UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE TROPICAL

MARCEL MERLO MENDES

AVALIAÇÃO ECOFISIOLÓGICA DE ESPÉCIES ARBÓREAS UTILIZADAS PARA REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Dissertação de Mestrado em Biodiversidade Tropical

Mestrado em Biodiversidade Tropical
(Ecologia Tropical)

São Mateus-ES
2019

MARCEL MERLO MENDES

AVALIAÇÃO ECOFISIOLÓGICA DE ESPÉCIES ARBÓREAS UTILIZADAS PARA REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade Tropical, na área de concentração Ecologia Tropical.

Orientador: DSc. Antelmo Ralph Falqueto

Coorientadores: DSc. Fábio Ribeiro Pires e DSc. Daniela Cassol

São Mateus-ES
2019

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

---

Mendes, Marcel Merlo, 1994-
M538a Avaliação ecofisiológica de espécies arbóreas utilizadas para revegetação de áreas degradadas / Marcel Merlo Mendes. - 2019.
71 f. : il.

Orientador: Antelmo Ralph Falqueto. Coorientadores: Fábio Ribeiro Pires, Daniela Cassol. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo.

1. Revegetação. 2. Solos. 3. Degradação ambiental. 4. Ecofisiologia vegetal. 5. Adubação verde. I. Falqueto, Antelmo Ralph. II. Pires, Fábio Ribeiro. III. Cassol, Daniela. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Universitário Norte do Espírito Santo. V. Título

CDU: 502

MARCEL MERLO MENDES

AVALIAÇÃO ECOFISIOLÓGICA DE ESPÉCIES ARBÓREAS UTILIZADAS PARA REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade Tropical.

Aprovada em 23 de agosto de 2019.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Antelmo Ralph Falqueto
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Profª. Drª. Andreia Barcelos Passos Lima Gontijo
UFES

Prof. Dr. Adriano Alves Fernandes
UFES

Prof. Dr. João Paulo Rodrigues Martins
UFES

“... Procuro a oportunidade...
Não sou indolente, sem iniciativa...
Escolho o risco calculado de sonhar, de construir, de falhar, de realizar e poder alcançar a vitória.
Prefiro os desafios da vida...
As emoções de uma conquista à insipidez da utopia.
Não troco a minha liberdade e dignidade por fama.
Meu patrimônio é pensar e agir...
Gozar dos benefícios da minha criatividade, olhar com intrepidez o mundo, e dizer, de cabeça erguida:
Isso eu fiz, com a ajuda de Deus.”
(Autor desconhecido)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todo amor, carinho e cuidado em prover as oportunidades, conceder a força e saúde necessárias para que eu pudesse superar os desafios nessa caminhada tão importante em minha vida. Afinal, foram muitíssimas horas de dedicação, desafios e incertezas até alcançar os meus objetivos.

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), ao Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES) e ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical (PPGBT) pela oportunidade de obtenção deste título através do curso de pós-graduação;

Ao Laboratório de Ecofisiologia Vegetal (LEV) pelo espaço e equipamentos indispensáveis à realização da minha pesquisa; e à Secretaria Única de Pós-Graduação do CEUNES (SUPGRAD), pela dedicação e assistência em esclarecer todas dúvidas;

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao Laboratório de Ecofisiologia Vegetal (LEV). À Petrobras pela parceria e financiamento do projeto.

Ao meu orientador, Prof. DSc. Antelmo Ralph Falqueto, pelas instruções, atenção, paciência e confiança em um aluno inexperiente, mas com muita vontade de aprender. Espero ter correspondido às expectativas. Eu só tenho a agradecer pela oportunidade em poder fazer parte deste laboratório e da sua equipe.

Aos meus coorientadores, Prof. DSc. Fábio Ribeiro Pires pelo suporte e a DSc. Daniela Cassol, pelo auxilio fundamental com as análises estatísticas, o meu muito obrigado.

Também gostaria de agradecer ao João Paulo Rodrigues Martins, principalmente, aquele que conheci em 2017 e que prometeu que nunca mais fará a barba.

Aos meus amigos e colegas de turma (2017/01 e 2017/02) do PPGBT. Minha dupla inseparável em todas as disciplinas, Sandrine Correia Dutra (Sandra, somente para os amigos! Rs) e minha amiga do mestrado para vida, Alana Felipe Scheidegger de Aguiar (Meu Bichinho), e todas as pessoas que tornaram a minha caminhada acadêmica mais agradável.

Aos colegas do LEV, pela assistência essencial nos campos, no processamento do material no laboratório, nas planilhas; a todos os estagiários, vocês são nota 10;

A todos os professores do PPBGT pelos ensinamentos;

À minha mãe, Ana Izabel Merlo, por todo amor dedicado, por acreditar em mim, incentivar e apoiar todas minhas decisões. Você é tudo na minha vida! Amo você!

O meu mais profundo e sincero agradecimento.

RESUMO

Diversas atividades antrópicas ao longo do tempo reduziram drasticamente a área ocupada pela Mata Atlântica, levando-a, atualmente, à condição de um dos *hotspots* de biodiversidade mundial. Os processos de sucessão ecológica, que garantem a regeneração natural de áreas degradadas, podem ser impossibilitados, dependendo do tipo e extensão dos impactos. A mineração, por exemplo, leva à perda da vegetação, alterações das propriedades físicas e químicas, bem como compactação do solo. A recuperação dessas áreas, por meio da revegetação com plantio de espécies nativas, requer um melhor conhecimento das condições do solo, bem como dos padrões e parâmetros capazes de influenciar o crescimento das espécies. Assim, objetivou-se realizar a avaliação ecofisiológica de espécies arbóreas de dois grupos funcionais (espécies fixadoras e não fixadoras de nitrogênio), em diferentes tratamentos de descompactação de solo, na presença e na ausência da adubação verde, para determinar a melhor forma de plantio em projetos de revegetação. O experimento foi instalado em uma área de 720 m^2 degradada pela extração de argila, com delineamento em blocos ao acaso (DBC), 4 repetições e 24 parcelas de 20 m^2. Mudas de quatro espécies [*Psidium cattleianum* e *Schinus terebinthifolius* (espécies não fixadoras de nitrogênio) e *Dalbergia ecastophyllum* e *Inga laurina* (espécies fixadoras de nitrogênio)], foram cultivadas em solo preparado com escarificação, escarificação + gradagem, subsolagem + gradagem (T1, T2 e T3, respectivamente), em dois tipos distintos de parcela: **i**) ausência do adubo verde; **ii**) presença da adubação verde, composta por mix de sementes com gramíneas, leguminosas e crucíferas (P1 e P2, respectivamente). Após seis e doze meses foram avaliados a fluorescência transiente da clorofila *a* e os atributos foliares. Também foram realizadas análise química e de resistência à penetração no solo. Na primeira avaliação, averiguou-se uma elevação nos fluxos específicos de energia (ABS/RC e DI_o/RC) e no rendimento quântico fotoquímico para dissipação de calor φD_0, na presença do mix de sementes (adubação verde) em *P. cattleianum* e *S. terebinthifolius*, o que indica uma condição de estresse, muito provavelmente pelo processo de competição exercida por alguma espécie que compõe o adubo verde. Por outro lado, nenhum parâmetro da fluorescência transiente da clorofila *a* diferiu estatisticamente no mesmo período em *D. ecastophyllum* e *I. laurina*. Todavia, na avaliação realizada aos doze meses, o adubo verde promoveu um aumento da capacidade de conservação de energia do aparato fotossintético, ou seja, ele foi capaz de reduzir as perdas energéticas ao manter as reações de transporte de energia no FSII até os aceptores finais de elétrons no FSI, em todas as quatro espécies, demonstrando a sua capacidade de melhorar o desempenho fotoquímico das espécies arbóreas ao longo do tempo. Este estudo também demonstrou que o adubo verde é capaz de reduzir a suculência, a espessura e a massa foliar por unidade de área no grupo funcional das espécies não fixadoras de nitrogênio, esses

parâmetros refletem uma maior disponibilidade de água e nutrientes nessas parcelas. Folhas com essas características, ao senescer, decompõem-se mais rápido o que acelera e contribui para o processo de ciclagem de nutrientes da serapilheira. Por outro lado, essas características praticamente não sofreram alterações no grupo das espécies fixadoras de nitrogênio. Por fim, observou-se na análise multivariada, uma correlação entre a altura e os centros de reação redutores de Q_A ativos por seção transversal no FSII (RC/CS_o), que não variou significativamente em nenhuma espécie. Vale destacar que todas as espécies, na presença adubação verde apresentaram melhor desempenho fotoquímico, o que pode contribuir para o crescimento dos indivíduos a partir dos doze meses. Este estudo demonstrou que a adubação verde realizada se empregando o mix de sementes é capaz de promover uma melhoria no aparato fotossintético em todas as espécies ao longo do tempo (doze meses), principalmente no tratamento 3 (gradagem + subsolagem). Também houve melhorias significativas nas características das folhas espessura, suculência e massa foliar por unidade de área, principalmente para o grupo de espécies não fixadoras. Dessa forma, pode-se considerar que a utilização da adubação verde em projetos de revegetação apresenta um potencial de facilitação ao beneficiar principalmente as espécies não fixadoras. Dessa forma, é possível sugerir um plantio por etapas, **i)** primeiro realiza-se a gradagem + subsolagem solo e a inserção inicial do mix de sementes, **ii)** após seis meses, o plantio das espécies arbóreas.

Palavras-chave: Revegetação, ecofisiologia, plantio direto, adubo verde, monitoramento.

