha família, em especial aos meus pais, Vicente de Toledo Machado (*in memoriam*) e Anair Ferreira de Moraes (*in memoriam*); Ademar Aparecido da Maia (*in memoriam*) e Aparecida Regina Sanches da Maia, pelo amor incondicional e fonte de motivação principal de toda a minha vida. Às minhas irmãs e irmão, Ana Flávia Sanches da Maia F, Sílvia Elena S.M.O, Luiz Fernando S.M, Bárbara Toledo.M.M e Rita D’Cássia de M.M, pela confiança e cuidado em todas as esferas de minha vida.

À minha noiva/esposa Elri Daiana Silva, por me nortear e proporcionar mais luz à minha vida. Ao meu filho Bernardo Silva de Moraes que em poucos meses de sua chegada, tornou-se fonte de motivação e inspiração para minha vida. Vocês são minhas razões!

Ao professor e amigo Laércio Antônio Gonçalves Jacovine pelo apoio incondicional e orientação pessoal/profissional desde a iniciação científica em 2014. Obrigado por tornar qualquer situação mais leve e acreditar em meu trabalho.

Ao professor Carlos Eleto (Carlinhos) pela parceria, amizade e coorientação deste trabalho.

Aos professores Daniel Brianezi, Haroldo Nogueira, Sebastião Venâncio e Gumercindo pelos conselhos e ensinamentos ao longo do doutorado. Ao Professor Ricardo de Oliveria Gaspar e a Professora Sabina Cerruto Ribeiro por aceitarem contribuir com esta tese de doutorado.

Aos professores Hélio Garcia Leite e Eduardo Euclides de Lima e Borges pela amizade.

Aos pesquisadores e amigo(a)s Samuel José, Eliana Boaventura, Lauana Blenda, Bruno Schettini, Indira Bifano, Paulo Henrique Villanova, Flora Magdalaline, Luciano Cavalcante França por auxiliarem em diversas etapas da pesquisa.

Aos amigos e amigas de toda a minha vida Darlan, Amana Obolari, Mariana Taquetti, Jocimar Caiafa, Mateus Castro, Bruno Maia, Caio Eleto, Milena Menezes, Maria Alice, Jonathan Rafael, Elke Lima, Bruninha, Amandinha e Luiz Saporì.

Aos pesquisadores Gabriel Machado e Renato Marques de Oliveira, ambos contribuíram com ideias para o Capítulo III dessa tese de doutorado. Aos estagiári(a)s Thaís Almeida, Thaynara Albuquerque, Klisman Oliveira, Maria Paula Xavier e Isabella Faustino

por auxiliarem em coletas de dados em campo e também na compilação de outras importantes informações para o Capítulo I e II dessa tese de doutorado.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal pela oportunidade e por todo subsídio.

Aos funcionários da UFV e do DEF, em especial: Alexandre, Dilson, Francisco (Chiquinho), Elizabeth, Josimar, Paulo pelos conselhos e bons momentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelos financiamentos.

Ao Grupo de Estudos em Economia Ambiental (GEEA). Em especial, aos estagiários e tantos outros que colaboraram.

Ao programa Carbono Zero por todas as oportunidades e por ser a fonte de experimentação técnico-científica de minha carreira profissional.

Aos amigos da Pós-Graduação. Em especial: Arthur Araújo, Ivaldo Tavares, Guilherme Boto, Thales Martins, Eugênio, Cássio.

Aos amigos da Brandt Meio Ambiente que tanto me apoiaram e me deram incentivos para concluir o doutorado, em especial Henrique Purcino, Rafael Carneiro, Pedro Paulo, Wagner Darlon, Felício Oliveira e Eryck Magalhães.

Ao Instituto Estadual de Floresta de Minas Gerais, especialmente ao Viveiro do IEF de Viçosa-MG por fornecimento das mudas de espécies florestais nativas para os experimentos do Programa Carbono Zero. Ao Sr. Tarcílio e Marquinhos por auxiliarem nas etapas de seleção e transporte de mudas.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram. Muito obrigado!

*“[...] Uma flor nasceu na rua!
Passem de longe, bondes, ônibus, rio de aço do
tráfego.*

*Uma flor ainda desbotada
ilude a polícia, rompe o asfalto.
Façam completo silêncio, paralitem os negócios,
garanto que uma flor nasceu.*

*Sua cor não se percebe.
Suas pétalas não se abrem.
Seu nome não está nos livros.
É feia. Mas é realmente uma flor.*

*Sento-me no chão da capital do país às cinco horas
da tarde
e lentamente passo a mão nessa forma insegura.*

*Do lado das montanhas, nuvens maciças avolumam-
se.*

*Pequenos pontos brancos movem-se no mar,
galinhas em pânico.
É feia. Mas é uma flor. Furou o asfalto, o tédio, o
nojo e o ódio”.*

Carlos Drummond de Andrade

“Precisamos plantar mais e colher menos!”

Simone Bezerra da Silva

RESUMO

MORAIS JUNIOR, Vicente Toledo Machado de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2021. **Restauração florestal e neutralização de emissões de gases de efeito estufa: Programa Carbono Zero (UFV) e adequação ambiental de propriedades rurais em Minas Gerais.** Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Coorientador: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres.

A restauração florestal no Brasil tem ganhado destaque internacional. Esse fato é explicado pela urgência nas ações para a restauração do grande passivo de terra existente no país e também pela interface que a essa ciência possui com a mitigação das mudanças climáticas. Estudos que tenham aplicação prática que considerem as conexões existentes entre a restauração florestal e as suas contribuições para as mudanças climáticas são escassos em escalas locais, regionais e globais. Além disso, há uma necessidade proeminente de desenvolvimento de uma base sólida da adaptabilidade e crescimento de espécies florestais em plantios de restauração e neutralização de carbono. Desse modo, o objetivo principal deste estudo foi desenvolver conhecimento científico relacionado à restauração florestal e às mudanças climáticas, considerando experimentos regionais (Restauração Florestal e Legado do Programa Carbono Zero) e um estudo mais abrangente (Mapeamento de áreas conflitantes de uso do solo e as potenciais fontes de financiamento de Minas Gerais). Para isto, no “Capítulo I”, foi investigado o comportamento de cinco espécies florestais em campo aos 42 meses. As mudas foram produzidas em recipientes de diferentes volumes (180 cm³ e 1177 cm³). No “Capítulo II”, foi determinado o legado ambiental, social e educacional do Programa Carbono Zero da UFV em 10 anos de atuação. Por fim, no “Capítulo III”, dimensionou-se o passivo ambiental atual de Minas Gerais considerando a Legislação de Proteção a Vegetação Nativa (LPVN) e determinar os potenciais mecanismos/instrumentos financeiros que podem auxiliar na restauração florestal no Estado. Entre as conclusões deste estudo, destacam-se: (i) O tamanho dos recipientes em que as mudas florestais são produzidas podem influenciar as taxas de sobrevivência e crescimento de espécies nativas em campo. (ii) De uma maneira geral, as mudas produzidas em recipientes maiores (sacolas plásticas) apresentaram melhores performances de sobrevivência e crescimento em campo aos 42 meses; (iii) O legado do Programa Carbono Zero em 10 anos demonstrou que a gestão ambiental responsiva em grandes eventos influencia diversos *stakeholders* e capacita melhor os estudantes envolvidos nas ações; (iv) Minas Gerais possui atualmente um elevado passivo ambiental em

desconformidade com a LPVN, que exigirá esforços na ordem de 2 bilhões de dólares para a restauração.

Palavras-chave: Compensação de emissões. Mudanças climáticas. Mudanças de espécies florestais. Universidade Sustentável. Comunidade Recursos Humanos.

ABSTRACT

MORAIS JUNIOR, Vicente Toledo Machado de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2021. **Forest restoration and neutralization of supplies of greenhouse gases: Programa Carbono Zero (UFV) and environmental adaptation of rural properties in Minas Gerais.** Adviser: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Co-adviser: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres.

Forest restoration in Brazil has gained international prominence, this fact is explained by the urgency of actions for the restoration of the great land liability existing in the country and also by the interface that this science has with the mitigation of climate change. Studies that have practical application that consider the existing connections between forest restoration and its contributions to climate change are scarce at local, regional and global scales. Furthermore, there is a prominent need to develop a solid foundation for the adaptability and growth of forest species in restoration and carbon-neutral plantations. Thus, the main objective of this study was to develop knowledge related to forest restoration and climate change considering regional experiments (Forest Restoration and Legacy of the Program Carbono Zero) and a more comprehensive study (Mapping of conflicting areas of land use and the potential sources of financing of Minas Gerais). For this, in "Chapter I" the behavior of five forest species in the field at 42 months was investigated, the seedlings were produced in containers of different volumes (180 cm³ and 1177 cm³). In "chapter II" the environmental, social and educational legacy of the Program Carbono Zero (UFV) in 10 years of operation was determined. Finally, in "Chapter III" the current environmental liability of Minas Gerais was analyzed considering the Legislation for the Protection of Native Vegetation (LPVN) and to determine the potential mechanisms/financial instruments that could help in forest restoration in the state. Among the conclusions of this study, the following stand out: (i) The size of the containers in which the forest seedlings are produced can influence the survival and growth rates of native species in the field. (ii) In general, seedlings produced in larger containers (plastic bags) showed better survival and growth performance in the field at 42 months; (iii) The legacy of the Zero Carbon Program over 10 years has shown that responsive environmental management in large events influences several stakeholders and better trains students involved in the actions; (iv) Minas Gerais currently has a high environmental liability that does not comply with the LPVN, which will require efforts in the order of 2 billion dollars for restoration.

Keywords: Compensation of emissions. Climate change. Seedlings of forest species. Sustainable University. Community Human resources.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	12
CAPÍTULO I: <i>Performance of five native Atlantic Forest species planted in containers of different size for restoring degraded areas in Minas Gerais</i>	17
1. Introduction.....	18
2. Materials and Methods	19
2.1. Plant Propagation in Nursery	19
2.2. Characterization of the Area.....	20
2.3. Characterization of the Planting	20
2.4. Variables Evaluated and Statistics	21
3. Results	21
3.1. Survival at 42 Months.....	21
3.2. Growth at 42 Months	22
4. Discussion	22
5. Conclusions.....	23
References	24
CAPÍTULO II: Zero Carbon Program: A legacy for a Sustainable Environmental and For Higher Education Institutions	27
Supplementary Material- (Figure)	59
Supplementary Material- (Tables)	60
CAPÍTULO III: Restauração florestal em larga-escala em Minas Gerais: Potenciais mecanismos e instrumentos financiadores e mapeamento de Áreas conflitantes	105
Material Suplementar- “Capítulo III” (Tables)	156
CONCLUSÕES GERAIS	157

INTRODUÇÃO GERAL

A restauração florestal como medida mitigadora das mudanças climáticas tem se tornado um assunto bastante recorrente e com interesse da comunidade global. Nos últimos anos, diversos acordos internacionais foram firmados tratando sobre a importância das florestas na manutenção climática global; entre eles, citam-se: Agenda 2030, Acordo de Paris e Desafio de Bonn (Brasil, 2011; Brasil, 2015; Bustamante et al., 2019; Bonn challenge, 2020; Convenção sobre a Diversidade Biológica, 2020; Nature Climate Change, 2021).

No contexto nacional, algumas importantes legislações foram criadas e possuem relação direta com a diminuição das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e o fortalecimento dos sumidouros naturais de dióxido de carbono. Dentre elas, podem ser citadas a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) - Lei nº 12.187/2009 e a Política sobre a Proteção da Vegetação Nativa (LPVN) - Lei nº 12.651 (Brasil, 2009; Brasil, 2012).

A conservação e a restauração de florestas são estratégias importantes na mitigação das mudanças climáticas. Estima-se que as florestas absorvam 2,6 bilhões de toneladas de dióxido de carbono anualmente em todo mundo. Além disso, há no planeta pelo menos 2 bilhões de hectares de terras degradadas com potencial para a restauração (IUCN, 2021). Desse total, pelo desafio de Bonn é esperado restaurar 350 milhões de hectares de terra, o que pode representar uma remoção anual de 1,7 Gt de CO₂ (Bonn challenge, 2020).

Nesse contexto, o Brasil se mostra como um país com um elevado potencial para ampliar as áreas restauradas, visando maximizar os sumidouros naturais de carbono e, também, promover cobenefícios através dos serviços ecossistêmicos (Bustamante et al., 2018). Há uma estimativa que o Brasil possui pelo menos 21 Mha de Reserva Legal para serem restaurados nos próximos 20 anos (Soares-Filho, 2014).

Os desafios da restauração florestal no Brasil são inúmeros, tais como elevados custos, entraves políticos, falta de bases de dados com o crescimento e adaptabilidade de espécies, baixa valoração dos benefícios ecossistêmicos, entre outros (Kröger, 2017; Nunes et al., 2017; Molim et al., 2018; Brancalion et al., 2019). No entanto, existem esforços de diversas iniciativas engajadas com a restauração florestal e as mudanças climáticas no Brasil (Crouzeilles et al., 2019; Viani et al., 2019; Morais Junior et al., 2020; Siqueira et al., 2021). Iniciativas regionais podem estimular a sensibilização de um elevado público sobre o tema, possibilitando assim, uma difusão sólida sobre a mitigação das mudanças climáticas e as florestas (Alves, 2014; Brianezi, 2015; Alves, 2018). Nesse sentido, o Programa Carbono Zero da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em 10 anos de atuação se mostra como uma

importante iniciativa desenvolvida em Minas Gerais com foco na mitigação das mudanças climáticas, restauração florestal e na sensibilização de estudantes, professores, residentes rurais e urbanos.

O Programa Carbono Zero da UFV vem auxiliando no incremento de pesquisas relacionadas ao crescimento e à adaptabilidade de espécies florestais em Minas Gerais e tem demonstrado uma importante sinergia entre universidade, sociedade e política (Morais Junior et al., 2019; Morais Junior et al., 2020; Morais Junior et al., 2021).

Além das iniciativas regionais, o desenvolvimento de bases sólidas relacionadas à restauração florestal em nível de paisagem, torna-se ferramenta substancial para o desenvolvimento de planos e ações que sejam estratégicos para estados e países (Molim et al., 2018; Bustamante et al., 2019). Nesse sentido, Minas Gerais se mostra como um importante estado no cenário brasileiro, pois carece de estudos e alternativas técnicas e financeiras que demonstrem as oportunidades para o desenvolvimento da restauração florestal, sendo que apenas alguns estudos abordaram diretamente a questão da restauração florestal em larga-escala em Minas Gerais (*e.g.* Nunes et al., 2017; Rezende et al., 2018).

Nessa perspectiva, pretende-se neste trabalho avançar no conhecimento regional relacionado ao comportamento de espécies florestais em campo com utilização de diferentes recipientes na fase de produção de mudas. Além disso, pretende-se quantificar o legado ambiental, social e educacional do Programa Carbono Zero da UFV em seus 10 primeiros anos de atuação. Por fim, pretende-se dimensionar o passivo ambiental atual de Minas Gerais considerando a Legislação de Proteção a Vegetação Nativa (LPVN) e determinar os potenciais mecanismos/instrumentos financeiros que poderiam auxiliar na restauração florestal no estado.

Para atender a estes objetivos, o trabalho foi dividido em artigos, conforme descrito a seguir.

Artigo 1: *Performance of five native Atlantic Forest species planted in containers of different size for restoring degraded areas in Minas Gerais;*

Artigo 2: *Zero Carbon Program: A legacy for a Sustainable Environmental and For Higher Education Institutions;*

Artigo 3: *Restauração Florestal em Larga-escala em Minas Gerais: Potenciais formas de Financiamento para adequação ambiental de propriedades rurais.*

Referências bibliográficas

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), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

Alves, E.B.B.M., (2018). Inventário e neutralização de emissões de gases de efeito estufa: avaliação e desenvolvimento de software de cálculo. (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

Bonn challenge. Bonn Challenge- Restore our future. (2021). Disponível em: <<https://www.bonnchallenge.org/about>>. Acesso em 27 de junho de 2021.

Brançalion, P. H., Meli, P., Tymus, J. R., Lenti, F. E., Benini, R. M., Silva, A. P. M., Holl, K. D. (2019). What makes ecosystem restoration expensive? A systematic cost assessment of projects in Brazil. *Biological Conservation*, 240, 108274.

Brasil, Governo Federal (2011). Transformando Novo Mundo Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/Brasil_Amigo_Pesso_Idosa/Agenda2030.pdf. Acesso em 04 de julho de 2021.

Brasil. (2009). Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm>. Acesso em 04 de julho de 2021.

Brasil. (2012). Política sobre a Proteção da Vegetação Nativa. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em 04 de julho de 2021.

Brasil. Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada. (2015). Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf>. Acesso em 27 de junho de 2021.

Brianezi, D. (2015). Balanço de gases de efeito estufa em propriedades rurais: método e aplicações. (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

Bustamante, M. M., Silva, J. S., Scariot, A., Sampaio, A. B., Mascia, D. L., Garcia, E., Nobre, C. (2019). Ecological restoration as a strategy for mitigating and adapting to climate change: lessons and challenges from Brazil. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24(7), 1249-1270.

Convenção sobre Diversidade Biológica. (2020). Plano Estratégico 2011–2020 / Metas de Aichi. Disponível em: <<http://www.cbd.int/sp/targets/>> Acesso em 27 de junho de 2021.

Crouzeilles, R., Santiami, E., Rosa, M., Pugliese, L., Brancalion, P. H., Rodrigues, R. R., Pinto, S. (2019). There is hope for achieving ambitious Atlantic Forest restoration commitments. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 17(2), 80-83.

IUCN. (2021). International Union for Conservation of Nature- ISSUES BRIEF. Disponível em: <https://www.iucn.org/sites/dev/files/forests_and_climate_change_issues_brief_2021.pdf>. Acesso em 27 de junho de 2021.

Kröger, M. (2017). Inter-sectoral determinants of forest policy: the power of deforesting actors in post-2012 Brazil. *Forest Policy and Economics*, 77, 24-32.

Molin, P. G., Chazdon, R., Frosini de Barros Ferraz, S., & Brancalion, P. H. (2018). A landscape approach for cost-effective large-scale forest restoration. *Journal of Applied Ecology*, 55(6), 2767-2778.

Molin, P. G., Chazdon, R., Frosini de Barros Ferraz, S., Brancalion, P. H. (2018). A landscape approach for cost-effective large-scale forest restoration. *Journal of Applied Ecology*, 55(6), 2767-2778.

Morais Junior, V. T. M., Jacovine, L. A. G., Alves, E. B. B. M., Torres, C. M. M. E., Faustino, I. S., de Jesus França, L. C., Alcántara-de la Cruz, R. (2020). Growth and survival of potential tree species for carbon-offset in degraded areas from southeast Brazil. *Ecological Indicators*, 117, 106514.

Morais Junior, V. T. M., Jacovine, L. A. G., Oliveira, K., Albuquerque, T. P., Faustino, I. S., Silva, L. B., Cruz, R. A. D. L. (2020). Performance of Five Native Atlantic Forest Species Planted in Containers of Different Size for Restoring Degraded Areas in Minas Gerais. *Forests*, 11(9), 937.

Morais Junior, V. T. M., Jacovine, L. A. G., Torres, C. M. M. E., Alves, E. B. B. M., de Paiva, H. N., Alcantara-de la Cruz, R., & Zanuncio, J. C. (2019). Early assessment of tree species with potential for carbon offset plantations in degraded area from the southeastern Brazil. *Ecological indicators*, 98, 854-860.

Nature Climate Change. (2021). Forests in focus. *Nature Climate Change*, 11(5), 363.

Nunes, F. S., Soares-Filho, B. S., Rajão, R., & Merry, F. (2017). Enabling large-scale forest restoration in Minas Gerais state, Brazil. *Environmental Research Letters*, 12(4), 044022.

Palmer, L. (2021). How trees and forests reduce risks from climate change. *Nature Climate Change*, 11(5), 374-377.

Rezende, C. L., Scarano, F. R., Assad, E. D., Joly, C. A., Metzger, J. P., Strassburg, B. B. N., Mittermeier, R. A. (2018). From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in ecology and conservation*, 16(4), 208-214.

Siqueira, L. P., Tedesco, A. M., Rodrigues, R. R., Chaves, R. B., Albuquerque, N. C., Corrêa, F. F., Brancalion, P. H. (2021). *Engaging people for large-scale forest restoration: governance lessons from the Atlantic Forest of Brazil*. In *The Atlantic Forest* (pp. 389-402). Springer, Cham.

Soares-Filho, B., Rajão, R., Macedo, M., Carneiro, A., Costa, W., Coe, M., ... & Alencar, A. (2014). Cracking Brazil's forest code. *Science*, 344(6182), 363-364.

Viani, R. A., Bracale, H., Taffarello, D. (2019). Lessons learned from the water producer project in the Atlantic Forest, Brazil. *Forests*, 10(11), 1031

CAPÍTULO I: *Performance of five native Atlantic Forest species planted in containers of different size for restoring degraded areas in Minas Gerais*

Publicado em Forests- **Referência bibliográfica do artigo:**

JUNIOR, Vicente Toledo Machado de Morais et al. Performance of Five Native Atlantic Forest Species Planted in Containers of Different Size for Restoring Degraded Areas in Minas Gerais. Forests, v. 11, n. 9, p. 937, 2020.

Brief Report

Performance of five native Atlantic forest species planted in containers of different size for restoring degraded areas in Minas Gerais

Vicente Toledo Machado de Morais Junior^{1, *}, Laércio Antônio Gonçalves Jacovine¹, Klisman Oliveira¹, Thaynara Pereira Albuquerque¹, Isabella Salgado Faustino¹, Lauana Blenda Silva¹, Eliana Boaventura Bernardes Moura Alves¹, Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres¹, Haroldo Nogueira de Paiva¹ and Ricardo Alcántara-de la Cruz².

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa 36570-900, Brasil; jacovine@ufv.br (L.A.G.J.); klisman.oli@gmail.com (K.O.); thaynara.albuquerque@ufv.br (T.A.); isabella_sf15@hotmail.com (I.S.F.); lauanabsilva@gmail.com (L.B.S.); elianabbm@gmail.com (E.B.B.M.A.); carlos.eleto@ufv.br (C.M.M.E.T.); hnpaiva@ufv.br (H.N.P).

² Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos 13565-905, Brasil; ricardo.cruz@ufscar.br.

* Correspondence: vicente.morais@ufv.br (V.T.M.M.J.); Tel.: +55 (31) 99376-9168.

Received: 18 July 2020; Accepted: 19 August 2020; Published: date

Abstract: Forest restoration in Brazil has gained relevance in the country's environmental agenda, due to the need for forest recovery of large liabilities of existing forests and participation in several international vegetation restoration agreements. However, forest restoration management faces challenges, it being necessary to create a database of species-level performances to increase the success of these projects. The objective was to evaluate the survival and growth of five Atlantic Forest native species (*Anadenanthera macrocarpa*; *Ceiba speciosa*; *Cytharexylum myrianthum*; *Hymenaea courbaril*; and *Peltophorum dubium*) in plastic bags (1177 cm³) and tubes (180 cm³). Ninety seedlings (18 of each species) were planted per container. Plant performance in the field consisted of evaluating the increase in the diameter and height of seedlings of the native forest species. Diameter at soil level (DSL) and plant height (H) were measured at 42 months after transplanting, and the monthly periodic increments (MPI) of the DSL and H were calculated. Plant survival (SV) of seedlings was affected by the type of container, registering the highest SV rates in those planted in plastic bags. *Cytharexylum myrianthum* and *H. courbaril* presented high SV rates in tubes. The growth rate of the species at 42 months differed according to the containers tested. *Cytharexylum myrianthum* presented the lowest SV rates (16.7–27.8%), regardless of the container used in this experiment. *Ceiba speciosa* was sensitive to the reduction in size of the container, showing low SV in tubes (27%) compared with plastic bags (61%); i.e., this species did not tolerate conditions with root growth restriction. *Anadenanthera macrocarpa* and *H. courbaril* showed no differences in SV, regardless of the container used. The results assist the production of native species of the Atlantic Forest, reinforcing the need to understand performances in the field at the species level.

Keywords: growth; plastic bags; restoration forest; survival; tubes

1. Introduction

The implementation of forest restoration projects is one of the greatest challenges in Brazil. According to the New Forest Code, the country has an environmental liability of 21 million hectares that must be recovered in the next 20 years [1]. In the state of Minas Gerais alone, there are two million hectares to be restored [2]. On the other hand, Brazil signed two international commitments, the Paris Agreement and the Aichi Targets, to guide forest restoration efforts [3,4]. Thus, the country is expected to restore at least 12 million hectares of degraded areas with forests by 2030 [3].

Forest restoration has gained prominence after two major environmental disasters related to the rupture of two mining tailings dams in Minas Gerais, resulting in the need to carry out forest restoration in areas affected by the tailings [5,6]. Therefore, technical and scientific advances in forest management and restoration are necessary for Brazil to successfully achieve its goals for this issue [7]. The major challenge is to develop a consistent theoretical basis for ecological restoration, supported by knowledge of the best conditions for survival and growth at the species level for the plants that are used for this purpose [8]. Unfortunately, forest restoration, in addition to being expensive, requires time to establish consistent indicators on the survival and growth of forest species [9].

The creation of a database of performance at the species level can accelerate the success of forest restoration projects [10]. The production of native forest seedlings in tubes is a current trend, but the use of these containers often does not consider the different inherent growth strategies of the species [11]. For example, small containers may limit the root growth of plants, which may hinder the field adaptability of seedlings [11,12]. However, seedling production in tubes has advantages, such as the vertical friezes that direct the root system, as well as the possibility of automation of the nurseries, improving the ergonomic conditions of the employees [13,14] when compared with seedling production in plastic bags. However, plastic bags are cheap, easily pre-packed and do not need specialized workmanship for conducting production activities [15].

Both tubes and plastic bags have advantages and limitations in their use, which are widely evaluated in nurseries, but the contribution of container type to the field adaptability of seedlings is neglected or poorly studied, and species-level studies are needed to understand the individual behavior of species [14]. Therefore, the objective was to evaluate the survival and growth of seedlings of five native Atlantic Forest tree species propagated in plastic bags (1177 cm³) and tubes (180 cm³) in a nursery, as well as their field performance in a degraded area at 42 months after transplanting. The choice of the studied species is justified by the recommendation to use native tree species for forest restoration projects in southeastern Brazil [16]. This study will provide important information regarding the viability of seedlings of several species produced in different containers.

2. Materials and Methods

2.1. Plant Propagation in Nursery

Five native species (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, *Ceiba speciosa* (A. St. Hill) Ravenna, *Citharexylum myrianthum* Cham., *Hymenea courbaril* L. and *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.) of the Atlantic Forest were propagated in plastic bags (1177 cm³) and tubes (180 cm³) in a nursery. Ninety seedlings (18 of each species) were planted per container type (one plant per container), totaling 180 individuals. Substrate formed by clayey subsoil, organic compost and sand, in the volumetric ratio of 6:3:1, was used to fill the containers, and the seedlings were irrigated daily during the nursery stage. Immediately after transplanting the seedlings in the field (experimental planting), the initial diameter at soil level (iDSL) and height (iH) were measured (Table 1). The iDSL was measured in millimeters using a precision digital caliper, and the iH was measured in centimeters with a graduated tape.

Table 1. Initial diameter at soil level (iDSL) in millimeters and height (iH) in centimeters at planting. Means with different letters between containers for each species are statistically different at 95% probability, determined by the Tukey test. \pm standard deviation of the mean (n = 18).

Species	Container	iDSL	iH
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	Plastic bags	5.1A \pm 1.0	52.6A \pm 9.3
	Tubes	4.5A \pm 0.8	34.1B \pm 7.2
<i>Ceiba speciosa</i>	Plastic bags	13.2A \pm 2.3	74.8A \pm 18.3
	Tubes	12.1A \pm 3.3	44.5B \pm 6.6
<i>Citharexylum myrianthum</i>	Plastic bags	9.7A \pm 2.2	63.4A \pm 5.6
	Tubes	7.3B \pm 1.7	23.9B \pm 4.8
<i>Hymenaea courbaril</i>	Plastic bags	6.8A \pm 1.0	43.3A \pm 4.4
	Tubes	5.6A \pm 0.9	36.2B \pm 4.6
<i>Peltophorum dubium</i>	Plastic bags	8.8A \pm 1.3	37.6A \pm 6.1
	Tubes	8.4A \pm 1.0	25.6B \pm 4.8

2.2. Characterization of the Area

Transplanting of seedlings was carried out in an area located in the Open Space of Events of the Federal University of Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, Brazil (20° 45' 37.62 "S and 42° 52' 29.59" W). This area was established in December 2014 and belongs to the Zero Carbon Program of the UFV [17]. The area has an altitude of 708 m, with regional vegetation classified as Semidecidual Seasonal Forest Montana and climate type Cwa (Köppen), i.e., with hot and rainy summers (precipitation surplus of 366 mm) and cold and dry winters (hydric deficit) [18]. During the period of evaluation of the experiment in the field, the accumulated annual precipitation and average annual temperature were 988.1 mm and 20.6 °C, respectively (Table 2).

Table 2. Average annual temperature and accumulated annual precipitation in Viçosa-MG, from implantation to data collection of the experiment.

Period	Temperature (°C)	Precipitation (mm)
2014	20.5	843.4
2015	21	1281.5
2016	20.9	1167.7
2017	20.9	841.1
2018	19.7	807
Averages	20.6	988.1

The topography presents a pedogeomorphological gradient, with dystrophic flat tops with access to colluvial ramps [19].

2.3. Characterization of the Planting

The area where the experiment was implemented was initially covered by *Urochloa decumbens*, but it also had some areas with exposed soil. Weed management and control of leaf-cutting ants using glyphosate (Roundup Original, 36% w/v; Monsanto do Brasil Ltda, Brazil) and formicidal baits (Atta Mex-S, 0.3% w/w sulfluramide; Unibras Agro Química Ltda Brazil) were performed. Pits (30 cm in diameter x 30 cm in depth), spaced at 2 x 2 m, were opened using a ground drill. Three hundred grams of P₂O₅ (18-18-18 NPK) was incorporated into the bottom of the pits 20 days before planting. Three cover fertilizations were performed (1, 13 and 25 months after planting), containing 100 g pit⁻¹ of 20-5-20 (NPK). Soil chemical analyses were performed 3 years after planting (Table 3) to determine soil fertility during execution of the experiment. Elements such as phosphorus (P) and potassium (K) are important macronutrients for plant physiology. The variables Mg⁺², Al⁺³, H+Al and pH in water are related to cationic load and soil acidity. The index (SB) refers to the sum of exchangeable bases.

The indices (t) and (T) are the general and effective cation exchange capacity, and the soil saturation and aluminum indices are represented by (V) and (m), respectively.

Table 3. Soil chemical analysis of the experiment, performed in April 2017.

pH H ₂ O	P		K	V	m
	mg/dm ³		mg/dm ³	%	%
4.46	0.3		18	12	44
Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T
cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³	cmolc/dm ³
0.1	0.5	4.6	0.6	1.1	5.2

Seedlings from the plastic bags and tubes were transplanted in rows, side by side. The experimental design was arranged in randomized blocks, with each row representing one block. Seedlings of the five native species were distributed randomly within each block perpendicularly to the topographic gradient of the terrain.

2.4. Variables Evaluated and Statistics

DSL and H were measured using a precision digital caliper and a graduated rod, respectively, immediately after transplanting in the field and 42 months after transplanting (MAT).

The percentage of survival (SV) of each species was estimated with the equation

$$SV_j = \left(\frac{N_{fj}}{N_{0j}} \right) \times 100$$

where N_{fj} is the final number of surviving individuals at 42 MAT of the j^{th} species and N_{0j} is the number of individuals planted of the j^{th} species.

The monthly periodic increments (MPI) in DSL was calculated as

$$MPI_{DSLj} = \frac{\left(\frac{\sum_{ji} = 1DSLj}{N_j} \right)}{I}$$

where DSL_j is the DSL of the j^{th} species (mm) at 42 MAT; N_j is the number of individuals of the j^{th} species; and I is the planting age (42 MAT).

The MPI in H was calculated as

$$MPI_{Hj} = \frac{\left(\frac{\sum_{ji} = 1Hj}{N_j} \right)}{I}$$

where H_j is the H of individuals of the j^{th} species (cm) at 42 MAT; N_j is the number of individuals of the j^{th} species; and I is the planting age (42 months).

Data of DLS and H and their respective MPIs were submitted to ANOVA (for $P < 0.05$). The Tukey test was used for mean comparison (95% confidence level) to test for significant differences between containers within each tree species.

3. Results

3.1. Survival at 42 Months

The type of container influenced the SV rate of the tree species evaluated. The SV of seedlings produced in plastic bags and tubes were 64.4 and 56.7%, respectively. This information can be useful for the practice of forest restoration, because if this set of species is used, the use of plastic bags can optimize the field survival of transplanted seedlings. *Anadenanthera macrocarpa*, *C. speciosa* and *P. dubium* showed higher SV in seedlings produced in plastic bags. However, *C. myrianthum* and *H. courbaril* presented higher rates of SV in seedlings produced in tubes. *Ceiba speciosa* presented the highest differences in SV between plastic bags (61.1%) and tubes (27.8%). *Citharexylum myrianthum* presented the lowest percentages of SV in both types of containers evaluated (Table 4).

Table 4. Percentage of survival (SV), average diameter at soil level in mm (DSL), monthly periodic increments of DSL in mm month⁻¹ (MPI), average height in cm (H) and MPI of H in cm month⁻¹ (MPI-H) at 42 months after planting. Means with different letters between containers for each species are statistically different at 95% probability, determined by the Tukey test. \pm standard deviation of the mean ($n = 18$).

Specie	Container	SV	DSL	MPI	H	MPI-H
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	Plastic bags	77.8	107.8A \pm 66.9	2.4A	486.7A \pm 185.4	10.3A
	Tubes	66.7	117.8A \pm 98.4	2.7A	468.8A \pm 299.6	10.3A
<i>Ceiba speciosa</i>	Plastic bags	61.1	177.1A \pm 89.6	3.9A	465.2A \pm 216	9.2A
	Tubes	27.8	91.7A \pm 41.1	1.9A	214.1B \pm 189.3	4.1A
<i>Citharexylum myrianthum</i>	Plastic bags	16.7	69.6A \pm 37.9	1.5A	444.4A \pm 313.9	8.9A
	Tubes	27.8	50.1A \pm 28.8	1.0A	151.8A \pm 91.5	3.1A
<i>Hymenaea courbaril</i>	Plastic bags	66.7	64.4A \pm 28.1	1.4A	380.8A \pm 169.2	8A
	Tubes	72.2	41.5B \pm 20.8	0.8B	229.5B \pm 129.9	4.9B
<i>Peltophorum dubium</i>	Plastic bags	100	160.7A \pm 39.9	3.6A	648.8A \pm 155.7	14.6A
	Tubes	88.9	104.2B \pm 43.1	2.4B	439.4B \pm 186.4	10.1B

3.2. Growth at 42 Months

The parameters DSL, H, MPI and MPI-H showed great variability (according to the standard deviation) between individuals within each species at 42 MAT, regardless of the type of container in which they were propagated in a nursery. Therefore, although MPI and MPI-H were generally greater for seedlings from plastic bags than tubes, there were no differences in the growth of the species evaluated, except for *H. courbaril* and *P. dubium*. The DSL was greater in *H. courbaril* and *P. dubium* from plastic bags than seedlings from tubes, as well as the MPI, at 42 MAT. At this time, the H of the seedlings of all species produced in plastic bags was greater than that of seedlings produced in tubes, except for *A. macrocarpa* and *C. myrianthum*, which presented similar H in both containers. However, the H of *C. myrianthum* had great variability. Finally, the MPI-H followed the same trend observed for MPI-DSL, with clear differences only in *H. courbaril* and *P. dubium* (higher MPI-H for seedlings from plastic bags) (Table 4).

4. Discussion

Tubes offer a higher yield in planting operations compared with other container types and are a more economical alternative [20]. However, according to the results of this study, a deeper knowledge in this regard is necessary to achieve more consistent conclusions. Therefore, detailed studies at the species level focused on determining the volume and container suitable for the production of seedlings are necessary [21,22].

Seedlings produced in tubes with high SV rates (*C. myrianthum* and *H. courbaril*) probably adapted efficiently to the field conditions, presumably due to a greater rusticity and the axomorphic development of the root system of these species [14,23]. The greater rusticity refers to the high intrinsic capacity to tolerate adverse conditions (solar radiation, water deficit and high temperatures) in the field, while the axomorphic development is the growth of a main root that grows in depth and lateral roots that grow horizontally for efficient soil exploration and water absorption. However, the low SV of *C. myrianthum*, regardless of the type of container, requires a better understanding of the adaptability of this species on the site.

Citharexylum myrianthum is adapted to regions of humid plains [24]. Taking into account the dry winter conditions of Viçosa, the area of the Zero Carbon Program undergoes periods of drought (June to September), which could have contributed to the low SV of this species [18]. *Citharexylum myrianthum* does not have the same degree of specialization for water deficits between the trunk and roots, with the roots being more sensitive to drought than the trunk; i.e., this species does not tolerate water deficit conditions, requiring silvicultural treatments, such as those related to the irrigation [25].

The low adaptability of *C. myrianthum* has been corroborated in nearby areas at the site of study [16,26,27]. In addition, the survival rate of this species is reduced as the size of the container decreases [28].

Seedlings from plastic bags presented higher SV, DSL and H, indicating that larger containers promote a greater success for these species. The low volume of containers reduces the availability of water and nutrients for seedlings and, consequently, root system architecture [29]. Contrarily, larger containers provide more space, favoring the length and spatial distribution of the roots [20]. This more voluminous root system has a large number of root apices, responsible for the absorption and transport of water and, mainly, the production of growth regulators [30,31]. This study showed that the SV of *A. macrocarpa*, *C. speciosa* and *P. dubium* can be increased if its propagation is conducted in larger containers. *Enterolobium contortisiliquum* seedlings, produced in plastic bags (1248 cm³) and larger tubes (280 cm³), had 100% survival at five months after planting; however, the survival of seedlings from smaller tubes (180 cm³) decreased [14].

The success of *P. dubium* (high survival rate) may be related to the high phenotypic plasticity, related to high irradiance and low incidence of pests and disease in this species [32–34]. In addition, *P. dubium* is a pioneer species that presents a pronounced growth of the root system and, consequently, develops a larger leaf area and a balanced aerial part [35]. The production of seedlings of *P. dubium* in tubes (180 cm³) and plastic bags (1177 cm³) presented satisfactory results, considering the 20% mortality rate accepted for forest restoration projects established in INEA Law N° 89 - Rio de Janeiro (2014) [36]. Thus, the use of tubes for the propagation of seedlings of this species may represent a reduction of financial expenses related to production and transportation, among others.

Some species equalize the growth rate of the diameter and height of seedlings from plastic bags and tubes after a certain planting period [37]. However, for the *H. courbaril* and *P. dubium* species, this trend was not verified at 42 MAT, and it can be stated that the volumetric restriction to which these species were submitted in the tubes reduced the growth of the diameter of the seedlings, compared with those from plastic bags. The other species (*A. macrocarpa*, *C. speciosa* and *C. myrianthum*) showed no differences in relation to MPI-DSL, indicating that the volume and container type did not affect the growth rates of these species. Similar results were reported for *E. contortisiliquum* seedlings propagated in containers of different sizes [14].

The highest MPI-H observed in *H. courbaril* and *P. dubium* for seedlings from plastic bags showed that these containers may offer advantages to these species, especially in places where competition is determinant in the success of its adaptation in the field. In addition, seedlings from plastic bags can have higher heights, resulting in higher survival rates and reducing the cost of forest restoration projects [38]. Other forest species have shown similar results to those observed for *P. dubium*, where the highest growth and survival rates were recorded in seedlings propagated in containers with larger dimensions, both in nurseries and in the field [29,39,40].

5. Conclusions

The initial growth and survival rates were higher in seedlings produced in plastic bags (1177 cm³) than tubes (180 cm³); i.e., the production of native seedlings for restoration plantations in degraded areas is better when they produce in larger containers.

The field performance of seedlings produced in plastic bags or tubes differed for each species. Regardless of the type of container, the survival of *P. dubium* was within the accepted limits (<80%) for forest restoration projects, while *C. myrianthum* had the lowest survival rates (>30%). *Ceiba speciosa* was sensitive to the reduction of the container size; that is, this species did not tolerate the restriction of the growth of the root system in tubes. Seedlings of *A. macrocarpa* and *H. courbaril*, grown in tubes or plastic bags, showed similar survival and growth rates in the field.

The growth rates of *H. courbaril* and *P. dubium* seedlings were influenced by the container in which they were produced. Therefore, some native tree species can present greater increases in diameter and height if they are produced in larger containers.