ABSTRACT

Diverse anthropic activities over time have dramatically reduced the area occupied by the Atlantic Forest, making it one of the world's biodiversity hotspots. These fragmented habitats are a risk for conservation of several species. Ecological succession processes that would ensure the natural regeneration of degraded areas may be impossible depending on the type and extent of impacts. Mining, for example, leads to loss of vegetation, changes in physical and chemical properties as well as soil compaction. The recovery of these areas through revegetation with planting of native species requires a better knowledge of the soil conditions, as well as the patterns and parameters capable of influencing the growth of the species. The objective of this study was to evaluate the physiological evaluation of tree species of two functional groups (nitrogen fixing and non-fixing species) in different treatments of soil decomposition in the presence and absence of green manuring to determine the best way to plant revegetation projects. The experiment was carried out in an area (720 m^2) degraded by clay extraction, with a randomized block design (DBC), 4 replicates (Blocks 1, 2, 3 and 4) and 24 plots of 20 m^2. Seedlings of four species [*Psidium cattleianum* and *Schinus terebinthifolius* (non-nitrogen fixing species) and *Dalbergia ecastophyllum* and *Inga laurina* (nitrogen fixing species)] were transplanted with treated soil by scarification, scarification + harrowing, subsoiling + harrowing (T1, T2 and T3, respectively), in two distinct types of plot: i) absence of green manure; ii) presence of green manure, composed of seed mix with grasses, legumes and crucifers (P1 and P2, respectively). After six and twelve months, transient chlorophyll *a* fluorescence and leaf attributes were evaluated. Chemical analysis and resistance to soil penetration were also performed. In the first evaluation, at 6 months, an increase in the specific energy flows (ABS/RC and DI_o/RC) and the photochemical quantum yield for heat dissipation φD_0 in the presence of the seed mix (green manure) in *Psidium cattleianum* and *Schinus terebinthifolius*, indicating a stress condition, most likely by the competition process exerted by some species that make up the mix. On the other hand, no transient fluorescence parameter of chlorophyll a differed statistically in the same period in *Dalbergia ecastophyllum* and *Inga laurina*. However, in the second 12-month evaluation, the seed mix promoted an increase in the energy conservation capacity of the photosynthetic apparatus, that is, it was able to reduce energy losses by maintaining energy transport reactions in the FSII until final acceptors of electrons in FSI in all four species, demonstrating their ability to improve the photochemical performance of tree species over time. This study also demonstrated that the seed mix is able to reduce succulence (SUC), thickness (ESP) and foliar mass per unit area (MFA) in the functional group of nitrogen-fixing species, which availability of water and nutrients in these plots. Leaves with these characteristics, to the senescent, decomposes faster that accelerates and contributes to

the process of nutrient cycling of the litter. On the other hand, these characteristics practically did not change in the group of the species N-fixing of nitrogen. Finally, the multivariate analysis (PCA) was used to determine which parameters would explain the growth of the species in the field. Leaves with these characteristics, to the senescent, decomposes faster that accelerates and contributes to the process of nutrient cycling of the litter. On the other hand, these characteristics practically did not change in the group of the species N-fixing of nitrogen. Finally, the multivariate analysis (PCA) was used to determine which parameters would explain the growth of the species in the field. Thus, at six months, a correlation was observed between the height and the active Q_A reductive reaction centers per cross section in FSII (RC/CS_o), which did not vary significantly in any species. It is worth mentioning that all species in the presence of the mix showed better results in these parameters, which would help to explain a greater growth of the individuals of this plot from the twelve months. This study demonstrated that the green fertilization performed through the seed mix is able to promote an improvement in the photosynthetic apparatus in all species over time (twelve months) in the three treatments used in the decompression alone. There were also significant improvements in leaf characteristics (SUC, ESP and MFA), mainly for the group of non-fixing species. Thus, it can be considered that the use of green manuring in revegetation projects, presents a potential of facilitation by benefiting mainly non-fixing species. As this group undergoes a slight stress initially, it is possible to suggest a planting in stages, with the initial insertion of the seed mix, then the nitrogen fixation species and after six months the planting of the non-nitrogen fixing species.

Keywords: Revegetation, ecophysiology, no-till, green manure, monitoring.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II – A ECOFISIOLOGIA VEGETAL COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO PARA O APRIMORAMENTO DAS TECNOLOGIAS E PRÁTICAS DE REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS 40

Tabela 1: Fórmulas dos termos usados no teste JIP obtidos a partir do transiente de fluorescência da clorofila a (O-K-J-I-P) de acordo com Strasser et al., (2004); Chen et al., (2015); Goltstev et al., (2016) 47

Tabela 2: Efeito da ausência e presença da adubação verde (P1 e P2, respectivamente) em três tratamentos de solo (T1 - Escarificação, T2 - Escarificação/Gradagem e T3 - Subsolagem / Gradagem) sobre o índice de pigmentos fotossintéticos (Clr. a – Clorofila a, Clr. b – Clorofila b, Clr. total – Clorofila total) de quatro espécies: *S. terebinthifolius*, *P. cattleianum*, *I. laurina* e *D. ecastophyllum* utilizadas na revegetação de áreas degradadas. Diferentes letras referem-se às diferenças significativas encontradas entre as parcelas (P1 e P2) em cada tratamento aos seis e doze meses de acordo com teste de Tukey a 5% de significância 49

Tabela 3: Médias dos parâmetros do teste-JIP obtidas em *S. terebinthifolius*, *P. cattleianum* (espécies não fixadoras de nitrogênio), *I. laurina* e *D. ecastophyllum* (espécies fixadoras de nitrogênio) sob três tratamento do solo (T1 - Escarificação, T2 - Escarificação/Gradagem e T3 - Subsolagem / Gradagem) em dois tipos de parcelas (P1 – ausência da adubação verde e P2 – presença da adubação verde). Valores acompanhados por letras diferentes na mesma coluna por tratamento em cada parâmetro referem-se a diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de significância 52

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA..... 19

Figura 1: Espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica utilizadas no experimento de revegetação. (**A**) *Schinus terebinthifolius*; (**B**) *Psidium cattleianum*; (**C**) *Inga laurina*; (**D**) *Dalbergia ecastophyllum*..... 26

Figura 2: Mix de sementes com espécies leguminosas, crucíferas e forrageiras utilizadas como adubo verde no experimento de revegetação. (**A**) *Crotalaria juncea* L.; (**B**) *Mucuna pruriens* (L.) DC.; (**C**) *Crotalaria ochroleuca* G. Don; (**D**) *Raphanus sativus* L.; (**E**) *Stylosanthes spp.*; (**F**) *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf; (**G**) *Cajanus cajan* (L. Millsp.); (**H**) *Canavalia ensiformis* (L.) DC..... 28

CAPÍTULO II – A ECOFISIOLOGIA VEGETAL COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO PARA O APRIMORAMENTO DAS TECNOLOGIAS E PRÁTICAS DE REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS 40

Figura 1: Efeitos da presença e ausência da adubação verde em diferentes formas de tratamento do solo (Esc - Escarificação, Esc / Gra - Escarificação/Gradagem e Sub / Gra - Subsolagem / Gradagem) na curva polifásica (O-K-J-I-P) de emissão da fluorescência da clorofila *a* nas espécies: [AI e AII] *Schinus terebinthifolius*, [BI e BII] *Psidium cattleianum*, [CI e CII] *Inga laurina* e [DI e DII] *Dalbergia ecastophyllum*, aos seis e doze meses respectivamente. 51

Figura 2: Variação da espessura foliar (mm) em quatro espécies arbóreas: *S. terebinthifolius* (**A** e **B**), *P. cattleianum* (**C** e **D**), *D. ecastophyllum* (**E** e **F**) e *I. laurina* (**G** e **H**) aos seis e doze meses, respectivamente, em três tratamentos de solo [T1-Escarificação, T2-Escarificação + gradagem e T3-Subsolagem + gradagem] com dois tipos de parcelas [P1- ausência do adubo verde e P2- presença do adubo verde]. No gráfico Box-Plot, o box, delimitado pelo 1º e 3º quartis, contêm 50% dos dados onde a mediana é representada pela linha horizontal interna do box. As linhas horizontais mais externas representam os valores mínimos e máximos. Diferentes letras referem-se às diferenças significativas encontradas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey a 5% de significância 53

Figura 3: Variação da suculência foliar (gm^{-2}) em quatro espécies arbóreas *S. terebinthifolius* (**A** e **B**), *P. cattleianum* (**C** e **D**), *D. ecastophyllum* (**E** e **F**) e *I. laurina* (**G** e **H**) aos seis e doze meses, respectivamente, em três tratamentos de solo [T1-Escarificação, T2-Escarificação + gradagem e T3-Subsolagem + gradagem] com dois tipos de parcelas [P1- ausência do adubo verde e P2- presença do adubo verde]. No gráfico Box-Plot, o box, delimitado pelo 1º e 3º quartis, contêm 50% dos dados onde a mediana é representada pela linha horizontal interna do box. As linhas horizontais mais externas representam os valores mínimos e máximos. Diferentes letras referem-se às diferenças significativas encontradas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey a 5% de significância 54

Figura 4: Variação da massa foliar por unidade de área (MFA g m^{-2}) em quatro espécies arbóreas: *S. terebinthifolius* (**A** e **B**), *P. cattleianum* (**C** e **D**), *D. ecastophyllum* (**E** e **F**) e *I. laurina* (**G** e **H**) aos seis e doze meses, respectivamente, em três tratamentos de solo [T1-Escarificação, T2-Escarificação + gradagem e T3-Subsolagem + gradagem] com dois tipos de parcelas [P1- ausência do adubo verde e P2- presença do adubo verde]. No gráfico Box-Plot, o box, delimitado pelo 1º e 3º quartis, contêm 50% dos dados onde a mediana é representada pela linha horizontal interna do box. As linhas horizontais mais externas representam os valores mínimos e máximos. Diferentes

letras referem-se às diferenças significativas encontradas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey a 5% de significância..... 55

Figura 5: Resultado da ordenação produzida a partir da Análise de Componentes Principais (PCA) para todos os parâmetros utilizados na avaliação ecofisiológica de *S. terebinthifolius*, *P. cattleianum*, *D. ecastophyllum* e *I. laurina*. Variáveis fotoquímicas [ABS/RC, DI_o/RC, RC/CS_o, PI/$_{ABS}$, φP_o, φE_o, φD_o (lista de verificação na Tabela 1)], pigmentos fotossintéticos (Clr. a – Clorofila a, Clr. b – Clorofila b, Clr. total – Clorofila total), atributos foliares (ESP – espessura, SUC – suculência, MFA, massa foliar por unidade de área), atributos físico-químicos do solo [troca catiônica efetiva (CTC-efetiva)], fósforo (P)], potássio (K)], matéria orgânica (MO)], pH em água, resistência do solo à penetração (RPM)]..... 57

Figura 6: Resultado da ordenação produzida a partir da Análise de Componentes Principais (PCA) para o conjunto de espécies *S. terebinthifolius* ● S. , *P. cattleianum* ● P. (não fixadoras de nitrogênio), *D. ecastophyllum* ● D. e *I. laurina* ● I. (fixadoras de nitrogênio) em função do tempo da coleta aos seis ▲ _6 e doze ● _12 meses..... 58

Figura 7: Resultado da ordenação produzida a partir da Análise de Componentes Principais (PCA) para os tipos de tratamentos do solo: T1-Escarificação ● T1, T2-Escarificação + gradagem ● T2 e T3-Subsolagem + gradagem ● T3 em função do tempo da coleta aos (**A**) seis ▲ _6 e (**B**) doze ● _12 meses..... 59

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL 15

1.1 Referências 17

2. CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA 19

2.1 Degradação ambiental das Florestas Tropicais 19

2.2 Técnicas de Revegetação para Recuperação de Áreas Degradadas 22

2.3 Grupos funcionais na escolha das espécies para revegetação 24

2.3.1. Espécies arbóreas fixadoras e não fixadoras de nitrogênio 26

2.3.2 Adubo verde em projetos de revegetação 27

2.4 Ecofisiologia da revegetação 29

2.5 Referências 31

3. CAPÍTULO II – A ECOFISIOLOGIA VEGETAL COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO PARA O APRIMORAMENTO DAS TECNOLOGIAS E PRÁTICAS DE REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS 40

RESUMO 40

ABSTRACT 41

3.1 Introdução 42

3.2 Materiais e Métodos 44

3.2.1 Área de estudo 44

3.2.2 Desenho experimental 45

3.2.3 Fluorescência transiente da clorofila a e pigmentos fotossintéticos 46

3.2.4 Atributos foliares e crescimento das plantas 47

3.2.5 Análise estatística 48

4. RESULTADOS 48

4.1 Índice de pigmentos fotossintéticos 48

4.2 Fluorescência transiente da clorofila *a* 49

4.3 Atributos Foliares 52

4.4 Análise Multivariada 57

5. DISCUSSÃO 60

6. CONCLUSÃO 64

7. REFERÊNCIAS 65

1. INTRODUÇÃO GERAL

O desmatamento das florestas tropicais causa uma série de consequências ao ambiente, como alterações no regime de chuvas (ciclos hidrológicos), modificações nos processos de reciclagem de nutrientes, mudanças nos atributos físico-químicos do solo, perca acentuada da biodiversidade, e, consequentemente, dos serviços ecossistêmicos disponíveis na área afetada (BROWN et al., 1994; IPCC, 2007; HOLL, 2013). Segundo Holl (2017), várias pesquisas realizadas recentemente, a partir dos anos 2000, demonstram que a recuperação de florestas tropicais é retardada por múltiplos fatores bióticos e abióticos. Neste caso, dependendo do tipo, extensão e gravidade do impacto, a resiliência (WESTMAN, 1978; BRAND & JAX, 2007) de recuperação da área degradada pode ser afetada. Isso, segundo Shono et al. (2007), acontece principalmente por causa dos impactos antrópicos que retardam ou impossibilitam os processos de sucessão ecológica que naturalmente poderiam ocorrer.

Um destes problemas é a compactação do solo que diminui a porosidade e aumenta sua densidade (BOONE, 1988; DA SILVA et al., 1994). Esse tipo de impacto pode ocasionar uma série de problemas ambientais e agronômicos, provocando, por exemplo, erosão, inundações, lixiviação de nutrientes, diminuição da produtividade de culturas, emissão de gases de efeito estufa, dentre outros (DOERNER & HORN, 2006; SINGH & HADDA, 2014). Segundo Canarache (1990) uma elevada resistência de penetração no solo pode impossibilitar os processos de germinação, estabelecimento e crescimento de espécies vegetais ao impedir o desenvolvimento radicular das plantas. Cabe ainda destacar que essas espécies respondem de diferentes formas à compactação do solo (FOLONI et al., 2006). Portanto, os tratamentos de manejo para descompactação do solo, podem se tornar específicos para cada caso de estudo.

Para recuperação de áreas degradadas podemos utilizar a revegetação, essa técnica consiste na cobertura vegetal do solo, a fim de evitar que processos erosivos causados pela ação da chuva e do vento aumentem ainda mais o impacto sobre a área degradada (NOGUEIRA et al., 2012). É comum o consórcio de espécies arbóreas nativas e espécies herbáceas, principalmente da família Fabaceae devido à capacidade de realizar interações micorrízicas com fungos e bactérias fixadoras de nitrogênio (NOGUEIRA et al., 2012). Várias espécies leguminosas podem ser utilizadas como adubo verde nesses processos de recuperação de áreas degradadas. Isso porque elas são capazes de promover melhorias nas propriedades físico-químicas do solo, bem como reduzir a competição interespecífica (OLIVEIRA et al., 2014; FERREIRA et al., 2016). Diversos trabalhos na literatura descrevem a utilização de adubos verdes. Por exemplo, Monquero et al. (2013), observaram que

uma espécie comum em mix de sementes para adubo verde, a *Cajanus cajan*, mostrou-se eficiente na fitorremediação de solos contaminados com diclosulam (herbicida).

O sucesso de um projeto de revegetação pode ser constatado de algumas formas, como, por exemplo, a aparência geral da vegetação na área, sua diversidade e o porte dos indivíduos, baseado na altura e diâmetro do caule (ALMEIDA & SÁNCHEZ, 2005). Esses critérios são muito gerais, e, por isso, perdem-se informações mais detalhadas. Portanto, são pouco úteis para grandes afirmações acerca da eficiência das técnicas utilizadas para revegetação (ALMEIDA & SÁNCHEZ, 2005; HOLL & AIDE, 2011; HOLL, 2013). Assim, torna-se necessário a utilização de novos indicadores de desempenho que forneçam informações sobre as propriedades físico-químicas do solo e as condições dos indivíduos na área. A partir das correlações desses parâmetros seria possível inferir com mais detalhes a produtividade, e, consequentemente a eficácia das técnicas empregadas na revegetação (ALMEIDA & SÁNCHEZ, 2005; HOLL, 2013).

A maioria dos estudos relacionados à revegetação de áreas degradadas leva em consideração apenas a cobertura vegetal da área, número de folhas, altura e diâmetro das plantas. Dessa forma, a utilização de outras técnicas de avaliação torna-se necessária para uma compreensão mais detalhadas das correlações bióticas e abióticas que ocorrem ao longo do processo. Na busca de novas ferramentas aplicáveis na análise da eficácia da revegetação podemos citar a fluorescência transiente da clorofila *a*, uma técnica não destrutiva, utilizada para avaliação do efeito do estresse sobre a fotossíntese primária (etapa fotoquímica) (STRASSER et al., 2004; BAKER, 2008; KALAJI et al., 2016). Outra técnica de grande importância em trabalhos ecofisiológicos é a determinação dos atributos foliares (características da folha), como espessura, suculência, massa foliar por unidade de área, densidade, entre outros, que nos permite inferir sobre a disponibilidade de recursos para as plantas na área (DÍAZ et al., 2004; CHATURVEDI et al., 2011). Assim, objetivou-se com este trabalho realizar a avaliação ecofisiológica de espécies arbóreas de dois grupos funcionais (espécies fixadoras e não fixadoras de nitrogênio), em diferentes tratamentos de descompactação de solo, na presença e na ausência da adubação verde, para determinar os efeitos da adubação verde, o melhor tratamento de solo, bem como a melhor forma de revegetar áreas degradadas.

1.1 Referências

ALMEIDA, R.O.P.O.; SÁNCHEZ, L.E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.1, p.47-54, 2005.

BAKER, N.R. Chlorophyll fluorescence: *a* probe of photosynthesis *in vivo*. **Annual review of plant biology**, v. 59, p. 89, 2008.

BOONE, F.R., Weather and other environmental factors influencing crop responses to tillage and traffic. **Soil Till**. Res. 11, 283–324, 1988.

BRAND, F.S.; JAX, K. Focusing the meaning(s) of resilence: resilence as a descriptive concept and a boundary object. **Ecology and Society**, v. 12, p. 23. Disponível em: http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art23/2007. Acesso em: 30 jun. 2019.

BROWN S.; ANDERSON J.M.; WOOMER P.L.; SWIFT, M.J.; BARRIOS, E. Soil biological processes in tropical ecosystems. *In* **The Biological Management of Tropical Soil Fertility**. Eds. P L Woomer and M J Swift. pp 15–46. Wiley, Chichester, 1994.

CANARACHE, A. Generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. Amsterdam, **Soil Till**. Res. 16:56-70, 1990.

CHATURVEDI R. K.; RAGHUBANSHI A.S.; SINGH J.S. Leaf attributes and tree growth in a tropical dry forest. **Journal of Vegetation Science**. 22:917–31, 2011.

DA SILVA, A.P., Kay, B.D., Perfect, E., Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal**, vol. 58 No. 6, p. 1775-1781, 1994.

DAVIDSON, R.; GAGNON, D.; MAUFFETTE, Y. Growth and mineral nutrition of the native trees Pollalesta discolor and the N-fixing Inga densiflora in relation to the soil properties of a degraded volcanic soil of the Ecuadorian Amazon. **Plant and Soil** 208: 135. https://doi.org/10.1023/A:1004549216198. 1999.

DÍAZ, S.; HODSON, J. G.; THOMPSON, K.; CABIDO, M.; CORNELISSEN, J. H. C.; JALILI, A.; MONTSERRAT-MARTÍ, G.; GRIME, J. P.; ZARRINKAMAR, F.; ASRI, Y.; BAND, S. R.; BASCONCELO, S.; CASTRO-DÍEZ, P.; FUNES, G.; HAMZEHEE, B.; KHOSHNEVI, M.; PÉREZ-HARGUINDEGUY, N.; PÉREZ-RONTOMÉ, M. C.; SHIRVANY, F. A.; VENDRAMINI, F.; YAZDANI, S.; ABBAS-AZIMI, R.; BOGAARD, A.; BOUSTAMI, S.; CHARLES, M.; DEHGHAN, M.; TORRES-ESPUNY, L. D.; FALCZUK, V.; GUERRERO-CAMPO, J.; HYND, A.; JONES, G.; KOWSARY, E.; KAZEMI-SAEED, F.; MAESTRO-MARTÍNEZ, M.; ROMO-DÍEZ, A.; SHAW, S.; SIAVASH, B.; VILLAR-SALVADOR, P.; ZAK, M. R. The plant traits that drive ecosystems: Evidence from three continents. **Journal of Vegetation Science 15**: 295-304, 2004.

DOERNER, J., HORN, R., 2006. Anisotropy of pore functions in structured Stagnic Luvisols in the Weichselian moraine region in N Germany. **J. Plant Nutr. Soil Sci**. 169, 213–220. https://doi.org/10.1002/jpln.200521844.

FERREIRA, E. M.; ANDRAUS, M. P., CARDOSO, A. A.; COSTA, L. F. S.; LÔBO, L. M.; LEANDRO, W. M. Recuperação de áreas degradadas, adubação verde e qualidade da água. Revista Monografias Ambientais - **REMOA** v. 15, nº 1, p. 228-246, 2016.

FOLONI, J.S.S.; LIMA, S.L. & BÜL, L.T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **R. Bras. Ci . Solo**, 30:49-57, 2006.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Pachauri, R.K e Reisinger, A. (Eds.)]. **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland**, 104 pp, 2007.

HOLL & AIDE, T.M. When and where to actively restore ecosystems? **Forest Ecology and Management** 261(10): 1558-1563, 2011.

HOLL, K. D. Restoring Tropical Forest. **Nature Education Knowledge** 4(4):4. 2013. Disponível em: http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/restoring-tropical-forest-97756726 Acesso em 16 de mar de 2019.

HOLL, K. D. Research Directions in Tropical Forest Restoration, **Annals of the Missouri Botanical Garden** 102(2), 237-250, https://doi.org/10.3417/2016036, 2017.

KALAJI H. M., JAJOO A., OUKARROUM A., BRESTIC M., ZIVCAK M., SAMBORSKA I. A. Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. **Acta Physiol. Plant.** 38 102 10.1007/s11738-016-2113-y, 2016.