Author Contributions: Conceptualization—V.T.M.M.J., K.O., H.N.P., L.A.G.J. and R.A.C.; methodology—V.T.M.M.J., K.O., T.A. and I.S.F.; software—V.T.M.M.J.; validation—V.T.M.M.J. and E.B.B.M.A.; formal analysis—V.T.M.M.J.; investigation—H.N.P., C.M.M.E.T.; data curation—K.O., T.A. and I.S.F.; original draft preparation—L.B.S., E.B.B.M.A. and R.A.C.; writing—review and editing—V.T.M.M.J., L.B.S., E.B.B.M.A. and R.A.C.; supervision—L.A.G.J. and C.M.M.E.T.; project administration—V.T.M.M.J.; funding acquisition—L.A.G.J.

Funding: This research was funded by scholarship and research grants (65204- Department of Forest Engineering-UFV) and the APC was funded by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Acknowledgments: To Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) and Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), for the donation of seedlings by the Instituto Estadual de Florestas (IEF/MG) and the Programa Carbono Zero of the Universidade Federal de Viçosa.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Soares-Filho, B.; Rajão, R.; Macedo, M.; Carneiro, A.; Costa, W.; Coe, M.; Rodrigues, H.; Alencar, A. Cracking Brazil's forest code. *Science* **2014**, *344*, 363–364.
2. Nunes, F.S.M.; Soares-Filho, B.S.; Rajão, R.; Merry, F. Enabling large-scale forest restoration in Minas Gerais state, Brazil. *Environ. Res. Lett.* **2017**, *12*, 044022.
3. Brasil. Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (Para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima). Available online: http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf (accessed on 10 July 2020).
4. Convention on Biological Diversity. Strategic plan 2011–2020 / Aichi-Targets. Available online: <http://www.cbd.int/sp/targets/> (accessed on 10 July 2020).
5. Freitas, C.M.; Silva, M.A.; Menezes, F.C.M. O desastre na barragem de mineração da Samarco: fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. *Ciê. Cult.* **2016**, *68*, 25–30.
6. Lopes, L.M.N. The rupture of the Mariana dam and its social-environmental impacts. *Sinapse Múltipla* **2016**, *5*, 1–14.
7. Ministério do Meio Ambiente. PLANAVEG: Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa. Available online: http://www.mma.gov.br/images/arquivos/florestas/planaveg_plano_nacional_recuperacao_vegetacao_nativa.pdf (accessed on 10 July 2020).
8. Palmer, M.A.; Zedler, J.B.; Falk, D.A. Ecological theory and restoration ecology. In *Foundations of Restoration Ecology*, 1st ed.; Palmer, M.A.; Zedler, J.B.; Falk, D.A., Eds.; Island Press: Washington, USA, 2006; pp. 3–26.
9. Rodrigues, R.R.; Lima, R.A.F.; Gandolfi, S.; Nave, A.G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. *Biol. Conserv.* **2009**, *142*, 1242–1251.
10. Moraes Junior, V.T.M.; Jacovine, L.A.G.; Torres, C.M.M.E.; et al. Early assessment of tree species with potential for carbon offset plantations in degraded area from the southeastern Brazil. *Ecol. Indic.* **2019**, *98*, 854–860.
11. Chirino, E.; Vilagrosa, A.; Hernández, E.I.; Matos, A.; Vallejo, V.R. Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedlings for reforestation in Mediterranean climate. *Forest Ecol. Manag.* **2008**, *256*, 779–785.
12. Freitas, T.A.S.; Barroso, D.G.; Carneiro, J.G.A.; Penchel, R.M.; Lamônica, K.R.; Ferreira, D.A. Root performance of eucalyptus seedlings, produced in different containers and substrates. *Rev. Árvore* **2005**, *29*, 853–861.
13. Gomes, J.M.; Couto, L.; Leite Garcia, H.; Xavier, A.; Garcia, S.L.R. Growth of *Eucalyptus grandis* seedlings produced in different sized tubes and n-p-k fertilization. *Rev. Árvore* **2003**, *27*, 113–127.
14. Abreu, A.H.M.; Leles, P.S.S.; Melo, L.A.; Ferreira, D.H.A.A.; Monteiro, F.A.S. Seedlings production and initial growth in fields of *Enterolobium contortisiliquum* produced in different containers. *Floresta* **2014**, *45*, 141–150.

15. Keller, L.; Leles, P.S.D.S.; Oliveira Neto, S.N.D.; Coutinho, R.P.; Nascimento, D.F.D. Sistema de blocos prensados para produção de mudas de três espécies arbóreas nativas. *Rev. Árvore* **2009**, *33*, 305–314.
16. Barbosa, L.M.; Shirasuna, R.T.; Lima, F.D.; Ortiz, P.R.T. Lista de espécies indicadas para restauração ecológica para diversas regiões do estado de São Paulo. Simpósio de Restauração Ecológica **2017**, p. 303–436.
17. Programa Carbono Zero – um passo mais para a sustentabilidade. Available online: <http://www.carbonozero.ufv.br/> (accessed on 10 July 2020).
18. Almeida, L.T.; Monteiro, L.I.B.; Silva, F.B.; Corrêdo, L.P.; Cesconetto, L.B. Indicating of ecological corridors and permanent preservation area in the Federal University of Viçosa. *Nativa* **2016**, *4*, 412–418.
19. Ferreira Júnior, W.G.; Schaefer, C.; Silva, A.D. Uma visão pedogeomorfológica sobre as formações florestais da Mata Atlântica. In *Ecologia de Florestas Tropicais do Brasil*, 1st ed.; Martins, S.V., Ed.; Editora UFV: Viçosa, Brazil, 2012, pp. 141–174.
20. Dias, I.M.; Barreto, I.D.C.; Ferreira, R.A. Effect of phosphatic fertilizer dosage on optimal volume determination for seedling production of native forest species. *Sci. Agrar. Parana* **2016**, *15*, 471–475.
21. Cruz, F.R.S.; Andrade, L.A.; Feitosa, R.C. Seedlings production of umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) in different substrates and size of bags. *Ciênc. Florest.* **2016**, *26*, 69–80.
22. Lisboa, A.C.; Santos, P.S.; Oliveira Neto, S.N.; Castro, D.N.; Abreu, A.H.M. Effect of volume of tubes on the production of seedlings of *Calophyllum brasiliense* and *Toona ciliata*. *Rev. Árvore* **2012**, *36*, 603–609.
23. José, A.C.; Davide, A.C.; Oliveira, S.L. Aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) seedling production for recuperating bauxite mined areas. *Cerne* **2005**, *11*, 187–196.
24. Silveira, S.B.; Neves, E.J.M.; Carpanezi, A.A.; Brites, R.M. Avaliação silvicultural de *Rapanea ferruginea* e *Citharexylum myrianthum* plantadas em pastagens abandonadas. *Pesq. Florestal Bras.* **2013**, *33*, 99–102.
25. Marcati, C.R.; Longo, L.R.; Wiedenhoft, A.; Barros, C.F. Comparative wood anatomy of root and stem of *Citharexylum myrianthum* (Verbenaceae). *Rodriguésia* **2014**, *65*, 567–576.
26. Moraes Junior, V.T.M.; Rocha, S.J.S.S.; Comini, I.B.; Alves, E.B.B.M.; Jacovine, L.A.G. Survival and development of native species in a recovery planting of Atlantic forest at twenty months of age in Viçosa, Minas Gerais. *Enciclopédia Biosfera* **2016**, *13*, 1251–1261.
27. Moraes Junior, V.T.M.; Jacovine, L.A.G.; Alves, E.B.B.M.; Torres, C.M.M.E.; Faustino, I.S.; França, L.C.; Rocha, S.J.S.; Simiqueli, G.F.; Silva, L.B.; Cruz, R.A. Growth and survival of potential tree species for carbon-offset in degraded areas from southeast Brazil. *Ecol. Indic.* **2020**, *117*, 106514.
28. Barbosa, T.C.; Rodrigues, R.R.; Couto, H.T.Z. Container sizes and the use of hydrogel in the establishment of seedlings of native forest species. *Hoehnea* **2013**, *40*, 537–556.
29. Brachtvogel, E.L.; Freiberger, M.B.; Malavasi, M.M.; Malavasi, U.C. Efeitos do uso de um fertilizante de lenta disponibilidade e do volume do recipiente na formação de mudas de *Peltophorum dubium*. *Sci. Agrar. Parana* **2006**, *5*, 67–71.
30. Reis, G.G.; Reis, M.G.F.; Maestri, M.; Xavier, A.; Oliveira, L.M. Crescimento de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis*, *E. grandis* e *E. cloensiana* sob diferentes níveis de restrição radicular. *Rev. Árvore* **1989**, *13*, 1–18.
31. Baldin, T.; Conte, B.; Moraes, R.; Saldanha, C.W. Crescimento de mudas de angico-vermelho em diferentes volumes de substratos. *Pesq. Florestal Bras.* **2015**, *35*, 129–133.
32. Bazzaz, F.A.; Pickett, S.T.A. Physiological ecology of tropical succession: A comparative review. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* **1980**, *11*, 287–310.
33. Carnevali, N.H.S.; Santiago, E.F.; Daloso, D.M.; Carnevali, T.O.; Oliveira, M.T. Survival and initial growth of native tree species implanted in degraded pastures. *Floresta* **2016**, *46*, 277–286.
34. Xavier, C.N.; Silva, C.E.S.; Santos, P.V. Growth stress in *Peltophorum dubium* and its correlation with the growth variables. *Floresta Ambient.* **2018**, *25*, 1..
35. Gonçalves, J.L.M.; Santarelli, E.G.; Neto, S.P.M.; Manara, M.P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In *Nutrição e fertilização florestal*, 1st ed.; Gonçalves, J.L.M.; Benedetti, V., Eds.; Editora IPEF: Piracicaba, Brazil, 2000, pp. 310–350.
36. DOE – RJ. Resolução INEA nº 89 de 03 junho de 2014. Available online: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdu5/~edisp/inea0059810.pdf> (accessed 10 July 2020).
37. Leles, P.S.D.S.; Lisboa, A.C.; Neto, S.N.D.O.; Grugiki, M.A.; Ferreira, M.A. Quality of seedlings of four forest species produced in different tubes. *Floresta e Ambiente* **2006**, *3*, 69–78.

38. The effect of seedling size on Field performance. Available online: https://www.prt.com/sites/default/files/the_effect_of_seedling_size_on_field_performance.pdf (accessed 10 July 2020).
39. Ferraz, A.V.; Engel, V.L. Effect of the root trainers size on seedling quality of jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee Et Lang.), ipê-amarelo (*Tabebuia chrysostricha* (Mart. Ex Dc.) Sandl.) and guarucaia (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan). *Rev. Árvore* **2011**, *35*, 413–423.
40. Zuffo, A.M.; Steiner, F.; Busch, A.; Zuffo Júnior, J.M.; Santos, D.M.S. Size of containers in the *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert (Fabaceae) seedlings formation. *Rev. Eng. Agric.* **2018**, *26*, 258–268.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**CAPÍTULO II: Zero Carbon Program: A legacy for a Sustainable Environmental and
For Higher Education Institutions**

Zero Carbon Program: A Legacy for a Sustainable Environment and for Higher Education Institutions

Abstract: Climate change is one of the biggest global concerns for scientists. Efforts to limit global temperature are still incipient. In Brazil, Higher Education Institutions (HEIs) can play a central role in achieving these efforts. In this sense, the objective is to show the Legacy of the Zero Carbon Program of the Federal University of Viçosa (UFV) for society, science and environment, in 10 years of operation, with a main focus on the ecosystem service related to carbon off-set. A description of the history, emergence and organizational structure of Zero Carbon Program (CZP) was made, based on research carried out over 10 years of activity in the Atlantic forest in southeastern Brazil. Five main methodological axes have been described to determine the current legacy of the program: (A) GHG Inventory during the Farmer's Week (FW) at the UFV; (B) GHG neutralization during FW; (C) Development of GHG quantification and neutralization systems; (D) Collection of bibliographic data developed by the CZP; and (E) Survey of sensitized public. The results of the CZP showed that: 4,162 people became aware of the topic of climate change at and 26,186 people at other events; and that 63 scientific studies related were published. A total of 490.64 tCO₂eq. GHG emissions were raised during the FW-UFV. Approximately 4,660 trees were planted in a degraded area in southeastern Brazil as a way to neutralize GHG from the event. The CZP presents opportunities for gains from ecosystem services related to responsive carbon management provided to different social actors.

Keywords: Climate change, Ecosystem Services, Environmental Management, Carbon management.

1. Introduction

The Global Risk Report, published by the World Economic Forum in 2020, concluded that climate change will be at the center of global concerns for the next decade (World Economic Forum, 2020), due to the collapse that global climate change can bring to economy, environment and society (Leichenko and O'brien, 2019; Nerini et al., 2019; Cai et al., 2020). In this sense, the Paris Agreement (PA), signed between the world nations in 2015, has as main goal the reduction of greenhouse gas (GHG) emissions to limit the temperature increase in 1.5 °C above the industrial levels in the next decades (United Nations, 2015; Tollefson and Weiss 2015). Under the PA, countries must submit Nationally Determined Contributions (NDCs) in which they will communicate actions to limit their GHG emissions (Klein et al., 2017; United Nations Climate Change, 2020).

The implementation of NDCs is still uncertain in several countries due to insufficient efforts to date to adequately achieve the limitation of temperature rise established in the Paris Agreement (Roelfsema et al., 2020). In Brazil, these uncertainties are even greater due to the difficulty in predicting the behavior of GHG emissions from agriculture and also due to the recent governance crisis (Roelfsema et al., 2020; Escobar, 2019). Even so, Brazilian society is prone to environmental conservation and the appropriate land use (Strassburg, 2019). One of the effective ways suggested to reach NDCs in developing countries is to use HEIs as sustainable institutional capacity-building centers, supported by strengthened long-term financing partnerships (Khan et al., 2019). In this sense, Brazilian Higher Education Institutions (HEIs) play an important role and are committed with the *Environmental Sustainability*.

There are two main thoughts regarding the participation of HEIs related to environmental sustainability. The first refers to the involvement of students in environmental education practices, and the second to the implementation of environmental management projects on university campuses as sustainable management showcases for society (Tauchen and Brandli, 2006; Rohrich and Takahashi, 2019). To reinforce the importance of deeper implementation of environmental management practices in the context of HEIs, it is necessary to understand that there is an interface between these organizations and the economic, social and policy development of the local stakeholders (Breznitz and Feldman, 2010).

Success of environmental management projects implemented in universities include the capacity building of future young leaders to face present and future environmental and climate challenges (Dyer and Dyer, 2017; Domingues et al., 2020). These arguments are closely related to the “13.3” objective of Sustainable Development of the United Nations, which is to strengthen education and raise awareness and institutional capacity on mitigation, adaptation and reduction of climate change impacts (United Nations, 2020).

The Zero Carbon Program was created in 2010 by the Universidade Federal de Viçosa with the objective of quantifying, reducing and neutralizing the return of Greenhouse Gases from events carried out by the institution. In this study, we aim to show the legacy of Zero Carbon Program, a 10-years old project from the Federal University of Viçosa (UFV), to the society, science, and environment. In a more specific approach, we intend to demonstrate the outcomes and lessons learned over the first decade of the project, mainly focusing on carbon-related ecosystem services. These results are expected to stimulate the development of similar initiatives in other HIEs worldwide and to reinforce the importance of these institutions in providing training and knowledge related to the mitigating of global climate change.

1.1. History, appearance and organizational structure of the Zero Carbon Program

History

The Zero Carbon Program (*Programa Carbono Zero*, in Portuguese) was created in 2010 by the Department of Forest Engineering in partnership with the Dean of Extension and Culture of the UFV. The main objective was to quantify and offset GHG emissions from the Farmer's Week (FW) that takes place annually at UFV (Alves, 2018; Programa Carbono Zero, 2020). The FW has been held at UFV since 1929 and its main aim is to provide rural extension to Brazilian farmers, being the largest event of this type in Brazil (Pires et al., 2014; Cunha, 2017; Semana do Fazendeiro, 2020).

In addition to quantifying and offsetting GHG emissions at FW, the Zero Carbon Program (hereafter called ZCP) aims to raise awareness about climate change and the importance of carbon management for farmers, students, teachers, UFV managers, children, teachers, policy makers, and companies concerned with climate change. This program promotes an understanding of the dynamics, benefits and social values of environmental sustainability by the management of carbon in rural institutions and properties. In addition, the ZCP integrates knowledge about carbon-related ecosystem services with sustainable land management.

Organizational structure

The organizational structure of the ZCP is centered in the “General Coordination”, which encompass strategic functions, such as raise financial resources for the project, formalize

partnerships with several important stakeholders and manage ZCP's demands and research (Figure 1).

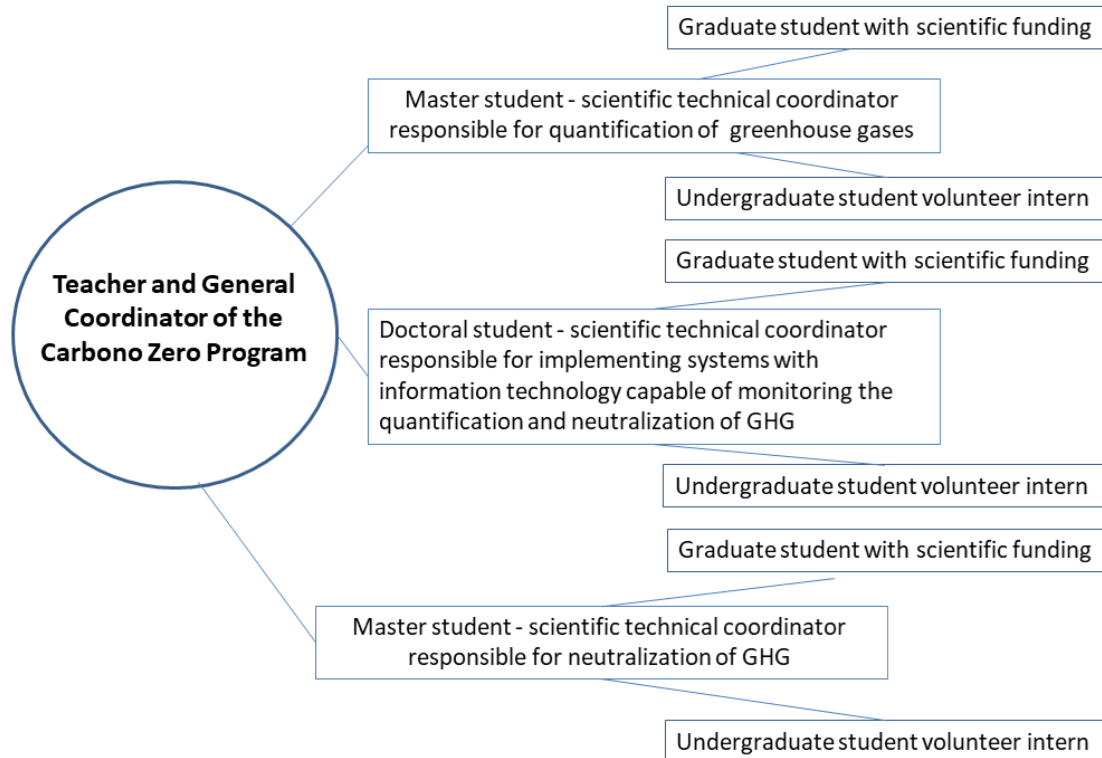


Figure 1- Organizational structure of the Carbon Zero Program of the Federal University of Viçosa, Brazil.

There are also three graduate students (2 master's and 1 doctoral student) responsible for managing research and development studies in the following: (1) Survey and quantification of GHG emissions; (2) Implementation of mixed plantations of tree forest species with a focus on GHG neutralization; and (3) Management of mixed plantation areas for offsetting carbon emissions. Undergraduate students (volunteer and holders of a scientific initiation scholarship) are responsible for data collection and implementation and monitoring of carbon offsetting plantations. All involved are in constant communication, holding weekly meetings for discussion of project activities and planning future actions.

The annual activities of the ZCP follow a schedule that include activities performed during the whole year (plantation monitoring and environmental sensitization) or in specific months: tree plantation measurement and survival assessment (February to March); survey of GHG emissions during FW and environmental awareness of farmers (July); processing and compilation of GHG emission and offsetting data (August to October); and finally, site preparation and establishment of a plantation to offset FW's carbon emissions (November and December) (Figure 2).

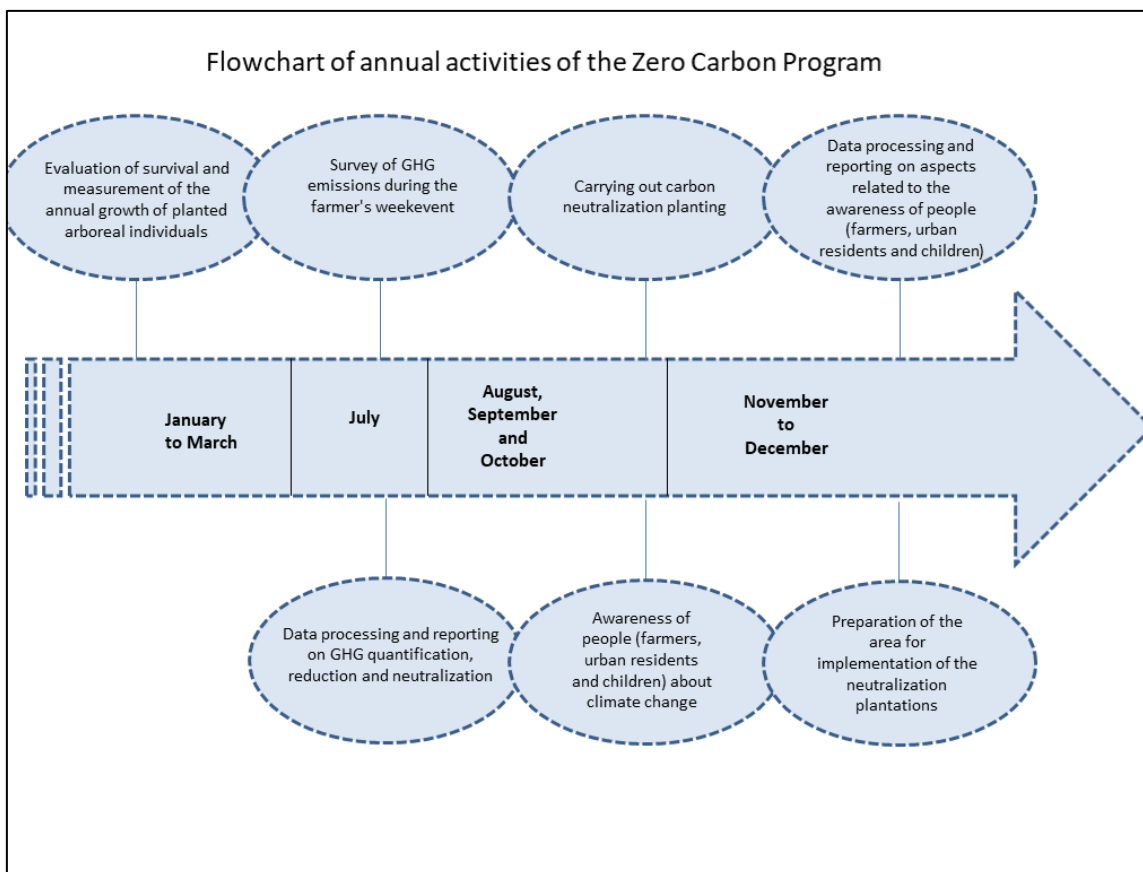


Figure 2- Yearly Zero Carbon Program schedule timeline.

2. Methods

2.1. Study area and context

The study area belongs to the municipality of Viçosa (20°45'44" S; 42°51'67" O), in Minas Gerais, southeastern Brazil. Viçosa has about 300 km² and a population of 79,000 inhabitants (IBGE, 2020). The local climate is Cwa (Köppen classification) with averages of temperature, humidity and annual precipitation of 21.9°C, 79% and 1.274 mm, respectively (UFV, 2016).

The region has pedogeomorphological gradients with abundant dystrophic oxisols in aluminum on top of the hills, colluvial ramps with superficial oxisols and the exchange rate horizon, at the bottom of the forests there is a predominance of epieutrophic cambisols rich in nutrients (Ferreira Junior et al., 2012). The local vegetation is classified as semi-deciduous Atlantic Forest and the altitude of the region is around 700 meters (Martins and Cavararo, 2012; Souza Maria et al., 2014). The municipality has approximately 19% of natural forest cover (Mapbiomas, 2020). As part of the Atlantic Forest, Viçosa's vegetation is considered a global biodiversity hotspot (Metzger and Sodhi, 2009; Silveira et al., 2019). In addition, although Viçosa was not directly affected by the impacts of the Minas Gerais dams breaches, the hydrographic region, to which the municipality belongs, is part of the Rio Doce River Basin, which was affected by the disruption of the Fundão mining dam in 2015 (Souza Maria et al., 2014; Fernandes et al., 2016; Santos et al., 2019).

The local economy is based on the service sector, which is largely driven by students and civil servants at the UFV (Cruz, 2014). UFV was created in 1926 with an educational

purpose aimed at training qualified professionals in the area of Agrarian Sciences (Souza Maria et al., 2014). UFV holds an annual extension event, FW, which takes place on the university *campus* in the city of Viçosa, Minas Gerais (Alves, 2014). The CZP has worked to quantify and offset GHG emissions from each edition of the event since 2010. In the same event and over the years, the CZP works to raise people's awareness of environmental issues related to climate change. It also encourages the team involved in the ZCP (Figure 1) to develop studies based on the results achieved in the management of Carbono Zero and other studies related to the theme. Therefore, this study will cover the survey of the technical-scientific and extension legacy of the CZP at UFV in 10 years of operation.

2.2. Data collection related to the CZP

The period covered by the surveys in this study was from 2010 to 2019, therefore, data collection was concentrated in the first decade of existence of ZCP.

2.2.1. GHG inventory during Farmer's Week (FW)

The collection and processing of data related to the GHG emission were carried out according to the scientific bibliography and also through information collected during FW (Eggleston, 2006; Brianezi et al., 2014; GHG Protocol 2013; GHG Protocol 2014a). The organizational limit considered for the quantification of the GHG inventory was the UFV campus. The GHG emissions that UFV had operational control were considered as emissions of institutional responsibility during the events.

The operational limits and data collections at the event were defined following the recommendation of relevant literature (Table 1) (GHG Protocol brasil, 2014a, Alves 2014, ABNT, 2007).

Table 1- Greenhouse Gas (GHG) emitting source considered by the Carbon Zero Program for quantification and collection of the Greenhouse Gases (GHG) emissions data generated at the Farmer's Week. Viçosa. Minas Gerais.

Scope	GHG emitting source /Form of data collection considered	Year of realization										Percentage (%) of use of the methodology considered in the event editions
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
	(A) Mobile combustion											
	(A.1) Amount of fuel consumed	x	x	x	x							40
	(A.2) Type of vehicle					x	x	x	x	x	x	60
	(A.3) Type of fuel	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	100
	(A.4) Distance travelled by vehicles					x	x	x	x	x	x	60
	(A.5) Average vehicle consumption					x	x	x	x	x	x	60
	(B) Stationary combustion - Biomass											
	(B.1) Average biomass consumption	x	x	x	x	x	x	x	x		x	90
	(B.2) Average wood density					x	x	x	x		x	50

(I) Solid waste

(I.1) Type of waste generated	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	100
-------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

(I.2) Amount of waste generated	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	100
---------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

(G) Emissions generated for the planting of seedlings for neutralization

(G.1) Mobile combustion				x	x	x			x	x	50
-------------------------	--	--	--	---	---	---	--	--	---	---	----

(G.1.1) Amount of fuel consumed				x	x	x			x	x	50
---------------------------------	--	--	--	---	---	---	--	--	---	---	----

(G.1.2) Type of vehicle				x	x	x			x	x	50
-------------------------	--	--	--	---	---	---	--	--	---	---	----

(G.1.3) Type of fuel				x	x	x			x	x	50
----------------------	--	--	--	---	---	---	--	--	---	---	----

(G.1.4) Distance traveled				x	x	x			x	x	50
---------------------------	--	--	--	---	---	---	--	--	---	---	----

(G.1.5) Average vehicle consumption				x	x	x			x	x	50
-------------------------------------	--	--	--	---	---	---	--	--	---	---	----

(G.2) Nitrogen fertilization				x	x	x			x	x	50
------------------------------	--	--	--	---	---	---	--	--	---	---	----

The scopes established for the sources of GHG emissions were defined: Scope 1: direct GHG connections and come from sources that belong to or are controlled by the organization; Scope 2: indirect GHG deviations arising from electricity consumption and thermal; Scope 3: other indirect GHG orders, more specifically, those that occur as a result of the organization's activities, but occur from sources that not owned or controlled by the company. Data collected varied throughout the editions of the FW due to the peculiarities in each edition and also due to the evolution of the methodological understanding of the teams in the CZP (Table 1).

Biogenic carbon emissions were considered null because the CO₂ released into the atmosphere, by burning of biomass or the use of ethanol as a vehicle fuel, comes from carbon stored during plant growth (Eggleston, 2006, GHG Protocol 2014a, Alves 2014).

The main gases such as methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) were converted to a common unit: CO_{2eq}. (carbon dioxide equivalent). This conversion was accomplished by multiplying the measured quantity of each gas by its respective GWP (Global Warming Potential) (Eggleston, 2006) according to the equation: $E_{CO2eq} = (E_i) \times (GWP_i)$, where: E_{CO2eq} = total carbon dioxide equivalent emissions (tons); E_i = emission of greenhouse gas i (tons); GWP_i = GWP of greenhouse gas i ; i = carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O). The GWP of CO₂ = 1; CH₄ = 25 and N₂O = 298 over a 100-year time horizon (Eggleston, 2006).

The emission factors (CO₂ eq) that were considered for each emitting source were adjusted according to the relevant scientific bibliography, according to the reality of each emitting source (IPCC, 1997; Brianezi, 2014; Alves, 2014). Therefore, the total emission of each emission source considered in this study, was carried out considering the multiplication between the specific emission factor of each activity by the quantity measured and/or estimated in data collections throughout the event in each edition of the FW.

ZCP considers as GHG offsetting the planting of seedlings of forest species in areas belonging to UFV. The GHG offsetting plantations were established at the UFV Open Event Space (20°45'34.92'S and 42°52'32.23"W), and the used offsetting coefficient was 6.0 kgCO₂⁻¹ individual⁻¹.year⁻¹, considering a 30-year horizon for effective offsetting (Morais Junior et

al., 2020). Annually, 20% more individuals are planted as a safety margin to compensate losses due to the mortality of planted seedlings.

2.2.2. GHG emissions offsetting from Farmer's Week

The plantations to neutralize GHG emitted during the FW were implanted annually in an area with a predominance of invasive exotic grasses (Table 2; Figure 3).

Table 2- List of general information on carbon neutralization plantations of the Carbon Zero Program in 2019

Planting year	Age of planting in the evaluation of this study	Number of seedlings planted	Number of species planted*	Area occupied by planting (m ²)	Planting registration code
2010	102 months	397	32	1.592	1
2011	90 months	208	21	964	2
2012	77 months	506	20	2.080	3
2013	66 months	500	25	2.000	4
2014	54 months	666	31	2.664	5
2015	42 months	451	30	1.804	6
2016	30 months	612	24	2.448	7
2017	18 months	540	15	2.160	8
2018	15 months	372	10	1.488	9
2019	6 months	360	7	1.440	10
Total amounts		4.660	80 species	18.640	-

*There are forest species that repeat over the years.

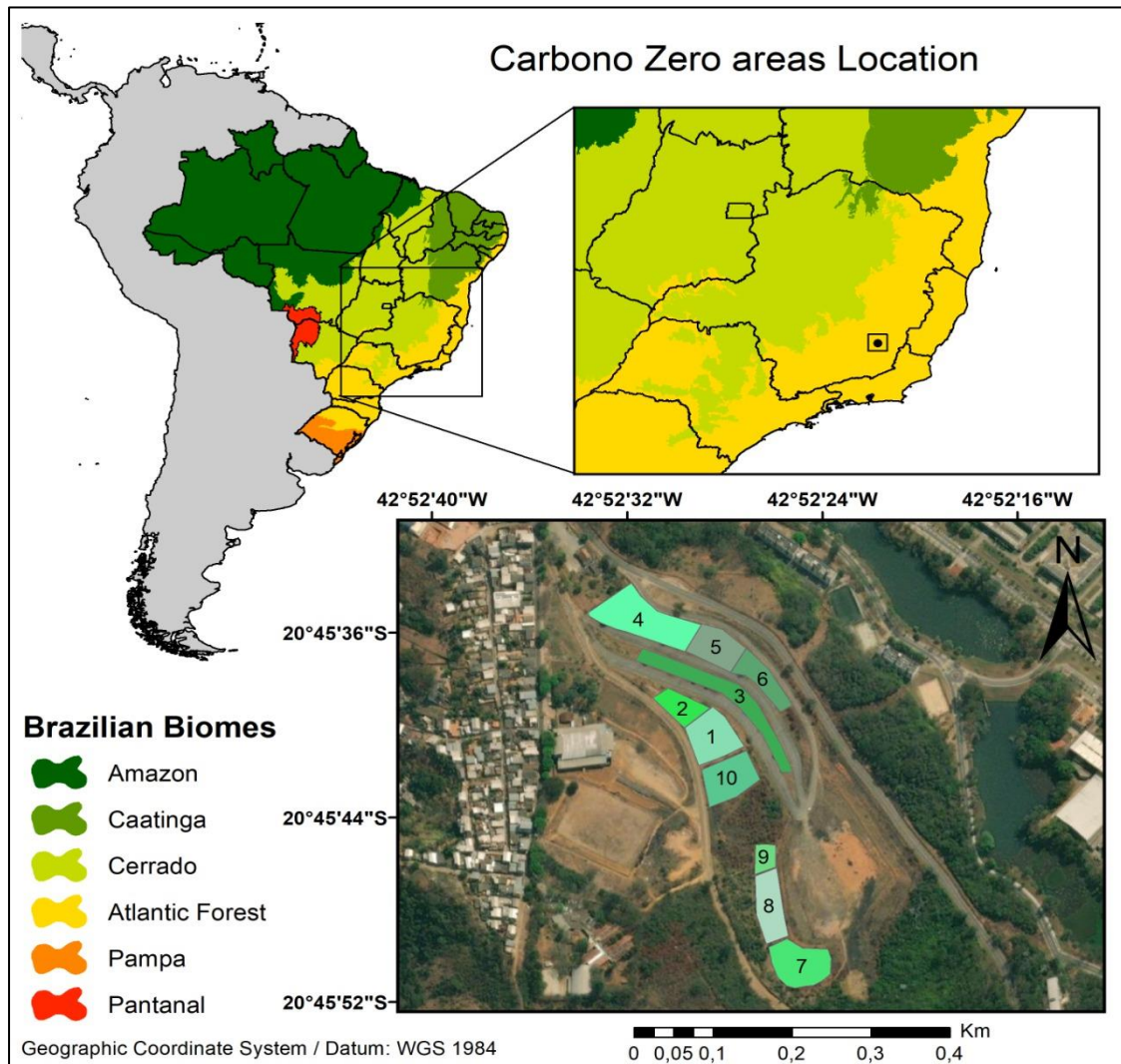


Figure 3- Location of neutralization plantations of the Carbon Zero Program of the Federal University of Viçosa (UFV), in Viçosa, Minas Gerais. The codes under the Neutralization Planting areas (PN) show the space occupied by each plantation. Legend: (1) PN carried out in 2010; (2) PN carried out in 2011; (3) PN carried out in 2012; (4) PN carried out in 2013; (5) PN carried out in 2014; (6) PN carried out in 2015; (7) PN carried out in 2016; (8) PN carried out in 2017; (9) PN carried out in 2018; (10) PN carried out in 2019.

A detailed description of the silvicultural treatments used and the land use history can be found in Morais Junior et al. (2019, 2020). All plantations were established in the rainy season (december) to increase survival success and initial growth.

For climatological characterization of the study area, monthly data were used from the automatic Meteorological Station of the National Institute of Meteorology (INMET) in Viçosa, in the period 2010-2019: accumulated precipitation, average atmospheric pressure, average temperature, and average wind speed (Table 3) (INMET, 2020).

Table 3- Monthly meteorological data of accumulated precipitation (mm). mean atmospheric pressure (mB). mean temperature (°C). mean wind speed in Viçosa (m/s). Minas Gerais from 2010 to 2019.

Measuring date	Accumulated precipitation (mm)	Average atmospheric pressure (mB)	Average temperature (°C)	Average wind speed (m/s)
January 2010	130.4	936.1	23.2	1.1
February 2010	42.4	936.2	23.6	0.9
March 2010	no measurement	no measurement	no measurement	no measurement
April 2010	23.0	937.6	20.0	0.6
May 2010	57.0	937.6	16.9	0.8
June 2010	4.8	941.4	14.2	0.7
July 2010	no measurement	942.0	16.4	0.8
August 2010	2.6	941.2	15.5	0.8
September 2010	27.6	939.1	18.2	1.3
October 2010	182.2	935.8	19.3	1.1
November 2010	465.4	933.9	19.9	1.0
December 2010	405.8	931.9	21.7	0.9
January 2011	213.4	934.0	21.9	1.2
February 2011	98.0	935.2	22.1	0.9
March 2011	331.8	934.6	20.4	0.4
April 2011	69.6	937.4	19.5	0.6
May 2011	5.8	938.7	16.4	0.4
June 2011	30.2	939.5	14.8	0.7
July 2011	3.4	940.3	14.6	0.7
August 2011	1.6	939.5	17.5	0.9
September 2011	7.6	940.6	17.4	0.9
October 2011	176.0	936.1	19.0	1.1
November 2011	no measurement	935.9	18.3	0.9
December 2011	297.2	934.4	20.3	1.0
January 2012	255.4	935.7	20.4	1.0
February 2012	67.4	936.3	21.4	0.9
March 2012	131.4	936.6	20.6	0.7
April 2012	57.8	936.7	19.5	0.6
May 2012	131.4	939.7	16.4	0.5
June 2012	14.2	940.1	16.7	0.6
July 2012	3.6	940.6	15.4	0.7
August 2012	9.4	943.2	16.3	0.5
September 2012	42.8	939.3	19.2	1.2
October 2012	58.6	936.2	21.4	1.2
November 2012	279.8	933.7	20.8	0.9
December 2012	222.2	933.7	23.3	0.9
January 2013	128.4	934.7	22.1	0.9
February 2013	127.0	935.3	22.0	0.9
March 2013	267.4	935.6	21.7	0.7
April 2013	137.4	937.1	19.2	0.6
May 2013	62.4	937.9	17.4	0.5

June 2013	31.8	939.1	17.2	0.6
July 2013	3.4	940.4	16.3	0.7
August 2013	1.0	939.7	17.1	0.9
September 2013	41.2	938.6	19.0	1.0
October 2013	85.6	937.0	19.7	1.1
November 2013	127.6	935.0	20.9	1.0
December 2013	432.0	932.4	22.2	0.9
January 2014	79.8	936.3	23.1	1.0
February 2014	26.8	936.0	23.1	1.0
March de 2014	199.2	936.3	21.6	0.9
April 2014	105.4	936.7	20.5	0.7
May 2014	11.6	937.8	18.0	0.6
June 2014	4.4	939.7	17.3	0.7
July 2014	33.0	942.0	16.9	0.8
August 2014	8.8	940.5	17.1	0.9
September 2014	13.2	938.4	19.6	1.3
October 2014	34.6	937.7	20.9	1.2
November 2014	207.4	934.7	21.9	1.3
December 2014	181.4	935.2	22.7	1.2
January 2015	94.2	936.1	23.7	1.1
February 2015	177.6	935.5	22.9	1.3
March 2015	262.6	935.6	22.3	0.9
April 2015	32.8	936.5	20.5	0.6
May 2015	63.8	939.0	18.0	0.6
June 2015	13.2	941.4	17.1	0.7
July 2015	31.6	940.6	17.3	0.9
August 2015	7.4	940.3	17.8	0.8
September 2015	84.4	936.8	20.7	1.1
October 2015	50.2	936.8	22.6	1.1
November 2015	214.2	933.7	23.6	1.2
December 2015	264.0	935.8	23.0	1.2
January 2016	388.2	934.1	22.6	1.0
February 2016	84.4	936.0	23.5	1.0
March 2016	83.0	937.0	22.6	0.9
April 2016	39.8	937.0	21.8	0.7
May 2016	14.6	939.1	18.8	0.7
June 2016	58.8	940.6	16.6	0.6
July 2016	0.0	940.2	17.1	0.6
August 2016	9.8	939.3	18.1	1.0
September 2016	19.8	938.3	20.5	1.1
October 2016	72.4	935.8	21.3	1.1
November 2016	214.6	934.8	21.6	1.1
December 2016	250.0	934.8	22.3	1.0
January 2017	66.4	935.3	23.2	1.1
February 2017	81.4	935.8	22.7	0.9
March 2017	84.2	935.7	21.8	0.7

April 2017	44.6	937.2	20.5	0.6
May 2017	51.6	938.3	18.1	0.6
June 2017	18.6	940.4	17.7	0.6
July 2017	1.8	944.5	15.7	0.5
August 2017	0.8	939.7	17.1	0.8
September 2017	5.6	941.0	19.0	1.1
October 2017	52.4	936.2	22.3	1.3
November 2017	109.0	934.4	21.5	1.2
December 2017	374.6	933.7	22.5	0.8
January 2018	149.2	934.7	23.2	1.0
February 2018	148.6	934.3	22.2	0.7
March 2018	259.0	934.4	22.8	0.7
April 2018	94.4	938.1	20.1	0.4
May 2018	12.4	939.4	17.9	0.5
June 2018	7.4	940.4	17.8	0.6
July 2018	8.8	940.4	16.3	0.6
August 2018	85.6	940.1	17.4	0.7
September 2018	56.8	936.8	19.4	1.0
October 2018	96.0	935.4	21.2	0.9
November 2018	273.6	935.8	21.1	1.0
December 2018	187.8	935.1	22.3	1.0
January 2019	30.6	936.9	23.8	1.1
February 2019	155.8	934.7	23.0	0.8
March 2019	130.8	936.1	22.5	0.6
April 2019	114.8	935.9	21.8	0.6
May 2019	52.6	937.1	19.8	0.5
June 2019	24.0	941.1	17.7	0.5
July 2019	1.0	940.5	15.7	0.5
August 2019	7.6	942.0	17.3	0.5
September 2019	60.4	938.4	20.4	0.7
October 2019	143.6	936.1	21.8	0.8
November 2019	319.6	934.4	22.0	0.7
December 2019	266.8	934.9	22.2	0.9

Climatological data are important in view of the presentation of survival, growth and carbon dioxide removal data for forest species Table S1.

Survival, diameter at ground level (DGL) and plant height (H) were measured for the different ages of each plantation. The list of information for each planted area was presented in Table 2. The DGL was measured with a precision digital caliper and H with a graduated stick. The scientific names of the species were consulted following recommendations from specialized bibliography (*e.g.* Flora do Brasil, 2020).

The percentage of survival (SP) was determined by the equation: $SP_j = (N_{fj} / N_{0j}) \times 100$, where: N_{fj} = number of surviving individuals of the j -th species; N_{0j} = initial number of individuals planted in the j -th species. The average annual growth with the respective DGL and H deviations of the species were calculated and had the following nomenclatures (μ DGL) and (μ H), respectively. The equations used were: $\mu DGL = [(DGL_j) / N_j] / (I)$, where: $I =$

planting age; N_j = number of individuals of the j -th species; DGL_j = average DGL of the j -th species, in cm; $\mu DH = [(DH_j) / N_j] / (I)$, where: I = planting age; N_j = number of individuals of the j -th species; H_j = mean of H of the j -th species, in cm.

The estimated average carbon stock of the stem and branches (C) of tree individuals was calculated using the equation (Morais Junior et al., 2019) $C_{ij} = [0.000353 \times (DGL^{1.202424}) \times (H^{0.781883})]$, (Adjustment $R^2 = 82.12\%$; where: C_{ij} = carbon stock of the i -th individual of the j -th species (kg); DGL = diameter of the height of the ground (mm) and H = total height of the individual (cm). The carbon stock averages (μC) were calculated by species using the equation: $\mu C_j = [(\sum C_j) / N_j]$, where: I = planting age; N_j = number of individuals of the j -th species; μC_j = average carbon stock of individuals of the j -th species, in kg. The conversion of data from carbon (C) to carbon dioxide (CO_2) was done using the factor 3.67, referring to the conversion between the molecular weights of CO_2 and C (IPCC, 2006). This conversion was adopted to facilitate the discussion of data regarding the carbon dioxide removal factors. Estimates of the annual increase in carbon stock ($AICO_2$) per individual were performed using the following equation: $AICO_2_j = [(\sum C_j) / N_j] / (I)$ (variables previously defined).

The planting of code “10”, planted in 2019, did not have its carbon neutralization data presented due to the survey of the data having been carried out only 6 months after planting. The adjustment intervals of the equation that estimates the carbon stock of Morais Junior et al. (2019) is not applicable in seedlings with the diameter range verified for this planting. The conservation status of forest species used in neutralization plantations was consulted in specialized literature (Martinelli and Moraes, 2013; IUCN, 2014; Brazil, 2014) in order to assess the degree of threat of these species.

The letters used to determine the degree of threat of forest species were: “endangered species”: CR (species critically endangered in the wild). - EN (species in very high danger of extinction in the wild); VU (species that face a high risk of extinction in the wild). “Species with low risk of extinction but are dependent on conservation”: NT (species almost with extinction risk) and LC: (species with low risk of extinction).

2.2.3. Development of GHG quantification and neutralization systems

By consulting specific bibliographic studies related to the elaboration and improvement of GHG quantification and neutralization tools and systems within the scope of the ZCP it was possible to determine the evolution of the carbon balance systems developed by the Program (Brianezi, 2015; Silva, 2017; Alves, 2018; Silva, 2020).

2.2.4. Survey of bibliographic data

A systematic literature review was carried out to survey studies that were published by the research group related to the CZP. The searches were carried out in the Scopus and Web of Science databases since 2010 (year of creation of the CZP), with the last visualization in November 2020. The research was carried out considering some important keywords such as “Carbono Zero Program”; “Carbono Zero”; “Carbono Zero Program-UFV”. For the survey a list with names of members of the CZP was also used. Each name was used as a keyword in the search for scientific research on the aforementioned platforms. As the CZP was created by the UFV, this survey was also carried out on the platform entitled “Locus UFV”, which is a digital collection of studies published by students and teachers of the institution (Locus UFV, 2020). After this initial survey, it was checked if the published study was related to UFV's CZP.

The studies were classified according to the relationship with the CZP in: (A) Direct: when the study was developed directly as an opportunity created by the development of the CZP along the UFV inventory and neutralization proposal. (B) Indirect: when the study was

not directly related to the opportunity generated by this program, but in a certain way the discussions and scientific knowledge was fostered by the CZP.

2.2.5. *Survey of sensitized public*

The sensitized public was raised on two main axes of the extension carried out by the CZP at UFV.

(A) Public sensitized directly during the Farmer's Week (FW)

CZP registrations made it possible to survey the public that was sensitized by the CZP during the FW. The classifications of audiences were defined as: "Farmers" for the public residing in rural areas; "Residents of the urban area" for residents of the urban areas and "Children in the environmental circuit" for the definition of children.

(B) Public sensitized by the ZCP in other extension events (PSOE)

The ZCP was responsible for spreading the theme about climate change and ecosystem services related to the quantification and neutralization of carbon in other events inside and outside of the UFV. Date, place and the public involved was considered for each event. People involved were classified as "Event organizers"; "Speakers"; "Participants".

The influence of ZCP in the municipal law of Viçosa was used as basis of Law number 2,875/2020 and Decree number 5,622/2021 (Viçosa, 2020; Viçosa, 2021).

3. Results

3.1. GHG inventory during Farmer's Week

During all editions of FW, 490.64 tCO_{2e} of GHG were emitted. The average annual emissions (μ G) was 49.1 ± 11.3 tCO_{2e} year⁻¹ (Table 4). The increasing order of GHG emissions among the evaluated scopes was: Scope 3 (EAC: 341.8 tCO_{2e}; μ G: 34.2 ± 9.8 tCO_{2e}) > Scope 1 (EAC: 105.8 tCO_{2e}; μ G: 10.6 ± 2.9 tCO_{2e}) > Scope 2 (EAC: 43.1 tCO_{2e}; μ G: 10.6 ± 2.3 tCO_{2e}) (Table 4).

Accommodation	0.13													
Amusement park	0.13													
Stands e trents	0.11													
Hotel	0.05	0.09												
(B) Total scope 2	1.25	2.92	1.36	2.11	6.43	4.74	7.75	6.1	6.99	3.41	4.31	2.29		
Scope 3														
(C.1) Mobile combustion	13.68	9.13	21.04	25.33	5.44	9.43	4.05	4.9	11.51	4.36	10.89	6.93		
(C.2) Hotel electric power	0.3	0.5	0.03	0.03							0.21	0.2		
(C.3) LPG	0.97	1.67	4.38	1.57	4.17	2.01	3.26	5.38	5.14	4.55	3.31	1.55		
(C.4) Livestock (waste management)				0.5							0.5	0		
(C.5) Solid waste	17.24	14.19	12.19	12.54	28.39	45.6	19.46	25.04	12.07	10.3	19.7	10.32		
(C.6) Planting					0.12	0.15	0.16	0.03	0.5	0.5	0.24	0.18		
(C)Total scope 3	32.19	25.49	37.63	39.96	38.11	57.2	26.93	35.36	29.21	19.71	34.18	9.79		
Grand Total	41.98	38.42	46.9	56.05	61.43	71	44.25	48.99	49.41	32.21	49.06	11.34	490.64	

Subtitle: *LPG: Liquefied Petroleum Gas.

The sources with the highest GHG emissions during the evaluated period were “Solid waste” (μG : $19.7 \pm 10.3 \text{ tCO}_2\text{e}$) and “Mobile combustion” (μG : $10.9 \pm 6.9 \text{ tCO}_2\text{e}$), both included in Scope 3. Electricity consumption in hotels ($0.21 \pm 0.20 \text{ tCO}_2\text{e}$) and activities related to the planting of neutralization, carried out at the end of the year for each edition (μG : $0.24 \pm 0.18 \text{ tCO}_2\text{e}$), had the lowest average GHG emissions (Table 4).

The 85th (2014) and 86th (2015) edition of FW had the highest GHG emissions levels in the historical series considered. They were 61.4 and 71.0 tCO_2e in 2014 and 2015, respectively (Table 4). The lowest GHG emissions were recorded in 2011 (82nd edition, 38.4 tCO_2e) and 2019 (90th edition, 32.21 tCO_2e) (Table 4).

3.2 GHG neutralization of Farmer’s Week (FW) emissions

The entire database of GHG neutralization of this study contains the SP, μDGL , μH and μC data for all forest species in each neutralization plantation (Table S1). Plantations with “4” and “7” records had the highest CO_2 stocks verified. Estimates of annual CO_2 storage per individual stood out for the planting of record “4” ($20.0 \text{ kgCO}_2 \text{ ind}^{-1} \text{ year}^{-1}$). The lowest CO_2 stock estimates were found for plantations records “1” and “3”. The greatest variability between the estimates of individual CO_2 was found for plantations records “1” and “4” (both greater than $80 \text{ kg of CO}_2 \text{ ind}^{-1} \text{ year}^{-1}$) (Figure 4).

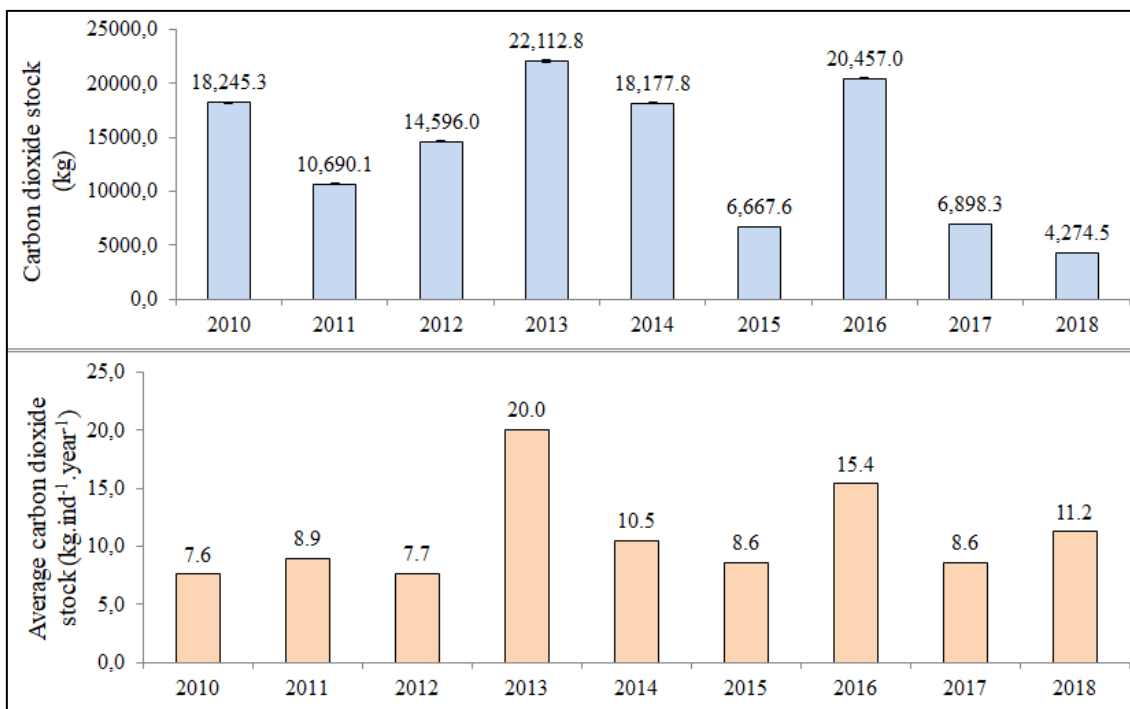


Figure 4- Estimates of carbon dioxide (CO₂) stock with the respective standard deviations in kg and average annual storage of carbon dioxide in kg for the neutralization plants of the Carbon Zero Program-UFV.

Approximately 30% of tree species used in the CZP neutralization plantations have some degree of threat, according to official lists of Brazilian flora species (Table 5).

Table 5- List of species with some degree of extinction threat used in the Greenhouse Gas (GHG) neutralization plantations of the Carbon Zero Program - UFV. “Endangered species”: CR (critically endangered species in nature); EN (species in very high danger of extinction in nature); VU (species that face a high risk of extinction in nature). “Species with low risk of extinction but dependent on conservation”: NT (nearly endangered species) e LC: Species with low risk of extinction.

Scientific name	Martinelli e Moraes (2013)	IUCN (2014)	Brasil (2014)
<i>Albizia niopoides</i>	LC		
<i>Amburana cearensis</i>	NT	EN	
<i>Anadenanthera colubrina var. cebil</i>		LC	
<i>Apuleia leiocarpa</i>	VU		VU
<i>Bixa orellana</i>			
<i>Cariniana legalis</i>	EN	VU	EN
<i>Cedrela fissilis</i>	VU	EN	VU
<i>Centrolobium tomentosum</i>	LC		
<i>Chloroleucon tortum</i>	NT	CR	
<i>Clethra scabra</i>	LC		
<i>Colubrina glandulosa</i>	LC		
<i>Dalbergia nigra</i>	VU	VU	VU
<i>Euterpe edulis</i>	VU		VU
<i>Genipa americana</i>	LC		
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	NT		

<i>Hymenaea courbaril</i>	LC		
<i>Inga laurina</i>	LC		
<i>Joannesia princeps</i>	LC	VU	
<i>Machaerium nyctitans</i>	LC		
<i>Melanoxylon brauna</i>	VU		VU
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	LC		
<i>Plathymenia reticulata</i>	LC		
<i>Plinia edulis</i>	VU		VU
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	VU	VU	VU

Among the tree species used, some deserve to be highlighted: *Cariniana legalis*, *Cederela fissilis*, *Dalbergia nigra* and *Zeyheria tuberculosa* since they reincluded in the three official lists considered as the basis for determining the degree of threat in this study (Table 5). Among the tree species classified with some degree of thereat, almost 50% of them have a high risk of extinction in the wild nowadays (Table 5).

3.3 Development of GHG quantification and neutralization systems

The ZCP has developed its own tools for diagnosing GHG emissions/removals from people, rural properties and events to make environmental awareness more effective (Table 6).

Table 6- Evolution of Greenhouse Gas (GHG) quantification and neutralization tools developed by the Carbon Zero Program at the Federal University of Viçosa from 2010 to 2019

Tool name	YTD	TUP	CL	Access	Main scope	References
Carbon balance in rural properties	2010	2010 and 2011	VBA (Visual Basic for Application) Language - Software Excel	Customized excel spreadsheets	Quantification of GHG emissions and removals from rural properties - Determination of carbon balance	Alves. 2018
Carbon balance in rural properties and urban residents	2012	2012	VBA (Visual Basic for Application) Language - Software Excel	Customized excel spreadsheets	Quantification of GHG emissions and removals from rural properties and urban residents - Determination of carbon balance. For the calculation of the carbon balance of urban residents, the spreadsheets were used until 2016	Alves. 2018
Carbono Zero System (CZS)	2013	2013 to 2016	PHP programming (recursive acronym for PHP: Hypertext Preprocessor) and Zend Framework desktop environment	https://www3.dti.ufv.br/carbonozero/default/autenticacao/index	Quantification of GHG emissions and removals from rural properties - Determination of carbon balance	Brianezi. 2015
Carbon balance in rural properties and urban residents	2017	2017 to 2018	VBA (Visual Basic for Application) Language - Software Excel	Customized excel spreadsheets	Quantification of GHG emissions and removals from rural properties and urban residents	Silva. 2017
CZ. 1.0	2018	2019	PHP programming	Download software	Quantification of GHG emissions and removals from	Alves. 2018

			language. the Symfony framework and the Bootstrap toolkit		rural properties. urban residents and events	
System for carbon balance calculation and technical and economic feasibility in charcoal production	2019	-	VBA (Visual Basic for Application) Language - Software Excel	Customized excel spreadsheets	Carbon balance and technical and economic feasibility in different charcoal production scenarios	Silva. 2020

YTD: year of tool development; TUP: tool usage period; CL: computational language of tool development;

Altogether five tools have been developed since 2010, four of them were developed with the main objective of calculating the carbon balance of residents of urban areas and rural properties (Table 6). In addition to these tools developed by the Program, in 2010 and 2011 an online calculator (Carbon Neutral (Maxam) http://www.maxambiental.com.br/carbononeutro_ferramenta/) was used to raise public awareness at FW. This calculator, developed by the Carbon Zero Program at that time, only performed the calculation of the carbon balance in rural properties. Therefore, there was a need to use another tool that could do the calculations related to the residents of the urban area. Since 2012, the CZP has developed systems capable of quantifying GHG emissions for urban residents. Only one tool was developed in 2019 aimed in calculating the carbon balance and economic viability in rural properties with a focus on charcoal production (Table 6).

3.4 Bibliographic data

The surveys showed that 64 manuscripts were published over the 10 years of existence of the CZP. Approximately 33% of these manuscripts were directly related to the Program. In 2017, the highest number of manuscript (22%) for the verified historical series were published. The most published modality was “scientific articles”, representing 48% of the Program's publications, and the least was “book chapter” (1.5%) (Figure 5).

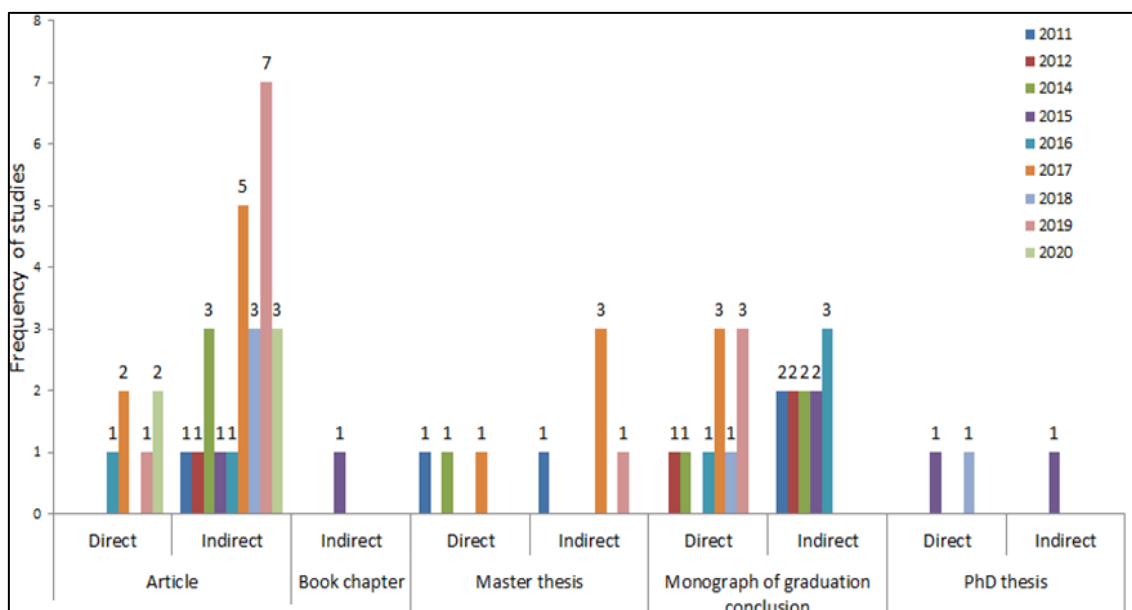


Figure 5- Quantity of studies developed and published annually by the Carbon Zero Program (Federal University of Viçosa). Direct relationship: when the study was developed directly as an opportunity generated by the development of the CZP along the proposal of inventory and neutralization of GHG by UFV. Indirect: when the study is not directly related to the opportunity generated by the development of the Carbon Zero Program by UFV, but that in a certain way the discussion and scientific knowledge was fomented by the program.

All the studies raised in this analysis are listed in Table S2.

3.5 Public sensitized

The total public sensitized throughout the performance of the CZP during the FW were 4,162 people. “Children in the environmental circuit” (39.5%) was the greatest number of sensitized people, followed by “Rural producers” (30.7%) and “Urban residents” (29.8%). The years with the highest public sensitized (59%) were 2017, 2018 and 2019, with 2017 being the year with the highest sensitized rate (24.8%) of the entire historical series surveyed (Figure 6).

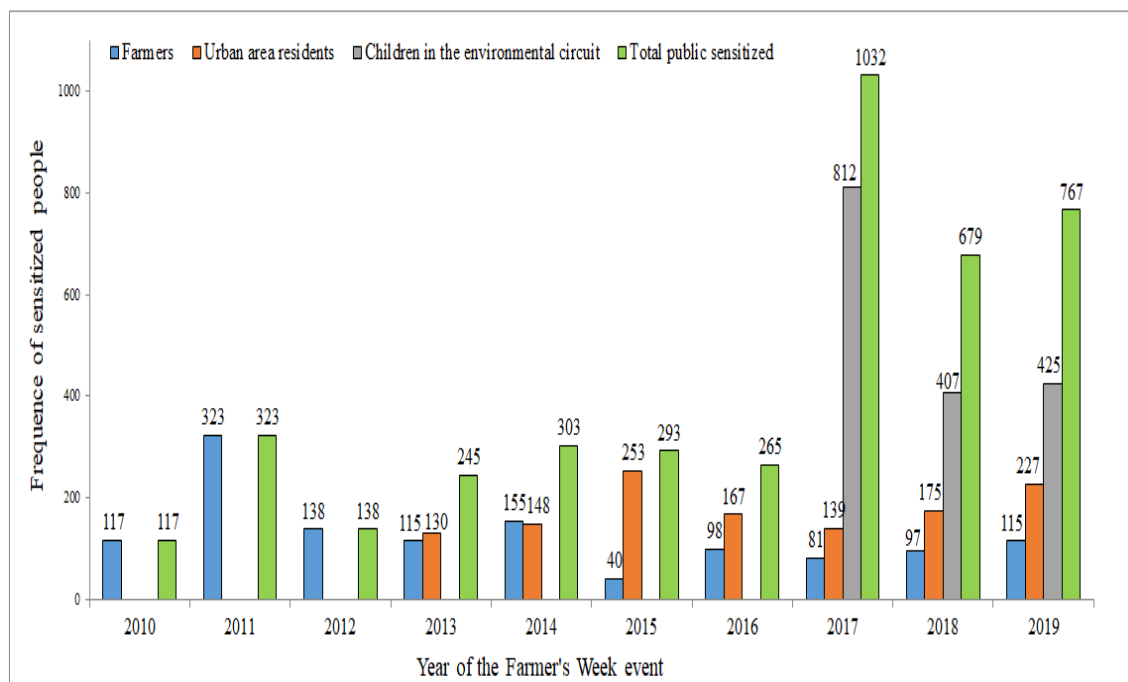


Figure 6- Historical survey of different people (Farmers, Urban area residents, children in the environmental circuit) sensitized during Farmer's Week by the Zero Carbon Program. Data for "urban area residents" and "children in the environmental circuit" are absent between 2010-2012 and 2010-2016, respectively. Environmental awareness aimed at these audiences was subsequently developed as the zero carbon program gained experience in the subject.

In all years of the CZP at the FW, the involvement of students was essential for the realization of environmental awareness (Figure S1; Table S3). The Carbon Zero Program acted in the environmental awareness of 28 events outside FW. During these actions, an audience of 26,186 people was sensitized (Table 7).

Table 7- Public sensitized by the Carbon Zero Program - UFV in other extension events

People sensitized in other extension events	Total
Extension events with action in environmental awareness	28
Organizers sensitized by the Carbon Zero Program	496
Lecturers sensitized by the Carbon Zero Program	386
Participants sensitized by the Carbon Zero Program	25.304
Total participants sensitized	26.186

The vast majority (90%) were participants in the events. The municipal laws that were implemented in the city of Viçosa with a focus on GHG survey and compensation were developed as a result of the awareness work carried out by the CZP. The work of the CZP gained notoriety on the part of politicians who understood that the implementation of the legislation would bring socio-environmental gains for the entire municipality.

4. Discussions

4.1 A 10-year legacy of the CZP and its contributions

The practical evolution of the CZP was motivated through a main ecosystem service, the Carbon. The implementation and conduction of the Program is linked to the UFV, an important Brazilian HEI. The motivation for this study was to show this legacy over the 10 years of its existence. The CZP can serve as a model for the development of other actions with the same focus on other institutions in the world. The engagement of HEIs and students can collaborate decisively in tackling climate change, since HEIs play a central role in defining strategies and training leaders with knowledge of this theme (Dyer and Dyer, 2017; Khan et al., 2019; Domingues et al., 2020).

Studies related to the role of HEI in the management of GHG emissions have undergone significant advances in recent years (Letete et al., 2011; Sprangers, 2011; Larsen et al., 2013; Ozawa-Meida et al., 2013; Robinson et al., 2018; Gómez et al., 2017; Leach et al., 2017; Sangwan et al., 2018; Townsend and Barrett et al., 2017). However, in Brazil there are still few studies related to the theme (Brianezi et al., 2014; Barros et al., 2018; Yañez et al., 2019). No study has demonstrated the practical application of the management of GHG emissions carried out by a Program consolidated in Brazilian HEIs. Although the CZP is mainly linked to FW carried out at the UFV, its consolidated structure promotes the ability to implement carbon management in any HEI in the world.

Other important studies were carried out reinforcing the importance of the leadership of the HEI in facing climate change. In Mexico and the United States, for example, HEIs are encouraged to have GHG reduction and neutralization targets, but in Brazil, little has been said about the contribution of HEIs to NDCs (Güereca and Noyola, 2013; Rinfret et al., 2017). In addition to the central role of HEIs, previously mentioned, it is necessary to reinforce that this sector can represent an expressive global contribution to the reduction of GHG emissions (Robinson et al., 2015). In this context, program management mechanisms related to efforts reduce GHG emission need to be more effective considering the role of people in this process (Bekaroo et al., 2018; Evans and Karvonen, 2013).

The leadership and commitment of representatives and others involved in the CZP can be compared to the case study developed at the University of Greifswald in Germany (Udas et al., 2018). Thus, as in Greifswald, the results over the legacy of the CZP seem to have been driven by the commitment and stance assumed by those involved in the Program, not requiring the formal signing of agreements related to the reduction and compensation of GHG.

The co-benefits provided to both the academic community and the society, which receives the actions developed within the framework of the CZP, generated a mutual synergy capable of sustaining the debate on “Climate change”, which is very recurrent among the social actors involved. These co-benefits can be treated as legacies, and the main ones are highlighted below:

The students' technical and scientific knowledge was being improved during the evolution of the CZP. As presented, the GHG survey methodologies in the FW were modified according to the learning evolution of those involved. This aspect is important to be highlighted, since it is understood that the technical discussions were substantial and allowed the survey of emissions data to be adapted to the reality of each edition of the event. Thus, there was an improvement in the technical-scientific analysis of GHG management by the students involved. This experience can be a key to the experimental learning and success of environmental management programs (Rinfret, 2017). The GHG quantification and balance tools have undergone a great evolution during this period and currently allowed the

development of a more consistent platform that allows the updating of important indicators in a simpler way (Alves, 2018).

Planting native seedlings have promoted an essential legacy for generating a database with the performance of approximately 80 tree species planted in a degraded area in southeastern Brazil. Some important studies have been published recently focusing on the performance of several species of interest for forest restoration (Morais Junior et al., 2019, 2020a,b). The relevance of these studies lies in the need to develop a solid database on the performance of native species of the Atlantic Forest, mainly for younger ages (Palmer et al., 2006). Recently, the importance of consistent data on forest restoration in Brazil has increased, due to the international commitments made by Brazil, the reformulation of Brazilian forestry legislation (Soares-Filho et al., 2014; Nunes et al., 2017; Brazil, 2015) and also the biggest environmental tragedy of Mariana, MG, occurred in 2015 (Freitas et al., 2016; Lopes, 2016).

The pillar of the CZP is related to the ecosystem service of Carbon; however, the focus related to forest restoration is quite prevalent. Thus, there is a substantial technical and intellectual contribution to the development of this theme among those involved in the program, allowing the interface between these themes and the expansion of knowledge related to environmental management (Rodríguez-Uña et al., 2020).

It is important to highlight that the neutralization of GHG by trees has been questioned by specialized literature (Popkin 2019; Anderson et al., 2017). However, the CZP in addition to uses methodologies that promote carbon storage in the forest in a sustainable way over time (Shinamoto et al., 2014), also explores the multiple benefits of carbon neutralization achieved by planting forest species. In addition, the neutralization plantations function as a study laboratory that allows the development of scientific research, and educational activities in disciplines related to efficient management of land use, forestry, recovery of degraded areas, seed production and dendrology.

The carbon neutralization plantations are located in an area easily accessible to urban residents, who can enjoy ecosystem services such as landscape comfort. The approval of Law number 2,875/2020 and Decree number 5,622/2021 in Viçosa, MG, demonstrated the commitment and dialogue between Science and Politics in the municipality (Câmara Municipal de Viçosa Estado de Minas Gerais, 2020). Although the importance of legislation related to climate change is widespread (Dubash et al., 2013; Iacobuta et al., 2018), the direct influence of the dialogue between science and politics at the municipal level in this topic had not yet been verified in the literature.

4.2 Perspectives of the CZP - Federal University of Viçosa

The evolution of the CZP over this period was important to consolidate the technical background of the actors involved and reveal a pilot program in the management of GHG emissions. UFV is expected to expand the financial resources allocated to this program to offset the GHG emissions of the entire campus and promote the implementation of the program in other HEIs. All this effort demonstrates the environmental commitment of the HEIs and helps to improve international environmental indicators that have been evaluated at UFV (UFV, 2020; Green Metric, 2020).

Other forms of GHG neutralization should be implemented in the coming years, aiming to link other forest restoration techniques to the mitigation of global climate change (Chazdon et al., 2016; Evans et al., 2015; Martins et al., 2018). It is expected a greater reach of environmental awareness and a greater number of studies promoted by the CZP, due to the greater visibility and the allocation of resources.

The plantations of the CZP fulfill their function of storing carbon in the plant biomass of forests; however, in the next 10 years, a careful evaluation of the indicators considered for

the planned carbon neutralization must be carried out (Morais Junior et al., 2020a). Currently, it is possible to conclude that the planned neutralization is being achieved because the minimum average is 6.0 kg of CO₂ individual⁻¹ year⁻¹.

In this study, it was prioritized the presentation of the institutional structure of the CZP to provide a review of the program, including its social context and legacy reaching up to the present day, as a way to encourage other institutions to establish carbon emission management programs.

5. Conclusions

- The CZP presents opportunities for gains from ecosystem services related to responsive carbon management provided to different social actors.
- Ten years of the CZP revealed important lessons and learnings related to the administration of a carbon management program in large events at a HEI.
- The neutralization of GHG by planting seedlings can enhance the social, educational and research gains of HEIs.
- The 10-year results of the CZP showed that: 4,162 people were sensitized on the theme of climate change at FW and 26,186 people at other events; and 63 scientific studies related to this program have been published.
- A total of 588.42 tCO_{2eq.} GHG emissions were raised during the FW. Approximately 4,660 trees were planted in a degraded area in southeastern Brazil as a way to neutralize emissions from an event.
- Several GHG emissions management tools have been developed to help raise the environmental awareness of the CZP. The software “CZ 1.0” was the most modern tool for the analyses performed.

Acknowledgments

To the Brazilian institutions that funded studies and scholarships that assisted the development of studies under the CZP, the following are cited: the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

To the Pró-Reitoria de Extensão e Cultura (PEC) of the Universidade Federal de Viçosa (UFV) for the creation and financing of the CZP.

To the Instituto Estadual de Florestas (IEF) and the Forestry Research Society (SIF) for donating seedlings and supporting the storage of forest seedlings.

To Ricardo Martiniano dos Santos, Daniel Brianezi, Gumercindo Souza Lima and Eliana Boaventura Bernardes Moura Alves emeritus members for providing relevant services for the CZP.

References

- ABNT, N. (2007). Associação Brasileira de Normas Técnicas- 14064-1: 2007. *Gases de efeito estufa Parte, 1*.
- 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, Universidade Federal de Viçosa). Access link: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/6570/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alves, E. B. B. M. (2018). Inventário e neutralização de emissões de gases de efeito estufa: avaliação e desenvolvimento de software de cálculo (Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa). Access link: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/20701/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Anderson, C. M., Field, C. B., & Mach, K. J. (2017). Forest offsets partner climate-change mitigation with conservation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(7), 359-365.
- Barros, M. V., da Silva, B. P. A., Piekarski, C. M., da Luz, L. M., Yoshino, R. T., & Tesser, D. P. (2018). Carbon footprint of transportation habits in a Brazilian university. *Environmental Quality Management*, 28(1), 139-148.
- Bekaroo, G., Bokhoree, C., Ramsamy, P., & Moedeen, W. (2019). Investigating personal carbon emissions of employees of higher education institutions: Insights from Mauritius. *Journal of Cleaner Production*, 209, 581-594.
- Brasil, (2014). Lista das espécies terrestres e mamíferos aquáticos ameaçados de extinção do Brasil. ICMBIO. Portaria MMA no 444, de 18 de dezembro de 2014.
- Brasil. (2015). Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (Para consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima). Available online: http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf (accessed on 10 July 2020).
- Breznitz, SM e Feldman, MP (2012). A universidade engajada. *The Journal of Technology Transfer* , 37 (2), 139-157.
- Brianezi, D. (2015). Balanço de gases de efeito estufa em propriedades rurais: método e aplicações (Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa). Access link: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/7304/1/texto%20completo.pdf>
- Brianezi, D., Jacovine, L. A. G., Soares, C. P. B., Gonçalves, W., & Rocha, S. J. S. S. D. (2014). Balanço de emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa no campus da Universidade Federal de Viçosa. *Floresta e Ambiente*, 21(2), 182-191. Access link: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872014000200006
- Cai, M., Murtazashvili, I., Murtazashvili, J. B., & Salahodjaev, R. (2020). Patience and climate change mitigation: Global evidence. *Environmental Research*, 109552.

Câmara Municipal de Viçosa Estado de Minas Gerais, 2020. Access link: https://www.vicosa.mg.leg.br/@_@search?SearchableText=011%2F2020. Accessed 19th Dec 2020.

Carbono Zero, 2020. Um passo a mais para sustentabilidade- “O Programa”. Access link: http://www.carbonozero.ufv.br/?page_id=167

Chazdon, R. L., Broadbent, E. N., Rozendaal, D. M., Bongers, F., Zambrano, A. M. A., Aide, T. M., Craven, D. (2016). Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. *Science Advances*, 2(5), e1501639.

Cruz, T.A. (2014). Retrato Social de Viçosa V. *Viçosa: CENSUS* (Centro de Promoção do Desenvolvimento Sustentável de Viçosa).

Cunha, B. L. (2017). Proposta de redução e/ou neutralização de consumo de água na Semana do Fazendeiro, UFV. Access link: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/17848/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Domingues, R., Zimmer, E., Mah, H., & Freudenberg, C. (2020). *Contemplative Practices in Higher Education for Sustainable Development: An exploration of their role for moving society towards sustainability*.

Dubash, NK, Hagemann, M., Höhne, N., & Upadhyaya, P. (2013). Desenvolvimentos na legislação e estratégia nacional de mitigação das mudanças climáticas. *Política do Clima*, 13 (6), 649-664.

Dyer, G., Dyer, M. (2017). Strategic leadership for sustainability by higher education: the American College & University Presidents' Climate Commitment. *Journal of Cleaner Production*, 140, 111-116.

Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (Eds.). (2006). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories* (Vol. 5). Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies.

Escobar, H., 2019. Bolsonaro's first moves have Brazilian scientists worried. *Science* 363, 330, <http://dx.doi.org/10.1126/science.363.6425.330>.

Evans, J., & Karvonen, A. (2014). ‘Give me a laboratory and I will lower your carbon footprint!’—Urban laboratories and the governance of low-carbon futures. *International Journal of Urban and Regional Research*, 38(2), 413-430.

Evans, M. C., Carwardine, J., Fensham, R. J., Butler, D. W., Wilson, K. A., Possingham, H. P., & Martin, T. G. (2015). Carbon farming via assisted natural regeneration as a cost-effective mechanism for restoring biodiversity in agricultural landscapes. *Environmental Science & Policy*, 50, 114-129.

Fernandes, G. W., Goulart, F. F., Ranieri, B. D., Coelho, M. S., Dales, K., Boesche, N., Fernandes, S. (2016). Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. *Natureza & Conservação*, 14(2), 35-45.

Ferreira Júnior, 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*, 2, 141-174.

Flora do Brasil 2020 (em construção). Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Accessed 8th Nov 2020.

Freitas, C. M. D., Silva, M. A. D., & Menezes, F. C. D. (2016). O desastre na barragem de mineração da Samarco: fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. *Ciência e Cultura*, 68(3), 25-30.

GHG Protocol Brasil. (2013). Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol. Ferramenta GHG Protocol. Access link: <http://www.ghgprotocolbrasil.com.br>.

GHG Protocol Brasil. (2014 a). Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol. Link de acesso: <http://ghgprotocolbrasil.com.br/arquivos/152/especificacoes_pb_ghgprotocol.pdf>

Gómez, N., Cadarso, M. A., & Monsalve, F. (2016). Carbon footprint of a university in a multiregional model: the case of the University of Castilla-La Mancha. *Journal of Cleaner Production*, 138, 119-130.

Green Metric. (2020). World University Rankings. Access link: <https://greenmetric.ui.ac.id/overall-rankings-2019/>. Accessed 20th Dec 2020.

Güereca, L. P., Torres, N., & Noyola, A. (2013). Carbon Footprint as a basis for a cleaner research institute in Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 47, 396-403.

Iacobuta, G., Dubash, N. K., Upadhyaya, P., Deribe, M., & Höhne, N. (2018). National climate change mitigation legislation, strategy and targets: a global update. *Climate policy*, 18(9), 1114-1132.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia (Brasil). 2020. Access link: <https://bdmep.inmet.gov.br/>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2020. Access link: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/vicosa.html>

IPCC- Intergovernmental panel on climate change. (1997). *Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories: reporting instruction*. V(1).

IUCN, 2014. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.1, (www.iucnredlist.org) (download on 04 July 2020).

Khan, M., Mfitumukiza, D., & Huq, S. (2020). Capacity building for implementation of nationally determined contributions under the Paris Agreement. *Climate Policy*, 20(4), 499-510.

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.

Larsen, H. N., Pettersen, J., Solli, C., & Hertwich, E. G. (2013). Investigating the Carbon Footprint of a University-The case of NTNU. *Journal of Cleaner Production*, 48, 39-47.

Leach, A. M., Galloway, J. N., Castner, E. A., Andrews, J., Leary, N., & Aber, J. D. (2017). An integrated tool for calculating and reducing institution carbon and nitrogen footprints. *Sustainability: The Journal of Record*, 10(2), 140-148.

Leichenko, R., & O'Brien, K. (2019). *Climate and society: transforming the future*. John Wiley & Sons.

Letete, T., Mungwe, N. W., Guma, M., & Marquard, A. (2011). Carbon footprint of the University of Cape Town. *Journal of Energy in Southern Africa*, 22(2), 2-12.

Locus UFV- Locus Repositório Institucional da UFV. 2020. Access link: <https://www.locus.ufv.br/>. Accessed 14th Nov 2020.

Lopes, L. M. N. (2016). The rupture of the Mariana dam and its social-environmental impacts. *Periódicos PUC Minas*, 5(1), 1-14.

MapBiomas (2020). MapBiomas “v.5.0”. Acesso em: <https://mapbiomas.org/>. Accessed 2nd Jan 2020.