MONQUERO, P. A.; CÔRREA, M. C.; BARBOSA, L. N.; GUTIERREZ, A.; ORZARI, I.; HIRATA, A. C. S. Seleção de espécies de adubos verdes visando à fitorremediação de diclosulam. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 127-135, 2013.

NOGUEIRA, N. O.; OLIVEIRA, O. M.; MARTINS, C. A. S; BERNARDES, C. O. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.14; p. 21- 22, 2012.

OLIVIERA, A. C. S.; COELHO, F. C.; CREVELARI, J. A.; FERNANDES, I. S.; RUBIM, R. F. Fitossociologia de plantas daninhas em monocultivo de milho e em consórcio com diferentes Fabaceae. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 5, p. 643-651. 2014.

SHONO, K.; CADAWENG, E.A.; DURST, P.B. Application of Assisted Natural Regeneration to Restore Degraded Tropical Forestlands. **Restoration Ecology** 15(4): 620-626, 2007.

SINGH, J., HADDA, M.S., 2014. Soil and plant response to subsoil compaction and slope steepness under semi-arid irrigated condition. Int. J. Food, **Agric. Veter. Sci**. 4 (3), 95–104. ISSN 2277-209X.

STRASSER, R. J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. Analysis of fluorescence transient, In: G. Papageogiou, Govindjee (eds.), Chlorophyll Fluorescence: *a* Signature of Photosynthesis, Advances in Photosynthesis and Respiration, **Springer**, Dordrecht, v. 19, p. 321-362, 2004.

WESTMAN, W.E. Measuring the Inertia and Resilience of Ecosystems. **Bio Science** 28(11): 705-710, 1978.

CAPÍTULO I

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Degradação ambiental das Florestas Tropicais

Floresta é uma área de no mínimo 0,05-1,0 há, com cobertura de copa (ou nível de estoque equivalente) de mais de 10-30%, composta por árvores com o potencial de atingir a altura mínima de 2-5 m na maturidade *in situ* (UNFCCC, 2001), conceito bem semelhante é descrito pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação FAO (2004) em que florestas são áreas que medem mais de 0,5 ha com árvores maiores que 5 m de altura e cobertura de copa superior a 10% ou árvores capazes de alcançar estes parâmetros *in situ*.

Segundo Holl (2013), florestas tropicais "são ecossistemas altamente diversos localizados entre 23.5º N e 23.5º S da linha do equador na Ásia, Oceania, África, e nas Américas Central e do Sul. Elas são encontradas em áreas relativamente quentes e de temperatura constante desde o nível do mar até altitudes de 3.000 m". Os ambientes com a maior biodiversidade no mundo são as florestas tropicais, capazes de sustentar comunidades extrativistas, populações indígenas, servindo, também, como fonte de alimento, madeira, metabólitos essenciais à produção de fármacos, entre outros. As florestas tropicais também exercem um papel fundamental contribuindo para regulação do clima, redução do aquecimento global por meio da fotossíntese das plantas (sequestro de carbono), bem como uma gama de serviços ecológicos essenciais à manutenção da vida (HENRIQUES, 2010; HOLL, 2013; IPCC, 2014).

Apesar disso, esses são os ambientes que mais sofrem superexplorações no mundo, com mais da metade da sua cobertura convertida para outros fins. Por isso, elas correm o alto risco de desaparecer (ASNER et al., 2009, IPCC, 2000; IPCC, 2007; IPCC, 2014). A ação que gera mais impacto sobre as florestas tropicais é o desmatamento, realizado por múltiplas causas como: exploração da madeira, expansão das áreas para agricultura e/ou pecuária, silvicultura, exploração mineral, somados ainda às queimadas e à caça predatória. O impacto sobre a biodiversidade de pequenos fragmentos florestais existentes é imenso (ASNER et al., 2009; VAN DER WERF et al., 2009; HOLL, 2013). Os impactos sobre esses ambientes são tão grandes que há previsões de extinções em massa, similares àquelas ocorridas em tempos geológicos anteriores, prevendo-se que cerca de um terço das espécies que habitam as florestas tropicais podem desaparecer (HENRIQUES, 2010; LAURANCE, 2007).

A Mata Atlântica é a segunda maior floresta tropical úmida do Brasil (FABRICANTE et al., 2012). Inicialmente estendia-se por todo o litoral brasileiro (ICMBIO, 2012) e hoje é uma das mais ameaçadas e devastadas do mundo (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2012), tornando-se, assim, um dos 35 *hotspots* de biodiversidade mundial (MITTERMEIER et al., 2005; NOSS et al., 2015). Esse bioma conta com mais de 20 mil espécies de plantas, das quais 8 mil são endêmicas. Existem mais de 270 espécies de mamíferos, 992 espécies de aves, 197 répteis, 372 anfíbios e 350 peixes. Ela também abriga 61% das espécies ameaçadas de extinção do país, mesmo com sua extensão original reduzida em 93% da formação original (BRANCALION et al., 2010; VARJABEDIAN, 2011; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2012).

Diversas formações florestais fazem parte do bioma Mata Atlântica: floresta ombrófila densa, floresta ombrófila mista (também conhecida como Mata de Araucárias que ocorrem na região Sul do país), floresta ombrófila aberta, floresta estacional decidual, floresta estacional semidecidual. Outras formações tão importantes quanto estas fazem parte desse bioma, mas, por outro lado, não apresentam as características específicas de floresta, também chamadas de ecossistemas associados (MMA, 2012). São elas: restingas, manguezais, campos de altitude e brejos interioranos que ocorrem na região Nordeste (SBF, 2010; MMA, 2012).

A conversão desses ambientes em biomassa para outras finalidades (ASNER et al., 2009) representa um enorme risco para manutenção da biodiversidade (MITTERMEIER et al., 2005; NOSS et al., 2015). De acordo com Tabarelli et al. (2004; 2005), a maioria das espécies ameaçadas de extinção no Brasil está na Mata Atlântica. Podemos citar o pau-brasil (*Caesalpinia echinata*), o palmito juçara (*Euterpe edulis*) e a araucária (*Araucaria angustifolia*) como as principais espécies vegetais ameaçadas nesse bioma (SBF, 2010; MMA, 2012). Proteger os remanescentes florestais e recuperar áreas degradas da Mata Atlântica é fundamental, pois ela é essencial, por exemplo, na produção e abastecimento de água, que advém de nascentes desse ambiente. Também contribui na regulação e equilíbrio do clima (IPCC, 2014), prevenção de desastres (deslizamentos de encostas), protege e mantém a fertilidade do solo, produz alimentos (extrativismo sustentável e agroflorestas), fibras, óleos, remédios, entre outros (MMA, 2012, IPCC, 2014).

No Brasil, a lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, que institui a Política Nacional de Meio Ambiente, no seu artigo 3º, inciso II, define o termo degradação ambiental como a degradação de qualidade ambiental, a alteração adversa das características do ambiente. Esse conceito é um tanto quanto amplo, especificando apenas que se trata de um impacto negativo sobre o ambiente, podendo ser causado naturalmente ou por atividades antrópicas. De acordo com Ferreira (1986), o termo degradar significa “estragar deteriorar, desgastar, atenuar ou diminuir gradualmente”. Uma

área torna-se degradada quando perde sua capacidade produtiva e, dependendo da intensidade do impacto, dificilmente retorna ao estado original ou de uso econômico de forma espontânea (BELENSIEFER, 1998). Tratando-se da degradação causada especificamente ao solo, segundo Dedecek (1993), podemos destacar três: perda da camada superficial, alteração da estrutura e perda da matéria orgânica.

Por outro lado, o impacto ambiental é definido, segundo a Resolução nº 001 de 1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), como: "Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas, que direta ou indiretamente afetem: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; IV - a qualidade dos recursos ambientais" (CONAMA, 1986).

Vale destacar que o impacto ambiental pode ser positivo ou negativo. A exploração mineral, por exemplo, causa perda da vegetação, dos meios de regeneração naturais (banco de sementes, plântulas, rebrota) e da camada superficial do solo rica em nutrientes e matéria orgânica, além dos horizontes mais profundos, proporcionando alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, sinalizando uma redução da capacidade produtiva do ecossistema (FRANCO et al., 1992; ENGEL et al., 2003). Em contrapartida, pode-se promover impactos positivos, como a recomposição da serapilheira, maior responsável pela ciclagem de nutrientes em florestas tropicais. Essa matéria orgânica que advém, geralmente, do dossel da floresta após o processo de decomposição, disponibiliza os nutrientes ao solo, que logo, podem ser aproveitados pelas plantas, contribuindo, dessa forma, com a recuperação e conservação de áreas degradadas (NUNES & PINTO, 2012; GODINHO et al., 2013; FERREIRA et al., 2014).

Na literatura encontramos variados termos em relação a áreas degradadas, no que se refere à tentativa de reverter os impactos negativos sobre os solos, florestas, recursos e serviços antes disponíveis nesses ecossistemas. Alguns destes termos são: restauração, recuperação, revegetação, reabilitação, regeneração, entre outros (JACKSON et al., 1995; RIBEIRO, 2015). Compreender o conceito de cada um desses termos é importante, pois, suas finalidades são distintas, bem como, as técnicas e práticas associadas a cada um deles (RIBEIRO, 2015).

A restauração, de acordo com a *Soil Conseration Society of America* (SCSA), refere-se "ao processo de restauração das condições do terreno como eram antes de ter sido perturbado". No Brasil, a Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000, no inciso XIV, define restauração como: a "restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível

da sua condição original" (BRASIL, 2000). A regeneração natural de uma área também pode ocorrer, devido às diversas formas de regeneração das plantas tropicais como: banco de sementes, chuva de sementes, brotação de raízes, recolonização através de propágulos (HOLL, 2013). Todavia, impactos de ações antrópicas podem impossibilitar esse processo (FRANCO et al., 1992; ENGEL et al., 2003). Assim, a restauração de áreas que sofreram com ações antrópicas passa pela revegetação, que pode ter duas finalidades: reabilitar ou recuperar a área degradada (HOLL, 2007; ASNER et al., 2009; HOLL, 2013).

Por outro lado, trabalhos com abordagens ecológicas utilizam o termo restauração ecológica. A *Society of Ecological Restoration* define restauração ecológica como o "processo de alteração intencional para estabelecer um ecossistema histórico nativo, recuperando a estrutura, função da biodiversidade da área, da floresta ou do ecossistema restaurado" (SER, 2004). Entretanto, a restauração ecológica é um processo longo e que demanda muito tempo, afinal, algumas espécies arbóreas da Mata Atlântica, por exemplo, necessitam de trinta anos ou mais para alcançar sua maturidade reprodutiva e desempenhar completamente suas funções no ecossistema. De qualquer forma o início do processo dá-se por meio da revegetação inicial da área (ALDAY et al., 2011; HOLL, 2013).