Martinelli, G., & Moraes, M. A. (2013). Livro vermelho da flora do Brasil.

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

Martins, SV (2018). Técnicas alternativas de restauração florestal. *Viana H. New Perspectives in Forest Science*, 131-148.

Metzger, J. P., & Sodhi, N. (2009). Conservation issues in the Brazilian Atlantic forest. *Biological Conservation*, 142(6). Access link: http://www.dpi.inpe.br/Miguel/Michelle/Referencias/Ecologia_da_Paisagem/BiologicalConservation_SpecialIssue_2009/01_Metzger_biocons_2009.pdf

MMA - Ministério do Meio Ambiente (2014). Portaria n. 443, de 17 de dezembro de 2014. Diário Oficial da União, 18/12/2014, Seção 1, p. 110-121. Disponível em: https://dados.gov.br/dataset/portaria_443. Accessed 8th Nov 2020.

Morais Junior “A”, V. T. M., Jacovine, L. A. G., Alves, E. B. B. M., Torres, C. M. M. E., Faustino, I. S., de Jesus França, L. C., Alcántara-de la Cruz, R. (2020). *Growth and survival of potential tree species for carbon-offset in degraded areas from southeast Brazil*. *Ecological Indicators*, 117, 106514.

Morais Junior “B”, V. T. M. D, Jacovine, L. A. G., Oliveira, K., Albuquerque, T. P., Faustino, I. S., Silva, L. B., Cruz, R. A. D. L. (2020). Performance of Five Native Atlantic Forest Species Planted in Containers of Different Size for Restoring Degraded Areas in Minas Gerais. *Forests*, 11(9), 937.

Morais Junior, V. T. M., Jacovine, L. A. G., Torres, C. M. M. E., Alves, E. B. B. M., de Paiva, H. N., Alcántara-de la Cruz, R., & Zanuncio, J. C. (2019). *Early assessment of tree species with potential for carbon offset plantations in degraded area from the southeastern Brazil*. *Ecological Indicators*, 98, 854-860.

Nações Unidas (Brasil). 2020. Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 13- Ação contra a mudança global do clima. Link de acesso: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/13>. Accessed 27th Sep 2020.

Nerini, F. F., Sovacool, B., Hughes, N., Cozzi, L., Cosgrave, E., Howells, M., ... & Milligan, B. (2019). Connecting climate action with other Sustainable Development Goals. *Nature Sustainability*, 2(8), 674-680.

Nunes, F.S.M.; Soares-Filho, B.S.; Rajão, R.; Merry, F. Enabling large-scale forest restoration in Minas Gerais state, Brazil. *Environ. Res. Lett.* 2017, 12, 044022.

Ozawa-Meida, L., Brockway, P., Letten, K., Davies, J., & Fleming, P. (2013). Measuring carbon performance in a UK University through a consumption-based carbon footprint: De Montfort University case study. *Journal of Cleaner Production*, 56, 185-198.

Palmer, M.A.; Zedler, J.B.; Falk, D.A. Ecological theory and restoration ecology. In *Foundations of Restoration Ecology*, 1st ed.; Palmer, M.A., Zedler, J.B., Falk, D.A., Eds.; Island Press: Washington, DC, USA, 2006; pp. 3–26.

Pires, M. V., Cunha, D. A., Reis, D. I., & Alexandre, B. (2014). Percepção de produtores rurais em relação às mudanças climáticas e estratégias de adaptação no estado de Minas Gerais, Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, 37(4), 431-440. Access link: http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2014000400008

Popkin, G. (2019). How much can forests fight climate change?. *Nature*, 565(7737), 280-283.

Rinfret, S. (2017). Experiential Learning and Pathways to Carbon Neutrality. *PS: Political Science & Politics*, 50(3), 842-848.

Robinson, O. J., Tewkesbury, A., Kemp, S., & Williams, I. D. (2018). Towards a universal carbon footprint standard: A case study of carbon management at universities. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4435-4455.

Robinson, O., Kemp, S., & Williams, I. (2015). Carbon management at universities: a reality check. *Journal of Cleaner Production*, 106, 109-118.

Rodríguez-Uña, A., Cruz-Alonso, V., Rohrer, Z., & Martínez-Baroja, L. (2020). Fresh perspectives for classic forest restoration challenges. *Restoration Ecology*, 28(1), 12-15.

Roelfsema, M., van Soest, H. L., Harmsen, M., van Vuuren, D. P., Bertram, C., den Elzen, M., Luderer, G. (2020). Taking stock of national climate policies to evaluate implementation of the Paris Agreement. *Nature Communications*, 11(1), 1-12.

Rohrich, S. S., & Takahashi, A. R. W. (2019). Sustentabilidade ambiental em Instituições de Ensino Superior, um estudo bibliométrico sobre as publicações nacionais. *Gestão & Produção*, 26(2).

Sangwan, K. S., Bhakar, V., Arora, V., & Solanki, P. (2018). Measuring carbon footprint of an Indian university using life cycle assessment. *Procedia CIRP*, 69, 475-480.

Santos, O. S. H., Avellar, F. C., Alves, M., Trindade, R. C., Menezes, M. B., Ferreira, M. C., Moura, P. M. (2019). Understanding the environmental impact of a mine dam rupture in Brazil: Prospects for remediation. *Journal of Environmental Quality*, 48(2), 439-449.

Semana do Fazendeiro, 2020. Access link: <http://www.semanadofazendeiro.ufv.br/>
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, 1-9.

Silva, L.B (2017). Aprimoramento da ferramenta de cálculo de emissões e remoções de gases de efeito estufa em propriedades rurais. (Monografia de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa).

Silva, L.B. (2020). Sistema para cálculo do balanço de carbono e viabilidade técnica e econômica na produção de carvão vegetal (Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa). Access link: <http://www.poscienciaflorestal.ufv.br/wp-content/uploads/2020/08/LAUANA-BLENDASILVA.pdf>

Silveira, E. M.O, Terra, M. D. C. N. S., terra Steege, H., Maeda, E. E., Júnior, F. W. A., & Scolforo, J. R. S. (2019). Carbon-diversity hotspots and their owners in Brazilian southeastern Savanna, Atlantic Forest and Semi-Arid Woodland domains. *Forest Ecology and Management*, 452, 117575. Access link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112719309624>.

Soares-Filho, B., Rajão, R., Macedo, M., Carneiro, A., Costa, W., Coe, M., Alencar, A. (2014). Cracking Brazil's forest code. *Science*, 344(6182), 363-364.

Souza Maria, A. C., de Almeida Faria, T. C., & Stephan, I. I. C. (2014). Um retrato da evolução urbana de Viçosa-MG: impactos da federalização da UFV sobre a cidade (1969-2014). *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, 3(1), 37-54.

Sprangers, S. (2011). Calculating the carbon footprint of universities. *Unpublished Master's thesis in economics and informatics*.

Strassburg, B. B. (2019). Conservation provides multiple wins for Brazil. *Nature ecology & evolution*, 3(4), 508-509.

Tauchen, J., & Brandli, L. L. (2006). A gestão ambiental em instituições de ensino superior: modelo para implantação em campus universitário. *Gestão & Produção*, 13(3), 503-515.

Tollefson, J., & Weiss, KR (2015). Nações aprovam acordo climático global histórico. *Nature News*, 528 (7582), 315.

Townsend, J., Barrett, J. (2015). Exploring the applications of carbon footprinting towards sustainability at a UK university: reporting and decision making. *Journal of Cleaner Production*, 107, 164-176.

Udas, E., Wölk, M., & Wilmking, M. (2018). The “carbon-neutral university”—a study from Germany. *International Journal of Sustainability in Higher Education*.

UFV. Universidade Federal de Viçosa- CPA. UFV é a sexta mais sustentável do Brasil, aponta ranking (Informativo). (2020). Access link:< <https://www.cpa.ufv.br/sem-categoria/ufv-e-a-sexta-mais-sustentavel-do-brasil-aponta-ranking/>>. Accessed 20th Dec 2020.

United Nations. (2015). Paris agreement. In *Report of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (21st Session, 2015: Paris)*. Retrieved December (Vol. 4, p. 2017).

United Nations. (2020). Nationally Determined Contributions (NDCs)- The Paris Agreement and NDCs. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs#eq-1>.

Universidade Federal de Viçosa - UFV. Departamento de Engenharia Agrícola. Estação Climatológica Principal de Viçosa. Boletim Meteorológico; Universidade Federal de Viçosa: Viçosa, Brasil, 2016.

Viçosa. (2020). Municipal law number 2875/2020.

Viçosa. (2021). Decree number 5622/2021.

World Economic Forum. (2020). Insight Report. 15th Edition. Retrieved from: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf.

Yañez, P., Sinha, A., Vásquez, M. (2019). Carbon Footprint Estimation in a University Campus: Evaluation and Insights. *Sustainability*, 12(1), 1-15.

Supplementary Material- (Figure)

Figure S1- A team of students and teachers from the zero carbon program working with the environmental awareness of society throughout the Farmer's Week editions.

Supplementary Material- (Tables)

Table S1- Survival and growth of forest species used to neutralize greenhouse gases in the Carbon Zero Program.

Legend: PS: percentage of survival; μ DGL: average annual growth from diameter to ground level (cm); μ H: average annual height growth (cm); μ C: average carbon stock (kg) at 102 months; μ CO₂: average of carbon dioxide stock (kg).

Scientific name	PS	μ DGL	μ H	Standard deviation (DGL)	Standard deviation (H)	Number of seedlings planted	Number of seedlings verified at 102 months	μ C	Standard deviation (C)	μ CO ₂	Standard deviation (CO ₂)
<i>Albizia niopoides</i>	96.3	1.49	17.9	5.1	182.9	27	26	16.2	9.9	59.4	36.4
<i>Andira anthelmia</i>	76.9	0.94	7.8	4.4	137.2	13	10	5.1	3.7	18.6	13.7
<i>Anadenanthera colubrina</i>	89.5	0.77	13.1	6.9	180.6	19	17	6.1	7.4	22.4	27.0
<i>Anadenanthera colubrina var. cebil</i>	87.9	1.75	24.5	9.9	439.9	33	29	29.1	35.5	106.8	130.3
<i>Psidium cattleianum</i>	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	3	0			0.0	0.0
<i>Schinus molle</i>	85.7	0.73	10.5	3.1	166.2	7	6	4.3	2.6	15.8	9.7
<i>Schinus terebinthifolia</i>	100.0	2.06	16.9	17.5	450.0	1	1	20.9		76.5	-
<i>Garcinia gardneriana</i>	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	1	0			0.0	-
<i>Moquiniastrum polymorphum</i>	100.0	1.88	17.7	3.7	71.4	4	4	19.6	6.1	71.8	22.5
<i>Metrodorea nigra</i>	84.2	2.07	31.6	8.5	374.8	19	16	36.1	17.6	132.3	64.4
<i>Cedrela fissilis</i>	100.0	1.69	13.9	2.2	113.6	3	3	14.5	6.0	53.1	22.1
<i>Joannesia princeps</i>	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	1	0			0.0	-
<i>Senna multijuga</i>	100.0	1.66	23.8	7.1	253.2	8	8	23.5	17.0	86.3	62.2
<i>Peltophorum dubium</i>	93.2	1.64	21.8	6.4	264.9	44	41	21.7	14.7	79.7	53.9
<i>Senna macranthera</i>	75.0	1.63	15.5	7.6	206.4	8	6	15.4	7.6	56.5	27.7
<i>Apuleia leiocarpa</i>	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	1	0			0.0	-
<i>Psidium guajava</i>	100.0	1.03	12.2	3.9	20.8	3	3	7.1	3.7	26.1	13.6

undetermined species "A"	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	20	0			0.0	0.0
undetermined species "B"	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	6	0			0.0	0.0
<i>Inga vera</i>	100.0	1.76	16.6	7.2	159.0	29	29	19.4	12.0	71.3	44.0
<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	92.9	0.92	12.3	4.7	216.7	14	13	8.0	7.8	29.4	28.7
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	100.0	0.48	10.1	4.0	270.0	1	1	2.4		8.8	-
<i>Dalbergia nigra</i>	100.0	0.47	10.1	0.2	28.3	2	2	2.4	0.3	8.8	1.1
<i>Syzygium cumini</i>	100.0	1.50	19.8	12.8	530.0	1	1	16.2		59.5	-
<i>Hymenaea courbaril</i>	83.3	0.69	13.4	2.8	191.6	18	15	5.1	3.3	18.7	12.1
<i>Genipa americana</i>	58.3	0.92	14.1	5.7	243.7	24	14	7.9	7.1	29.0	26.0
<i>Citharexylum myrianthum</i>	23.5	1.06	14.3	4.7	226.1	17	4	11.5	15.6	42.3	57.2
<i>Sapindus saponaria</i>	28.0	0.24	2.4	1.0	45.4	25	7	0.4	0.6	1.5	2.1
<i>Lecythis pisonis</i>	28.6	1.01	17.0	4.2	224.3	7	2	9.0	1.8	32.9	6.5
<i>Colubrina glandulosa</i>	60.0	0.73	12.3	4.3	237.6	15	9	6.0	6.2	21.9	22.8
<i>Adenantha pavonina</i>	61.1	0.81	14.8	4.1	235.1	18	11	7.0	4.7	25.5	17.1
<i>Plathymenia reticulata</i>	100.0	4.23	43.6	7.2	397.2	5	5	108.1	47.7	396.2	175.1
Overall average	71.28	1.07	13.38	4.67	183.33	397	283	17.6	22.1	64.5	81.0

Scientific name	PS	μ DGL	μ H	Standard deviation (DGL)	Standard deviation (H)	Number of seedlings planted	Number of seedlings verified at 90 months	μ C	Standard deviation (C)	μ CO ₂	Standard deviation (CO ₂)
<i>Albizia niopoides</i>	94.4	1.63	62.25	4.8	166.6	18	17	14.8	7.7	54.4	28.2
<i>Andira anthelmia</i>	77.8	1.03	31.41	4.4	148.0	9	7	5.4	4.3	19.9	15.8
<i>Anadenanthera colubrina</i>	66.7	0.69	47.33	3.3	225.9	3	2	4.3	3.1	15.8	11.2
<i>Anadenanthera colubrina var. cebil</i>	93.8	1.92	77.48	8.3	277.9	32	30	23.4	21.0	85.8	77.1
<i>Psidium cattleianum</i>	100.0	0.51	20.00	3.9	150.0	1	1	1.4	-	5.2	-
<i>Metrodorea nigra</i>	100.0	2.57	99.61	3.4	214.1	17	17	35.1	12.0	128.6	44.2
<i>Pachira glabra</i>	44.4	1.46	31.83	6.1	149.9	9	4	7.8	5.9	28.8	21.7

<i>Senna multijuga</i>	100.0	2.05	80.00	3.8	107.7	5	5	22.8	9.5	83.4	34.7
<i>Peltophorum dubium</i>	90.3	1.77	66.12	7.1	238.8	33	30	18.6	14.1	68.2	51.8
<i>Senna macranthera</i>	100.0	2.35	63.11	2.3	75.1	3	3	22.1	5.6	81.0	20.7
<i>Inga laurina</i>	89.5	2.41	66.78	7.7	197.7	19	17	24.0	10.5	87.9	38.4
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	80.0	0.83	35.33	3.6	167.1	5	4	4.5	3.7	16.5	13.7
<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	100.0	1.25	59.33	5.7	205.1	2	2	11.2	10.7	41.1	39.1
<i>Hymenaea courbaril</i>	33.3	0.59	32.00	2.5	138.6	3	1	2.4	-	8.9	
<i>Genipa americana</i>	55.6	0.29	10.28	1.3	61.8	9	5	0.5	0.5	1.9	1.9
<i>Ceiba speciosa</i>	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0	6	0	-		-	0.0
<i>Citharexylum myrianthum</i>	100.0	1.15	51.33	3.5	35.4	2	2	8.1	4.4	29.8	16.1
<i>Pleroma granulorum</i>	22.2	1.82	66.00	6.1	220.7	9	2	16.9	6.2	62.0	22.7
<i>Sapindus saponaria</i>	37.5	0.33	17.22	1.4	87.4	8	3	0.9	1.0	3.3	3.6
<i>Colubrina glandulosa</i>	100.0	0.97	63.33	3.1	137.0	4	4	8.3	6.3	30.5	23.2
<i>Adenanthera pavonina</i>	36.4	0.39	35.67	1.8	167.3	11	4	2.1	2.6	7.6	9.4
Overall average	76.92	1.24	48.40	4.00	151.05	208	160	18.2	15.6	66.8	57.2

Scientific name	PS	μ DGL	μ H	Standard deviation (DGL)	Standard deviation (H)	Number of seedlings planted	Number of seedlings verified at 78 months	μ C	Standard deviation (C)	μ CO ₂	Standard deviation (CO ₂)
<i>Albizia niopoides</i>	88.33	1.5	55.7	4.5	145.2	60	53	10.4	7.3	38.0	26.9
<i>Andira anthelmia</i>	80.00	1.2	30.8	4.9	138.3	20	16	5.4	5.0	19.7	18.5
<i>Anadenanthera colubrina var. cebil</i>	85.25	1.9	82.1	7.4	288.3	61	52	18.7	14.5	68.7	53.1
<i>Schinus terebinthifolia</i>	85.00	1.2	47.3	6.1	184.8	20	17	7.5	8.2	27.4	30.2
<i>Guarea guidonia</i>	33.33	0.9	26.2	3.2	98.1	3	1	2.5	-	9.0	-
<i>Joannesia princeps</i>	18.52	3.4	93.7	8.8	243.3	27	5	35.1	9.5	128.6	34.8
<i>Peltophorum dubium</i>	100.00	2.4	69.1	6.1	154.0	22	22	20.2	15.2	74.2	55.7
<i>Inga laurina</i>	82.86	3.1	82.8	9.8	242.8	35	29	29.1	11.8	106.6	43.4

<i>Zeyheria tuberculosa</i>	100.00	0.7	44.6	1.6	115.9	17	17	3.4	2.3	12.5	8.5
<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	31.58	0.8	38.3	3.1	154.4	19	6	4.1	5.2	15.2	19.0
<i>Syzygium cumini</i>	94.74	2.3	72.0	8.4	187.9	19	18	20.0	16.4	73.3	60.1
<i>Hymenaea courbaril</i>	50.00	1.0	47.6	5.0	217.9	12	6	7.0	9.2	25.5	33.8
<i>Genipa americana</i>	28.57	1.1	10.2	5.6	32.7	14	4	1.7	2.5	6.1	9.1
<i>Pleroma mutabile</i>	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	10	0	-	-	-	-
<i>Ceiba speciosa</i>	11.76	1.4	31.5	3.0	73.1	17	2	5.3	3.6	19.4	13.0
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	30.00	1.2	81.0	3.8	262.3	10	3	8.9	3.6	32.6	13.3
<i>Citharexylum myrianthum</i>	19.64	1.2	41.2	3.6	122.9	56	11	6.4	5.5	23.3	20.2
<i>Lecythis pisonis</i>	81.25	0.9	27.7	3.6	122.5	16	13	3.1	2.9	11.3	10.5
<i>Samanea inopinata</i>	34.09	1.3	42.7	5.7	176.2	44	15	9.1	11.7	33.3	43.0
<i>Adenanthera pavonina</i>	12.50	0.4	16.6	1.0	36.8	24	3	0.8	0.5	3.0	1.8
Overall average	57.91	1.39	47.06	4.76	149.87	506	293	13.6	13.4	49.8	49.2

Scientific name	PS	μ DGL	μ H	Standard deviation (DGL)	Standard deviation (H)	Number of seedlings planted	Number of seedlings verified at 66 months	μ C	Standard deviation (C)	μ CO ₂	Standard deviation (CO ₂)
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	45.0	3.92	188.28	11.8	567.1	20	9.0	55.3	29.6	202.8	108.5
<i>Psidium cattleianum</i>	45.0	0.82	27.78	2.8	88.0	20	9.0	1.8	1.2	6.7	4.3
<i>Sterculia curiosa</i>	40.0	2.41	115.41	7.6	370.0	20	8.0	22.2	13.7	81.6	50.2
<i>Schinus terebinthifolia</i>	90.0	3.80	125.36	9.1	320.0	20	18.0	37.7	22.8	138.3	83.6
<i>Cassia grandis</i>	68.4	2.42	125.71	7.5	333.2	20	14.0	23.8	16.4	87.4	60.1
<i>Pachira glabra</i>	60.0	2.11	94.03	6.2	297.5	20	12.0	14.0	5.5	51.4	20.1
<i>Cedrela fissilis</i>	35.0	1.68	32.68	4.7	92.8	20	7.0	4.9	2.4	17.9	8.7
<i>Joannesia princeps</i>	55.0	3.42	131.62	11.0	439.8	20	11.0	37.1	22.0	136.1	80.6
<i>Senna multijuga</i>	60.0	3.39	135.89	10.3	428.2	20	12.0	35.3	19.1	129.3	70.0
<i>Senna macranthera</i>	45.0	3.09	120.63	9.5	378.8	20	9.0	29.4	14.2	107.8	52.0

<i>Schizolobium parahyba</i>	45.0	4.76	233.54	14.4	685.3	20	9.0	80.8	42.0	296.2	153.8
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	70.0	1.41	90.39	4.3	280.4	20	14.0	9.3	5.8	34.0	21.1
<i>Syzygium jambos</i>	5.0	1.04	30.36	1.3	37.3	20	1.0	2.5	-	9.1	-
<i>Hymenaea courbaril</i>	45.0	1.78	58.44	6.5	227.0	20	9.0	7.5	5.2	27.6	19.0
<i>Cariniana legalis</i>	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0	20	0.0	-	-	-	-
<i>Ceiba speciosa</i>	30.0	5.70	185.15	15.2	489.2	20	6.0	82.6	31.2	303.0	114.5
<i>Citharexylum myrianthum</i>	15.0	1.07	64.24	2.3	130.9	20	3.0	5.0	3.2	18.2	11.8
<i>Pleroma granulorum</i>	10.0	3.36	180.91	5.7	308.1	20	2.0	41.3	4.2	151.4	15.5
<i>Sapindus saponaria</i>	85.0	1.26	68.55	3.4	172.7	20	17.0	6.5	3.6	23.7	13.2
<i>Lecythis pisonis</i>	15.0	1.52	81.21	3.1	184.8	20	3.0	9.1	6.6	33.4	24.1
<i>Samanea inopinata</i>	5.0	0.81	32.73	1.0	40.2	20	1.0	2.0	-	7.2	-
<i>Cenostigma pluviosum</i>	15.0	2.87	91.82	6.0	212.2	20	3.0	21.4	14.9	78.4	54.8
<i>Colubrina glandulosa</i>	45.0	2.74	142.63	8.9	430.9	20	9.0	29.9	17.6	109.8	64.7
<i>Adenantha pavonina</i>	5.0	0.54	30.91	0.7	38.0	20	1.0	1.2	-	4.3	-
<i>Plathymenia reticulata</i>	70.0	5.03	193.51	14.6	539.7	20	14.0	73.8	32.0	270.5	117.4
Overall average	40.20	2.44	103.27	6.71	283.69	500	201.0	30.0	30.3	110.0	111.1

Scientific name	PS	μ DGL	μ H	Standard deviation (DGL)	Standard deviation (H)	Number of seedlings planted	Number of seedlings verified at 54 months	μ C	Standard deviation (C)	μ CO ₂	Standard deviation (CO ₂)
<i>Luehea divaricata</i>	0.0	-	-	-	-	18	0	-	-	-	-
<i>Eriobotrya japonica</i>	5.6	0.92	35.56	1.0	37.7	18	1	1.6	-	6.0	-
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>	70.3	2.99	134.56	8.6	354.3	37	26	23.1	18.5	84.6	68.0
<i>Psidium cattleianum</i>	33.3	1.05	27.61	2.5	67.6	18	6	1.7	1.1	6.3	4.1
<i>Centrolobium tomentosum</i>	89.5	2.16	118.17	4.2	224.0	19	17	12.5	7.0	45.9	25.8
<i>Sterculia curiosa</i>	22.2	2.12	92.22	4.4	200.9	18	4	10.8	8.7	39.7	31.9
<i>Schinus terebinthifolia</i>	72.2	2.74	78.02	7.5	203.3	18	13	12.6	8.9	46.1	32.8

<i>Garcinia gardneriana</i>	78.9	0.56	24.67	1.3	59.2	19	15	0.7	0.5	2.7	1.7
<i>Machaerium nyctitans</i>	84.2	2.63	113.01	6.0	260.5	19	16	15.8	9.6	57.8	35.2
<i>Cassia grandis</i>	68.4	1.85	102.48	5.0	264.4	19	13	9.9	6.9	36.4	25.2
<i>Pachira glabra</i>	88.9	2.38	65.29	4.6	151.2	18	16	8.8	4.9	32.2	17.9
<i>Joannesia princeps</i>	63.2	2.70	122.13	7.5	308.0	19	12	17.9	14.5	65.5	53.1
<i>Senna multijuga</i>	83.3	2.76	92.50	7.7	241.7	18	15	15.9	13.6	58.3	49.8
<i>Peltophorum dubium</i>	94.6	3.59	147.94	6.8	252.6	37	35	28.0	15.7	102.7	57.4
<i>Apuleia leiocarpa</i>	57.9	1.91	114.44	5.4	314.3	19	11	11.2	9.0	41.1	32.9
<i>Psidium guajava</i>	77.8	0.70	31.52	1.9	101.0	18	14	1.3	1.3	4.6	4.6
<i>Peltogyne discolor</i>	89.5	1.08	59.41	2.2	123.7	19	17	3.2	1.7	11.9	6.2
<i>Sparattosperma leucanthum</i>	26.3	3.52	143.11	7.2	326.7	19	5	24.1	9.4	88.3	34.6
<i>Dalbergia nigra</i>	26.3	1.98	137.33	4.3	295.1	19	5	12.8	7.5	46.8	27.6
<i>Hymenaea courbaril</i>	71.1	1.56	96.29	4.4	266.2	38	27	8.1	7.0	29.8	25.5
<i>Euterpe edulis</i>	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0	18	0	-	-	-	-
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	100.0	3.18	119.13	4.5	142.0	19	19	19.8	9.8	72.8	35.8
<i>Ceiba speciosa</i>	45.9	3.68	114.58	10.7	329.5	37	17	28.3	31.1	103.7	114.2
<i>Paubrasilia echinata</i>	68.4	0.58	40.06	1.7	141.8	19	13	1.4	1.5	5.1	5.5
<i>Citharexylum myrianthum</i>	13.9	1.50	71.87	1.6	77.4	36	5	7.0	7.4	25.7	27.0
<i>Eugenia uniflora</i>	70.0	1.13	28.32	3.7	75.0	20	14	2.1	2.6	7.9	9.6
<i>Pleroma granulorum</i>	21.1	2.35	70.83	4.8	141.7	19	4	9.3	5.6	33.9	20.6
<i>Sapindus saponaria</i>	83.3	0.75	32.88	1.7	85.7	18	15	1.3	1.0	4.9	3.5
<i>Lecythis pisonis</i>	94.4	2.15	107.19	3.7	200.1	18	17	11.4	5.6	41.8	20.6
<i>Cenostigma pluviosum</i>	23.5	0.88	28.72	1.9	67.6	17	4	1.5	1.1	5.6	4.1
<i>Colubrina glandulosa</i>	55.6	2.63	123.11	6.7	295.6	18	10	16.2	7.8	59.5	28.7
Overall average	49.85	1.93	82.43	4.45	186.95	666	332	12.8	14.3	47.1	52.3

Scientific name	SP	μ DGL	μ H	Standard deviation (DGL)	Standard deviation (H)	Number of seedlings planted	Number of seedlings verified at 42 months	μ C	Standard deviation(C)	μ CO ₂	Standard deviation (CO ₂)
<i>Amburana cearensis</i>	33.33	1.88	52.00	4.5	103.9	18	6	4.55	7.15	16.7	26.2
<i>Anadenanthera colubrina</i>	94.74	2.11	92.41	3.8	140.5	19	18	6.47	5.01	23.7	18.4
<i>Anadenanthera colubrina var. cebil</i>	38.89	3.29	102.20	7.0	206.2	18	7	12.86	9.87	47.2	36.2
<i>Schinus molle</i>	94.44	3.21	85.61	5.7	149.3	18	17	10.13	8.50	37.1	31.2
<i>Schinus terebinthifolia</i>	94.44	2.69	65.08	5.7	101.8	18	17	6.40	5.89	23.5	21.6
<i>Melanoxylon brauna</i>						18	0	-	-	-	-
<i>Eremanthus erythropappus</i>	11.11	3.11	108.57	3.6	123.3	18	2	10.26	1.53	37.6	5.6
<i>Cassia grandis</i>	33.33	0.93	40.14	2.3	94.0	18	6	2.08	1.47	7.6	5.4
<i>Pachira glabra</i>	83.33	3.23	61.24	5.1	101.6	18	15	7.01	2.33	25.7	8.5
<i>Cedrela fissilis</i>	70.00	2.26	39.92	5.2	98.3	10	7	4.08	4.65	15.0	17.0
<i>Joannesia princeps</i>	25.00	1.47	58.93	2.4	100.3	16	4	2.84	1.81	10.4	6.6
<i>Peltophorum dubium</i>	94.12	4.23	120.04	5.7	159.2	17	16	17.33	9.96	63.5	36.5
<i>Senna macranthera</i>	18.75	3.55	107.14	5.0	152.1	16	3	12.01	2.47	44.1	9.1
<i>Schizolobium parahyba</i>	56.25	5.36	204.67	9.9	384.0	16	9	33.49	10.83	122.8	39.7
<i>Handroanthus serratifolius</i>	6.25	1.29	71.14	1.1	62.3	16	1	2.58	-	9.5	-
<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	20.00	1.33	49.64	2.8	97.8	15	3	3.82	3.03	14.0	11.1
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	21.43	0.49	29.36	1.0	48.8	14	3	0.61	0.20	2.2	0.7
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	42.86	1.56	64.43	2.9	124.7	14	6	3.16	1.73	11.6	6.3
<i>Cybistax antisiphilitica</i>	40.00	1.30	40.50	2.5	83.4	10	4	1.82	1.47	6.7	5.4
<i>Dalbergia nigra</i>	14.29	2.66	128.14	3.6	171.7	14	2	10.65	8.53	39.1	31.3
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	85.71	2.72	74.00	5.5	145.6	14	12	7.64	6.20	28.0	22.7
<i>Hymenaea courbaril</i>	50.00	1.52	64.33	3.0	124.6	14	7	3.02	1.40	11.1	5.1
<i>Ilex cerasifolia</i>	36.84	1.37	40.08	3.0	73.1	19	7	2.06	2.09	7.5	7.7

<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	100.00	2.38	75.14	4.6	104.0	10	10	6.52	6.08	23.9	22.3
<i>Gallesia integrifolia</i>	69.23	1.99	82.70	4.0	166.5	13	9	5.44	3.73	19.9	13.7
<i>Libidibia ferrea</i>	84.62	2.36	89.97	5.3	169.7	13	11	7.81	8.26	28.6	30.3
<i>Citharexylum myrianthum</i>	41.67	0.79	25.81	1.9	61.2	12	5	1.04	0.77	3.8	2.8
<i>Guarea guidonia</i>	27.27	1.01	29.52	1.8	58.1	11	3	1.07	0.90	3.9	3.3
<i>Lecythis pisonis</i>	30.77	1.27	53.21	2.3	93.2	13	4	2.18	1.30	8.0	4.8
<i>Clitoria fairchildiana</i>	72.73	4.02	89.75	7.3	172.8	11	8	12.87	6.49	47.2	23.8
Overall average	34.81	2.25	73.99	4.08	126.61	451	157	8.2	8.9	30.0	32.7

Scientific name	PS	μ DGL	μ H	Standard deviation (DGL)	Standard deviation (H)	Number of seedlings planted	Number of seedlings verified at 30 months	μ C	Standard deviation (C)	μ CO ₂	Standard deviation (CO ₂)
<i>Anadenanthera colubrina var. cebil</i>	93.33	5.3	1502.4	5.7	336.4	15	14	20.7	13.4	75.8	49.1
<i>Psidium cattleianum</i>	77.50	1.4	277.9	2.0	59.1	40	31	1.1	0.9	4.0	3.4
<i>Schinus terebinthifolia</i>	100.00	3.2	921.0	2.8	101.1	40	40	7.1	3.6	26.2	13.4
<i>Schinus molle</i>	97.50	2.0	617.6	1.7	88.5	40	39	3.1	1.7	11.3	6.3
<i>Cassia grandis</i>	93.75	4.0	920.0	10.7	145.7	16	15	9.5	11.4	34.7	42.0
<i>Pachira glabra</i>	100.00	5.1	749.8	2.6	98.5	40	40	10.7	5.4	39.4	20.0
<i>Cedrela fissilis</i>	93.33	4.3	507.3	3.5	82.3	15	14	6.5	2.6	23.9	9.7
<i>Copaifera langsdorffii</i>	73.33	1.8	832.3	2.3	163.0	15	11	3.3	1.2	12.2	4.3
<i>Joannesia princeps</i>	95.00	6.7	1732.6	4.6	202.9	40	38	28.3	8.3	103.9	30.3
<i>Peltophorum dubium</i>	93.33	4.9	1362.3	4.1	204.4	15	14	16.2	6.9	59.5	25.1
<i>Schizolobium parahyba</i>	90.00	6.5	2026.5	5.5	296.1	40	36	30.8	8.7	113.0	32.0
<i>Tabebuia roseoalba</i>	33.33	1.0	262.0	1.4	62.9	15	5	0.8	0.6	2.9	2.3
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	46.67	1.8	576.4	2.8	149.5	15	7	3.0	2.5	10.8	9.2
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	92.50	2.5	715.7	5.6	95.1	40	37	4.4	5.8	16.3	21.3
<i>Cybistax antisyphilitica</i>	92.50	2.9	678.9	3.4	169.5	40	37	5.7	7.8	21.0	28.6

<i>Dalbergia nigra</i>	77.50	3.3	1125.7	4.6	228.4	40	31	8.9	4.8	32.6	17.8
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	93.33	3.3	942.7	3.5	156.7	15	14	7.9	4.1	28.9	15.0
<i>Hymenaea courbaril</i>	86.67	2.4	1026.7	2.9	211.4	15	13	5.9	3.6	21.6	13.3
<i>Gallesia integrifolia</i>	93.33	3.9	1165.5	3.1	173.4	15	14	11.0	4.9	40.2	18.1
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	86.67	6.7	1846.2	6.8	290.7	15	13	29.7	10.0	109.0	36.7
<i>Citharexylum myrianthum</i>	70.73	2.6	677.6	3.7	185.2	41	29	5.1	4.6	18.6	17.0
<i>Sapindus saponaria</i>	93.33	1.1	384.3	1.1	72.1	15	14	1.0	0.7	3.8	2.5
<i>Cenostigma pluviosum</i>	80.00	3.3	858.1	3.8	163.1	15	12	7.0	3.1	25.7	11.4
<i>Chloroleucon tortum</i>	93.33	3.3	757.9	2.8	88.8	15	14	6.2	2.1	22.8	7.6
Overall average	86.93	3.46	936.14	3.79	159.36	612	532	10.49	11.02	38.45	40.4

Scientific name	PS	μ DGL	μ H	Standard deviation (DGL)	Standard deviation (H)	Number of seedlings planted	Number of seedlings verified at 18 months	μ C	Standard deviation (C)	μ CO ₂	Standard deviation (CO ₂)
<i>Albizia niopoides</i>	100.00	4.3	207.2	1.4	61.0	30	30	4.9	1.8	17.9	6.8
<i>Anadenanthera colubrina var. cebil</i>	96.67	3.0	149.4	2.0	84.8	30	29	2.6	1.7	9.4	6.3
<i>Schinus terebinthifolia</i>	97.92	4.7	190.7	2.5	88.1	48	47	5.0	2.3	18.3	8.6
<i>Clethra scabra</i>	90.00	3.0	199.0	1.9	131.7	30	27	2.9	2.1	10.5	7.6
<i>Copaifera langsdorffii</i>	90.00	1.4	83.2	0.7	54.0	30	27	0.7	0.5	2.6	1.8
<i>Joannesia princeps</i>	93.75	4.7	170.7	3.2	118.9	48	45	4.8	3.1	17.7	11.4
<i>Peltophorum dubium</i>	100.00	4.5	238.1	1.6	100.2	30	30	5.9	2.9	21.7	10.7
<i>Inga edulis</i>	93.75	3.8	202.0	2.3	125.9	48	45	4.0	2.7	14.7	9.8
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	83.33	2.3	128.8	1.9	97.9	30	25	1.5	1.4	5.4	5.1
<i>Hymenaea courbaril</i>	70.00	1.4	77.1	1.2	65.1	30	21	0.5	0.5	1.7	1.7
<i>Genipa americana</i>	76.67	1.4	50.1	1.5	63.5	30	23	0.5	0.7	1.7	2.4
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	95.83	5.1	281.5	3.0	148.2	48	46	7.4	4.4	27.1	16.0
<i>Pterocarpus violaceus</i>	86.67	2.1	110.5	1.6	80.5	30	26	1.1	0.9	4.1	3.3

<i>Sapindus saponaria</i>	100.00	1.5	75.8	0.7	42.6	48	48	0.7	0.4	2.4	1.4
<i>Plathymenia reticulata</i>	100.00	5.9	213.2	2.2	84.4	30	30	7.3	3.2	26.9	11.7
Overall average	92.41	3.27	158.49	1.84	89.78	540	499	3.5	3.3	12.8	12.3

Scientific name	PS	μ DGL	μ H	Standard deviation (DGL)	Standard deviation (H)	Number of seedlings planted	Number of seedlings verified at 15 months	μ C	Standard deviation (C)	μ CO ₂	Standard deviation (CO ₂)
<i>Schinus terebinthifolia</i>	97.14	5.14	194.1	2.5	94.2	35	34	4.1	2.5	15.0	9.3
<i>Plinia edulis</i>	74.29	1.47	29.8	2.9	17.9	35	26	0.2	0.5	0.8	1.8
<i>Pachira glabra</i>	100.00	7.12	124.7	1.5	47.9	35	35	4.1	1.6	14.9	5.8
<i>Peltophorum dubium</i>	94.29	4.65	204.2	2.1	95.4	35	33	3.8	2.2	13.9	8.2
<i>Schizolobium parahyba</i>	91.43	8.21	316.3	3.6	149.6	35	32	10.3	4.0	37.9	14.8
<i>Tabebuia roseoalba</i>	77.14	1.64	49.2	1.1	37.0	35	27	0.4	0.3	1.4	1.2
<i>Sapium glandulosum</i>	48.57	2.96	145.8	2.2	108.0	35	17	1.9	1.5	6.9	5.6
<i>Ceiba speciosa</i>	80.00	7.62	157.1	9.1	104.6	35	28	5.9	7.1	21.5	26.1
<i>Pleroma granulorum</i>	64.91	2.68	95.3	1.9	63.8	57	37	1.1	0.7	4.0	2.5
<i>Bixa orellana</i>	100.00	6.24	197.7	1.3	42.8	35	35	5.0	1.4	18.3	5.1
Overall average	81.72	4.77	151.44	2.81	76.13	372	304	3.8	4.1	14.1	14.9

Scientific name	PS	μ DGL	μ H	Standard deviation (DGL)	Standard deviation (H)	Number of seedlings planted	Number of seedlings verified at 6 months	μ C	Standard deviation (C)	μ CO ₂	Standard deviation (CO ₂)
<i>Anadenanthera colubrina var. cebil</i>	98.1	7.4	149.5	5.2	28.5	54	53	-	-	-	-
<i>Joannesia princeps</i>	96.3	26.5	274.5	10.6	35.7	54	52	-	-	-	-
<i>Peltophorum dubium</i>	100.0	27.7	238.1	42.7	26.5	54	54	-	-	-	-

<i>Inga edulis</i>	100.0	13.8	166.3	4.9	16.9	54	54	-	-	-	-
<i>Libidibia ferrea</i>	100.0	10.7	187.4	6.5	40.4	54	54	-	-	-	-
<i>Citharexylum myrianthum</i>	100.0	17.8	171.2	10.9	37.0	55	55	-	-	-	-
<i>Pleroma granulosum</i>	94.3	14.6	153.3	8.9	25.1	35	33	-	-	-	-
Overall average	98.61	16.92	191.49	12.82	30.02	360	355	-	-	-	-

Table S2- Bibliographic production influenced by the Zero Carbon Program.

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Monograph of graduation conclusion	Neutralização de carbono em sistemas agrícolas: quantificação das emissões de gases de efeito estufa em um campo experimental e estocagem de carbono em uma floresta adjacente no <i>Campus</i> da UFV	Eliana Boaventura Bernardes Moura Alves	ALVES, 2012	2012	ALVES, E. B. B. M. Neutralização de carbono em sistemas agrícolas: quantificação das emissões de gases de efeito estufa em um campo experimental e estocagem de carbono em uma floresta adjacente no Campus da UFV. 2012. Monografia – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.	Direct

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Monograph of graduation conclusion	Desenvolvimento de indicadores para inventário de Gases de Efeito Estufa de um evento e aprimoramento de um sistema para cálculo de balanço de carbono em propriedades rurais	Renato Francisco Faria Oliveira	OLIVEIRA, 2014	2014	OLIVEIRA, R. F. F. Desenvolvimento de indicadores para inventário de Gases de Efeito Estufa de um evento e aprimoramento de um sistema para cálculo de balanço de carbono em propriedades rurais. 2014. Monografia – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.	Direct
Monograph of graduation conclusion	Dinâmica do crescimento em carbono e potencial de compensação do componente arbóreo em sistemas agroflorestais no município de Viçosa – MG	Paulo Henrique Villanova	VILLANOVA, 2014	2014	VILLANOVA, P. H. Dinâmica do crescimento em carbono e potencial de compensação do componente arbóreo em sistemas agroflorestais no município de Viçosa – MG. 2014. Monografia – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Monograph of graduation conclusion	Avaliação de calculadoras de emissão de Gases de Efeito Estufa e de iniciativas de neutralização de carbono	Luana Bertollini de Jesus Silva	SILVA, 2015	2015	SILVA, L. B. J. Avaliação de calculadoras de emissão de Gases de Efeito Estufa e de iniciativas de neutralização de carbono. 2015. Monografia – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.	Indirect
Monograph of graduation conclusion	Caracterização florística e estocagem de carbono em árvores do <i>campus</i> -sede da Universidade Federal de Viçosa, no período de 2011 a 2014.	Valéria de Fátima Silva	SILVA, 2015	2015	SILVA, V. F. Caracterização florística e estocagem de carbono em árvores do <i>campus</i>-sede da Universidade Federal de Viçosa, no período de 2011 a 2014. 2015. Monografia – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Monograph of graduation conclusion	Uso de modelos estatísticos e redes neurais artificiais para estimar emissões de Gases de Efeito Estufa em Eventos	Mirza Lago Benzerra	BEZERRA, 2016	2016	BEZERRA, M. L. Uso de modelos estatísticos e redes neurais artificiais para estimar emissões de Gases de Efeito Estufa. 2016. Monografia – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016.	Direct
Monograph of graduation conclusion	Calculadoras de carbono: avaliação entre os sistemas de cálculo do Brasil e dos Estados Unidos	Angélica Bannwart Lopes	LOPES, 2016	2016	LOPES, A. B. Calculadoras de carbono: avaliação entre os sistemas de cálculo do brasil e dos Estados Unidos. 2016. Monografia – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016.	Indirect
Monograph of graduation conclusion	Aprimoramento da ferramenta de cálculo de emissões e remoções de gases de efeito estufa em propriedades rurais	Lauana Blenda Silva	SILVA, 2017	2017	SILVA, L. B. Aprimoramento da ferramenta de cálculo de emissões e remoções de gases de efeito estufa em propriedades rurais. 2017. Monografia – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.	Direct

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Monograph of graduation conclusion	Ataque de formigas cortadeiras como base para seleção de espécies arbóreas em plantios de neutralização de carbono	Mateus Comine Frades da Silva	SILVA, 2017	2017	SILVA, M. C. F. Ataque de formigas cortadeiras como base para seleção de espécies arbóreas em plantios de neutralização de carbono. 2017. Monografia – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.	Direct
Monograph of graduation conclusion	Avaliação de espécies florestais para plantio de neutralização de carbono, aos 51 meses de idade.	Josiane da Conceição Almeida	ALMEIDA, 2017	2017	ALMEIDA, J. C. Avaliação de espécies florestais para plantio de neutralização de carbono, aos 51 meses de idade. 2017. Monografia – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.	Direct
Monograph of graduation conclusion	Avaliação da qualidade de mudas de espécies florestais nativas	Isabella Salgado Faustino	FAUSTINO, 2018	2018	FAUSTINO, I. S. Avaliação da qualidade de mudas de espécies florestais nativas. 2018. Monografia – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2018.	Direct

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Monograph of graduation conclusion	Métodos de determinação de cobertura de copa e obtenção de parâmetros estruturais em plantio de restauração aos 17 meses de idade	Ângelo da Silva Araújo Filho	ARAÚJO FILHO, 2019	2019	FILHO, A. S. A. Métodos de determinação de cobertura de copa e obtenção de parâmetros estruturais em plantio de restauração aos 17 meses de idade. 2019. Monografia – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2019.	Direct
Monograph of graduation conclusion	Densidade da madeira de espécies florestais em plantios de neutralização de carbono aos 66 meses, Viçosa-MG	Matheus Pedro Carneiro Silva	SILVA, 2019	2019	SILVA, M. P. C. Densidade da madeira de espécies florestais em plantios de neutralização de carbono aos 66 meses, Viçosa-MG. 2019. Monografia – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2019.	Direct
Monograph of graduation conclusion	Sobrevivência, crescimento e estocagem de espécies florestais aos 8 anos de idade	Klisman Oliveira	OLIVEIRA, 2019	2019	OLIVEIRA, K. Sobrevivência, crescimento e estocagem de espécies florestais aos 8 anos de idade. 2019. Monografia – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2019.	Direct

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Master thesis	Análises técnica e econômica em projetos florestais na região de Viçosa, MG	Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres	TORRES, 2011	2011	TORRES, C. M. M. E. Análises técnica e econômica em projetos florestais na região de Viçosa, MG. 2011. 127p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.	Indirect
Master thesis	Estocagem e compensação de carbono pelas árvores do <i>campus</i> -sede da Universidade Federal de Viçosa	Daniel Brianézi	BRIANÉZI, 2012	2011	BRIANÉZI, D. M. Sc. Estocagem e compensação de carbono pelas árvores do campus-sede da Universidade Federal de Viçosa. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2012.	Direct

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Master thesis	Mudanças climáticas: percepção do produtor, balanço de carbono em propriedades rurais e neutralização de evento da Universidade Federal de Viçosa	Eliana Boaventura Bernardes Moura Alves	ALVES, 2014	2014	ALVES, E. B. B. M. Mudanças climáticas: percepção do produtor, balanço de carbono em propriedades rurais e neutralização de evento da Universidade Federal de Viçosa. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2014.	Direct
Master thesis	Balanço de carbono e viabilidade econômica de um sistema silvipastoril com pecuária leiteira, em Visconde do Rio Branco, MG	Bruno Leão Said Schettini	SCHETTINI, 2017	2017	SCHETTINI, B. L. S. Balanço de carbono e viabilidade econômica de um sistema silvipastoril com pecuária leiteira, em Visconde do Rio Branco, MG. 2017. 65p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Master thesis	Necromassa, dinâmica e prognose do estoque de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, Minas Gerais	Paulo Henrique Villanova	VILLANOVA, 2017	2017	VILLANOVA, P. H. Necromassa, dinâmica e prognose do estoque de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, Minas Gerais. 2017. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.	Indirect
Master thesis	Efeito da seca na dinâmica de carbono em Floresta Estacional Semidecidual, Viçosa, Minas Gerais	Samuel José Silva Soares da Rocha	DA ROCHA, 2017	2017	DA ROCHA, S. J. S. S. Efeito da seca na dinâmica de carbono em Floresta Estacional Semidecidual, Viçosa, Minas Gerais. 2017. 63f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2017.	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Master thesis	Avaliação de plantios florestais para neutralização de carbono em Viçosa – MG	Vicente Toledo Machado de Morais Júnior	MORAIS JUNIOR, 2017	2017	MORAIS JUNIOR, V. T. M. Avaliação de plantios florestais para neutralização de carbono em Viçosa – MG. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017.	Direct
Master thesis	Neutralização de carbono: adaptabilidade e desenvolvimento de espécies florestais no ambiente urbano	Valéria de Fátima Silva	SILVA, 2019	2019	SILVA, V. F. Neutralização de carbono: adaptabilidade e desenvolvimento de espécies florestais no ambiente urbano. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2019.	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
PhD thesis	Balanço de gases de efeito estufa em propriedades rurais: método e aplicações	Daniel Brianézi	BRIANÉZI, 2015	2015	BRIANÉZI, D. M. Sc. Balanço de gases de efeito estufa em propriedades rurais: método e aplicações. 2015. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015.	Direct
PhD thesis	Estocagem de carbono e inventário de gases de efeito estufa em sistemas agroflorestais, em Viçosa, MG	Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres	TORRES, 2015	2015	TORRES, C. M. M. E. Estocagem de carbono e inventário de gases de efeito estufa em sistemas agroflorestais, em Viçosa, MG. 2015. 83p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
PhD thesis	Inventário e neutralização de emissões de gases de efeito estufa: avaliação e desenvolvimento de software de cálculo.	Eliana Boaventura Bernardes Moura Alves	ALVES, 2018	2018	ALVES, E. B. B. M. Inventário e neutralização de emissões de gases de efeito estufa: avaliação e desenvolvimento de software de cálculo. 2018. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018.	Direct
Article	Estoque de biomassa e de carbono de <i>Jatropha curcas</i> L.	Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres	TORRES, et al., 2011	2011	TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; TOLEDO, D. D. P.; SOARES, C. P. B.; RIBEIRO, S. C.; MARTINS, M. C. Estoque de biomassa e de carbono de <i>Jatropha curcas</i> L. Cerne , v. 17, n. 3, p. 353-359, 2011. (DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602011000300009)	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Article	Equação de biomassa e estoque de carbono do pinhão manso, no município de Viçosa, MG	Diego de Paula Toledo	TOLEDO, et al., 2012	2012	TOLEDO, D. D. P.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; SOARES, C. P. B. Equação de biomassa e estoque de carbono do pinhão manso, no município de Viçosa, MG. Ciência Rural , v. 42, n. 11, p. 1998-2004, 2012. (DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012005000086)	Indirect
Article	Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa, MG	Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres	TORRES, et al., 2013	2014	TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; DE OLIVEIRA NETO, S. N.; SANTOS, R. D.; CASTRO NETO, F. Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma floresta estacional semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa, MG. Revista Árvore , v. 37, n. 4, p. 647-655, 2013. (DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000400008)	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Article	Sistemas Agroflorestais no Brasil: Uma abordagem sobre a estocagem de carbono	Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres	TORRES, et al., 2014	2014	TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; DE OLIVEIRA NETO, S. N.; BRIANEZI, D.; ALVES, E. B. B. M. Sistemas Agroflorestais no Brasil: Uma abordagem sobre a estocagem de carbono. Pesquisa Florestal Brasileira , v. 34, n. 79, p. 235-244, 2014. DOI: (https://doi.org/10.4336/2014.pfb.34.79.633)	Indirect
Article	Balanço de emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa no campus da Universidade Federal de Viçosa.	Daniel Brianézi	BRIANÉZI et al., 2014	2014	BRIANEZI, D.; JACOVINE, L.A.G.; SOARES, C. P. B.; GONÇALVES, W.; ROCHA, S. J. S. S. Balanço de emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa no campus da Universidade Federal de Viçosa. <i>Floresta e Ambiente</i> , v. 21, n. 2, p. 182-191, 2014. (DOI: http://dx.doi.org/10.4322/floram.2014.017)	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Article	Quantification of greenhouse gas emissions for carbon neutral farming in the Southeastern USA	Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres	TORRES; KOHMANN; FRAISSE, 2015	2015	TORRES, C. M. E.; KOHMANN, M. M.; FRAISSE, C. W. Quantification of greenhouse gas emissions for carbon neutral farming in the Southeastern USA. Agricultural Systems , v. 137, p. 64-75, 2015. (DOI: https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.03.002)	Indirect
Article	Sobrevivência e desenvolvimento de espécies nativas em plantio de recuperação da Mata Atlântica aos vinte meses de idade em Viçosa, Minas Gerais	Vicente Toledo Machado de Morais Júnior	MORAIS JUNIOR et al., 2016	2016	MORAIS JUNIOR, V. T. M.; ROCHA, S. J. S. S.; COMINI, I. B.; ALVES, E. B. B. M.; JACOVINE, L. A. G. Sobrevivência e desenvolvimento de espécies nativas em plantio de recuperação da Mata Atlântica aos vinte meses de idade em Viçosa, Minas Gerais. <i>Enciclopédia Biosfera</i> , v. 13, p. 1251-1261, 2016. (DOI: 10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2016_110)	Direct

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Article	Initial behavior of arbor species in different locations of the terrain in neutralization plants	Vicente Toledo Machado de Moraes Júnior	MORAIS JUNIOR et al., 2017	2017	MORAIS JUNIOR, V. T. M.; ALVES, E. B. B. M.; JACOVINE, L. A. G; RUFINO, M. P. M. X.; SANTOS, T. B.; SILVA, L. B. Initial behavior of arbor species in different locations of the terrain in neutralization plants. NATIVA, v. 5, p. 101-106, 2017. (DOI: 10.31413/nativa.v5i2.4472)	Direct
Article	Balanço de carbono em três sistemas silvipastoril no Sudeste do Brasil	Samuel José Silva Soares da Rocha	DA ROCHA; SCHETTINI; ALVES, 2017	2017	DA ROCHA, S. J. S. S.; SCHETTINI, B. L. S.; ALVES, E. B. B. M. Balanço de carbono em três sistemas silvipastoril no Sudeste do Brasil. Revista Espacios , v.38, n.39, 2017. (DOI: https://www.revistaespacios.com/a17v38n39/a17v38n39p33.pdf)	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Article	Estocagem de carbono em Sistemas Silvopastoris com diferentes arranjos e materiais genéticos	Bruno Leão Said Schettini	SCHETTINI, et al., 2017	2017	SCHETTINI, B. L. S.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; DE OLIVEIRA NETO, S. N.; DA ROCHA, S. J. S. S.; ALVES, E. B. B. M.; VILLANOVA, P. H. Estocagem de carbono em Sistemas Silvopastoris com diferentes arranjos e materiais genéticos. Advances in Forestry Science , v. 4, n. 4, p. 175-179, 2017.(DOI: 10.34062/afs.v4i4.5042)	Indirect
Article	Greenhouse gas emissions and carbon sequestration by agroforestry systems in southeastern Brazil	Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres	TORRES et al., 2017	2017	TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; DE OLIVERA NETO, S. N.; FRAISSE, C. W.; SOARES, C. P. B.; DE CASTRO NETO, F.; FERREIRA, L. R.; ZANUNCIO, J. C.; LEMES, P. G. Greenhouse gas emissions and carbon sequestration by agroforestry systems in southeastern Brazil. Scientific Reports , v. 7, n. 1, p. 1-7, 2017. (DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-017-16821-4)	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Article	Phytosociological Analysis and Importance Value in Terms of Carbon in a Seasonal Semideciduous Forest	Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres	TORRES, et al., 2017	2017	TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; DE OLIVEIRA NETO, S. N.; SOUZA, A. L. D.; CAMPOS, R. A.; SCHETTINI, B. L. S. Phytosociological Analysis and Importance Value in Terms of Carbon in a Seasonal Semideciduous Forest. Floresta e Ambiente , v. 24, 2017. (DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.099714)	Indirect
Article	As mudanças climáticas e a produção agropecuária: percepção dos produtores rurais da região da Zona da Mata Mineira, Brasil	Eliana Boaventura Bernardes Moura Alves	ALVES et al., 2017	2017	ALVES, E. B. B. M.; JACOVINE, L. A. G.; LIMA, G. S.; BONTEMPO, G. C.; TORRES, C. M. M. E. As mudanças climáticas e a produção agropecuária: percepção dos produtores rurais da região da Zona da Mata Mineira, Brasil. Revista Espácios , v.38, p.24, 2017 (DOI: http://www.revistaespacios.com/a17v38n18/a17v38n18p24.pdf).	Direct

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Article	Balanço de carbono–viabilidade econômica de dois sistemas agroflorestais em Viçosa, MG	Fernando de Castro Neto	CASTRO NETO et al., 2017	2017	CASTRO NETO, F. D.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; DE OLIVEIRA NETO, S. N.; CASTRO, M. M. D.; VILLANOVA, P. H.; FERREIRA, G. L. Balanço de carbono–viabilidade econômica de dois sistemas agroflorestais em Viçosa, MG. Floresta e Ambiente , v. 24, 2017 (DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.092114).	Indirect
Article	Influence of interspecific variation on tree carbon stock of a Brazilian Cerrado	Sabina Cerruto Ribeiro	RIBEIRO et al., 2018	2018	RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; SOUZA, A. L. Influence of interspecific variation on tree carbon stock of a Brazilian Cerrado. Revista Árvore , v.41 n.5, 2018 (DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882017000500006).	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Article	Accumulation of carbon and age of thinning of the tree component in agroforestry systems	Paulo Henrique Villanova	VILLANOVA et al., 2018	2018	VILLANOVA, P. H.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; ALVES, E. B. B. M.; DE OLIVEIRA NETO, S. N.; LEITE, H. G.; SCHETTINI, B. L. S.; DA ROCHA, S. J. S. S. Accumulation of carbon and age of thinning of the tree component in agroforestry systems. Brazilian Journal of Agricultural Sciences , v. 13, n. 2, 2018 (DOI: 10.5039/agraria.v13i2a5526).	Indirect
Article	Prognosis of the diameter distribution and carbon stock in a Secondary Atlantic Forest by Markov Chain	Paulo Henrique Villanova	VILLANOVA et al., 2018	2018	VILLANOVA, P. H.; TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; SILVA, L. F. D.; SCHETTINI, B. L. S.; DA ROCHA, S. J. S. S. D. Prognosis of the diameter distribution and carbon stock in a Secondary Atlantic Forest by Markov Chain. Revista Árvore , v.42 n.2, 2018 (DOI: https://doi.org/10.1590/1806-90882018000200008).	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Article	Efeito do fogo na estrutura e estocagem de carbono de um fragmento florestal da mata atlântica	Bruno Leão Said Schettini	SCHETTINI et al., 2019	2019	SCHETTINI, B. L. S.; TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; VILLANOVA P. H.; DA ROCHA, S. J. S. S.; RUFINO, M. P. M. X.; TORRES, F. T. P. Efeito do fogo na estrutura e estocagem de carbono de um fragmento florestal da mata Atlântica. Nativa , v. 7 n. 3 p. 306-311, 2019 (DOI: http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i3.6913).	Indirect
Article	Balanço de carbono em monocultivo de eucalipto com diferentes arranjos espaciais	Daniel Brianezi	BRIANEZI et al., 2019	2019	BRIANEZI, D.; JACOVINE, L. A. G.; SCHETTINI, B. L. S.; TORRES, C. M. M. E.; DA ROCHA, S. J. S. S.; VILLANOVA, P. H.; DE OLIVEIRA NETO, S. N. Balanço de carbono em monocultivo de eucalipto com diferentes arranjos espaciais. Revista brasileira de agropecuária sustentável , v. 9, n. 1, 2019 (DOI: https://doi.org/10.21206/rbas.v9i1.3056).	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Article	Efeito da borda na estrutura e estoque de carbono de uma Floresta Estacional Semidecidual	Samuel José Silva Soares da Rocha	DA ROCHA et al., 2019	2019	DA ROCHA, S. J. S. S.; TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; SCHETTINI, B. L. S.; VILLANOVA, P. H.; RUFINO, M. P. M. X.; VIANA, Á. B. T. Efeito da borda na estrutura e estoque de carbono de uma Floresta Estacional Semidecidual. Advances in Forestry Science , v. 6, n. 2, p. 639-643, 2019 (DOI: 10.34062/afs.v6i2.7635).	Indirect
Article	Necromass Carbon Stock in a Secondary Atlantic Forest Fragment in Brazil	Paulo Henrique Villanova	VILLANOVA et al., 2019	2019	VILLANOVA, P. H.; TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; DA SILVA, L. F.; SCHETTINI, B. L. S.; DA ROCHA, S. J. F.; ZANUNCIO, J. C. Necromass Carbon Stock in a Secondary Atlantic Forest Fragment in Brazil. Forests , v. 10, n. 10, p. 833, 2019 (DOI: https://doi.org/10.3390/f10100833).	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Article	Carbon stock growth in a Secondary Atlantic Forest	Paulo Henrique Villanova	VILLANOVA et al., 2019	2019	VILLANOVA, P. H.; TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; SILVA, L. F. D.; SCHETTINI, B. L. S.; ROCHA, S. J. S. S. D. Carbon stock growth in a Secondary Atlantic Forest. Revista Árvore , v. 43, n. 4, 2019 (DOI: https://doi.org/10.1590/1806-90882019000400002).	Indirect
Article	Growth, Biomass and Carbon Stocks in Forest Cover Planted in an Area of Bauxite Mining in Rehabilitation	Fernanda Daniele de Almeida Valente	VALENTE et al., 2019	2019	VALENTE, F. D. D. A.; CASTRO, M. F. D.; TORRES, C. M. M. E.; NEVES, J. C. L.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, T. S. Growth, Biomass and Carbon Stocks in Forest Cover Planted in an Area of Bauxite Mining in Rehabilitation. Revista Brasileira de Ciência do Solo , v. 43, 2019 (DOI: https://doi.org/10.1590/18069657rbc20180212).	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Article	Potential of carbon storage in silvopastoral systems in Brazil	Bruno Leão Said Schettini	SCHETTINI et al., 2019	2019	SCHETTINI, B. L. S.; JACOVINE, L. A. G.; DE OLIVEIRA NETO, S. N.; TORRES, C. M. M. E.; VILLANOVA, P. H.; DA ROCHA, S. J. S. S.; RUFINO, M. P. M. X.; COMINI, I. B. Potential of carbon storage in silvopastoral systems in Brazil. Brazilian Journal of Development , v. 5, n. 11, p. 27659-27671, 2019 (DOI: 10.34117/bjdv5n11-364).	Indirect
Article	Early assessment of tree species with potential for carbon offset plantations in degraded area from the southeastern Brazil	Vicente Toledo Machado de Morais Júnior	MORAIS JUNIOR et al., 2019	2019	MORAIS JUNIOR, V. T. M.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; ALVES, E. B. B. M.; PAIVA, H. N.; CRUZ, R. A. D. L.; ZANUNCIO, J. C. Early assessment of tree species with potential for carbon offset plantations in degraded area from the southeastern Brazil. ECOLOGICAL INDICATORS , v. 98, p. 854-860, 2019 (DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.004).	Direct

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Article	Brazilian carbon footprint calculators: comparative approaches and implications of using these tools.	Eliana Boaventura Bernardes Moura Alves	ALVES et al., 2020	2020	ALVES, E. B. B. M; JACOVINE, L. A. G. ; SILVA, L. B. ; MORAIS JUNIOR, V. T. M. ; ROCHA, S. J. S. S. ; VILLANOVA, P. H. ; SCHETTINI, B. L. S. Brazilian carbon footprint calculators: comparative approaches and implications of using these tools. Carbon Management , 2020. (DOI: https://doi.org/10.1080/17583004.2020.1809293)	Indirect
Article	Drought effects on carbon dynamics of trees in a secondary Atlantic Forest	Samuel José Silva Soares da Rocha	DA ROCHA et al., 2020	2020	DA ROCHA, S. J. S. S.; TORRES, C. M. M. E.; VILLANOVA, P. H.; SCHETTINI, B. L. S.; JACOVINE, L. A. G.; LEITE, H. G.; GELCER, E. M.; REIS, L. P.; NEVES, K. M.; COMINI, I. B.; DA SILVA, L. F. Drought effects on carbon dynamics of trees in a secondary Atlantic Forest. Forest Ecology and Management , v. 465, p. 118097, 2020 (DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118097).	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Article	Allometric Equations for Volume, Biomass, and Carbon in Commercial Stems Harvested in a Managed Forest in the Southwestern Amazon: A Case Study	Flora Magdaline Benitez Romero	ROMERO et al., 2020	2020	ROMERO, F.M.B.; JACOVINE, L.A.G.; RIBEIRO, S.C.; TORRES, C.M.M.E.; SILVA, L.F.; GASPAR, R.O.; ROCHA, S.J.S.S.; STAUDHAMMER, C.L.; FEARNESIDE, P.M. Allometric Equations for Volume, Biomass, and Carbon in Commercial Stems Harvested in a Managed Forest in the Southwestern Amazon: A Case Study. Forests , v. 11, n. 8, p. 874, 2020 (DOI: https://doi.org/10.3390/f11080874).	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Article	Growth and survival of potential tree species for carbon-offset in degraded areas from southeast Brazil.	Vicente Toledo Machado de Morais Júnior	MORAIS JUNIOR et al., 2020	2020	MORAIS JUNIOR, V. T. M.; JACOVINE, L. A. G.; ALVES, E. B. B. M.; TORRES, C. M. M. E.; FAUSTINO, I. S. ; FRANÇA, L. C. J; ROCHA, S. J. S. S.; SIMIQUELI, G. F.; SILVA, L. B.; CRUZ R. A-D L. Growth and survival of potential tree species for carbon-offset in degraded areas from southeast Brazil. ECOLOGICAL INDICATORS , v. 117, p. 106514, 2020 DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106514).	Direct

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Article	Performance of Five Native Atlantic Forest Species Planted in Containers of Different Size for Restoring Degraded Areas in Minas Gerais	Vicente Toledo Machado de Morais Júnior	MORAIS JUNIOR et al., 2020	2020	MORAIS JUNIOR, V.T.M.M.; JACOVINE, L.A.G.; OLIVEIRA, K.; ALBUQUERQUE, T.P.; FAUSTINO, I.S.; SILVA, L.B.; ALVES, E.B.B.M.; TORRES, C.M.M.E.; DE PAIVA, H.N.; CRUZ, R.A.-D. Performance of Five Native Atlantic Forest Species Planted in Containers of Different Size for Restoring Degraded Areas in Minas Gerais. <i>Forests</i> , 11, 937, 2020 (DOI: https://doi.org/10.3390/f11090937).	Direct
Book chapter	Inventário e neutralização de gases de efeito estufa em organizações	Eliana Boaventura Bernardes Moura Alves	Alves et al., 2015	2015	ALVES, E. B. B. M.; TORRES, C. M. M. E.; BRIANEZI, D.; JACOVINE, L. A. G. Inventário e neutralização de gases de efeito estufa em organizações. In: Ricardo Ribeiro Alves. (Org.). Sustentabilidade Ambiental e Responsabilidade Social: Aplicação prática em diversos contextos. 1ed.Jundiaí: Paco Editorial, 2015, v. 6, p. 41-60.	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Article	Greenhouse gases inventory and carbon balance of two dairy systems obtained from two methane-estimation methods	Camila Soares Cunha	CUNHA et al., 2016	2016	Cunha, C. S., Lopes, N. L., Veloso, C. M., Jacovine, L. A. G., Tomich, T. R., Pereira, L. G. R., & Marcondes, M. I. (2016). Greenhouse gases inventory and carbon balance of two dairy systems obtained from two methane-estimation methods. <i>Science of the Total Environment</i> , 571, 744-754.	Indirect
Monograph of graduation conclusion	Dinâmica de carbono em uma floresta estacional semidecidual no parque tecnológico de Viçosa-MG	Gabriel Barbosa de Barros	BARROS, 2016	2016	Barros, G.B. Dinâmica de carbono em uma floresta estacional semidecidual no parque tecnológico de Viçosa-MG. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Monograph of graduation conclusion	Estocagem de carbono em diferentes materiais genéticos de eucalipto no município de Viçosa	Alexandre Molino Folgli	FOGLI, 2016	2016	Fogli, A.M. Estocagem de carbono em diferentes materiais genéticos de eucalipto no município de Viçosa, Minas Gerais, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.	Indirect
Monograph of graduation conclusion	Estoque médio de carbono em pasto de sistemas agroflorestais, Viçosa, MG	Mateus Matos de Castro	CASTRO, 2014	2014	Castro, M.M. Estoque médio de carbono em pasto de sistemas agroflorestais, Viçosa, MG.. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Monograph of graduation conclusion	Quantificação do estoque de carbono com base na densidade da madeira de um fragmento de cerrado <i>sensu stricto</i> na região de Curvelo, MG	Raul Duarte Santos	SANTOS, 2012	2012	Santos, R.D. Quantificação do estoque de carbono com base na densidade da madeira de um fragmento de cerrado <i>sensu stricto</i> na região de Curvelo, MG. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.	Indirect
Monograph of graduation conclusion	Quantificação do estoque de carbono em área de de recomposição com espécies nativas no Sul da Bahia	Eduarda Gabriela Santos Cunha	CUNHA, 2012	2012	Cunha,E.G.S. Quantificação do estoque de carbono em área de de recomposição com espécies nativas no Sul da Bahia. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.	Indirect

Type of study	Original Title	First author	Citation	Publication year	Bibliographical Reference	Relationship with the Carbono Zero Program - UFV
Monograph of graduation conclusion	Elaboração de metodologia para quantificação de emissões de gases de efeito estufa no campus da Universidade Federal de Viçosa	Nathália Lima Lopes	LOPES, 2011	2011	Lopes,N.L. Elaboração de metodologia para quantificação de emissões de gases de efeito estufa no campus da Universidade Federal de Viçosa.. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.	Indirect
Monograph of graduation conclusion	Estoque e incremento de carbono em florestas nativas do Brasil: Base para elaboração de projetos de compensação de emissões de gases de efeito estufa	Aline Pontes Lopes	LOPES, 2011	2011	Lopes, A.P. Estoque e incremento de carbono em florestas nativas do Brasil: Base para elaboração de projetos de compensação de emissões de gases de efeito estufa. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.	Indirect

Table S3- Events in which the Carbon Zero Program acted to raise awareness in society.

Year	Original event name	Date of the event	Event duration (days)	Total event duration (hours)
2014	X Semana Acadêmica da Engenharia Civil	April 1 st to 4 th , 2014	4	16
	I Simpósio Nacional Sobre Produção de Sementes e Mudanças (NATIVAS)	May 7 th to 9 th , 2014	3	15
	III Simpósio Nacional de Áreas Protegidas (SNAP)	May 28 th to 30 th , 2014	3	21
	V Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil	October 13 th to 18 th , 2014	5	50
	II Simpósio Florestal Sul Mato Grossense (II SimFlor) e o I Simpósio Brasileiro Florestal (I SimBraf)	September 23 rd to 27 th , 2014	5	40
	Cup of Excellence 2014	September 8 th to October 17 th , 2014	40	35
	IX InternEJ	October 31 st to November 2 nd , 2014	3	25,5
	Carreiras 2014	November 3 rd to 5 th , 2014	3	9
2015	Simposio Matas de Minas (Manhuaçu)	March 17 th to 20 th , 2015	4	28
	X Semana Acadêmica de Engenharia Florestal	June 10 th to 12 th , 2015	3	36
	II AgroCampo	June 13 th , 2015	1	4
	Simpósio Internacional de Entomologia	August 10 th to 15 th , 2015	6	54,5
	XI Semana Acadêmica da Engenharia Civil	August 17 th to 21 st , 2015	5	50
	INTERNEJ	unregistered date	3	30
	II Workshop de Biotecnologia: Ciência e Mercado de Trabalho	November 4 th to 6 th , 2015	3	12
	Semana Acadêmica de Zootecnia - 2015	November 11 th to 14 th , 2015	4	16
Troca de Gestão CECCO - 2015	July 2 nd , 2015	1	4	
2016	I SIAPAS V SIMCRA	June 7 th to 10 th , 2016	4	28,5
	Troca de Gestão CECCO - 2016	June 29 th , 2016	1	2

	XI Semana Acadêmica de Engenharia Florestal	August 9 th to 12 th , 2016	4	42
	CARRERAS 2016	August 31 st to September 2 nd , 2016	3	36
	VIII SAMEV	October 31 st to November 4 th , 2016	5	35
2017	V Curso de Calouros - PET	March 14 th to 16 th , 2017	3	7,5
	I Simpósio de Microbiologia da UFV	April 26 th to 28 th , 2017	3	10,5
	Semana Florestal	September 19 th to 23 rd , 2017	5	26
2019	XIX Sudeste PET 2019	March 29 th to April 1 st , 2019	4	45
	III Fórum Municipal Lixo Zero Guarulhos	May 24 th to 25 th , 2019	2	16
	28ª Festa do Sanfoneiro	August 30 th to September 1 st , 2019	3	24

CAPÍTULO III: Restauração florestal em larga-escala em Minas Gerais: Potenciais mecanismos e instrumentos financiadores e mapeamento de Áreas conflitantes

Restauração Florestal em larga escala em Minas Gerais: Potenciais Mecanismos e Instrumentos Financiadores e Mapeamento de Áreas Conflitantes.

Resumo A restauração florestal aliada à mitigação das mudanças climáticas têm despertado grande preocupação de diversos *stakeholders*. Os compromissos ambientais mundiais assumidos pelo Brasil, mais especificamente o estado de Minas Gerais, necessita de elevados investimentos financeiros para alcance das metas globais assumidas no Acordo de Paris e Convenção da Diversidade Biológica (CDB). Aliado a isso, Minas Gerais possui uma área considerável de áreas protegidas pela Legislação de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN) que está em desconformidade e que, portanto, deverão ser restauradas nos próximos 20 anos. No entanto, os mecanismos e instrumentos financeiros para subsídio desse segmento carece de alternativas e planejamento estratégico em longo prazo. Diante disso, o objetivo desse estudo foi mapear e quantificar as áreas em desconformidade com LPVN. Em uma outra perspectiva avaliou-se também os recursos financeiros atuais disponíveis no estado que possuem conexão com a restauração florestal. Dessa forma, procedeu-se com um levantamento de potenciais mecanismos/instrumentos financeiros que permita obter recursos disponíveis para a restauração florestal; já os custos associados à restauração das áreas foi calculado através da área em desconformidade com LPVN levantada nesse estudo e com o cruzamento do custo por hectare disponível na literatura bibliográfica. A hipótese principal é que os recursos financeiros podem representar uma fonte expressiva de subsídio à restauração florestal em larga-escala no estado. Esse estudo demonstrou que Minas Gerais possui um passivo ambiental de 3,7 Mha e que deverão ser restaurados nos próximos 20 anos. As áreas de Proteção com maiores áreas em desconformidade, são as Área de Reserva Legal (RL) (2,2 Mha) e Preservação Permanente de cursos d'água (APP's-a) (1,3 Mha). A regularização de todo o passivo florestal de Minas Gerais pode necessitar um investimento de 2 bilhões de dólares em 20 anos. Os mecanismos/instrumentos financeiros avaliados serão capazes de gerar 1,8 bilhões de dólares em receitas para os próximos 20 anos, o que pode cobrir 90% dos investimentos necessários para adequação ambiental das propriedades rurais à LPVN do Estado. Os resultados desse estudo, fornece a dimensão de área e recursos necessários para alcance de metas internacionais relacionadas a restauração florestal no estado de Minas Gerais, Brasil.

Palavras-chave: Código Florestal; ICMS ecológico; carbono florestal; geoprocessamento; financiamento da restauração florestal.

1. Introdução

A restauração florestal tem ganhado destaque nos últimos anos no Brasil, principalmente, em função de compromissos internacionais firmados e também da readequação recente da Legislação de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN) vigente no país. Entre os compromissos internacionais de maiores destaques citam-se: As metas de Aichi estabelecidas em 2010 na X Conferência Partes da Convenção de Diversidade Biológica (CDB) que estabeleceu que até 2020 os países deveriam recuperar 15% dos ecossistemas degradados, visando contribuir para a biodiversidade e mitigação das mudanças climáticas (Ministério do Meio Ambiente, 2013; MMA, 2017). Infelizmente muitos dos objetivos traçados nessa convenção não foram alcançados nos países signatários (DelCastillo, 2021); Declaração conjunta com os Estados Unidos para ampliar os investimentos públicos e privados para a restauração florestal (Ministério das Relações Exteriores, 2015); As metas ratificadas no âmbito da contribuição Determinada (NDC's) assumidas no Acordo de Paris, entre elas, a restauração florestal de 12 milhões de hectares e eliminação integral do desmatamento ilegal na Amazônia até 2030 (Brasil, 2015).

No âmbito da legislação florestal ainda há diversas opiniões científicas. O debate sobre a consistência das alterações da lei ainda é recorrente e parece não haver um consenso sobre a efetividade das medidas de proteção ambiental adotadas atualmente (Soares-Filho et al., 2014; Rajão e Soares-Filho, 2015; Brancalion, et al., 2016; Biggs et al., 2019; Stabile et al., 2020). No entanto, é preciso reconhecer que após as alterações da LPVN, a restauração florestal ganhou força e o debate ambiental tem culminado na evolução dos mecanismos relacionados à aplicação da gestão ambiental e, também, proporcionado o surgimento de novas pesquisas científicas especializada nesse assunto (Jung et al., 2017; Viani et al., 2017; Roitman et al., 2018; Guerra et al., 2020; Zanini et al., 2021; Turchetto et al., 2021; Siqueira et al., 2021), mesmo diante de um cenário de instabilidade nas políticas ambientais no país (Escobar et al., 2019; Pereira et al., 2020).

Uma outra evidência importante que demonstra o comprometimento nacional com as políticas ambientais, mais especificamente à Restauração Florestal, refere-se à criação recentemente da Política Nacional da Recuperação da Vegetação Nativa (PROVEG) e, como instrumento auxiliador da implementação desta política, foi criado o Plano Nacional de Recuperação de Vegetação Nativa (PLANAVEG) (Brasil, 2017; Planaveg, 2017). Para essa política um dos eixos principais estabelecidos é o fortalecimento da carteira de mecanismos

de financiamento em longo prazo para a recuperação da vegetação nativa (Silva et al., 2016). Portanto, para atendimento das metas ambiciosas estabelecidas pelo Brasil será necessária a criação e o desenvolvimento de mecanismos financeiros capazes de promover incentivos que venham a cobrir os altos custos da restauração florestal (Rodrigues et al., 2009; Chazdon e Uriarte, 2016). É importante ressaltar que o alcance dos objetivos a longo prazo, requer a compreensão de que muitos investimentos serão internalizados posteriormente, com a potencialização de cobenefícios ambientais, como: manutenção da biodiversidade, melhoria dos recursos hídricos, redução de processos de degradação dos solos, melhoria da paisagem e aumento da remoção de carbono da atmosfera (Alves-Pinto et al., 2017; Nunes et al., 2017; Molim et al., 2018; Morais Junior et al., 2020; Niemeyer et al., 2020).

Nesse contexto, o estado de Minas Gerais no sudeste brasileiro assume grande importância na restauração florestal no Brasil. Estima-se que o estado precisará de dispender muitos esforços para restaurar aproximadamente 2 Milhões de hectares de terras nos próximos anos para cumprir a LPVN (Soares-Filho et al., 2016; Nunes et al., 2017). Além disso, evidências recentes demonstraram que Minas Gerais possui a maior área desmatada da Mata Atlântica no Brasil nos dois últimos anos (SOS Mata Atlântica, 2021).

Outro fator que colabora para o enfoque da restauração florestal em Minas Gerais está associado aos grandes impactos ambientais ocorridos, decorrentes de acidentes ambientais por empresas privadas mineradoras nos últimos 5 anos (Carmo et al., 2017; Pires et al., 2017; Rotta et al., 2020).

Além disso, o estado de Minas Gerais possui uma expressiva representação do setor de agropecuária na geração de riquezas anuais. Por exemplo, em Minas Gerais, o Valor Adicionado Bruto (VAB) da atividade agropecuária representou 4,9% do Produto Interno Bruto (PIB) de Minas Gerais em 2010, passando para 6,1% no ano de 2016 (IBGE, 2017). Dada a importância deste setor no Estado, é necessário conciliar as demandas atuais da restauração florestal com a produção agropecuária do estado (IBGE, 2017).

Alguns importantes mecanismos de repasses financeiros para a sociedade relacionados ao meio ambiente tem potencial de fornecer recursos de financiamento para a restauração florestal no estado e, também, para o provimento de recursos financeiros conforme estabelecido na Proveg e na LPVN (Brasil 2012b; Brasil 2017; Rocha et al., 2019; Richards et al., 2015; Young et al., 2021; Brancalion et al., 2012).

O objetivo principal deste estudo é mapear as áreas em conflitos de terra pela LPVN e também identificar os potenciais mecanismos e instrumentos financiadores da restauração

florestal em larga escala em Minas Gerais no sudeste brasileiro. A hipótese principal do estudo é que alguns mecanismos financeiros implementados ou com tendência de implementação em Minas Gerais, possam contribuir significativamente para alavancar recursos financeiros para a restauração florestal no estado, e conseqüentemente, servir de modelo para subsidiar estratégias políticas e ambientais que promovam a restauração florestal no Brasil e em outras localidades do mundo.