Vale ressaltar que o histórico de utilização, bem como o tipo de impacto que afetou a área influencia o processo e recuperação. O desmatamento, as queimadas, a agricultura e pecuária extensiva são alguns exemplos que podem ser citados do uso intenso do solo, que, consequentemente, altera os atributos físico-químicas do solo e destrói o banco de sementes presentes na área, o que reduz ou até mesmo impossibilita a rebrota. Atividades antrópicas como a mineração também exercem uma pressão negativa, pois suas ações propiciam a compactação e o empobrecimento do solo, o que gera condições microclimáticas (altas luminosidade e temperatura, baixa umidade e poucos nutrientes no solo) ainda mais estressantes e limitantes ao estabelecimento e crescimento de plântulas, tornando difícil a recuperação de áreas extremamente degradadas (HOLL, 2002; HOLL, 2007; HOLL, 2013).

2.2 Técnicas de revegetação para recuperação de áreas degradadas

O Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) propõe a revegetação como uma maneira eficiente para mitigar os efeitos do aquecimento global (CIAIS et al., 2013). Diversos trabalhos visam a recuperação e/ou restauração de florestas e ecossistemas degradados,

considerando também os projetos que são voltados para a produção de energia (biocombustíveis). De qualquer forma, os trabalhos de revegetação podem contribuir para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, afinal, plantas jovens, geralmente possuem taxas mais altas de assimilação do carbono (fotossíntese) (JACKSON et al., 1995; LIU et al., 2008; MENZ et al., 2013).

A revegetação, de forma simplificada, consiste na cobertura vegetal do solo, com objetivo de reduzir a ação dos fenômenos abióticos (chuva, vento, luz) que favoreceria a lixiviação de matéria orgânica e nutrientes agravando os processos erosivos no ambiente degradado (SANTOS et al., 2011; NOGUEIRA et al., 2012). A revegetação para recuperação de áreas degradadas pode ser feita utilizando-se espécies herbáceas e arbóreas, geralmente da família Fabaceae, devido à sua capacidade de realizar associações simbióticas com fungos e bactérias capazes de fixar o nitrogênio atmosférico (nitrificação – NO^{2-}). Um outro grupo de bactérias oxida o nitrito (NO^{2-}), disponibilizando o nitrato (NO^{3-}) ao solo (NOGUEIRA et al., 2012). A utilização de espécies dessa família é vantajosa, pois as leguminosas auxiliam no sombreamento e ciclagem de nutrientes, contribuindo, assim, para uma melhora nas condições do solo, facilitando o estabelecimento e desenvolvimento de outras espécies na área que se pretende recuperar (MARTINS, 2009; NOGUEIRA et al., 2012).

De acordo com Shono et al. 2007, a revegetação pode ocorrer de forma natural. Todavia, na ausência ou demasiada lentidão desse processo, faz-se necessário introduzir a vegetação por ação antrópica (POMPÉIA, 2005; GOULART et al., 2006; GUIMARÃES, 2008; LOSCHI et al., 2010). Neste caso, o plantio de mudas, geralmente com espécies arbóreas nativas da região, é o mais indicado, pois com o desenvolvimento das plantas há o deposito de serapilheira, aumento da matéria orgânica proveniente da decomposição e maior disponibilidade de nutrientes. Uma vez estabelecidas, as árvores podem atrair animais polinizadores e dispersores de sementes importantes para acelerar a recuperação da área degradada (HOLL, 2002; HOLL, 2007; HOLL, 2013; RODRIGUES et al., 2009; LAMB, 2011). Na maioria dos trabalhos de restauração utiliza-se um número reduzido (<10) de espécies arbóreas, mas também há estudos com um número muito maior de espécies (20-30). Geralmente, as técnicas de revegetação empregadas influenciam nessa escolha (RODRIGUES et al., 2009; LAMB, 2011; HOLL, 2013).

Compreender o histórico da área (solo, vegetação nativa, utilização da terra, tipo de impacto) é necessário para a escolha das técnicas de revegetação que serão empregadas para a recuperação do ambiente (NUNES & PINTO, 2007). Jazidas de exploração de argila, por exemplo (atividade muito comum na mineração), promovem a remoção da vegetação local e a retirada do solo, que reduz a distância entre a superfície e a rocha matriz, criando uma nova condição edáfica

desfavorável à recuperação da área (HOLL, 2013). Assim, a sucessão ecológica (revegetação natural) é impossibilitada em áreas que sofreram esse tipo de impacto, em função da extrema compactação do solo e do déficit de nutrientes, os quais impossibilitam os processos de germinação, estabelecimento e crescimento de espécies vegetais (CANARACHE, 1990; SANTOS JR. et al., 2006; TESTONI, 2010; HOLL, 2013).

Por essa razão, para revegetar essas áreas utilizam-se técnicas de preparo e condicionamento do solo, antes do plantio, como: escarificação, subsolagem e gradagem. Estas técnicas contribuem para aumentar a porosidade, reduzir a densidade, romper as camadas superficiais e subsuperficiais, e, assim, descompactar o solo (REICHERT et al., 2009; GIRARDELLO et al., 2014; DRESCHER et al., 2016). A calagem e as adubações de correção também são necessárias, sem as quais as mudas não conseguiriam se desenvolver (PREZOTTI et al., 2007). Existem na literatura estudos que utilizam a adubação verde, com espécies leguminosas, crucíferas e forrageiras com grande potencial de ciclagem de nutrientes, fixação de nitrogênio e recomposição da matéria orgânica no solo (LONGO et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2012; SOUZA et al., 2013).

2.3 Grupos funcionais na escolha das espécies para revegetação

Segundo Violle et al. (2007), as características que influenciam na obtenção de recursos, no desenvolvimento e na sobrevivência dos organismos são determinados como atributos funcionais. Dessa forma, as plantas podem ser agrupadas (grupos funcionais) de acordo com um ou mais atributos funcionais, que podem variar conforme as perguntas que se desejam responder (PENDRY et al., 2007). As estratégias ecológicas, como as formas de aquisição de recursos, as respostas ecofisiológicas em relação a fatores ambientais, são exemplos de alguns atributos que possibilitam a criação de grupos funcionais (CORNELISSEN et al., 2003; PENDRY et al., 2007; PILLAR & DUARTE, 2010).

A seleção de espécies para projetos de revegetação deve levar em consideração uma série de critérios, como a intensidade de luz na área, a disponibilidade de água, a capacidade de desenvolver-se em solos pobres, de fixar nitrogênio, o tipo de sistema radicular, formas de polinização, produção de frutos, entre outros. Outro critério importante, além da plasticidade ecofisiológica de se adaptar a condições abióticas do meio é a ocorrência natural da espécie na região de estudo (GLUFKE, 1999; HOLL, 2002; HOLL, 2007). De acordo com Daronco et al. (2013), sistemas florestais devem ser autossustentáveis para a manutenção dos processos de

regeneração natural. Por essa razão, a escolha das espécies é um ponto chave em projetos de revegetação. Elas são importantes na criação das condições microclimáticas necessárias à continuidade dos processos ecológicos.

Indivíduos da família Fabaceae são os mais utilizados em projetos de revegetação para recuperação de áreas degradadas. Sua importância se destaca em diversos trabalhos na literatura, principalmente pela capacidade de realizar associações com bactérias que realizam a fixação do nitrogênio (ADAMS et al., 2010; CHAER et al., 2011). Outra característica importante em algumas espécies dessa família é a presença de nectários extraflorais, que secretam substâncias capazes de atrair visitantes, geralmente formigas, que auxiliam no processo de polinização e também atuam como agentes anti-herbívoros defendendo a planta (NAHAS et al., 2012; OLIVEIRA, 2012). Similarmente, os longos períodos de floração e a abundância na produção de frutos contribui para a dispersão zoocórica das sementes. Os representantes da família mais comuns na Mata Atlântica são: *Inga laurina* (Ingá amarelo ou Ingazinho), *Inga vera* (Ingá do brejo), *Inga edulis* (Ingá cipó ou Ingá de metro), *Hymenaea martiniana* (Jatobá mirim), *Dalbergia ecastophyllum* (Rabo de Bugio), dentre outros.

Espécies da família Anacardiaceae [*Schinus terebinthifolia* (Aroeira); *Spondias mombin* (Cajá mirim); *Spondias venulosa* (Cajá verde); *Tapirira obtusa* (Jaobo); *Anacardium occidentale* (Cajú)], são encontradas principalmente em regiões tropicais. Seu cultivo fora do ambiente natural também é muito comum, devido a sua importância ornamental e alimentícia. As espécies dessa família apresentam aspecto lenhoso, ductos resiníferos, folhas alternas (simples ou pinadas), geralmente possuem um odor bem característico graças à resina secretada (TIANLU & BARFOD, 2008; PELL et al., 2011). Os metabólitos secundários produzidos por indivíduos desta família são muito importantes, pois atuam na defesa contra a herbivoria (STAMP, 2003; SANTANA et al., 2012). Por essas razões, espécies dessa família são muito indicadas para projetos de revegetação.

Dentre as espécies mais utilizadas em projetos de revegetação também podemos citar aquelas pertencentes à família Myrtaceae, amplamente distribuídas pelos continentes do hemisfério sul. No Brasil, podemos encontrar mais de mil espécies que ocorrem na Mata Atlântica, entre elas: *Eugenia rotundifolia* (Jabuticaba da praia); E*ugenia uniflora* (Pitanga vermelha); *Eugenia uniflora var. rubra* (Pitanga preta); *Campomanesia phaea* (Cambucí); *Plinia cauliflora* (Jabuticaba); *Psidium cattleianum* (Araçá); *Psidium guajava* (Goiaba) (THE PLANT LIST, 2013; SOBRAL et al., 2016). As espécies dessa família destacam-se pelo potencial na produção de frutos que servem de alimento para uma diversidade de peixes, aves e mamíferos (BARROSO et al., 1999). Por essa razão, espécies desta família são muito importantes nos processos de regeneração

natural da área, bem como, na manutenção dos serviços ecossistêmicos. Assim, a utilização de espécies dessa família torna-se estratégica em projetos de revegetação de áreas impactadas (BACKES & IRGANG, 2002).

2.3.1. Espécies arbóreas fixadoras e não fixadoras de nitrogênio

No presente estudo, foram utilizadas quatro espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica do estado do Espírito Santo, divididas em dois grupos funcionais (Figura 1): *Psidium cattleianum* Sabine e *Schinus terebinthifolius* Raddi (espécies não fixadoras de nitrogênio); *Dalbergia ecastophyllum* (L.) Taub. e *Inga laurina* (Sw.) Willd (espécies fixadoras de nitrogênio), para revegetação de uma área degradada pela exploração de argila no norte do estado.

Figura 1: Espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica utilizadas no experimento de revegetação. (**A**) *Schinus terebinthifolius*; (**B**) *Psidium cattleianum*; (**C**) *Inga laurina*; (**D**) *Dalbergia ecastophyllum*. **Fonte:** Marcel Merlo Mendes (autor).

2.3.2 Adubo verde em projetos de revegetação

O conjunto de plantas capazes de melhorar em curto, médio e longo prazo as propriedades físico-químicas do solo e reduzir a competição interespecífica, são denominadas de adubos verdes (FERREIRA et al., 2016). Encontra-se na literatura diversas espécies leguminosas, forrageiras e crucíferas utilizadas para esse fim, como: *Avena sativa* (aveia comum) *Cajanus cajan* (feijão guandu), *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco), *Crotalaria juncea* (crotalária), *Lolium multiflorum* (azevém) e *Stylosanthes multilinea* (estilozantes), (TEODORO et al., 2011; TOLEDO et al., 2011; LIMA et al., 2012; MONQUERO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2014). Projetos de revegetação que tenham apenas a finalidade de cobertura do solo podem utilizar uma ou mais espécies de adubos verdes. Por outro lado, caso a revegetação tenha como objetivo recuperar uma área degradada, as espécies de adubos verdes podem ser utilizadas em plantio consorciado com espécies arbóreas, visando facilitar o estabelecimento e o crescimento dos indivíduos à medida que melhora as propriedades do solo (FERREIRA et al., 2016).

As espécies de adubos verdes podem desempenhar funções distintas como promover uma maior cobertura do solo, fixar nitrogênio, recompor de maneira rápida a matéria orgânica do solo, combater espécies invasoras (plantas daninhas), diminuir a competição interespecífica, entre outras funções (TEODORO et al., 2011; LIMA et al., 2012; FERREIRA et al., 2016). *C. ensiformis* por exemplo, é uma espécie com alta plasticidade adaptando-se bem a condições ambientais e por essa razão pode se desenvolver em ambientes semiáridos e em regiões tropicais como a Mata Atlântica (TEODORO et al., 2011). Timossi et al. (2011) avaliaram a supressão de plantas daninhas sob diferentes métodos de semeadura de *C. juncea* e observaram que independentemente da disposição da semeadura, houve a supressão da comunidade de ervas daninhas.

Espécies utilizadas como adubos verdes já foram testadas no controle de erosão hídrica. *C. juncea* e *C. ensiformis* demonstraram ser eficientes na conservação do solo, controlando as perdas de solo, nutrientes e água (CARDOSO et al., 2012). Espécies de adubos verdes também foram testadas na produção de tomate orgânico (TOLEDO et al., 2011), cultivo de milho (LEAL et al., 2013), trigo (MELERO et al., 2013), cana de açúcar (AMBROSANO et al., 2011), repolho (VARGAS et al., 2013), alface (HIRATA et al., 2014), e arroz (GITTI et al., 2013). Também existem na literatura relatos da sua utilização na fitoremediação, onde *C. ensiformis* foi empregada na fitoextração de cobre (Cu) em solos contaminados (com herbicidas, entre eles o tebuthiuron (PIRES et al., 2005), o trifloxysulfuron sodium (PROCÓPIO et al., 2004) e o sulfentrazone (MADALÃO et al., 2013).

Com a finalidade de usar a adubação verde, no presente estudo foi empregado um mix de sementes com as seguintes espécies: *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf, *Cajanus cajan* (L. Millsp.), *Canavalia ensiformis* (L.) DC., *Crotalaria juncea* L., *Crotalaria ochroleuca* G. Don, *Mucuna pruriens* (L.) DC., *Raphanus sativus* L., *Stylosanthes ssp.* (Figura 2).

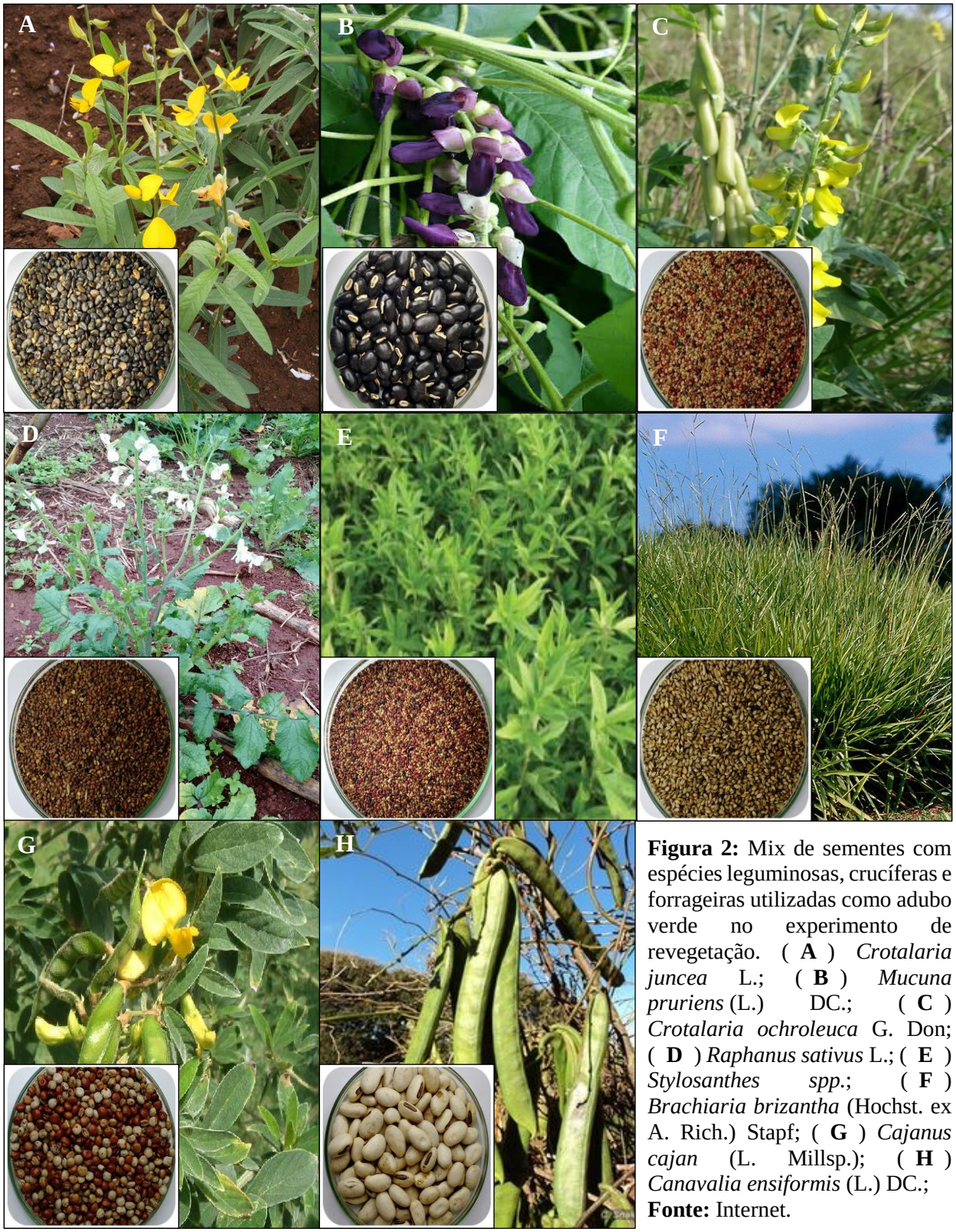

Figura 2: Mix de sementes com espécies leguminosas, crucíferas e forrageiras utilizadas como adubo verde no experimento de revegetação. (**A**) *Crotalaria juncea* L.; (**B**) *Mucuna pruriens* (L.) DC.; (**C**) *Crotalaria ochroleuca* G. Don; (**D**) *Raphanus sativus* L.; (**E**) *Stylosanthes spp.*; (**F**) *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf; (**G**) *Cajanus cajan* (L. Millsp.); (**H**) *Canavalia ensiformis* (L.) DC.; **Fonte:** Internet.

2.4 Ecofisiologia da revegetação

Estudos ecofisiológicos que avaliam grupos funcionais de espécies vegetais são muito comuns em comunidades já estabelecidas (GONÇALVES-ALVIM et al., 2006; ROSADO & DE MATTOS, 2007; CHATURVEDI et al., 2011). Conhecer a dinâmica e os fatores que influenciam o estabelecimento, a sobrevivência e o crescimento de espécies arbóreas nos estádios iniciais da revegetação também é importante. Assim, independentemente das espécies escolhidas e das técnicas aplicadas, a eficácia da revegetação dependerá do seu monitoramento por um período de tempo, onde aspectos tais como a melhoria nos atributos físico-químicos do solo, a formação de serapilheira, os ciclos fenológicos e os parâmetros fisiológicos dos indivíduos deverão ser observados para determinar a sustentabilidade da nova comunidade implantada no processo de revegetação (GUIMARÃES, 2010).

Os atributos foliares tem demonstrado ser bons parâmetros para descrever vários processos ecofisiológicos em espécies, comunidades e ecossistemas (REICH et al., 1992; DÍAZ et al., 2004; CHATURVEDI et al., 2014). Sua relação com a fixação de carbono, produção de serrapilheria, decomposição e ciclagem de nutrientes é importante na compreensão dos processos ecossistêmicos bem como na determinação de grupos funcionais, através do agrupamento de espécies com respostas similares em suas estratégias ecológicas ou a fatores ambientais (REICH et al., 1992; DÍAZ et al., 2004; CHATURVEDI et al., 2014). Os atributos foliares como a massa foliar por unidade de área (MFA), a suculência (SUC), a densidade (DEN), a espessura (ESP), entre outros têm sido muito utilizados em estudos ecofisiológicos que avaliam as respostas de espécies vegetais em diferentes gradientes ambientais em comunidades e ecossistemas (KLUGE & TING, 1978; WITKOWSKI & LAMONT, 1991; REICH et al., 1992; ROCHE et al., 2004; DÍAZ et al., 2004; CHATURVEDI et al., 2014).

Segundo Taiz et al. (2017), os impactos ambientais que afetam os processos da fotossíntese são objetos de estudo para fisiologistas, ecólogos, agrônomos, especialistas em mudanças climáticas, entre outros. É importante ressaltar que os efeitos do estresse (biótico ou abiótico) sobre espécimes vegetais podem ser medidos de duas maneiras: diretamente (medições nas taxas fotossintéticas) ou indiretamente (medições de parâmetros de crescimento). Fatores como luz, concentrações de CO_2, temperatura, umidade do ar e do solo, disponibilidade de nutrientes afetam os processos fotoquímicos e bioquímicos da fotossíntese (TAIZ et al., 2017). Diversos trabalhos de revegetação e restauração encontrados na literatura realizam apenas análises das condições físico-químicas do solo e crescimento das plantas (altura e diâmetro) (BRADSHAW, 1997; DAVIDSON et al., 1999; HARRIS, 2009) e muitos nem consideram aprofundar-se um pouco mais avaliando o status

fisiológicos das plantas através do seu nível de estresse por medições diretas, considerando que ele influencia o desenvolvimento dos indivíduos (TAIZ et al., 2017).