2. Material e Métodos

2.1. Região de estudo e contexto socioambiental

A região de estudo pertence ao estado de Minas Gerais (MG) (localização entre os paralelos 14°13'58"/ 22°54'00"- Latitude Sul; 39°51'32"/ 51°02'35"- Oeste de Greenwich) no sudeste do Brasil (Governo do Estado de Minas Gerais, 2021A). O estado é subdividido em 12 mesorregiões e 66 microrregiões (Governo de Minas Gerais, 2021) e uma área de aproximadamente de 586 Mil Km² (IBGE, 2020), isto representa 7% do território brasileiro. Minas Gerais é o segundo estado mais populoso (21.292.666 pessoas) do Brasil sua taxa de urbanização é de 85,3% (IBGE, 2020; Governo do Estado de Minas Gerais, 2021B). As maiores precipitações anuais ocorrem no sul do estado; as temperaturas são influenciadas pela latitude e a topografia, com o setor sul de MG apresentando médias anuais de 20°C e o norte de 26°C; os ventos em escala sinótica são de direção nordeste na maioria dos meses do ano; o clima Aw é predominante em MG, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger; o índice de aridez em MG tem condições predominantemente úmidas em toda sua área no verão e, e áridas no inverno (Reboita et al., 2015).

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do estado é 0,731 e sua receita anual total é na ordem de 501.142.848,20 U\$ (Taxa de câmbio de 1 US\$ = 5,1558 R\$) (IBGE, 2017). Minas Gerais possui aproximadamente 1,8 Milhões de pessoas inseridas no contexto agropecuário do estado e mais de 607 mil estabelecimentos nesse segmento (IBGE, 2017). A área ocupada por esses empreendimentos representam 38.168.688 ha, desses 51% e 15% estão sob pastagens e lavouras, respectivamente (IBGE, 2017). As áreas florestais representam 27% do quantitativo supracitado, estratificadas em “Áreas com florestas plantadas (20%), áreas naturais destinadas a preservação permanente (69%) e vegetação nativa (12%) (IBGE, 2017).

Minas Gerais possui também grande relevância no cenário das exportações do Brasil (representa 10% da participação nacional) e importação (representa 5% da participação nacional) (FJP, 2018). Entre os *commodities* agropecuário de maior relevância citam-se: -

Lavoura temporária (produção anual 2017): 66 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, 6 milhões de toneladas em grãos de milho; - Lavoura permanente (produção anual 2017): 918 mil toneladas de laranja, 1,4 milhão de toneladas de café arábica e 12,4 mil toneladas de café canephora; - Pecuária (produção anual em 2017): 19,6 milhões de bovinos, 113 milhões de aves, 8,7 bilhões de litros de leite de vacas e 391 milhões de dúzias de ovos de galinhas (IBGE, 2017).

2.2. Levantamento de dados geográficos relacionados ao uso do solo e registros ambiental de propriedades rurais

Informações sobre Áreas de Proteção Permanente (APP) e Reserva Legal (RL) das propriedades rurais foram obtidas no banco de dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR) no Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR). O CAR é um registro eletrônico obrigatório e autodeclaratório de propriedades rurais. Proprietários de terras devem fornecer dados sobre os limites de suas propriedades, APPs, áreas de RL, Áreas de Uso Restrito (RUAs) e áreas desmatadas, antes de 22 de julho de 2008 (áreas consolidadas) (Brasil, 2012 a; Roitman et al., 2018; Serviço Florestal Brasileiro, 2021). No estudo atual considerou-se o montante de propriedades rurais inseridas no SICAR até Maio de 2021, perfazendo assim um total de aproximadamente 830 mil imóveis rurais cadastrados.

A base com a classificação do uso do solo em áreas com e sem florestas foi feito utilizando dados atualizados do maior mapeamento de solo do Brasil (MapBiomias, 2019; MapBiomias, 2020; Souza Junior et al., 2017). Esse mapeamento é realizado a partir da classificação pixel a pixel de imagens de satélites Landsat e o processo de classificação das imagens são realizados utilizando algoritmos denominados “machine learning” através da plataforma Google Earth Engine (MapBiomias 2019).

A sobreposição dos mapas de zoneamento de uso do solo com os mapas de APPs e RL das propriedades rurais localizadas no estado de Minas Gerais foi feita para quantificar as áreas de conflito de uso da terra (áreas sem vegetação nativa) com as áreas de preservação ambiental (APPs e RLs), utilizando o “*Spatial Analyst module*” do ArcGIS. Para isso, os arquivos vetoriais de uso do solo gerados foram extraídos nas Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal com a ferramenta “*ArcGis clip*” (Rocha et al., 2019). Assim, com essa metodologia foi possível quantificar as áreas de Preservação ambiental em Minas Gerais que não estão em consonância com a LPVN (Brasil 2012b). Essas áreas foram

divididas em seis categorias principais (Bedê, 2013; Minas Gerais, 2013): 1- Área de Reserva Legal (RL's); 2- Área de Preservação Permanente (APP) de cursos d'água, nascentes e em bordas de chapas e tabuleiros (APP's- a); 3- APP de altitude - acima > 1.800 m (APP's- b); 4- APP de topo de morros, montanhas e serras - Áreas com altura mínima de 100 m e inclinação média maior que 25° (APP's- c); 5- APP de declividade (encostas íngremes) - Declividade $> 45^\circ$ ou $>100\%$ (APP's- d); 6- APP de veredas (APP's- e);

A classificação do uso do solo para identificar as áreas em conflitos (uso antrópico) e as áreas não conflitantes (uso natural) nas áreas avaliadas foi realizada utilizando a metodologia do MapBiomias (MapBiomias, 2020). Foi identificado, em praticamente todos os municípios, que o sistema do SISCAR ao gerar os polígonos das diferentes áreas de preservação hídrica (curso d'água, nascente, barragens, etc) geram sobreposições entre os polígonos. Para solucionar este problema, por meio do *software* ArcGis, foi aplicada a função “*merge*” para cada município de Minas Gerais e, desta forma, qualquer interseção entre os polígonos foi removida. Posteriormente, foi incluída a informação do uso solo do MapBiomias nas APPs hídricas e calculada a área para cada tipo de uso do solo por município.

2.3. Levantamento de potenciais iniciativas que podem contribuir para o financiamento da Restauração Florestal em Minas Gerais

Foram levantadas potenciais iniciativas e/ou instrumentos governamentais e de mercados que poderiam ser utilizados como financiadores da restauração florestal em Minas Gerais.

As possíveis fontes de recursos selecionadas foram aquelas em que os projetos possuem como objetivo trazer benefícios ambientais, mesmo que seu objetivo principal seja social ou econômico (Castro et al., 2019). Para Minas Gerais, definiu-se então os seguintes instrumentos/mecanismos potenciais: (A) Recursos provenientes do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS ecológico); (B) Fundos municipais do saneamento básico e Programa Pró-mananciais; (C) Recurso financeiro cobrado pelo o uso da água de bacias hidrográficas. Os demais recursos foram embasados em possíveis estratégias que o estado pode vir a adotar com base nos movimentos atuais de fortalecimento da neutralização/compensação de GEE no estado (Minas Gerais, 2002; Minas Gerais, 2009; Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2015), citam-se: (D) Precificação das emissões de

GEE do estado; (E) Valoração do estoque de Carbono das iniciativas de restauração florestal implementadas.

2.3.1. Recursos provenientes do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS ecológico)

O ICMS Ecológico é um mecanismo tributário que busca incentivar os municípios a promoverem ações de preservação dos recursos naturais, como a proteção legal de áreas naturais, tratamento de lixo e esgotos sanitários. Este mecanismo possibilita o acesso a parcelas maiores dos recursos financeiros arrecadados pelos Estados através do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços, o ICMS, em razão do atendimento de determinados critérios ambientais estabelecidos em normas estaduais (Ring, 2007; Monte e Silva, 2009). Os dados de receitas tributárias dos municípios de MG foram levantados de 2015 até 2020 por meio da plataforma online disponibilizada pela Fundação João Pinheiro (FJP, 2021). A receita proveniente desse imposto que será considerada refere-se ao último ano.

2.3.2. Fundos municipais do saneamento básico (FMSB) e Programa Pró-mananciais (PPM)

Algumas iniciativas e legislações foram criadas no Brasil visando criar mecanismos que apoiem a implantação e gestão de subsídios tarifários que sejam direcionados a garantir a sustentabilidade de curto, médio e longo prazo dos serviços de abastecimento de esgotamento sanitário e água pelas concessionárias dos serviços (Brasil, 2007; Brasil, 2020; Arsae-MG, 2020a). O objetivo principal desses mecanismos é fornecer as condições para a continuidade e qualidade da prestação de serviços para as atuais e futuras gerações.

Para Minas Gerais, dois importantes subsídios foram criados, sendo eles o Fundo Municipal do Saneamento Básico (FMSB) e o Programa Pró-mananciais (PPM), os quais são geridos pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) e regulados pela Agência reguladora de água e esgoto do estado (Arsae-MG) (Freitas, 2013; Arsae-MG, 2018; COPASA, 2021). Os dados foram retirados do relatório de fiscalização dos serviços da Arsae e o período considerado das análises foi o ano de 2019 (Arsae-MG, 2020b). Para esse caso, não se consideraram períodos anteriores, por se tratar de uma iniciativa que vêm se

expandindo atualmente e possui indicativos de crescimento para os próximos anos (Arsae-MG, 2020b)

2.3.3. Recurso financeiro cobrado pelo o uso da água de bacias hidrográficas

A cobrança pelo uso da água é um instrumento econômico de gestão de águas previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos e na Política Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (Minas Gerais, 1999; Minas Gerais, 2021). Essa cobrança tem como objetivo central sensibilizar o usuário do valor real desse recurso ambiental para reforçar o reconhecimento da água como um bem ecológico, social e econômico. Um segundo objetivo dessa cobrança é arrecadar recursos financeiros para o financiamento de programas e intervenções previstos no Plano de Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica, voltados para a melhoria da qualidade e da quantidade da água. No estado de Minas Gerais, a implementação da cobrança ocorre de forma gradativa e teve início em 2010 (IGAM, 2021). O período considerado na análise dos repasses foi entre o período de 2015 a 2020; no entanto, para as projeções financeiras da contribuição desse recurso para a restauração florestal, será considerado apenas o ano de 2020. Esse fato é decorrente desse recurso financeiro estar em implantação no estado, logo é esperado que as receitas não sofram decréscimos para os períodos posteriores (IGAM, 2021).

2.3.4. Precificação das emissões de GEE do estado

A precificação das emissões de GEE de um determinado estado/região pode contribuir para o financiamento de ações relacionadas a restauração de ecossistemas florestais (Barbier et al., 2020; Matzek, et al., 2015). Partindo desse pressuposto, um dos métodos potenciais que foi sugerido como financiador da restauração florestal em MG é a precificação do crédito de carbono. Foi feito um levantamento histórico das emissões de GEE (2009-2019) para determinação da taxa de desaceleração das emissões no estado. Com base, nessa taxa projetou-se um cenário das emissões de GEE no estado para o período de 2021-2040. A

fórmula que permitiu o cálculo da desaceleração foi: $r = \left(\left(\sqrt[n]{Et/Eo} - 1 \right) \times 100 \right)$, em que r : Taxa de desaceleração de GEE; n : igual ao número de anos no período; Et : Emissão de GEE do ano de 2019; Eo : Emissão de GEE do ano de 2009. O levantamento das emissões foi realizado utilizando a plataforma do SEEG Brasil (Azevedo et al., 2018; SEEG, 2021).

A precificação do crédito de carbono, ou seja, de 1 tCO_{2eq}, foi realizada a partir do preço mínimo do crédito de carbono das iniciativas atuais (Abril de 2021) relacionadas ao mercado de taxação de carbono em países que já implantaram esse mecanismo com o objetivo de contribuir com os compromissos firmados no Acordo de Paris (NDC's) (The World Bank, 2021).

2.3.5. Valoração do estoque de Carbono das iniciativas de restauração florestal implementadas

No estado de Minas Gerais muitas iniciativas de restauração florestal já foram iniciadas de forma voluntária ou como requisito compensatório. Essa estratégia já foi amplamente discutida como uma possibilidade viável na mitigação das mudanças climáticas globais de maneira concomitante com o financiamento da restauração florestal (Busch et al., 2019; O'Neill et al., 2020; Moraes Junior et al., 2020). O levantamento dos quantitativos de áreas das iniciativas de restauração florestal desenvolvidas em MG foi realizado pela plataforma Observatório da Restauração e Reflorestamento do Brasil (Observatório da Restauração e Reflorestamento, 2021). A remoção média de carbono por área considerada foi de 220 ± 85 tCO₂ ha⁻¹ (período de 20 anos) e o preço de US\$ 1,1 por crédito de carbono fixado foi considerado para realização da simulação avaliada (Nunes et al., 2017). Nesse estudo optou-se por ser conservador e adotar a valoração do crédito de carbono apenas para áreas restauradas de maneira ativa

2.3.6. Ações de restauração florestal com foco na Mata Atlântica de Minas Gerais com previsão de prospecção de recursos financeiros nos próximos anos

Esse levantamento foi realizado com base no Plano Estadual de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica publicado para o ano de 2021. Mais especificamente, foi considerado o item “1.2- Ações” desse plano, nessa seção houve a identificação de recursos financeiros estimados para diferentes períodos. É importante ressaltar que foram considerados

apenas os recursos financeiros que existem uma expectativa clara de investimentos de recursos financeiros (SISEMA, 2021).

2.4. Custos e potenciais receitas associados à restauração florestal em Minas Gerais

O custo e as técnicas florestais consideradas para as projeções relacionadas à restauração florestal foram definidas considerando as premissas adotadas em estudo realizado recentemente em Minas Gerais (Tabela 1; Nunes et al., 2017).

Tabela 1- Custos e os respectivos desvios-padrões (\pm) dos investimentos privados, públicos e custo de oportunidade da terra para realização de diferentes técnicas de restauração florestal em Minas Gerais (Nunes et al., 2017- adaptado). Os percentuais de área considerada por técnica de restauração florestal será a base para consideração dos custos para os dados de mapeamento levantado no presente estudo.

Método de restauração	Área potencialmente restaurada (mil ha) levantada (Nunes et al., 2017)	Percentual de área considerada por técnica de restauração florestal para o presente estudo	Custos privados (US\$ Milhões)	Custos públicos (US\$ Milhões)	Custos de oportunidade da terra (US\$ Milhões)
Restauração passiva	715	36,2%	10,19 \pm 2,73	1,75 \pm 0,64	58,30 \pm 16,66
Regeneração natural assistida	763	38,6%	31,45 \pm 5,12	1,81 \pm 0,64	71,11 \pm 26,67
Plantio parcial	268	13,6%	23,18 \pm 4,36	0,64 \pm 0,17	144,86 \pm 28,10
Plantio total	230	11,6%	29,59 \pm 7,33	0,52 \pm 0,17	138,14 \pm 26,79
Total	1976	100,0%	94,42	4,72	412,41

A moeda brasileira foi convertida para US\$ usando a taxa de câmbio média de 2020 (1 US\$ = 5,1558 R\$) (Ipea, 2021).

Uma taxa de desconto de 8% foi usada no cálculo dos Valores Presente Líquidos (VPL) (Banco Mundial, 2010) ao longo de 20 anos, exigido na LPVN (Brasil, 2012). Os custos totais foram projetados partindo do pressuposto de que 10% das metas de conformidade do passivo ambiental será restaurado a cada 2 anos, conforme exigido por lei. Além disso, foram apresentadas nesse estudo as estimativas de custos da oportunidade de terra, públicos e privados estimados para o quantitativo de área levantado nas análises de geoprocessamento. Porém, para a consideração da avaliação proposta de custos no presente estudo será utilizado apenas os custos públicos e privados. A justificativa para não se considerar o custo de

oportunidade da terra, é que devido a LPVN o produtor rural deverá obrigatoriamente restaurar as áreas de APP e RL sem vegetação nativa.

Por fim, o balanço entre as receitas e custos associados ao longo dos 20 anos da análise demonstrará se os instrumentos/mecanismos financeiros considerados nesse estudo são capazes de financiar a restauração florestal em Minas Gerais (Tabela S6).

Foi considerado uma incremento de 1% anualmente nas receitas levantadas nesse estudo. Esse fato, foi considerado em função da expectativa da maior conscientização e pressão da sociedade para as melhorias ambientais.

3. Resultados

3.1. Mapeamento das áreas em conflitos em Minas Gerais

As localizações das diferentes APP's avaliadas nesse estudo e as áreas com Reserva Legal em Minas Gerais foram mapeadas e podem ser identificadas considerando as mesorregiões do estado (Figura 1,2,3,4,5,6). Os quantitativos de área relacionados ao uso de cobertura do solo por município de Minas Gerais nas diferentes APP's e RL avaliadas estão compilados e disponibilizados (Tabela S1).

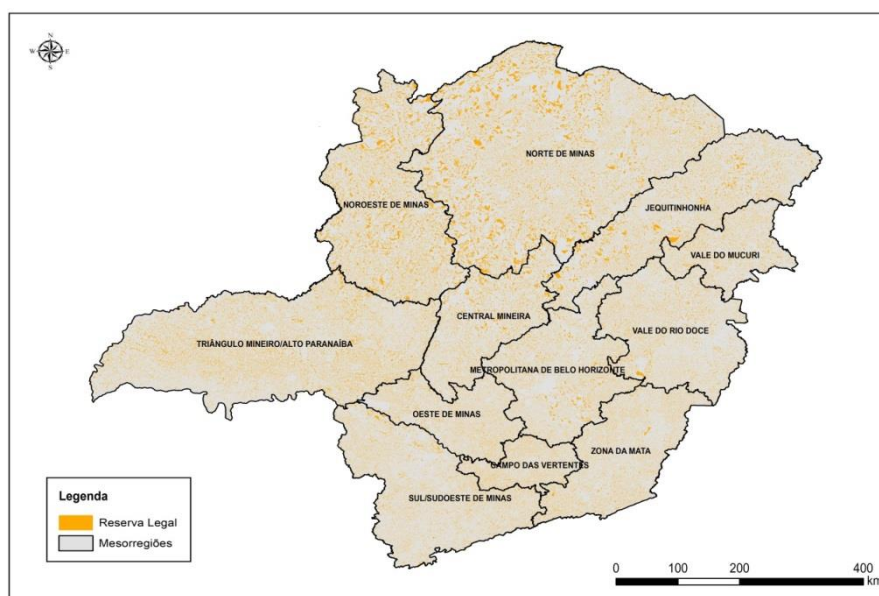


Figura 1- Localização das Áreas de Reserva Legal da vegetação nativa (RL) declaradas pelos produtores rurais no estado de Minas Gerais, Brasil.

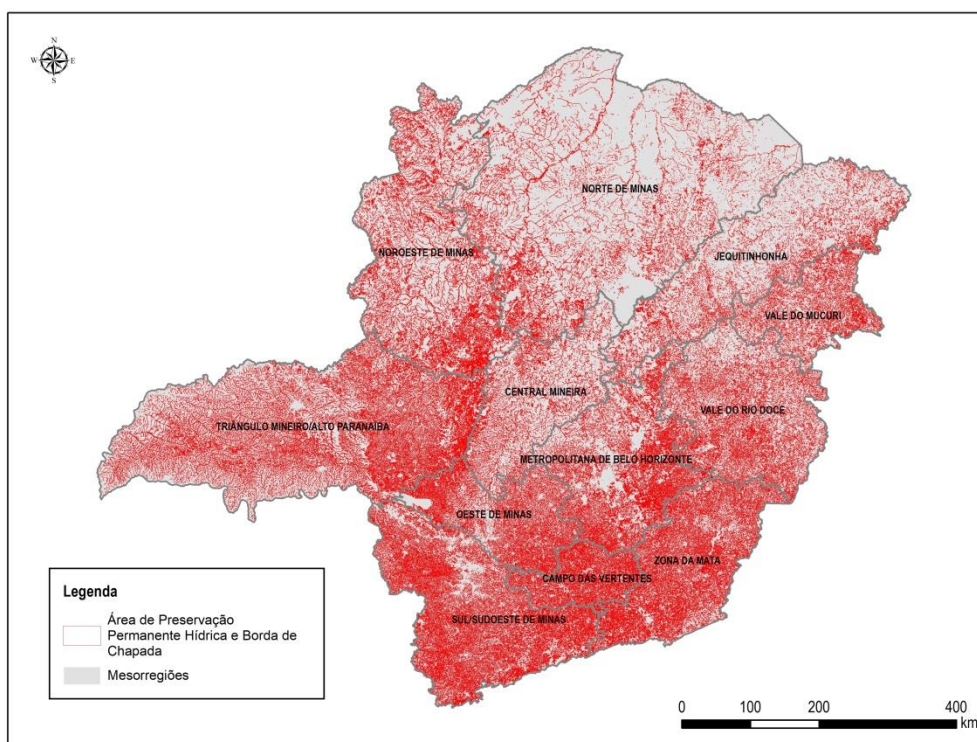


Figura 2- Localização das Áreas de Preservação Permanente de cursos d'água, nascentes e bordas de chapas e tabuleiros (APP's- a) do estado de Minas Gerais, Brasil.

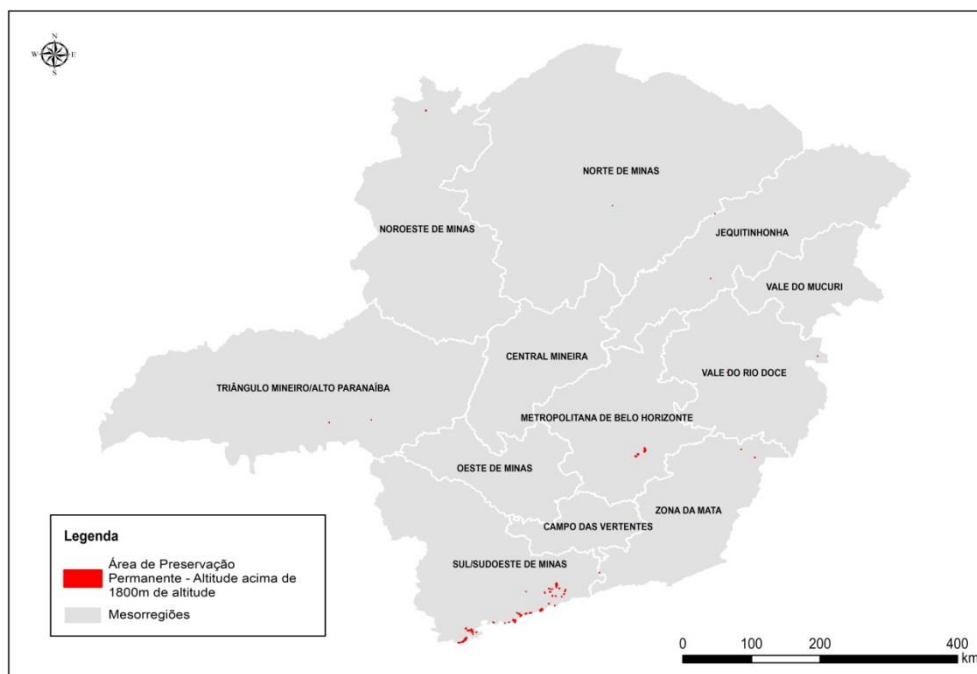


Figura 3- Localização das Áreas de Proteção Permanente de altitude superior a 1.800 metros (APP's-b) no estado de Minas Gerais, Brasil.

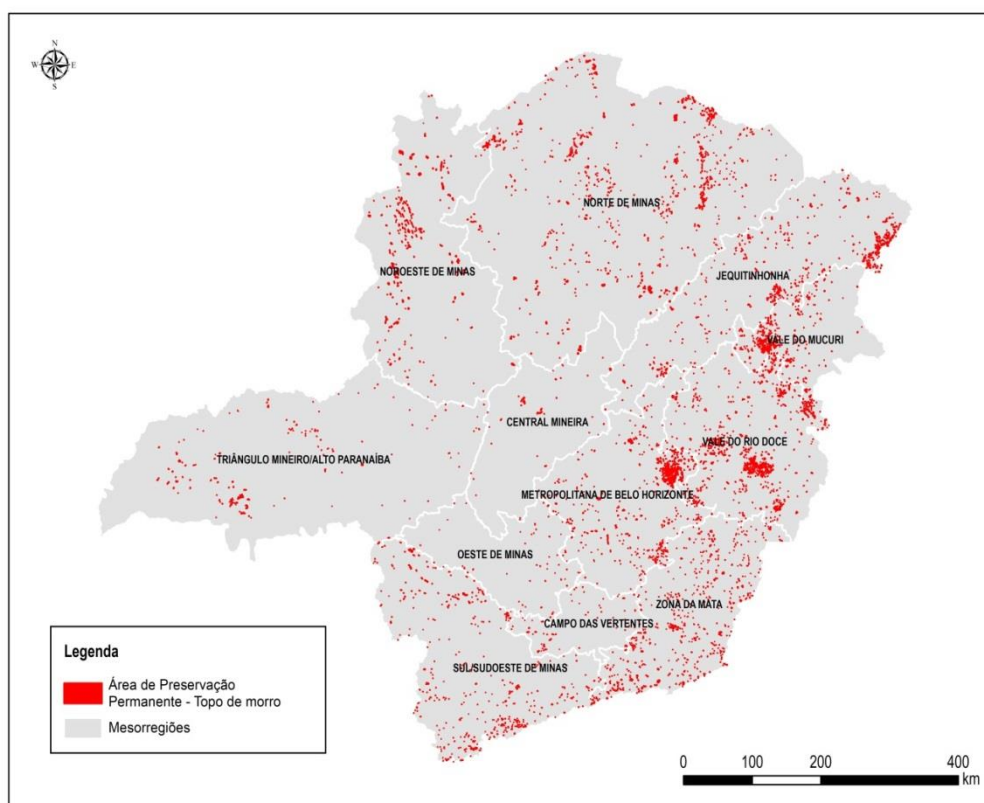


Figura 4- Localização das Áreas de Proteção Permanente de topo de morros (APP's-c) no estado de Minas Gerais, Brasil.

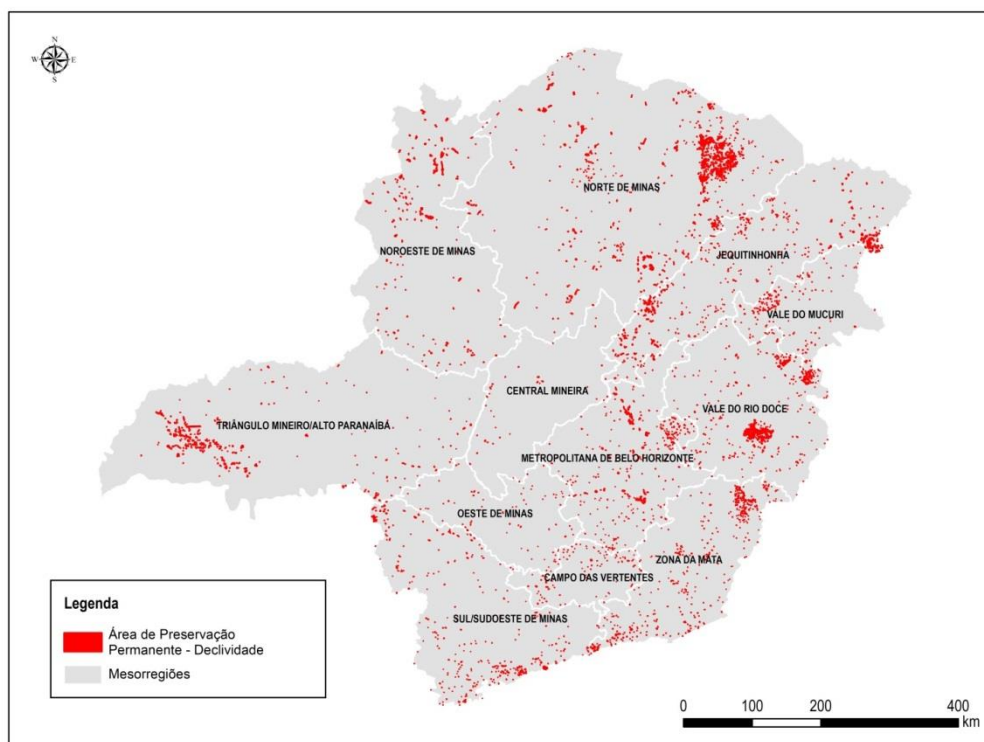


Figura 5- Localização das Áreas de Proteção Permanente (APP's-d) de declividade (encostas íngremes) no estado de Minas Gerais, Brasil.

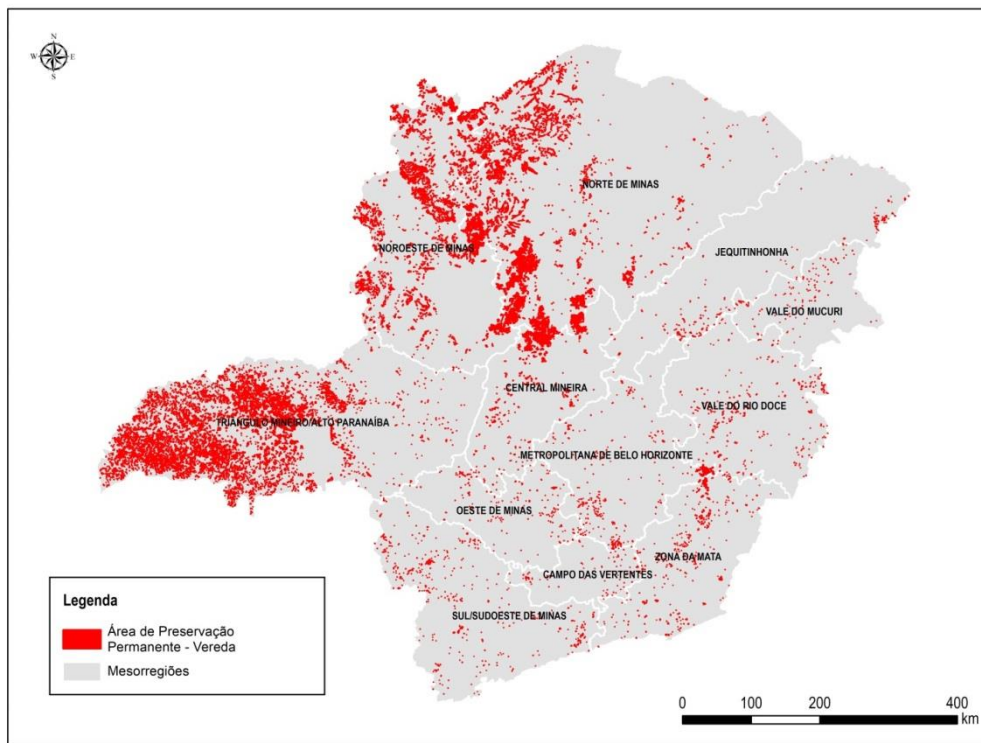


Figura 6- Localização das Áreas de Proteção Permanente (APP's-e) de veredas no estado de Minas Gerais, Brasil.

No total Minas Gerais possui uma área de 11.824.732,70 ha de APP e RL, que corresponde a 20,18% da área total do Estado. Do total de APP e RL, existem 3.723.479,9 ha de terra em conflito com a LPVN e o uso do solo com pastagens representa a maioria desse quantitativo de área (72%) (Tabela 2).

Tabela 2- Quantitativos de área do uso do solo que estão em conformidade ou em conflito com a legislação de proteção da vegetação nativa em Minas Gerais.

Área avaliada	Uso do solo	RL's	APP's - a	APP's - b	APP's - c	APP's - d	APP's - e	Total Global
Uso do solo em conflito com a legislação (ha)	FP	80.876,3	21.834,9	34,0	105,0	129,6	1.647,7	104.627,6
	Pa	1.617.161,1	1.001.427,8	295,9	11.148,3	12.945,1	38.962,7	2.681.940,8
	Ca	12.461,7	20.767,6	0,0	7,1	66,3	219,1	33.521,8
	MAP	496.642,1	308.589,3	324,9	3.004,0	3.959,4	3.196,5	815.716,2
	IU	952,9	812,7	0,0	5,8	7,7	5,4	1.784,5
	OANV	16.830,1	4.224,7	103,2	540,0	611,6	1.077,1	23.386,8
	Mi	533,9	372,0	0,0	20,4	3,0	0,0	929,3
	Soja	15.183,0	5.711,8	0,0	3,8	1,4	432,0	21.331,9
	LP	2.857,7	1.688,3	0,0	2,3	0,0	27,0	4.575,3
	OLT	25.480,8	9.629,4	0,0	50,9	65,9	439,0	35.665,9
	Total	2.268.979,6	1.375.058,3	758,0	14.887,6	17.789,9	46.006,4	3.723.479,9
Uso do solo em conformidade com a legislação (ha)	FN	2.876.960,0	865.536,1	2.748,5	17.533,0	18.091,9	33.487,7	3.814.357,1
	FS	2.676.604,8	657.709,2	77,9	20.144,4	29.738,4	99.205,4	3.483.480,0
	FC	556.798,7	109.154,0	16,0	6.231,9	5.142,0	24.523,5	701.866,2
	OFNF	5,4	2,7	0,0	0,0	2,2	0,0	10,3
	AR	17.668,4	4.481,6	834,5	1.003,3	889,0	19,0	24.895,9
	RLC	5.619,1	70.182,4	0,0	67,9	120,9	653,1	76.643,3
	Total	6.133.656,3	1.707.066,0	3.677,0	44.980,5	53.984,4	157.888,7	8.101.252,8

Legenda: MAP: Mosaico de agricultura e Pastagem; IU: Infraestrutura Urbana; OANV: Outras Áreas Não Vegetadas; OLT: Outras Lavouras Temporárias; OFNF: Outras Formações Não Florestais; RLC: Rios, Lagoas e Córregos; FP: Florestas Plantadas; Pa: Pastagem; Ca: Cana-de-açúcar; Mi: Mineração; LP: Lavoura Perene; FN: Floresta Natural; FS: Formação Savânica; FC: Formação Campestre; AR: Afloramento Rochoso. Área de Reserva Legal (RL's); Área de Proteção Permanente de cursos d'água, nascentes e em bordas de chapas e tabuleiros (APP's- a); Áreas de Proteção Permanente de altitude acima > 1.800 m (APP's- b); APP de topo de morros, montanhas e serras- Áreas com altura mínima de 100 m e inclinação média maior que 25° (APP's- c); APP de declividade (encostas íngremes) - Declividade > 45° ou >100% (APP's- d); APP de veredas (APP's- e).

As áreas de Reserva Legal apresentaram 2.268.979,65 ha com uso do solo classificado como “não conforme”, e 6.133.656,30 ha com uso do solo em conformidade com LPVN, portanto, 27% dessas áreas estão em conflito com a LPVN (Tabela 2). As áreas com RL estão bem distribuídas pelas mesoregiões do estado (Figura 1). Das áreas antropizadas as categorias denominadas “Pastagem” e “Mosaico de Agricultura e Pastagem” foram as mais representativas, aproximadamente 2,1 Mha (Tabela 2).

As APP's-a também são uma das áreas de proteção muito expressivas no estado, representando um total de 8.402.635,90 ha (Figura 2). Desse quantitativo total 2.268.979,60 ha está sob algum conflito do uso do solo pela atual LPVN (Tabela 2). Entre as áreas supracitadas, o uso do solo mais comum foi “Pastagem” e “Mosaico de Agricultura e Pastagem”, representando aproximadamente “1.001.427,8 ha e 308.589,3 ha, respectivamente”.

As APP's-b apresentaram 758,04 ha com uso do solo classificado como não conforme e 3.676,97 ha com uso do solo com formações naturais, portanto, sem conflito com a legislação ambiental vigente (Tabela 2; Figura 3). Entre as áreas com conflito no uso do solo pela legislação ambiental, os usos mais comuns foram: Mosaico entre Agricultura e Pastagem (324,90 ha) e Pastagem (295,87 ha) (Tabela 2).

Um total de 59.868,05 ha representou as áreas com APP's-c (Figura 4), representando 24,80% do uso do solo classificado como não conforme (Tabela 2). Quando considera-se as APP's-d, identificou-se um quantitativo total de área 71.774,34 ha (Figura 5) e desse total 24,70% encontra-se com área antropizada. A percentagem de conflito do uso do solo dessas APP's (c e d) são similares (Tabela 2).

As áreas de proteção com veredas (APP's-e) também estão amplamente distribuídas pelo estado (Figura 6). Nessas áreas foram mapeadas 46.006,43 ha (22,5%) de áreas com algum conflito de uso do solo pela legislação ambiental. Já as áreas sem esses conflitos representam aproximadamente 157.888,69 ha (77,5%) (Tabela 2). Nessas áreas a Pastagem (38.962,68 ha) e mosaico de agricultura e pastagem (3.196,47 ha) estiveram entre os mais expressivos usos do solo em conflito com a LPVN (Tabela 2).

O estado possui aproximadamente 104.627,6 ha de florestas plantadas, 33.521,8 ha de cana-de-açúcar e 21.331,9 ha de soja que está sob algum conflito com a legislação florestal vigente (Tabela 2).

4.2 Levantamento dos instrumentos e mecanismos potenciais

4.2.1 ICMS ecológico

O repasse do ICMS ecológico aos municípios para o período de 2015 até 2020 totalizou US\$ 118.130.503,70, com uma média anual de US\$19.688.417,28 (Figura 7).

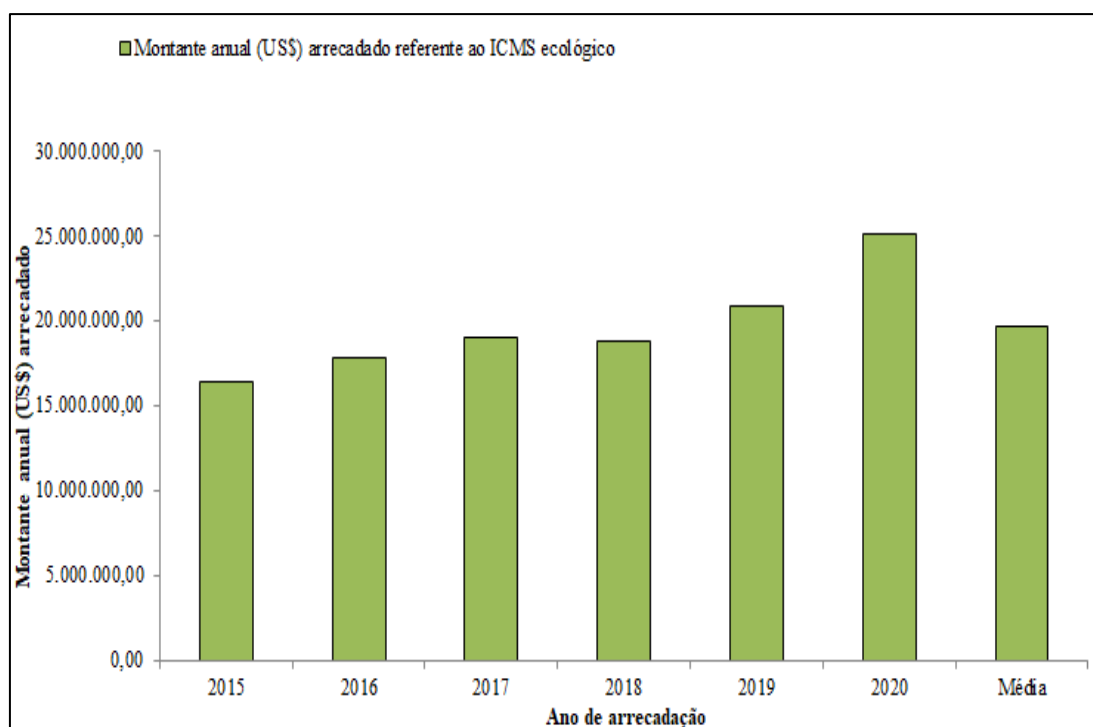


Figura 7- Repasse (US\$) anual aos municípios proveniente do ICMS ecológico em Minas Gerais entre 2015 e 2020.

Os montantes mensais das arrecadações por município em Minas Gerais pode ser verificado na série histórica considerada (Tabela S2).

4.2.2 Fundos municipais do saneamento básico (FMSB) e Programa Pró-mananciais (PPM)

Os Fundos Municipais do Saneamento Básico foram implementados até o momento em 137 municípios de Minas Gerais (16% dos municípios do estado) e foram responsáveis por gerarem US\$ 22.829.057,18 em recursos financeiros em 2019 (Tabela 3).

Tabela 3- Recursos financeiros repassados em 2019 para municípios mineiros no âmbito do Programa Pró-Mananciais e Fundos Municipais do Saneamento Básico.

Mecanismo/ Instrumento Financeiro	Parâmetro avaliado	Recurso financeiro (US\$)
Programa Pró-Mananciais	Soma geral	2.225.567,32
	Média municipal	11.775,49
	Contagem de municípios aderentes	189
Fundos Municipais do Saneamento Básico	Soma geral	22.829.057,18
	Média municipal	166.635,45
	Contagem de municípios aderentes	137

O Programa Pró-Mananciais foi implementado até o momento em 189 municípios de Minas Gerais (22% dos municípios do estado) e foi responsável por gerar US\$ 2.225.567,32 em recursos financeiros em 2019 (Tabela 3). A quantidade de recursos financeiros alocada por município do estado foi disponibilizada (Tabela S3).