Vários estresses abióticos afetam, direta ou indiretamente, a capacidade fotossintética das plantas e, consequentemente, alteram a cinética da fluorescência da clorofila *a* (OUKARROUM et al., 2007). Sabe-se que a deficiência de nutrientes influencia a estrutura e as funções do aparato fotossintético. A capacidade fotossintética é progressivamente reduzida nessas condições, consequentemente, menores intensidades luminosas serão aproveitadas no processo fotoquímico (KALAJI et al., 2014). Também encontram-se na literatura estudos realizados para avaliar os efeitos da luz sobre a atividade fotoquímica (PINHEIRO et al., 2019), os efeitos do déficit de nitrogênio no fotossistema (FSII) (REDILLAS et al., 2011; LI et al., 2012), temperatura (CHEN et al., 2009), e salinidade (SINGH-TOMAR et al., 2012) entre outros.

No que se refere às medições diretas de estresse em organismos vegetais pode-se citar a fluorescência transiente da clorofila *a*. Essa ferramenta não destrutiva, garante uma coleta de dados relativamente rápida, o que permite inferir sobre as reações fotoquímicas, aquelas dependentes da luz (GOVINDJEE, 1995; PAPAGEORGIOU & GOVINDJEE, 2011; KALAJI et al., 2016). Através da análise da curva de fluorescência transiente da clorofila *a* (OJIP), é possível avaliar os componentes do FSII bem como a cadeia transportadora de elétrons, permitindo inferir sobre a condição fisiológica dos indivíduos (KALAJI et al., 2016). As análises das reações que ocorrem nas membranas dos tilacóides são possíveis graças a modelos matemáticos confiáveis (teste JIP), desenvolvidos por Strasser et al. (2004), possibilitando a compreensão em detalhes do status e função do sistema antena, dos centros de reações, bem como os aceptores e doadores do FSII.

2.5 Referências

ADAMS, M. A.; SIMON, J.; PFAUTSCH, S. Woody legumes: a (re)view from the South. **Tree Physiology**, v. 30, p. 1072-1082, 2010.

ALDAY J. G.; MARRS, R. H.; MARTÍNEZ-RUIZ C. Vegetation succession on reclaimed coal wastes in Spain: the influence of soil and environmental factors. **Applied Vegetation Science**, v. 14, n. 1, p. 84–94, 2011.

AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMAS, E. A; DIAS, F. L. F.; ROSSI, F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T.; SACHS, R. C. C.; AZCÓN, R. Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 810-818, 2011.

ASNER, G. P.; RUDEL T. K.; Aide T. M.; DEFRIES R., EMERSON R. A contemporary assessment of change in humid tropical forests. **Conservation Biology**, 23, 1386–1395, 2009.

BACKES P.; IRGANG B. Árvores do Sul: guia de Identificação & Interesse Ecológico. **Porto Alegre: CD Vaz e Ricardo Correa**, 2002.

BALENSIEFER, M. Estado da arte em recuperação e manejo de áreas frágeis e/ou degradadas. In: **Workshop recuperação e manejo de áreas degradadas**, Campinas, Memória. Jaguariúna: **EMBRAPA**, CNPMA, p 15-18. (EMBRAPA – CNPMA. Documentos, 13). 1998.

BARROSO, G. M.; MORIM M. P.; PEIXOTO A. L.; ICHASO C. L. F. Frutos e sementes: morfologia aplicada à sistemática de dicotiledôneas. **Viçosa: UFV**, 1999.

BRADSHAW, A. Restoration of mined lands—using natural processes. **Ecological Engineering** Volume 8, Issue 4, August 1997, Pages 255-269, 1997.

BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; KAGEYAMA, P. Y.; NAVE, A. G.; GANDARA, F. B.; BARBOSA, L. M.; TABARELLI, M. T. Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas**. Revista Árvore**, v. 34, p. 455-470, 2010.

BRASIL, Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm Acesso em 16 de mar de 2019.

CANARACHE, A. Generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. Amsterdam, **Soil Till**. Res. 16:56-70, 1990.

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J.; FREITAS, D. A. F.; AVANZI, J. C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 6, p. 632-638, 2012.

CHAER, G. M.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M.; BODDEY, R. M.; SCHIMIDT, S. Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. **Tree Physiology**, v. 31, nº 2, p. 139-149, 2011.

CHATURVEDI, R. K.; RAGHUBANSHI, A. S.; SINGH, J. S. Leaf attributes and tree growth in a tropical dry forest. **Journal of Vegetation Science**. 22:917–31, 2011.

CHEN, L. S.; LI P.; CHENG, L. Comparison of thermotolerance of sun-exposed peel and shaded peel of 'Fuji' apple. **Environmental and Experimental Botany**. 66(1):110–116, 2009.

CIAIS, P.; SABINE, C.; BALA, G.; BOPP, L.; BROVKIN, V.; CANADELL, J. "Carbon and other biogeochemical cycles," in Climate Change 2013: **The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, eds STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; Allen, S. K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P. M. (Cambridge, UK; New York, NY: Cambridge University Press), 465–570, 2013.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 fev. 1986.

CORNELISSEN, J. H. C.; LAVOREL, S.; GARNIER, E.; DIAZ, S.; BUCHMANN, N.; GURVICH, D. E.; REICH, P. B.; TER STEEGE, H.; MORGAN, H. D. & VAN DER HEIJDEN, M. G. A. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany** 51: 335-380, 2003.

DARONCO, C.; MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Ecossistema em restauração versus ecossistema de referência: estudo de caso da comunidade vegetal de mata ciliar em região de Cerrado, Assis, SP, Brasil. **Hoehnea**, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 485-498, 2013.

DAVIDSON, R.; GAGNON, D.; MAUFFETTE, Y. Growth and mineral nutrition of the native trees Pollalesta discolor and the N-fixing Inga densiflora in relation to the soil properties of a degraded volcanic soil of the Ecuadorian Amazon. **Plant and Soil** 208: 135. https://doi.org/10.1023/A:1004549216198. 1999.

DEDECEK, R. A. Manejo e preparo do solo. In: Curso de recuperação de áreas degradadas. Curitiba, Universidade Federal do Paraná; **FUPEF, APEF**, v. 1. p. 300, 1993.

DÍAZ, S.; HODSON, J. G.; THOMPSON, K.; CABIDO, M.; CORNELISSEN, J. H. C.; JALILI, A.; MONTSERRAT-MARTÍ, G.; GRIME, J. P.; ZARRINKAMAR, F.; ASRI, Y.; BAND, S. R.; BASCONCELO, S.; CASTRO-DÍEZ, P.; FUNES, G.; HAMZEHEE, B.; KHOSHNEVI, M.; PÉREZ-HARGUINDEGUY, N.; PÉREZ-RONTOMÉ, M. C.; SHIRVANY, F. A.; VENDRAMINI, F.; YAZDANI, S.; ABBAS-AZIMI, R.; BOGAARD, A.; BOUSTAMI, S.; CHARLES, M.; DEHGHAN, M.; TORRES-ESPUNY, L. D.; FALCZUK, V.; GUERRERO-CAMPO, J.; HYND, A.; JONES, G.; KOWSARY, E.; KAZEMI-SAEED, F.; MAESTRO-MARTÍNEZ, M.; ROMO-DÍEZ, A.; SHAW, S.; SIAVASH, B.; VILLAR-SALVADOR, P.; ZAK, M. R. The plant traits that drive ecosystems: Evidence from three continents. **Journal of Vegetation Science**, 15:295-304, 2004.

DRESCHER, M. S.; REINERT, D. J.; DENARDIN, J. E.; GUBIANI, P. I.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G. L. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 159-168, 2016.

ENGEL V. L.; PARROTTA J. A. Definindo a Restauração Ecológica: Tendências e Perspectivas Mundiais. In: KAGEYAMA P. Y.; OLIVEIRA R. E.; MORAES L. F. D.; ENGEL V. L.; GANDARA F. B editors. Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais. São Paulo: **FEPAP**. pp. 1-26, 2003.

FABRICANTE, J. R.; ARAÚJO, K. C. T.; ANDRADE, L. A.; FERREIRA, J. V. A. Invasão biológica de *Artocarpus heterophyllus* Lam. (Moraceae) em um fragmento de Mata Atlântica no Nordeste do Brasil: impactos sobre a fito diversidade e os solos dos sítios invadidos. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, p. 399-407, 2012.

FAO – Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. 2004. **FRA: Terms and Definitions.** http://www.fao.org/forestry/media/7797/1/0/ Acesso em 16 de mar de 2019.

FERREIRA, A. B. H. Novo dicionário da língua portuguesa, 2 ed. Rio de Janeiro: **J. E. M. M.** p. 1838, 1986.

FERREIRA, M. L.; SILVA, J. L.; PEREIRA, E. E.; LAMANO-FERREIRA, A. P. N. Litter fall production and decomposition in a fragment of secondary atlantic forest of São Paulo, SP, Southeastern Brazil. **Revista Árvore**, 38(4): 591-600, 2014.

FERREIRA, E. M.; ANDRAUS, M. P.; CARDOSO, A. A.; COSTA, L. F. S.; LÔBO, L. M.; LEANDRO, W. M. Recuperação de áreas degradadas, adubação verde e qualidade da água. Revista Monografias Ambientais - **REMOA** v. 15, nº 1, jan-abr. p. 228-246, 2016.

FRANCO, A. A.; Campello, E. F.; Silva, E. M. R da.; Faria, S. M de. Revegetação de solos degradados. **Seropédica: EMBRAPA – CNPAB**, 1992.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2012. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica.** São Paulo, 2012. Disponível em: http://www.sosmatatlantica.org.br. Acesso em: 16 de abr. 2019.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ, J.; DE GREGORI TEIXEIRA, T. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1234-1244, 2014.

GITTI, D. C.; ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; CORSINI, D. C. D. C.; RODRIGUES, R. A. F.; KANEKO, F. H. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilens*e em arroz de terras altas no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 509-517, 2012 Epub, 2013.

GLUFKE C. Espécies Florestais Recomendadas para Recuperação de Áreas Degradadas. Porto Alegre: **Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul**, 1999.

GODINHO, T. O.; CALDEIRA, M. V. W.; CALIMAN, J. P.; PREZOTTI, L. C.; WATZLAWICK, L. F.; AZEVEDO, H. C. A.; ROCHA, J. H. T. Biomassa, macronutrientes e carbono orgânico na serapilheira depositada em trecho de floresta estacional semidecidual submontana, ES. **Scientia Forestalis**, 41(97): 131-144, 2013.

GONÇALVES-ALVIM, S. J.; KORNDORF, G. & FERNANDES, G. W. Sclerophylly in *Qualea parviflora* (Vochysiaceae): influence of herbivory, mineral nutrients, and waters status. **Plant Ecology** 187: 153-162, 2006.