4.2.3 Recurso financeiro cobrado pelo o uso da água de bacias hidrográficas

A cobrança dos usuários pelo uso da água em Minas Gerais gerou de recursos um valor anual médio e um total de US\$ 8.509.965,74 e US\$ 51.059.794,42, respectivamente, para o período considerado (2015-2020) (Figura 8).

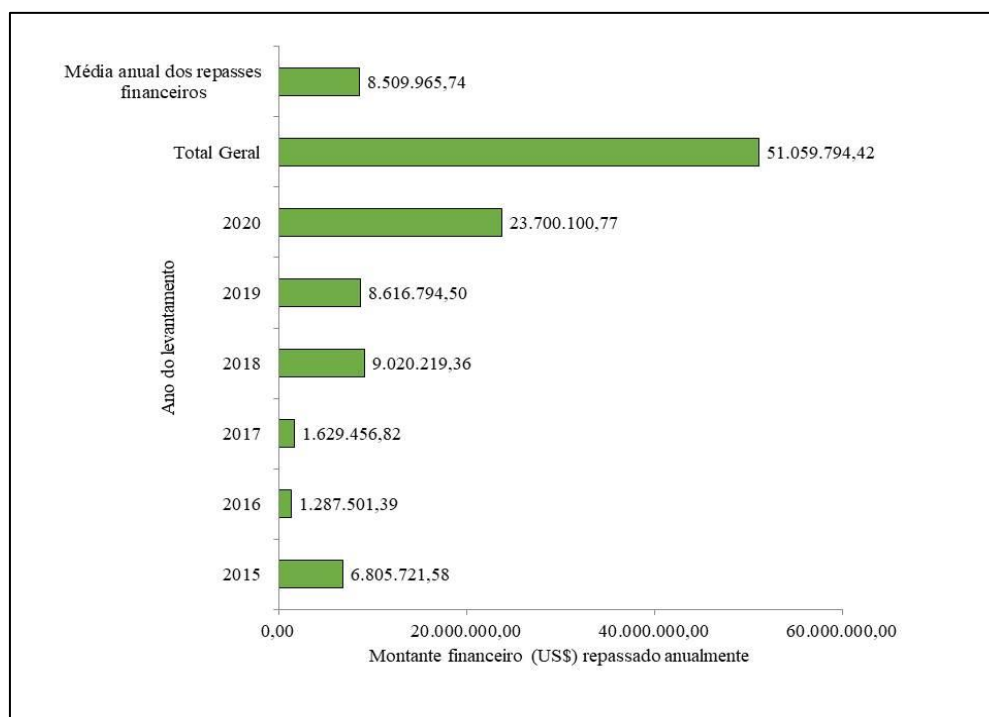


Figura 8- Arrecadação (US\$) anual proveniente de repasses denominado “Fundos municipais do saneamento básico (FMSB)”.

Em 2020, foi gerado o maior valor da série histórica (US\$ 23.700.100,77) e esse foi o montante considerado para o levantamento de recursos financeiros (Figura 8). Apenas 12 microrregiões do estado já implementam esse mecanismo de cobrança do uso da água pelos usuários e há pelo menos 30 microrregiões sem a implementação do mecanismo (Figura 9).

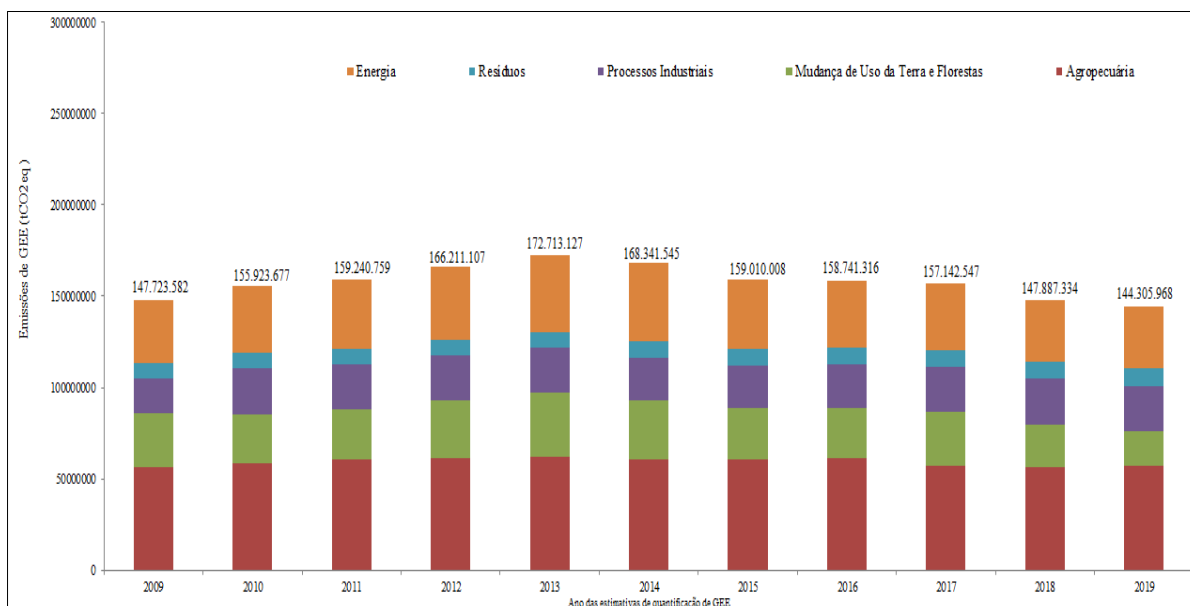


Figura 10 – Emissões de GEE por setores da Economia (Energia, Resíduos, Processos Industriais, Mudança de Uso da Terra e Florestas e Agropecuária) entre 2009 e 2019 de Minas Gerais.

A agropecuária é o setor da economia que tem a maior contribuição histórica com as emissões de GEE de Minas Gerais, seguido dos setores de Energia e Mudança do Uso do Solo (Figura 10).

A lista dos municípios mineiros com as emissões dos setores de Minas Gerais (2009-2019) pode ser consultada (Tabela S5).

O resultado do mapeamento de iniciativas relacionadas à taxaço de carbono em todo mundo indicou que 66 iniciativas atualmente com diferentes escopos, variando desde a taxaço de combustíveis fósseis até diversos outros segmentos da economia do país. A média do preço do crédito de carbono nesse levantamento foi de US\$ 23,91 (\pm US\$ 17,32) (Tabela 4).

Tabela 4- Iniciativas implementadas de taxação de carbono no mundo até maio de 2021. Fonte: (The World Bank, 2021). N/A: Não havia dados suficientes.

Nome da Iniciativa	Tipo de Instrumento	Jurisdição coberta	Escopo coberto	Taxa (US\$)
Alberta TIER	ETS	Alberta	N/A	31,83
Argentina carbon tax	Carbon tax	Argentina	Most liquid fuels	5,54
BC GGIRCA	ETS	British Columbia	N/A	19,89
BC carbon tax	Carbon tax	British Columbia	N/A	35,81
Beijing pilot ETS	ETS	Beijing	N/A	4,32
California CaT	ETS	California	N/A	17,94
Canada federal OBPS	ETS	Canada	N/A	31,83
Canada federal fuel charge	Carbon tax	Canada	N/A	31,83
Chile carbon tax	Carbon tax	Chile	N/A	5,00
China national ETS	ETS	China	N/A	N/A
Chongqing pilot ETS	ETS	Chongqing	N/A	3,71
Colombia carbon tax	Carbon tax	Colombia	N/A	5,00
Denmark carbon tax	Carbon tax	Denmark	Fossil fuels	28,14
Denmark carbon tax	Carbon tax	Denmark	F-gases	23,64
EU ETS	ETS	Liechtenstein	N/A	49,78
Estonia carbon tax	Carbon tax	Estonia	N/A	2,34
Finland carbon tax	Carbon tax	Finland	Transport fuels	72,82
Finland carbon tax	Carbon tax	Finland	Other fossil fuels	62,25
France carbon tax	Carbon tax	France	N/A	52,38
Fujian pilot ETS	ETS	Fujian	N/A	1,24
Germany ETS	ETS	Germany	N/A	29,36
Guangdong pilot ETS	ETS	Guangdong (except Shenzhen)	N/A	5,71
Hubei pilot ETS	ETS	Hubei	N/A	4,41
Iceland carbon tax	Carbon tax	Iceland	Fossil fuels	34,83
Iceland carbon tax	Carbon tax	Iceland	F-gases	19,79
Ireland carbon tax	Carbon tax	Ireland	Transport fuels	39,34
Japan carbon tax	Carbon tax	Japan	N/A	2,60
Kazakhstan ETS	ETS	Kazakhstan	N/A	1,17
Korea ETS	ETS	Korea, Republic of	N/A	15,89
Latvia carbon tax	Carbon tax	Latvia	N/A	14,09
Liechtenstein carbon tax	Carbon tax	Liechtenstein	N/A	101,47
Luxembourg carbon tax	Carbon tax	Luxembourg	Diesel fuel	40,12
Luxembourg carbon tax	Carbon tax	Luxembourg	All fossil fuels	23,49
Massachusetts ETS	ETS	Massachusetts	N/A	6,50

Mexico carbon tax	Carbon tax	Mexico	Lower	0,36
Mexico pilot ETS	ETS	Mexico	N/A	N/A
Netherlands carbon tax	Carbon tax	Netherlands	N/A	35,23
New Brunswick carbon tax	Carbon tax	New Brunswick	N/A	31,83
New Zealand ETS	ETS	New Zealand	N/A	25,75
Newfoundland and Labrador PSS	ETS	Newfoundland and Labrador	N/A	23,87
Newfoundland and Labrador carbon tax	Carbon tax	Newfoundland and Labrador	N/A	23,87
Northwest Territories carbon tax	Carbon tax	Northwest Territories	N/A	23,87
Norway carbon tax	Carbon tax	Norway	Lower	3,87
Nova Scotia CaT	ETS	Nova Scotia	N/A	19,65
Poland carbon tax	Carbon tax	Poland	N/A	0,07
Portugal carbon tax	Carbon tax	Portugal	N/A	28,19
Prince Edward Island carbon tax	Carbon tax	Prince Edward Island	N/A	23,87
Quebec CaT	ETS	Quebec	N/A	17,94
RGGI	ETS	RGGI	N/A	8,69
Saitama ETS	ETS	Saitama	N/A	5,41
Saskatchewan OBPS	ETS	Saskatchewan	N/A	31,83
Shanghai pilot ETS	ETS	Shanghai	N/A	6,31
Shenzhen pilot ETS	ETS	Shenzhen	N/A	1,12
Singapore carbon tax	Carbon tax	Singapore	N/A	3,71
Slovenia carbon tax	Carbon tax	Slovenia	N/A	20,32
South Africa carbon tax	Carbon tax	South Africa	N/A	9,15
Spain carbon tax	Carbon tax	Spain	N/A	17,61
Sweden carbon tax	Carbon tax	Sweden	N/A	137,24
Switzerland ETS	ETS	Switzerland	N/A	46,10
Switzerland carbon tax	Carbon tax	Switzerland	N/A	101,47
Tamaulipas carbon tax	Carbon tax	Tamaulipas	N/A	12,72
Tianjin pilot ETS	ETS	Tianjin	N/A	3,80
Tokyo CaT	ETS	Tokyo	N/A	4,87
UK carbon price support	Carbon tax	United Kingdom	N/A	24,79
Ukraine carbon tax	Carbon tax	Ukraine	N/A	0,35
Zacatecas carbon tax	Carbon tax	Zacatecas	N/A	12,23

Legenda: (*Carbon tax*): Refere-se a taxas fixas de carbono em uma determinada região/país ou taxaço específica para algum setor econômicos/ (*ETS*): Emission Trading Scheme- que indica que um comércio de carbono regulado por um mecanismo intitulado “Cap-and-trade” que está ligado a cotas de carbono para o mercado.

O menor valor (US\$ 0,078) encontrado de taxaço de carbono foi para a “*Poland carbon tax*” na Pol nia (Tabela 4).

4.2.5 Dados levantados e Precifica o das remo es de GEE pelas áreas restauradas

O levantamento realizado indicou a presença de 302.697,38 ha em Minas Gerais em processo de restauraço florestal (Tabela 5).

Tabela 5- Iniciativas e quantitativos de áreas restauradas no estado de Minas Gerais recentemente.

Categoria	Organiza�o respons�vel pela iniciativa	Cobertura (ha)	Percentual da �rea de Minas Gerais
Restaura�o ativa	Pacto pela Restaura�o da Mata Atl�ntica	4.985,46	0,009
Restaura�o ativa	Suzano	2.915,90	0,005
Restaura�o ativa	Conservador da Mantiqueira	690,28	0,001
Restaura�o ativa	Renovando Paisagem	8,37	0
Restaura�o ativa	Reflorestar	6,61	0
Restaura�o ativa	Ibama - CASV	6,39	0
Restaura�o ativa	SARE - Sistema de Apoio a Restaura�o	5,81	0
Restaura�o ativa	Semeando �gua	2,56	0
Total Restaura�o ativa		8.621,38	0,015
Restaura�o passiva	Mapeamento MapBiomias-Cole�o 5	294.076,00	0,503
Total Restaura�o passiva		294.076,00	0,503
Total geral de �reas restauradas		302.697,38	0,518

Esse montante está dividido em 8.621,38 ha e 294.076,00 sob restauraço ativa e passiva, respectivamente (Tabela 5).

Entre as organiza es que mais contribuem para a restauraço ativa, citam-se: Pacto pela Restaura o da Mata Atlântica (4.985,46 ha), Suzano (2.915,90 ha), Conservador da Mantiqueira (690,28 ha). Essas iniciativas cobrem aproximadamente 0,015% do estado (Tabela 5).

Ao considerar a remoção proposta as áreas de restauração ativa poderiam remover em 20 anos 1.896.703,60 tCO_{2eq} da atmosfera, isso poderia representar uma receita mínima total de US\$ 2.086.373,96 pela comercialização dos créditos de carbono pelas áreas reflorestadas.

4.2.6 Ações de restauração florestal com foco na Mata Atlântica de Minas Gerais com previsão de prospecção de recursos financeiros nos próximos anos

Entre as ações avaliadas foi possível verificar 6 ações principais com informações de recursos financeiros para subsídio da restauração florestal em Minas Gerais. As ações selecionadas foram: “Ação 1,2,4,5,9 e 13” (Tabela 6).

Tabela 6- Iniciativas relacionadas a Restauração Florestal indicadas no Plano Estadual de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (SISEMA, 2021).

Ação de SISEMA (2021)	Objetivo principal	Agentes financiadores	Montante de recursos estimado (U\$S)	Distribuição do recurso financeiro (anos)
Ação 1	Promover o fomento para a restauração/regularização de áreas	Governo Estadual (IEF, PMDI)	1.163.737,93	5 anos
Ação 2	Aumento da cobertura vegetal nativa em 12% até o ano de 2026	Governo Estadual (IEF, PMDI)	775.825,28	5 anos
Ação 4	Reforma dos Viveiros Florestais	Governo Estadual (IEF, PMDI)	1.086.155,40	Não estipulado
Ação 5	Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)	Governo Estadual (IEF, PMDI)	4.858.971,52	Não estipulado
Ação 9	Planos Municipais de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica – PMMAs	Governo Estadual (IEF, PMDI) e ONG	11.637.379,26	Não estipulado
Ação 13	Elaboração dos Planos de Manejo das UCs da Mata Atlântica	Governo Estadual (IEF, PMDI)	1.629.233,10	Não estipulado
Total de recursos investidos			21.151.302,48	-

A “Ação 12” (R\$ 93.000.000,00/ U\$S 18.037.937,86) não foi considerada no escopo desse estudo, por tratar-se de recursos financeiros a ser destinado a compensação ambiental no Parque Estadual do Rio Doce por empresas privadas como medida compensatória.

Estima-se que, com as ações previstas (1,2,4,5,9 e 13), será destinado nos próximos anos U\$S 21.151.302,48 para a restauração florestal da Mata Atlântica em Minas Gerais.

4.3 Financiamento da Restauração Florestal em Minas Gerais- Potenciais receitas e custos associados à restauração florestal em Minas Gerais

Os custos totais para a restauração florestal de Minas Gerais ao longo de 20 anos está estimado na ordem de U\$S 5,4 bilhões considerando custos privados, públicos e de oportunidade da terra (Tabela 7).

Tabela 7- Custos privados, públicos e de oportunidade da terra (U\$ S) estimados para as áreas em conflito com a legislação de proteção da vegetação nativa considerando diferentes métodos de restauração florestal.

Método de restauração	Morais Junior et al., (2021) (ha)	Custos privados (US \$)	Custos públicos (US \$)	Custos de oportunidade (US \$)
Restauração passiva	1.347.899,72	213.077.583,35	36.527.585,72	1.218.803.776,79
Regeneração natural assistida	1.437.263,24	656.982.364,18	37.715.654,24	1.299.608.447,07
Plantio parcial	506.393,27	485.718.193,98	13.424.372,20	457.893.131,61
Plantio total	431.923,67	616.156.523,10	10.916.158,87	390.555.906,37
Total	3.723.479,90	1.972.846.336,55	98.581.464,07	3.366.861.261,84

Ao desconsiderar o custo associado à oportunidade da terra esse montante reduz para U\$S 2.071.427.800,63 (Tabela 7).

Os levantamentos dos potenciais mecanismos e instrumentos financiadores identificaram um total de U\$S1.872.278.044,44 de recursos financeiros potenciais para a Restauração Florestal em Minas Gerais (Tabela 8; Material Complementar 6).

Tabela 8- Receitas potenciais geradas (U\$ S) por mecanismo/instrumento financeiro

Componente financeiro considerado nas projeções	Total
ICMS ecológico (U\$\$)	553.587.825,4
Fundos municipais do saneamento básico (FMSB) e Programa Pró-mananciais (PPM) (U\$\$)	551.677.877,0
Recurso financeiro cobrado pelo o uso da água de bacias hidrográficas (U\$\$)	521.852.613,5
Projeção de emissão de GEE (tCO ₂ eq)*	2.822.562.147,8
Precificação das emissões de GEE do estado (U\$\$)	221.922.052,1
Projeção de remoção de CO ₂ eq (tCO ₂ eq)*	1.896.703,6
Valoração do estoque de Carbono (U\$\$)	2.086.374,0
Ações do Plano Estadual de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica 2021 (U\$\$)	21.151.302,5
Total (U\$\$)	1.872.278.044,4

Essa análise permite identificar um déficit de U\$\$ 199 milhões anuais para financiamento da restauração florestal em 20 anos (Material Complementar 6) para os instrumentos/mecanismos considerados na avaliação.

5 Discussões

5.1 Mapeamento das áreas em conflitos em Minas Gerais

Os resultados desse estudo identificou um passivo ambiental relevante quase duas vezes maior que a estimativa de 1,970 Mha existente para o estado em outro estudo (Nunes et al., 2017). Essas diferenças podem estar relacionadas às metodologias de mapeamento empregadas em cada estudo. As estimativas de passivos florestais das RL's desse estudo também superaram as expectativas dos dados levantados para essa mesma área no estudo supracitado. O conhecimento dessas informações são relevantes para o desenvolvimento da agricultura e pecuária e, também, para nortear os esforços que deverão ser empregados para a conservação e restauração florestal nas próximas décadas. Nesse sentido, a atividade agropecuária no estado deve ser realizada de modo a otimizar o aproveitamento dos recursos naturais para cada cultura e respeitar a LPVN vigente (Mello et al., 2021). Nesse contexto, um exemplo interessante foi a determinação de áreas adequadas para a expansão da produção de cana-de-açúcar sob a conservação de habitats e ambiente relevantes ecologicamente no Brasil, identificou-se nesse estudo que 20 Mha é a área efetiva que poderia ocorrer a expansão dos

plantios de cana-de-açúcar concentrados em sua maioria nos estados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul (Hernandes et al., 2021).

Quanto ao esforço para a restauração florestal em Minas Gerais, a regularização do passivo ambiental pode contribuir para 31% do alcance das metas estabelecidas no Acordo de Paris, demonstrando assim a importância da viabilização da restauração florestal em Minas Gerais (Brasil, 2015). Além disso, existem estimativas que revelam que o cumprimento da LPVN na Mata Atlântica brasileira poderia representar um aumento da cobertura de vegetação nativa de até 35%; assim, a restauração da dívida da LPVN em Minas Gerais poderia contribuir para o alcance desses importantes resultados e, com isso, culminar em redução das extinções de flora e de fauna, aumento da conectividade dos remanescentes da vegetação, maior segurança hídrica e alimentar, além do aumento dos sumidouros naturais de carbono (Pascual et al., 2017; Rezende et al., 2018).

O expressivo passivo ambiental verificado para as RL's de MG (~2,87 Mha) reforça a necessidade de medidas urgentes relacionadas à restauração e conservação dessas áreas que são provedoras de serviços ecossistêmicos (Metzger et al., 2019; Constanza et al., 2014); é importante também que o estado invista na estabilização das taxas de desmatamento para não elevar ainda mais as áreas passíveis de restauração florestal. Um estudo recente demonstrou que em Minas Gerais desflorestou-se 4.701 ha de Mata Atlântica entre 2019-2020 (SOS Mata Atlântica, 2021). Há na legislação florestal brasileira um mecanismo de Comercialização das Reservas Ambientais (CRA) das Reservas Legais no Brasil ainda pouco explorado do ponto de vista prático. Esse mecanismo pode facilitar o alcance da regularização do passivo ambiental de RL dos proprietários rurais, mas tem recebido críticas relacionadas ao sistema de compensação. A principal crítica é que pode ter pouco efeito adicional na proteção da vegetação nativa, pois a maior parte das compensações provavelmente ocorrerão onde a vegetação nativa já está protegida pelas legislações vigentes; um outro ponto importante é que os estados pouco avançaram na implementação desse mecanismo de mercado (Freitas et al., 2017).

As florestas plantadas embora apareçam em conflito em muitas áreas de proteção da vegetação nativa, existe um papel histórico importante de diminuir a pressão da exploração das madeiras nativas e integrar a produção madeireira para pequenos produtores rurais (Teixeira e Rodrigues, 2020). Além disso, os plantios comerciais são fundamentais para o atendimento das indústrias de base florestal e também é um setor em que os produtores rurais, geralmente, acabam mantendo suas áreas nativas protegidas, em função de um maior controle da atividade pelos órgãos ambientais.

Os resultados a nível de município para o estado de Minas Gerais podem ser estratégicos para ações de fiscalização do cumprimento da LPVN e, também, para os formuladores de políticas públicas traçarem estratégias para alcance das metas de restauração florestal no estado. As pastagens é uma das classes de uso do solo mais expressiva do estado em conflito com áreas que deveriam estar protegidas; essa área considerável pode estar relacionada ao pousio e/ou abandono das áreas produtivas e também à degradação do solo decorrente da falta de manejo conservacionistas da produção agrícola (Barão et al., 2021; Vieira et al., 2021).

O desenvolvimento de um manejo sustentável e inovador das pastagens e áreas agrícolas vêm sendo a estratégia mais aceita para aliar produção e desenvolvimento econômico. Uma evidência importante demonstra que sistemas agrossilvipastoris com pastagens bem manejadas podem levar melhoria do solo e também à elevação dos estoques de carbono e nitrogênio do solo (Freitas et al., 2020; Teixeira et al., 2021). O emprego de estratégias como essas podem ser a chave para aliar a restauração florestal com a produção agrossilvipastoril ao longo do período de recuperação estabelecido para essas áreas; isso porque em Minas Gerais existe a possibilidade da exploração de áreas de RL para fins comerciais por meio da aprovação de um Plano Florestal Sustentável pelo órgão ambiental do estado (Bedê, 2013).

Por fim, é importante destacar que as recentes alterações na legislação florestal diminuiu as áreas de “APP’s-e”, por meio da Lei Estadual 20.922 (Minas Gerais, 2013). Anteriormente, as veredas possuíam diferenciações para a faixa de proteção ambiental eram: 50 metros para veredas de encosta e 80 metros para veredas de superfície aplainada e veredas em várzeas. Com a alteração da legislação, independente da localização da vereda a faixa de proteção são 50 metros. Isso representa um impacto significativo uma vez que o estado possui um número alto desse ecossistema; as funções mais importantes são: refúgio de fauna silvestre e floresta nativa, além de serem áreas de abastecimento de recargas hídricas (Souza, 2020). Diante dessa flexibilização da legislação é importante ressaltar a importância de ações e políticas que culminem na diminuição do passivo dessas áreas em Minas Gerais que atualmente representa 46 mil ha em conflito com LPVN.

5.2 Levantamento dos instrumentos e mecanismos potenciais

O ICMS Ecológico é um dos instrumentos econômicos relacionados ao meio ambiente mais importantes do Brasil; através dele é possível incrementar substancialmente o orçamento dos municípios por meio da conservação da biodiversidade por meio da criação e manutenção de áreas protegidas (Lima et al., 2020). A melhoria da gestão e eficiência desse repasse em Minas Gerais poderia ser melhorada se a legislação vigente se inspirasse nos êxitos dessa mesma legislação nos estados do Paraná e Goiás (Mello et al., 2020). Além disso, há evidências recentes das dificuldades de implementação desse tipo de transferência fiscal ecológica decorrente da relação político-burocrática entre municípios e estados, principalmente em Minas Gerais (Paulo e Camões et al., 2020). Porém, o ponto de maior crítica desse instrumento financeiro é a falta de transparência e utilização do recurso em prol do meio ambiente, portanto, a utilização desse repasse em consonância com as metas de restauração florestal poderia auxiliar o Brasil a cumprir metas ambientais internacionais e ainda reforçar o respaldo legal do instrumento econômico (Mello et al., 2020; Rocha et al., 2020; Selva et al., 2021; Silva et al., 2021).

Os Fundos Municipais de Saneamento Básico (FMSB) permite que os municípios sejam beneficiados com até 4% da receita líquida auferida pelo prestador do serviço; somente em 2020 aproximadamente 60 municípios em Minas Gerais conseguiram habilitação para receber esse recurso, anteriormente 150 municípios já estavam habilitados em Minas Gerais para receber o repasse (Arsae-MG, 2018; Arsae-MG, 2021). Essa análise indica que há um potencial alto para geração de recurso desse fundo com a habilitação de outros municípios, essa expansão poderia representar um aumento substancial dos recursos destinados ao meio ambiente no estado. Existem críticas aos modelos que os fundos municipais vêm sendo estruturados, por exemplo: falta de incorporação dos princípios de participação social, emprego de metodologias de planejamento inadequado ou métodos não condizentes com a legislação regulante, a citar Lei nº 11.445 (Brasil, 2007; Silva, 2012; Silveira, 2012; Silveira et al., 2013a; Silveira et al., 2013b; Mello e Rezende, 2014; Pereira e Heller, 2015). Outros aspectos importantes, também foram identificados como dificultadores na implementação do FMSB em municípios menores, citam-se: falta de mão de obra qualificada para estruturação das metodologias necessárias, falta de integração de órgãos das áreas de saneamento e baixa vontade política (Lisboa et al., 2013).

O desenvolvimento e ampliação desses fundos podem representar uma valiosa oportunidade para integração entre o saneamento básico e os serviços ecossistêmicos

(Trimmer et al., 2019). As conexões entre o saneamento básico e as oportunidades com os serviços ecossistêmicos ainda são pouco exploradas; essa estratégia sinérgica contribui para aumentar o valor dos sistemas de saneamento e ao mesmo tempo equilibrar as necessidades sociais com o funcionamento do ecossistema. Essas ligações são muito oportunas principalmente, por conta dos esforços para alcançar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) que estão atreladas em desenvolver uma estrutura pós-2020 voltada para a conservação da biodiversidade (Trimmer et al., 2019). O Programa Pró-manciais que foi alvo de avaliação nesse estudo, representa um bom exemplo de interface entre fundos relacionados ao saneamento básico com a provisão de serviços ecossistêmicos (COPASA, 2015).

A cobrança pelo uso d'água é um instrumento de arrecadação ambiental que está sendo implementado no estado desde 2010; existem evidências que corroboram para uma melhoria na percepção ambiental dos pagadores durante esse período, porém, há uma intensa necessidade de evolução na legitimidade do instrumento, necessidade de revisão gradativa dos valores de arrecadação que estão congelados ao longo do tempo, ampliação e o aperfeiçoamento da difusão dos resultados para os usuários-pagadores (Magalhães Junior e Nunes Junior, 2009; Rosa, 2019). Mesmo que o Brasil possua altas cargas tributárias, há uma sinalização positiva da população quanto a uma arrecadação ambiental consistente e aderente a objetivos sólidos do desenvolvimento ambiental (Magalhães Junior e Nunes Junior 2009). Somado a isso, a expansão do instrumento financeiro para o estado é fundamental para aumento dessa arrecadação; há o potencial de expansão para 54 microrregiões do estado que ainda não implementaram o instrumento de arrecadação financeira (Portal InfoHidro, 2021) (Figura 9).

Outro ponto também importante trata-se das metodologias de cobrança pelo uso d'água existente; em sua maioria o único parâmetro que é considerado é a carga orgânica despejada, no entanto, a legislação brasileira regulamenta e indica que a cobrança deveria também partir de usos de recursos hídricos sujeitos a outorga, portanto, que inclua setores produtivos que realize o lançamento, em corpo de água, de esgotos e demais efluentes líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final (Minas Gerais, 1999). Dessa forma, é importante a viabilização da cobrança por meios de outros parâmetros com fósforo, sólidos totais etc., a fim de incorporar novos setores produtivos na arrecadação estadual (Rosa, 2019).

Assim, é evidente a possibilidade de otimização das arrecadações desse instrumento no estado, e essa ação poderia culminar no aumento dos recursos financeiros destinados à

restauração florestal que promoveria de maneira substancial a melhoria da qualidade dos recursos hídricos existentes (Mello et al., 2018; Pires et al., 2017; Saénz et al., 2016). A aplicação de recurso relacionado à cobrança pelo uso d'água poderia estar associada às metas de restauração do estado, priorizando sub-bacias estratégicas para o abastecimento hídrico da região (Fundação Renova, 2018; Almeida et al., 2020; Lopes et al., 2020).

Em outra vertente, a aplicação de tarifas de carbono é um instrumento amplamente discutido e avaliado na literatura internacional e também por formuladores de política em diversos países (Godal e Holtmark, 2001; Kotnik et al., 2014; Appy, 2015; Chen e Nie, 2016; Kuo et al., 2016; Haites et al., 2018; Ghazouani et al., 2021; Zhang et al., 2021). Iniciou-se com modelos de taxações fixas de carbono pelo chamado “*Carbon tax*” ou por modelos que com “*Cap-and-trade*” na qual havia um estabelecimento de cotas de carbono para as empresas, estabelecendo assim um mercado de cotas de carbono através de leilões e títulos de permissões; há ainda mercados híbridos entre esses dois mecanismos (Goulder e Schein, 2013; Lin e Jia, 2020). Na união européia esse mercado chegou a transacionar 100 bilhões de euros entre 2008 e 2009; em função da crise financeira mundial desse período os setores tiveram cotas remanescentes o que culminou na desaceleração do mercado de carbono (Appy, 2015). Existem países que possuem mercado de carbono implementado com a finalidade principal de regular as emissões de GEE, entre eles citam-se: Estados Unidos, China, Japão, França etc. O estudo atual, considerou-se a menor taxa de precificação de carbono encontrada atualmente nos mercados globais de carbono, a utilização de uma taxa mínima é a ideia mais aceita para se aplicar esse tipo de tarifa no Brasil, pois existem diversos desafios existentes no país para implementação desse mercado (Appy, 2015; Mercure et al., 2019).

Evidentemente a implementação de um nova taxa em uma região não é tarefa simples e possuem diversas vantagens e desvantagens nesse tipo de ação (Schneider e La Hoz Theuer, 2018). Como vantagens podemos citar que essas taxações podem contribuir para alcançar consumidores mais exigentes e também fomentar as organizações adotar práticas inovadoras e mais limpas/sustentáveis ambientalmente, conseqüentemente, isso pode levar a exclusão de empresas poluidoras e/ou ineficientes (Appy, 2015). Além disso, as taxações e implementação de um mercado de carbono pode ser a saída para alcançar a redução das emissões de GEE estabelecidos em Acordos Internacionais de maneira mais viável economicamente (Fujimori et al., 2016; Li e Duan, 2020).

As desvantagens é que a imposição de um novo imposto ou taxa pode gerar alguns efeitos adversos como: contração da atividade econômica, perda de competitividade internacional já que as taxações não vão incidir para todos os países concorrentes e por último

o “*Carbon Leakage*” que refere-se a migração das empresas para localidades onde não há taxaço de carbono (Böhringer et al., 2017; Appy, 2015). Portanto, a instauraço de um mercado de carbono geralmente precisa ser acompanhado de políticas públicas que compensem os possíveis impactos adversos sobre a atividade econômica e competitividade econômica, como, exemplo, citam-se: políticas de incentivo à inovaço tecnológica e investimentos em infraestrutura (Appy, 2015; Strand, 2020; Dibley e Garcia-Miron, 2020).

Uma análise realizada no Brasil, evidenciou que os resultados podem ser positivos para implantaço de uma tarifa de carbono associada a uma correço de distorçoões do sistema tributário atual, mantendo assim uma carga tributária neutra para o país; isso representaria uma oportunidade para o Brasil diminuir a incidência de impostos que prejudicam a economia brasileira (PIS/Confins) e ao mesmo tempo compensar com a criaço de taxas sobre as emissões de carbono (Appy, 2015).

O debate sobre as possíveis alternativas para a criaço de um mercado de carbono se mostra muito importante no cenário atual de Minas Gerais; recentemente o estado aderiu à campanha mundial denominada “*Race to Zero*”, que visa a neutralidade em carbono dos setores produtivos até 2050 (Agência Minas, 2021; Meio Ambiente Minas Gerais, 2021). O objetivo principal dessa ação é articular economias de países/estado que estão organizadas e comprometidas com ações que contribua para a limitaço do aumento da temperatura a 1,5 ° C até o final do século e fortalecer o número de países engajados com a questão climática para COP-26.

A implementaço de tarifas no mercado de carbono, além de representar uma oportunidade para financiamento de processos produtivos mais limpos nas indústrias, poderiam também auxiliar o financiamento de serviços ecossistêmicos, como a restauraço florestal em Minas Gerais (Bustamante et al., 2019). Portanto, pode-se concluir que alcançar as ambiçoões e ações do Acordo de Paris implicará na necessidade de uma estrutura de mercado que reconheça a restauraço de ecossistema como uma soluço econômica baseada na natureza e que apoie os países na abordagem em seus desafios e necessidades sociais e econômicas (Bustamante et al., 2019; Appy, 2015).

Alguns exemplos de produtos neutros como o café de Minas Gerais e a produço de carne bovina demonstra que os mercados internacionais estão dispostos a pagar mais por um produto com a rotulagem neutra em emissões de GEE; outros setores poderiam incorporar tal ação e assim alcançar mercados internacionais mais exigentes, possibilitando assim uma abertura de mercados internacionais e fortalecimento da política de mudanças climáticas em Minas Gerais (Mayberry et al., 2019; Zanasi et al., 2020; Birkenber et al., 2021).

O Acordo de Paris estabelece também a importância do papel das florestas como sumidouros naturais que podem contribuir para a mitigação das mudanças climáticas globais (UNFCCC, 2015). Entre as NDC's ratificadas, o setor de Florestas/Manejo florestal/Restauração Florestal é o segundo setor mais referenciado para o alcance das metas (em torno de 62% dos países) (Seddon et al., 2019). Dessa forma, a consideração do carbono florestal, proveniente de ações de restauração florestal poderia ser inserido em mercados de transação de carbono com o objetivo de fomentar essa iniciativa e, conseqüentemente, auxiliar no alcance de metas globais de restauração e de mudanças climáticas (Shrestha et al., 2021). Os créditos de carbono do setor florestal representou cerca de 40% dos créditos de compensação emitidos nos últimos cinco anos na Califórnia; alguns esquemas de mercados, basicamente através de ETS podem ser considerados como casos de sucesso atualmente (Manley e Maclarey, 2012; Zhang 2015; Anderson et al., 2017; West et al., 2020).

No entanto, a implementação de comércios de carbono proveniente das florestas, divide as opiniões sobre a seguridade da remoção de carbono da atmosfera (Shrestha et al., 2021). Os principais desafios para efetivação desse tipo de comércio são: a permanência do CO₂ nas árvores, os possíveis vazamentos de projetos de compensação florestal (incêndios, desmatamentos, incidência de doenças/pragas florestais), desenvolvimento de metodologias de verificação robusto nos projetos e engajamento os proprietários rurais (Galik e Jackson, 2009; Lewis et al., 2019). Porém, alguns estudos consideram que esses impasses podem ser resolvidos através de uma restauração florestal bem estabelecida (Domke et al., 2020; Morais Junior et al., 2020; Paul e Roxburgh, 2020; Sacco et al., 2021).

Conforme já descrito, Minas Gerais tem um importante papel relacionado às mudanças climáticas globais e na possibilidade de implementação de um mercado com transações de crédito de carbono; a consideração do setor florestal, mais especificamente a restauração florestal poderia representar uma oportunidade para a expansão desse segmento e contribuir para o alcance das metas ratificadas, ressaltando que o comércio de carbono é limitado para financiar a restauração florestal em grande escala, porém pode fornecer contribuições relevantes (Brancaion et al., 2020).

Por fim, a divulgação recente do Plano de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica em Minas Gerais, demonstrou o compromisso do governo do estado com iniciativas relacionadas à restauração florestal, embora a quantidade de recursos estabelecidos parece pequena para financiar a restauração florestal; a divulgação pública desse recurso reforça a importância do Meio Ambiente para o estado pelo menos em curto prazo (SISEMA, 2021). Alguns importantes estudos demonstraram resultados positivos de ações governamentais

relacionadas à restauração de florestas (Zhang e Putzel, 2016; Pistorius et al., 2017). Embora o estado de Minas Gerais esteja sinalizando positivamente com relação ao investimento em ações de restauração florestal, é importante que os formuladores de políticas públicas implementem ações que considere um horizonte de planejamento desses investimentos em longo prazo. Além disso, que se estabeleça cronogramas orçamentários que aloque esses recursos com clareza e atrele melhor as metas relacionadas a restauração florestal em nível de município em Minas Gerais.

5.3 Financiamento da Restauração Florestal em Minas Gerais

As estimativas de recursos e custos avaliados nesse estudo demonstram a necessidade de MG estruturar mecanismos/recursos financeiros que aumente as expectativas de receitas destinadas à Restauração Florestal. Embora, exista o estabelecimento de intenções de governantes e recursos já implementados destinados à Restauração Florestal, esses são reduzidos e não conseguem financiar a área em conflito com a LPVN no estado. Além disso, é necessário que novas políticas públicas e de fomento da atividade florestal sejam potencializadas no estado, visando otimizar a prospecção de recursos financeiros.

Alguns estudos mapearam estratégias para levantar recursos financeiros para a restauração florestal nos trópicos; entre as principais e com aplicabilidade nesse estudo, citam-se: regulamentação mercados financeiros focados na Mitigação das mudanças climáticas e restauração florestal, investimento tecnológico, educacional na área ambiental, implementação de mecanismos legais e de fiscalização com maior atuação e aumento de receitas com base em padrões e esquemas de certificações globais (Brançalion et al., 2017; Löfqvist e Ghazoul, 2019).

Nesse estudo, buscou-se em uma perspectiva mais ampla, alocar todos os recursos financeiros para a Restauração Florestal; evidentemente, muitos dos mecanismos propostos não poderão ser empregados na totalidade para essa atividade, pelo fato que há nesses programas/ações interface com outros programas ambientais. No entanto, a análise se justifica para compreensão do quanto os mecanismos/instrumentos financiadores precisam evoluir para alcance das metas assumidas globalmente pelo estado e também para assegurar o cumprimento da LPVN no estado.

Outro ponto importante a se destacar é que com relação ao crédito de carbono gerado de áreas restauradas não foi considerado o custo com assessoria técnica, geralmente associado

a elaboração e monitoramento de projetos de compensações, estima-se que esse custo esteja aproximadamente em torno de 2% do projeto total (Nunes et al., 2017).

Por fim, a degradação florestal e do solo para o mundo é muito onerosa (6,3 trilhões de dólares anuais) e representa 8,3% do PIB global em 2016; esse fato acaba comprometendo o meio de subsistência de pelo menos meio bilhão de pessoas (Ding et al., 2017). As estimativas de custos e a localização das áreas prioritárias tornam-se fatores chaves para subsidiar políticas públicas que visem estabelecer recursos financeiros para esse tópico (SISEMA, 2021). As estimativas de custos levantadas nesse estudo e em outros demonstra o tamanho do esforço que o estado de Minas Gerais enfrentará para concluir a restauração florestal no estado (Nunes et al., 2017).

Além das recomendações de implementações de mercados que estabelecem um planejamento de recursos financeiros ao longo do tempo é importante ressaltar também a importância de governos mudarem a perspectivas atuais de subsídios ao uso da terra. Por exemplo, adotar uma abordagem integrada entre os ministérios e apoiar os mecanismos de mitigação de riscos nesse setor para atrair o investimento privado, por fim, visto a sinergia entre mitigação das mudanças climáticas e restauração florestal, os mercados devem ser estruturados de maneira potencializar essa interação (Ding et al., 2017; Brancalion et al., 2017; Löfqvist e Ghazoul, 2019).

Por fim, as políticas podem contemplar programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), como o programa estadual Bolsa Verde (SISEMA, 2021) para oportunizar a restauração florestal em larga-escala no estado. Os títulos florestais podem ser comercializados fornecendo uma valorização desse mercado, consequentemente estimulando o investimento e fortalecimento de ações relacionadas a restauração/conservação florestal. Espera-se que os formuladores de políticas públicas dos municípios e do estado possam encontrar nesse estudo os dados e ideias que fortaleçam o amadurecimento de ideias para financiar a restauração florestal em diversas localidades do mundo, principalmente no estado de Minas Gerais, Brasil.

6 Conclusões

- Os mecanismos financeiros implementados ou com tendência de implementação em Minas Gerais, contribuem significativamente para levantar recursos financeiros para a restauração florestal no estado, mas não são suficientes para abarcar todos os custos relacionados à restauração florestal de áreas em conflito no estado de Minas Gerais;
- Esse estudo demonstrou que Minas Gerais possui um déficit de cobertura florestal de áreas protegidas pela legislação ambiental de aproximadamente 3,7 Milhões de hectares. Nesse sentido, as áreas de Reserva Legal (RL) (2,2 Milhões de hectares) e de Preservação Permanente de recursos Hídricos (APP's-a) (1,3 Milhões de hectares) representam a maior modalidade de áreas em desacordo com a legislação florestal.
- As expectativas de custos desse déficit de áreas desflorestadas para Minas Gerais prevê uma necessidade de investimento financeiro na ordem de 2 bilhões de dólares nos próximos 20 anos. As simulações e os mecanismos financeiros levantados indicam que parte considerável desse custo poderia ser abarcado por alguns importantes mecanismos financeiros que estão regulamentados ou que possuem potencial para implementação no estado.
- O estado de Minas Gerais já possui iniciativas e um forte movimento relacionado à restauração florestal; a sinergia com as metas internacionais e o anseio para a regularização ambiental de imóveis rurais deverão ser a propulsão para o estabelecimento de discussões políticas, privadas e sociais nos próximos anos que objetive a Restauração e Conservação Florestal.

Agradecimentos

Às instituições brasileiras financiadoras de estudos Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES) que auxiliaram para o desenvolvimento deste estudo por meio da concessão de bolsa de estudo e ao CNPQ, pelo auxílio financeiro.

À empresa BH Geotecnologia e Projetos (Renato Marques) e Brandt Meio Ambiente pelo auxílio e suporte no processamento e análise de dados geográficos.

Referências bibliográficas

- Agência Minas. Minas Gerais formaliza adesão à campanha mundial Race to Zero para zerar emissões de carbono. (2021). Disponível em: < <http://agenciaminas.mg.gov.br/noticia/minas-gerais-formaliza-adesao-a-campanha-mundial-race-to-zero-para-zerar-emissoes-de-carbono>>. Acesso: 13 de Junho de 2021.
- Almeida, F. C., Silveira, E. M. O., Acerbi Júnior, F. W., França, L. C. J., Bueno, I. T., & Terra, B. J. O. (2020). Análise multicritério na definição de áreas prioritárias para recuperação florestal na bacia do Rio Doce. Minas Gerais. *Revista Nativa*, 8(1), 81-90.
- Alves-Pinto, H. N., Latawiec, A. E., Strassburg, B. B., Barros, F. S., Sansevero, J. B., Iribarrem, A., Silva, A. C. (2017). Reconciling rural development and ecological restoration: strategies and policy recommendations for the Brazilian Atlantic Forest. *Land Use Policy*, 60, 419-426.
- Anderson CA, Field CB, Mach KJ (2017) Forest offsets partner climate-change mitigation with conservation. *Front Ecol Environ*. 15(7):359–365.
- Appy, B. (2015). Taxação sobre carbono, competitividade e correção de distorções do sistema tributário: Impactos na economia brasileira. São Paulo: Instituto Escolhas.
- Arsae-MG. Habilitação de Fundo Municipal de Saneamento Básico. (2021). Link de acesso:< <http://www.arsae.mg.gov.br/component/gmg/page/821-repasses-tarifarios-do-fundo-de-saneamento#:~:text=A%20Arsae%2DMG%2C%20por%20meio,munic%C3%ADpios%20atendidos%20por%20prestadores%20regulados.>>. Acesso: 26 de Maio de 2021.
- Arsae-MG. Nota Técnica CRE 12/2020. (2020a). Disponível em: < http://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/audiencia_publica/32/NT_CRE_12_2020_ProgramasEspeciais_PreAP.pdf>. Acesso: 26 de Maio de 2021.
- Arsae-MG. Nota Técnica GFE N° 010/2020. (2020b). Disponível em: < http://arsae.mg.gov.br/images/documentos/gfe_rf_2020_010_fisc_copasa_coponor_consolidado.pdf>. Acesso: 26 de Maio de 2021.
- Arsae-MG. Nota Técnica GRT 08/2018 (versão pós Audiência Pública). (2018). Disponível em: < http://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/2021/FMSB/SITE_fmsb_anexo_a_nt_grt_08_2018_reconhecimento_repasses.pdf>. Acesso: 26 de Maio de 2021.
- Azevedo, T. R., Junior, C. C., Junior, A. B., dos Santos Cremer, M., Piatto, M., Tsai, D. S., Kishinami, R. (2018). SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. *Scientific data*, 5(1), 1-43.
- Barão, W. N., Melloni, E. G. P., Pons, N. A. D., Teixeira, D. L. S. (2021). Técnicas de geoprocessamento aplicadas ao estudo do conflito de uso do solo em microbacias do município de Senador Amaral–MG. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(01), 439-454.
- Barbier, E. B., Lozano, R., Rodríguez, C. M., & Troëng, S. (2020). Adopt a carbon tax to protect tropical forests. *Nature Climate Change*, 9(1), 463-466.

Bedê, J. C. (2013). Cartilha sobre nova lei florestal de Minas Gerais: orientações aos produtores rurais: lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013: dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade.

Biggs, T. W., Santiago, T. M. O., Sills, E., & Caviglia-Harris, J. (2019). The Brazilian Forest Code and riparian preservation areas: spatiotemporal analysis and implications for hydrological ecosystem services. *Regional Environmental Change*, 19(8), 2381-2394.

Birkenberg, A., Narjes, M. E., Weinmann, B., & Birner, R. (2021). The potential of carbon neutral labeling to engage coffee consumers in climate change mitigation. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123621.

Böhringer, C., Rosendahl, K. E., & Storrøsten, H. B. (2017). Robust policies to mitigate carbon leakage. *Journal of Public Economics*, 149, 35-46.

Brancalion, P. H. S., Viani, R. A., Strassburg, B. B. N., Rodrigues, R. R. (2012). Finding the money for tropical forest restoration. *Unasylva*, 63(1), 25-34.

Brancalion, P. H., Garcia, L. C., Loyola, R., Rodrigues, R. R., Pillar, V. D., Lewinsohn, T. M. (2016). A critical analysis of the Native Vegetation Protection Law of Brazil (2012): updates and ongoing initiatives. *Natureza & Conservação*, 14, 1-15.

Brancalion, P. H., Guillemot, J., Cesar, R. G., Andrade, H. S., Mendes, A., Sorrini, T. B., Chazdon, R. L. (2021). The cost of restoring carbon stocks in Brazil's Atlantic Forest. *Land Degradation & Development*, 32(2), 830-841.

Brancalion, P. H., Lamb, D., Ceccon, E., Boucher, D., Herbohn, J., Strassburg, B., & Edwards, D. P. (2017). Using markets to leverage investment in forest and landscape restoration in the tropics. *Forest Policy and Economics*, 85, 103-113.

Brasil. (2007) Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Lei do Saneamento. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: . Acesso em: 27 out. 2011.

Brasil. (2015). Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf>. Acesso em 27 de maio de 2020.

Brasil. Decreto nº 7.830, de 17 de outubro de 2012a. (2012a). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Decreto/D7830.htm. Acesso: 25 de Maio de 2021.

Brasil. Decreto nº 8.972, de 23 de janeiro de 2017 (2017). Instituiu a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/D8972.htm> . Acesso: 26 de Maio de 2021.

Brasil. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (2007). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm> . Acesso: 26 de Maio de 2021.

Brasil. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012b. (2012b). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso: 25 de Maio de 2021.

Brasil. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020 (2020). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm>.

Busch, J., Engelmann, J., Cook-Patton, S. C., Griscom, B. W., Kroeger, T., Possingham, H., & Shyamsundar, P. (2019). Potential for low-cost carbon dioxide removal through tropical reforestation. *Nature Climate Change*, 9(6), 463-466.

Bustamante, M. M., Silva, J. S., Scariot, A., Sampaio, A. B., Mascia, D. L., Garcia, E., Nobre, C. (2019). Ecological restoration as a strategy for mitigating and adapting to climate change: lessons and challenges from Brazil. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24(7), 1249-1270.

Carmo, F. F., Kamino, L. H. Y., Junior, R. T., de Campos, I. C., do Carmo, F. F., Silvino, G., Pinto, C. E. F. (2017). Fundão tailings dam failures: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context. *Perspectives in ecology and conservation*, 15(3), 145-151.

Castro, B. S., Fares, L. R., Gonçalves, R. F., & Young, C. E. F. (2019). Avaliação das Fontes Potenciais de Financiamento para Projetos de Caráter Ambiental Relacionados aos ODS no Brasil. *Revibec: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 31, 29-45.

Chazdon, R. L., & Uriarte, M. (2016). The Role of Natural Regeneration in Large-scale Forest and Landscape Restoration: Challenge and Opportunity. *Biotropica*, 48(6), 716-730.

Chen, Z. Y., & Nie, P. Y. (2016). Effects of carbon tax on social welfare: A case study of China. *Applied energy*, 183, 1607-1615.

Copasa. Programa Pró Mananciais. (2021). Disponível em:<<https://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/meio-ambiente/pro-mananciais>>. Acesso: 26 de Maio de 2021.

Copasa. Pro-mananciais- Programa Socioambiental de Proteção e Recuperação de Mananciais. (2015). Link de acesso: http://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/audiencia_publica/15/ProMananciais.pdf>. Acesso: 26 de Maio de 2021.

Costanza, R., De Groot, R., Sutton, P., Van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global environmental change*, 26, 152-158.

Del Castillo, T. F. (2021). Principles and Approaches in the Convention on Biological Diversity and Other Biodiversity-Related Conventions in the Post-2020 Scenario. In *Biological Diversity and International Law* (pp. 15-34). Springer, Cham.

Di Sacco, A., Hardwick, K. A., Blakesley, D., Brancalion, P. H., Breman, E., Cecilio Rebola, L., Antonelli, A. (2021). Ten golden rules for reforestation to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits. *Global Change Biology*, 27(7), 1328-1348.

Dibley, A., & Garcia-Miron, R. (2020). Can money buy you (climate) happiness? Economic co-benefits and the implementation of effective carbon pricing policies in Mexico. *Energy Research & Social Science*, 70, 101659.

Ding, H., Faruqi, S., Wu, A., Altamirano, J. C., Ortega, A. A., Cristales, R. Z., Verdone, M. (2017). Roots of prosperity: The economics and finance of restoring land.

Domke, G. M., Oswald, S. N., Walters, B. F., & Morin, R. S. (2020). Tree planting has the potential to increase carbon sequestration capacity of forests in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(40), 24649-24651.

FJP- Fundação João Pinheiro. FJP Dados. (2021). Disponível em: <<http://fjpdados.fjp.mg.gov.br/comerciointer/#dados>>. Acesso: 24 de Maio de 2021.

FJP. Fundação João Pinheiro. (2021). Disponível em: <<http://fjp.mg.gov.br/robin-hood/>>. Acesso: 25 de Maio de 2021.

Freitas, E. D. S. M. (2013). As políticas de saneamento no final do século XX e suas implicações em Minas Gerais: reflexões a partir da reestruturação produtiva na/da COPASA/MG. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/IGCC-96LNUT/1/freitas_eliano_capa_cap_tulos_tese_doutorado_final.pdf>. Acesso: 26 de Maio de 2021.

Freitas, F. L. M., Sparovek, G., Mörtberg, U., Silveira, S., Klug, I., & Berndes, G. (2017). Offsetting legal deficits of native vegetation among Brazilian landholders: Effects on nature protection and socioeconomic development. *Land use policy*, 68, 189-199.

Freitas, I. C., Ribeiro, J. M., Araújo, N. C. A., Santos, M. V., Sampaio, R. A., Fernandes, L. A., Frazão, L. A. (2020). Agrosilvopastoral systems and well-managed pastures increase soil carbon stocks in the Brazilian Cerrado. *Rangeland Ecology & Management*, 73(6), 776-785.

Fujimori, S., Kubota, I., Dai, H., Takahashi, K., Hasegawa, T., Liu, J. Y., Takimi, M. (2016). Will international emissions trading help achieve the objectives of the Paris Agreement?. *Environmental Research Letters*, 11(10), 104001.

Fundação Estadual do Meio Ambiente. (2015). Plano de energia e mudanças climáticas de Minas Gerais: resumo executivo / Fundação Estadual do Meio Ambiente; com apoio de Agência Francesa do Meio Ambiente e da Gestão de Energia, Conselho Regional de Nord Pas-de-Calais - Belo Horizonte: FEAM, 2015. 49 p. il.

Fundação Renova. Metodologia de Priorização- Definição de critérios de priorização de áreas para recuperação ambiental do rio doce. (2018). Disponível em:<<https://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2020/02/metodologiadepriorizarecuperacaoambientalufvufmg.pdf>>. Acesso em: 06 de Junho de 2021.

Galik, C. S., & Jackson, R. B. (2009). Risks to forest carbon offset projects in a changing climate. *Forest Ecology and Management*, 257(11), 2209-2216.

Ghazouani, A., Jebli, M. B., & Shahzad, U. (2021). Impacts of environmental taxes and technologies on greenhouse gas emissions: contextual evidence from leading emitter European countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(18), 22758-22767.

Godal, O., Holtmark, B. (2001). Greenhouse gas taxation and the distribution of costs and benefits: the case of Norway. *Energy Policy*, 29(8), 653-662.

Goulder, L. H., & Schein, A. R. (2013). Carbon taxes versus cap and trade: a critical review. *Climate Change Economics*, 4(03), 1350010.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Localização geográfica. (2021A) Disponível em: <<https://www.mg.gov.br/conteudo/conheca-minas/geografia/localizacao-geografica>>. Acesso: 24 de Maio de 2021.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Dados Gerais. (2021B) Disponível em: <https://www.mg.gov.br/conteudo/conheca-minas/geografia/dados-gerais>. Acesso: 24 de Maio de 2021.

Guerra, A., Reis, L. K., Borges, F. L. G., Ojeda, P. T. A., Pineda, D. A. M., Miranda, C. O., Garcia, L. C. (2020). Ecological restoration in Brazilian biomes: Identifying advances and gaps. *Forest ecology and Management*, 458, 117802.

Escobar, H Bolsonaro's first moves have Brazilian scientists worried, *Science*, 363 (2019), p. 330, 10.1126.

Haites, E., Maosheng, D., Gallagher, K. S., Mascher, S., Narassimhan, E., Richards, K. R., & Wakabayashi, M. (2018). Experience with carbon taxes and greenhouse gas emissions trading systems. *Duke Envtl. L. & Pol'y F.*, 29, 109.

Hernandes, T. A. D., Duft, D. G., dos Santos Luciano, A. C., Leal, M. R. L. V., & Cavalett, O. (2021). Identifying suitable areas for expanding sugarcane ethanol production in Brazil under conservation of environmentally relevant Habitats. *Journal of Cleaner Production*, 292, 125318.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografica e Estatística. Cidades e Estado. (2021) Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg.html>>. Acesso: 24 de Maio de 2021.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografica e Estatística. Cidades e Estado. Censo Agropecuário 2017- Resultados Definitivos. (2017). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf>. Acesso: 24 de Maio de 2021.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. (2021). Gestão das Águas. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/gestao-das-aguas>> . Acesso: 26 de Maio de 2021.

Ipea. Taxa de câmbio comercial para venda: real (R\$) / dólar americano (US\$) – média. (2021). Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=31924>. Acesso: 30 de Maio de 2021.

Jung, S., Rasmussen, L. V., Watkins, C., Newton, P., & Agrawal, A. (2017). Brazil's national environmental registry of rural properties: implications for livelihoods. *Ecological Economics*, 136, 53-61.

- Kotnik, Ž., Maja, K. L. U. N., Škulj, D. (2014). The effect of taxation on greenhouse gas emissions. *Transylvanian Review of Administrative Sciences*, 10(43), 168-185.
- Kuo, T. C., Hong, I. H., & Lin, S. C. (2016). Do carbon taxes work? Analysis of government policies and enterprise strategies in equilibrium. *Journal of cleaner production*, 139, 337-346.
- Lewis, S. L., Wheeler, C. E., Mitchard, E. T. A., & Koch, A. (2019). Restoring natural forests is the best way to remove atmospheric carbon. *Nature*, 568, 25–28.
- Li, M., Duan, M. (2020). Efforts-sharing to achieve the Paris goals: Ratcheting-up of NDCs and taking full advantage of international carbon market. *Applied Energy*, 280, 115864.
- Lima, I. M. C., Gomes, L. J., & Fernandes, M. M. (2020). Áreas protegidas como critério de repasse do ICMS Ecológico nos estados brasileiros. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 54, 125-145.
- Lin, B., & Jia, Z. (2020). Can Carbon Tax Complement Emission Trading Scheme? The Impact Of Carbon Tax On Economy, Energy And Environment In China. *Climate Change Economics*, 11(03), 2041002.
- Lisboa, S. S., Heller, L., & Silveira, R. B. (2013). Desafios do planejamento municipal de saneamento básico em municípios de pequeno porte: a percepção dos gestores. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 18(4), 341-348.
- Löfqvist, S., Ghazoul, J. (2019). Private funding is essential to leverage forest and landscape restoration at global scales. *Nature ecology & evolution*, 3(12), 1612-1615.
- Lopes, T. R., Moura, L. B., Nascimento, J. G., Junior, L. S. F., Zolin, C. A., Duarte, S. N., Santos, O. N. A. (2020). Priority areas for forest restoration aiming at the maintenance of water resources in a basin in the Cerrado/Amazon ecotone, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 101, 102630.
- Magalhães Júnior, A. P. M.; Nunes Junior, T.T. (2009). Perspectivas de efetivação da cobrança pelo uso da água no Brasil com base no caso da porção mineira da bacia do Paraíba do Sul. *Revista Geografias*, 7-21.
- Manley, B., & Maclaren, P. (2012). Potential impact of carbon trading on forest management in New Zealand. *Forest Policy and Economics*, 24, 35-40.
- MapBiomass. MapBiomass General “Handbook”- Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)/ Collection 5/ Version 1.0. (2020). Disponível em: < https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/ATBD_Collection_5_v1.pdf>. Acesso: 25 de Maio de 2021.
- MapBiomass. Visão geral da metodologia. (2019). Disponível em: <https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia>. Acesso: 25 de Maio de 2021.
- Matzek, V., Puleston, C., & Gunn, J. (2015). Can carbon credits fund riparian forest restoration?. *Restoration Ecology*, 23(1), 7-14.
- Mayberry, D., Bartlett, H., Moss, J., Davison, T., & Herrero, M. (2019). Pathways to carbon-neutrality for the Australian red meat sector. *Agricultural Systems*, 175, 13-21.

Meio Ambiente Minas Gerais. Adesão de Minas Gerais à campanha mundial “Race to Zero”. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=kwy5tx9ZHho>>. Acesso: 13 de Junho de 2021.

Mello, E. R., de Souza, K. R., & da Costa, T. S. (2020). Critical analysis of the Brazilian ecological state excise tax (icms) in the Brazilian states/analises criticas do icms ecologico nos estados brasileiros. *Direito da Cidade*, 12(4), 2646-2685.

Mello, K., Fendrich, A. N., Sparovek, G., Simmonds, J. S., Maron, M., Tavares, P. A., Metzger, J. P. (2021). Achieving private conservation targets in Brazil through restoration and compensation schemes without impairing productive lands. *Environmental Science & Policy*, 120, 1-10.

Mello, K., Valente, R. A., Randhir, T. O., dos Santos, A. C. A., & Vettorazzi, C. A. (2018). Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: Watershed versus riparian zone. *Catena*, 167, 130-138.

Mello, M. C. C., & Rezende, S. (2014). O Conselho Municipal de Saneamento de Belo Horizonte: desafios e possibilidades. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 19(4), 479-488.

Mercure, J. F., Paim, M. A., Bocquillon, P., Lindner, S., Salas, P., Martinelli, P., Vinuales, J. E. (2019). System complexity and policy integration challenges: the Brazilian Energy-Water-Food Nexus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105, 230-243.

Metzger, J. P., Bustamante, M. M., Ferreira, J., Fernandes, G. W., Librán-Embí, F., Pillar, V. D., Overbeck, G. E. (2019). Why Brazil needs its legal reserves. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 17(3), 91-103.

Minas Gerais. Decreto nº 45.229 de 3 de Dezembro de 2009. (2009). Regulamenta medidas do Poder Público do Estado de Minas Gerais referentes ao combate às mudanças climáticas e gestão de emissões de gases de efeito estufa e dá outras providências.

Minas Gerais. Decreto nº 48.160 de 24 de Março de 2021. (2021). Regulamenta a cobrança pelo uso de recursos hídricos no Estado e dá outras providências. Disponível em: < <http://jornal.iof.mg.gov.br/xmlui/handle/123456789/245857>>. Acesso: 26 de Maio de 2021.

Minas Gerais. Lei n. 13.199, de 29 de janeiro de 1999. Política Estadual de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, MG, 29 jan. 1999.

Minas Gerais. Lei nº 13.199 de 29 de Janeiro de 1999. (1999). Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309>>. Acesso: 26 de Maio de 2021.

Minas Gerais. Lei nº 14.309 de 19 de Junho de 2002. (2002). Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado.

Minas Gerais. Lei nº 20922 de 16 de Setembro de 2013. (2013). Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado.

Ministério das Relações Exteriores. Declaração conjunta Brasil-Estados Unidos sobre mudança do clima. Washington: MRE, 30 jun. 2015b. Acesso em: 7 julho de 2015.

Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONABIO nº 6, de 3 de setembro de 2013. Brasília: MMA, 2013.

- MMA. Ministério do Meio Ambiente. National Biodiversity Strategy and Action Plan. (2017). Disponível em: < <https://www.cbd.int/doc/world/br/br-nbsap-v3-en.pdf>> . Acesso em 27 de maio de 2021.
- Molin, P. G., Chazdon, R., Frosini de Barros Ferraz, S., & Brancalion, P. H. (2018). A landscape approach for cost-effective large-scale forest restoration. *Journal of Applied Ecology*, 55(6), 2767-2778.
- Monte, M. A., & da Silva, M. L. (2009). Análise do repasse do ICMS Ecológico aos municípios do Estado de Minas Gerais. *Cerne*, 15(4), 391-397.
- Morais Junior, V. T. M., Jacovine, L. A. G., Alves, E. B. B. M., Torres, C. M. M. E., Faustino, I. S., de Jesus França, L. C., Alcántara-de la Cruz, R. (2020). Growth and survival of potential tree species for carbon-offset in degraded areas from southeast Brazil. *Ecological Indicators*, 117, 106514.
- Morais Junior, V. T. M., Jacovine, L. A. G., Alves, E. B. B. M., Torres, C. M. M. E., Faustino, I. S., de Jesus França, L. C., Alcántara-de la Cruz, R. (2020). Growth and survival of potential tree species for carbon-offset in degraded areas from southeast Brazil. *Ecological Indicators*, 117, 106514.
- Niemeyer, J., Barros, F. S., Silva, D. S., Crouzeilles, R., & Vale, M. M. (2020). Planning forest restoration within private land holdings with conservation co-benefits at the landscape scale. *Science of The Total Environment*, 717, 135262.
- Nunes, F. S., Soares-Filho, B. S., Rajão, R., & Merry, F. (2017). Enabling large-scale forest restoration in Minas Gerais state, Brazil. *Environmental Research Letters*, 12(4), 044022.
- O'Neill, C., Lim, F. K., Edwards, D. P., & Osborne, C. P. (2020). Forest regeneration on European sheep pasture is an economically viable climate change mitigation strategy. *Environmental Research Letters*, 15(10), 104090.
- Observatório da Restauração e Reflorestamento. (2021). Disponível em: < <https://observatoriodarestauracao.org.br/app/>>. Acesso: 26 de Maio de 2021.
- Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., Yagi, N. (2017). Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26, 7-16.
- Paul, K. I., Roxburgh, S. H. (2020). Predicting carbon sequestration of woody biomass following land restoration. *Forest Ecology and Management*, 460, 117838.
- Paulo, F. L. L., Camões, P. J. S. (2021). An analysis of delay in implementing ecological fiscal transfers in Brazil. *Environmental Development*, 37, 100550.
- Pereira, E. J. D. A. L., de Santana Ribeiro, L. C., da Silva Freitas, L. F., & de Barros Pereira, H. B. (2020). Brazilian policy and agribusiness damage the Amazon rainforest. *Land Use Policy*, 92, 104491.
- Pereira, T. S. T., & Heller, L. (2015). Planos municipais de saneamento básico: avaliação de 18 casos brasileiros. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 20(3), 395-404.
- Pires, A. P., Rezende, C. L., Assad, E. D., Loyola, R., & Scarano, F. R. (2017). Forest restoration can increase the Rio Doce watershed resilience. *Perspectives in ecology and conservation*, 15(3), 187-193.

- Pistorius, T., Carodenuto, S., & Wathum, G. (2017). Implementing forest landscape restoration in Ethiopia. *Forests*, 8(3), 61.
- Planaveg, B. (2017). Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa. *Ministério do Meio Ambiente*: Brasília, Brazil, 76.
- PortalInfoHidro. Informações sobre Recursos Hídricos. (2021). Disponível em:<<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/cobranca-pelo-uso-dos-recursos-hidricos>>. Acesso em: 06 de Junho de 2021.
- Rajão, R., & Soares-Filho, B. (2015). Policies undermine Brazil's GHG goals. *Science*, 350(6260), 519.
- Reboita, M. S., Rodrigues, M., Silva, L. F., & Alves, M. A. (2015). Aspectos climáticos do estado de minas gerais (climate aspects in minas gerais state). *Revista Brasileira de Climatologia*, 17.
- Rezende, C. L., Scarano, F. R., Assad, E. D., Joly, C. A., Metzger, J. P., Strassburg, B. B. N., Mittermeier, R. A. (2018). From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in ecology and conservation*, 16(4), 208-214.
- Richards, R. C., Rerolle, J., Aronson, J., Pereira, P. H., Gonçalves, H., & Brancalion, P. H. (2015). Governing a pioneer program on payment for watershed services: Stakeholder involvement, legal frameworks and early lessons from the Atlantic forest of Brazil. *Ecosystem Services*, 16, 23-32.
- Ring, I. (2008). Integrating local ecological services into intergovernmental fiscal transfers: the case of the ecological ICMS in Brazil. *Land use policy*, 25(4), 485-497.
- Rocha, S. J. S. S., Comini, I. B., Morais Júnior, V. T. M., Schettini, B. L. S., Villanova, P. H., Alves, E. B. B. M., Torres, C. M. M. E. (2019). Ecological ICMS enables forest restoration in Brazil. *Land Use Policy*, 91, 104381.
- 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.
- Roitman, I., Vieira, L. C. G., Jacobson, T. K. B., da Cunha Bustamante, M. M., Marcondes, N. J. S., Cury, K., Avila, M. L. (2018). Rural Environmental Registry: An innovative model for land-use and environmental policies. *Land use policy*, 76, 95-102.
- Roitman, I., Vieira, L. C. G., Jacobson, T. K. B., da Cunha Bustamante, M. M., Marcondes, N. J. S., Cury, K., Avila, M. L. (2018). Rural Environmental Registry: An innovative model for land-use and environmental policies. *Land use policy*, 76, 95-102.
- Rosa, D. W. B. (2019). Aprimoramento da cobrança pelo uso de recursos hídricos no estado de Minas Gerais: perspectivas dos integrantes do sistema estadual de gestão de recursos hídricos. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 16 (2019).
- Rotta, L. H. S., Alcantara, E., Park, E., Negri, R. G., Lin, Y. N., Bernardo, N., Souza Filho, C. R. (2020). The 2019 Brumadinho tailings dam collapse: Possible cause and impacts of the worst human and environmental disaster in Brazil. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 90, 102119.

Sáenz, L., Farrell, T., Olsson, A., Turner, W., Mulligan, M., Acero, N., Guerrero, J. (2016). Mapping potential freshwater services, and their representation within Protected Areas (PAs), under conditions of sparse data. Pilot implementation for Cambodia. *Global ecology and conservation*, 7, 107-121.

Schneider, L., & La Hoz Theuer, S. (2019). Environmental integrity of international carbon market mechanisms under the Paris Agreement. *Climate Policy*, 19(3), 386-400.

Seddon, N., Daniels, E., Davis, R., Chausson, A., Harris, R., Hou-Jones, X., ... & Wicander, S. (2020). Global recognition of the importance of nature-based solutions to the impacts of climate change. *Global Sustainability*, 3.

SEEG. SEEG Brasil. (2021). Disponível em: <<http://plataforma.seeg.eco.br/map>>. Acesso: 26 de Maio de 2021.

Selva, G. V., Pauli, N., Clifton, J., Kim, M. K. (2021). A Framework for Analysing Ecological Fiscal Transfers: Case Studies from the Brazilian Atlantic Forest. *Journal of Latin American Studies*, 1-28.

Serviço Florestal Brasileiro. (2021). Cadastro Ambiental Rural- CAR. Disponível em: <<https://www.car.gov.br/#/>>. Acesso: 25 de Maio de 2021.

Shrestha, A., Eshpeter, S., Li, N., Li, J., Nile, J. O., & Wang, G. (2021). Inclusion of forestry offsets in emission trading schemes: insights from global experts. *Journal of Forestry Research*, 1-9.

Silva, A. P. M., Marques, H. R., Sambuichi, R. H. R. (Eds.). (2016). *Mudanças no código florestal brasileiro: Desafios para a implementação da nova lei*. Ipea.

Silva, L. B., Comini, I. B., Alves, E. B. B. M., da Rocha, S. J. S. S., & Jacovine, L. A. G. (2021). Compensating the negative environmental impacts of mining with financial mechanisms in Brazil. *Land Use Policy*, 104, 105351.

Silveira, R.B. (2012) Princípios no planejamento em saneamento básico: estudo comparativo de três experiências brasileiras. (Dissertação) – *Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais*, 188 f.

Silveira, R.B.; Heler, L.; Lisboa, S.S. (2013b) Plano de saneamento ambiental de Penápolis, Brasil: uma avaliação à luz das teorias de planejamento. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, v. 6, n. 1, p. 32-48.

Silveira, R.B.; Heler, L.; Rezende, S. (2013a) Identificando correntes teóricas de planejamento: uma avaliação do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab). *Revista de Administração Pública*, Rio de Janeiro, v. 47, n. 3, p. 601-622.

Siqueira, L. P., Tedesco, A. M., Rodrigues, R. R., Chaves, R. B., Albuquerque, N. C., Corrêa, F. F., Brancalion, P. H. (2021). Engaging people for large-scale forest restoration: governance lessons from the Atlantic Forest of Brazil. In *The Atlantic Forest* (pp. 389-402). Springer, Cham.

SISEMA. Plano Estadual de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica. (2021). Disponível em:<

http://www.ief.mg.gov.br/images/stories/2021/PLANO_DE_RECUPERA%C3%87%C3%83O_E_CONSERVA%C3%87%C3%83O_DA_MATA_ATLANTICA/PLANO_DE_RECUPERA%C3%87%C3%83O_E_CONSERVA%C3%87%C3%83O_DA_MATA_ATL%C3%83NTICA_25-05-21.pdf>. Accessed 16 June 2021.

Soares-Filho, B. S., Lima, L. S., Hissa, L. B., Costa, W. L. S., Rodrigues, H. O., Ferreira, B. M., & Gomes, W. W. (2013). OTIMIZAGRO: Uma plataforma integrada de modelagem de uso e mudanças no uso da terra para o Brasil. Final report. Disponível em: <http://redd.mma.gov.br/images/gttredd/britaldosoares_otimizagro.pdf>. Acesso: 26 de Maio de 2021.

Soares-Filho, B., Rajão, R., Macedo, M., Carneiro, A., Costa, W., Coe, M., Alencar, A. (2014). Cracking Brazil's forest code. *Science*, 344(6182), 363-364.

SOS Mata Atlântica (2021). Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica (Período 2019-2020). Disponível em: <https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2021/05/SOSMA_Atlas-da-Mata-Atlantica_2019-2020.pdf>. Acesso: 26 de Maio de 2021.

Souza, C. M., Z Shimbo, J., Rosa, M. R., Parente, L. L., A Alencar, A., Rudorff, B. F., Azevedo, T. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*, 12(17), 2735.

Souza, D. C. (2020). Retrocesso no regime de proteção das veredas do Estado de Minas Gerais: a revogação da Lei Estadual nº 9.675/1986. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 14(2), 239-247.

Stabile, M. C., Guimarães, A. L., Silva, D. S., Ribeiro, V., Macedo, M. N., Coe, M. T., Alencar, A. (2020). Solving Brazil's land use puzzle: Increasing production and slowing Amazon deforestation. *Land Use Policy*, 91, 104362.

Strand, J. (2020). Supporting Carbon Tax Implementation in Developing Countries through Results-Based Payments for Emissions Reductions.

Teixeira, G., Rodrigues, G. S. D. S. C. (2021). TRAJETÓRIA GEOGRÁFICA DA SILVICULTURA EM MINAS GERAIS. *Mercator* (Fortaleza), 20.

Teixeira, H. M., Bianchi, F. J., Cardoso, I. M., Tittonell, P., & Pena-Claros, M. (2021). Impact of agroecological management on plant diversity and soil-based ecosystem services in pasture and coffee systems in the Atlantic forest of Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 305, 107171.

The World Bank. IBRD-IDA- Carbon Pricing Dashboard.(2021). Disponível em: <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data> . Acesso: 31 de Maio de 2021.

Trimmer, J. T., Miller, D. C., & Guest, J. S. (2019). Resource recovery from sanitation to enhance ecosystem services. *Nature Sustainability*, 2(8), 681-690.

Turchetto, F., Araujo, M. M., Tabaldi, L. A., Griebeler, A. M., Rorato, D. G., Berghetti, Á. L. P., Sasso, V. M. (2020). Intensive silvicultural practices drive the forest restoration in southern Brazil. *Forest Ecology and Management*, 473, 118325.

UNFCCC (2015) Conference of the parties, adoption of the Paris Agreement. Disponível em: https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf. Accessed 14 June 2021.

Viani, R. A., Holl, K. D., Padovezi, A., Strassburg, B. B., Farah, F. T., Garcia, L. C., Brancalion, P. H. (2017). Protocol for monitoring tropical forest restoration: perspectives from the Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. *Tropical Conservation Science*, 10, 1940082917697265.

Vieira, AS, do Valle Junior, RF, Rodrigues, VS, da Silva Quinaia, TL, Mendes, RG, Valera, CA, Pacheco, FAL (2021). Estimando a erosão hídrica a partir do índice de brilho de imagens orbitais: Uma estrutura para o prognóstico de pastagens degradadas. *Science of The Total Environment*, 776, 146019.

West, T. A., Monge, J. J., Dowling, L. J., Wakelin, S. J., & Gibbs, H. K. (2020). Promotion of afforestation in New Zealand's marginal agricultural lands through payments for environmental services. *Ecosystem Services*, 46, 101212.

Young, C. E. F., & de Castro, B. S. (2021). Financing conservation in the Brazilian Atlantic forest. *In The Atlantic Forest* (pp. 451-468). Springer, Cham.

Zanasi, C., Rabboni, C., Rota, C., Bungenstab, D. J., & Laura, V. A. (2020). The Carne Carbono Neutro Accordance to Brazilian Consumers' Attitude towards Beef. *International Journal on Food System Dynamics*, 11(4), 360-376.

Zanini, A. M., Mayrinck, R. C., Vieira, S. A., de Camargo, P. B., & Rodrigues, R. R. (2021). The effect of ecological restoration methods on carbon stocks in the Brazilian Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management*, 481, 118734.

Zhang, K., Putzel, L. (2016). Institutional innovation and forest landscape restoration in China: Multi-scale cross-sector networking, household fiscal modernization and tenure reform. *World Development Perspectives*, 3, 18-21.

Zhang, Y., Abbas, M., Koura, Y. H., Su, Y., & Iqbal, W. (2021). The impact trilemma of energy prices, taxation, and population on industrial and residential greenhouse gas emissions in Europe. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(6), 6913-6928.

Zhang, Z. (2015). Carbon emissions trading in China: the evolution from pilots to nationwide scheme. *Climate Policy*, 15(sup1), S104-S126.

Material Suplementar- “*Capítulo III*” (Tables)

Em função do elevado tamanho dessa base de dados a disponibilidade desses dados suplementares será por meio do link: <https://drive.google.com/drive/folders/1ucxnrRk87tATtGIUbOZwE-7j7x3VNFYW>

Tabela S1- Quantitativos de área por classe de uso do solo e tipo de Áreas de Preservação Permanente (APP) de municípios do estado de Minas Gerais.

Tabela S2-Repasse de ICMS ecológico dos municípios de Minas Gerais de 2015 a 2020.

Tabela S3-Repasses provenientes do Programa Pró-mananciais e dos Fundos Municipais do Saneamento Básico (FMSB) por município de Minas Gerais para o ano de 2019.

Tabela S4- Recurso financeiro levantado referente a cobrança pelo uso da água em Minas Gerais, entre os anos de 2015 e 2021.

Tabela S5- Emissões de Gases de Efeito Estufa por setores (diferentes níveis) para os municípios de Minas Gerais entre 2009 e 2018.

Tabela S6- Previsão de cronograma de componentes financeiros potenciais para a restauração florestal em Minas Gerais em 20 anos.

CONCLUSÕES GERAIS

Em nosso estudo, observou-se que o tamanho dos recipientes em que as mudas florestais são produzidas pode influenciar as taxas de sobrevivência e crescimento de espécies nativas em campo. De uma maneira geral, as mudas produzidas em recipientes maiores (sacolas plásticas) apresentaram melhores performances de sobrevivência e crescimento em campo aos 42 meses. A espécie *Ceiba Speciosa* teve sua adaptabilidade em campo influenciada negativamente pela redução do recipiente, enquanto as espécies *H.courbaril* e *P.dubium* tiveram diminuição nas taxas de crescimentos decorrente do uso do recipiente menor. De uma maneira geral, estudos como esse, fornecem resultados consistentes em nível de espécie e contribui para o desenvolvimento de uma base sólida relacionada ao comportamento de espécies florestais em áreas degradadas.

O legado do Programa Carbono Zero em 10 anos demonstrou que a gestão ambiental responsiva em grandes eventos influencia diversos *stakeholders* e capacita melhor os estudantes envolvidos nas ações. O estabelecimento em longo prazo do Programa Carbono Zero permitiu: um melhor gerenciamento das emissões de carbono pela Universidade Federal de Viçosa, formação de estudantes sensíveis à temática ambiental, publicação de diversos estudos científicos, restauração de área degradada por meio da neutralização das emissões de GEE, entre outros.

Minas Gerais possui atualmente um elevado passivo ambiental em desconformidade com a LPVN, a restauração desse passivo ambiental prevê a necessidade de investimento de 2 bilhões de dólares. Alguns mecanismos/instrumentos financeiros podem auxiliar no levantamento de receitas para financiamento da restauração florestal nos próximos anos. A taxação do carbono emitido pode oferecer uma oportunidade para angariar recursos financeiros que poderão ser utilizados para a restauração florestal. No entanto, é necessário políticas e ações estratégicas que elevem a atenção para o financiamento de áreas em conflito com LPVN.

De uma maneira geral, este estudo reforça a importância da restauração florestal em consonância com a mitigação das mudanças climáticas, e também ressalta a relevância de ações regionais e em larga escala considerando essa temática. O Programa Carbono Zero da UFV demonstrou o efeito de ações regionais na mitigação das mudanças climáticas concomitante com o envolvimento de público da comunidade acadêmica. Já em uma perspectiva mais ampla, a determinação a nível municipal dos quantitativos de áreas em desconformidade com a legislação florestal, demonstrou a necessidade de políticas públicas

estaduais que auxiliem os produtores rurais na regularização de passivos ambientais nas Áreas de Proteção Permanente e/ou Reserva Legal.