GOULART, R. M.; PEREIRA, J. A. A.; CALEGÁRIO, N.; LOSCHI, R. A.; OGUSUKU, L. M. Caracterização de sítios e comportamento de espécies florestais em processo de estabilização em voçorocas. **Cerne**, v. 12, n. 1, p. 68-79, 2006.

GOVINDJEE. Sixty-three years since Kautsky: chlorophyll a fluorescence. **Australian Journal of Plant Physiology**. 22:131-160, 1995.

GUIMARÃES, J. C. C. Reabilitação de minas de bauxita em florestas nativas: “método tradicional” versus “método ecológico”. **Informe Agropecuário**, v. 29, n. 244, p. 30-33, 2008.

GUIMARÃES, J. C. C. Sustentabilidade ambiental através da restauração ecológica de minas de bauxita em florestas tropicais nativas. In: **Anais IV Congresso Internacional de Alumínio, São Paulo, Brasil**, p. 254-265, 2010.

HARRIS, J. Soil Microbial Communities and Restoration Ecology: Facilitators or Followers? **Science**, 325(5940), 573–574. doi:10.1126/science.1172975, 2009.

HENRIQUES, F. S. The Uncertain Future of Tropical Forests. **Revista de Ciências Agrárias**. 33 (2): 265-271. December, 2010.

HIRATA, A. C. S.; HIRATA, E. K.; GUIMARÃES, E. C.; RÓS, A. B.; MONQUERO, P. A. Plantio direto de alface americana sobre plantas de cobertura dessecadas ou roçadas. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 2, p. 178-183, 2014.

HOLL, K. D. "Tropical moist forest," in Handbook of Ecological Restoration, eds. PERROW, M. R. & DAVY, A. J. (**Cambridge, UK: Cambridge University Press**) 539–558, 2002.

HOLL, K. D. "Oldfield vegetation succession in the Neotropics," in Old Fields, eds. HOBBS, R. J. & CRAMER, V. A. (**Washington, DC: Island Press**), 93–117, 2007.

HOLL, K. D. Restoring Tropical Forest. **Nature Education Knowledge** 4(4):4. 2013. Disponível em: http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/restoring-tropical-forest-97756726 Acesso em 16 de mar de 2019.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2012. **Unidades de Conservação da Mata Atlântica.** Brasília, 2012. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br. Acesso em: 16 de abr. de 2019.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y .O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P .R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA**, p. 1132, 2014.

JACKSON, L.; LOPOUKHINE, N.; HILLYARD, D. Ecological restoration: a definition and comments. **Retoration Ecology**, Malden, v. 3, n. 2, p. 71-75, 1995.

KALAJI, H. M.; OUKARROUM, A.; ALEXANDROV, V. Identification of nutrient deficiency in maize and tomato plants by in vivo chlorophyll a fluorescence measurements. **Plant Physiol Biochem** 81:16–25. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.03.029, 2014.

KALAJI, H. M.; JAJOO, A.; OUKARROUM, A.; BRESTIC, M.; ZIVCAK, M.; SAMBORSKA I. A. Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. **Acta Physiol. Plant.** 38 102 10.1007/s11738-016-2113-y, 2016.

KLUGE, M.; TING, I. P. Crassulacean Acid Metabolism: Analysis of an Ecological Adaptation. Berlin, **Springer-Verlag**, 1978.

LAMB, D. Regreening the Bare Hills: Tropical Forest Restoration in the Asia-Pacfic Region. Dordrecht, **The Netherlands: Springer**, 2011.

LAURANCE, W. F. Have we overstated the tropical biodiversity crisis? Trends in **Ecology Evolutionary**. 22: 65-70, 2007.

LAVOREL, S.; MC INTYRE, J.; LANDSBERG, T.; FORBES, D. A. Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance. **Trends in Ecology and Evolution**, Cambridge, v. 12, n. 12, p. 474-478, 1997.

LEAL, A. J. F.; LAZARINI, E.; RODRIGUES, L. R.; MARCANDALLI, L. H. Adubação nitrogenada para milho com o uso de plantas de cobertura e modos de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p. 491-501, 2013.

LI, G.; ZHANG, Z. S.; GAO H. Y.; LIU, P.; DONG, S. T.; ZHANG J. W.; ZHAO, B. Effects of nitrogen on photosynthetic characteristics of leaves from two different stay-green corn (*Zea mays* L.) varieties at the grain-filling stage. **Canadian Journal of Plant Science**. 92:671–680, 2012.

LIMA, A. A.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; PASSOS, S. R.; PAULO, F. S.; NOSOLINE, S. M.; FARIA, S. M.; GUERRA, J. G. M.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R. Diversidade e capacidade simbiótica de rizóbios isolados de nódulos de Mucuna-Cinza e Mucuna-Anã. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 337-348, 2012.

LIU, J.; FRITZ, S.; WESENBEECK, C. F. A.; FUCHS, M.; YOU, L.; OBERSTEINER, M.; YANG, H. A spatially explicit assessment of current and future hotspots of hunger in sub-Saharan Africa in the context of global change. **Global and Planetary Change**, v. 64, p. 222-235, 2008.

LOSCHI, R. A.; PEREIRA, J. A. A.; MACHADO, E. L. M.; CARLOS, L.; SANTOS, R. M. dos. Variações florísticas e estruturais de uma voçoroca em Itumirim, Minas Gerais. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 479-498, 2010.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. Í.; MELO, W. J. Uso da adubação verde na recuperação de solos degradados por mineração na floresta amazônica. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 139-146, 2011.

MADALÃO, J. C.; PIRES, F. R.; CARGNELUTTI FILHO, A.; NASCIMENTO, A. F.; CHAGAS, K.; ARAÚJO, R. S.; PROCÓPIO, S. O.; BONOMO, R. Susceptibilidade de espécies de plantas com potencial de fitorremediação do herbicida sulfentrazone. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 1, p. 111121, 2013.

MARTINS, S. V. Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração. **Viçosa, MG: Aprenda Fácil**, p. 270, 2009.

MELERO, M. M.; GITTI, D. C.; ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F. Coberturas vegetais e doses de nitrogênio em trigo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 4, p. 343-353, 2013.

MENZ, M. H. M.; DIXON, K. W.; HOBBS, R. J.; Hurdles and opportunities for landscape-scale restoration. **Science**, 339:526-527. http://dx.doi.org/10.1126/science.1228334. 2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Mata Atlântica. 2012. Disponível em: http://www.mma.gov.br/biomas/mataatlantica Acesso em 01 de mar de 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). Mata Atlântica: manual de adequação ambiental / Maura Campanili e Wigold Bertoldo Schaffer. **Brasília**, 2010.

MITTERMEIER, R. A.; FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A. B.; BRANDON, K. A brief history of biodiversity conservation in Brazil. **Conservation Biology** 19(3): 601-611, 2005.

MONQUERO, P. A.; CÔRREA, M. C.; BARBOSA, L. N.; GUTIERREZ, A.; ORZARI, I.; HIRATA, A. C. S. Seleção de espécies de adubos verdes visando à fitorremediação de diclosulam. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 127-135, 2013.

NAHAS, L.; GONZAGA M. O.; DEL-CLARO, K. Emergent Impacts of Ants and Spider Interactions: Herbivory Reduction in a Tropical Savanna Tree. **Biotropica**, 2012.

NOGUEIRA, N. O.; OLIVEIRA, O. M.; MARTINS, C. A. S; BERNARDES, C. O. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 14; p. 21- 22, 2012.

NOSS, R. F.; PLATT, W. J.; SORRIE, B. A.; WEAKLEY, A. S.; MEANS, D. B.; COSTANZA, J.; PEET, R. K. 2015. How global biodiversity hotspots may go unrecognized: lessons from the North American Coastal Plain. **Diversity and Distributions**, 21, 236–244, 2015.

NUNES, F. P.; PINTO, M. T. C. Conhecimento local sobre a importância de um reflorestamento ciliar para a conservação ambiental do Alto São Francisco, Minas Gerais. **Biota Neotropica**, São Paulo, SP, v. 7, n. 3, p. 1-10, 2007.

NUNES, F. P.; PINTO, M. T. C. Decomposição do folhedo em reflorestamento ciliar na bacia hidrográfica do rio São Francisco, Minas Gerais. **Cerne**, 18(3): 423-431, 2012.

OLIVEIRA O. S.; SENDOYA, S. F.; DEL-CLARO K. Defesas bióticas contra herbívoros em plantas de cerrado: interações entre formigas, nectários extraflorais e insetos trofobiontes. In: Del-CLARO, K., TOREZAN-SILINGARDI H. M. (eds.). **Ecologia das Interações Plantas-Animais: uma abordagem ecológico-evolutiva. Rio de Janeiro.** 157-165, 2012.

OLIVEIRA, A. C. S.; COELHO, F. C.; CREVELARI, J. A.; FERNANDES, I. S.; RUBIM, R. F. Fitossociologia de plantas daninhas em monocultivo de milho e em consórcio com diferentes Fabaceae. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 5, p. 643-651, 2014.

OLIVEIRA, L.C.; STANGARLIN, J. R.; LANA, M. do C.; SIMON, D. N.; ZIMMERMANN, A. **Arquivos do Instituto Biológico**. vol. 79 nº 4 São Paulo, 2012.

OUKARROUM, A.; MADIDI, S. E.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R. J. Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 60, p. 438-446, 2007.

PAPAGEORGIOU G. C.; GOVINDJEE. Photosystem II fluorescence: slow changes—scaling from the past. **J Photochem Photobiol B** 104(12):258–270, 2011.

PELL, S. K.; MITCHELL, J. D.; MILLER, A. J.; LOBOVA, T. A. Anacardiaceae. In: Kubitzki K (ed.) The families and genera of vascular plants. Flowering plants. Eudicots. Sapindales, Curcubitales, Myrtales. Vol. X. **Springer**, Berlin. Pp. 7-50, 2011.

PENDRY, C. A.; DICK, J.; PULLAN, M. R.; KNEES, S. G.; MILLER, A.G.; NEALE, S., WATSON, M. F. Insearch of a functional flora-towards a greater integration of ecology and taxonomy. **Plant Ecology** 192: 161-167, 2007.

PILLAR, V. D.; DUARTE, L. D. S. A framework for metacommunity analysis of phylogenetic structure. **Ecology Letters**, Montpellier, v. 13, n. 5, p. 587-596, 2010.

PINHEIRO, C. L.; ROSA, L. M. G.; FALQUETO, A. R. Resilience in the functional responses of *Axonopus affinis* Chase (Poaceae) to diurnal light variation in an overgrazed grassland. **Agricultural and Forest Meteorology**. Volumes 266–267, 15 March 2019, Pages 140-147, 2019.

PIRES, F.R.; SOUZA, C.M.; CECON, P.R.; SANTOS, J.B.; TÓTOLA, M.R.; SILVA, A.A.; PROCÓPIO, S.O. e FERREIRA, L.R.; SILVA, C.S.W. Inferências Sobre Atividade Rizosférica de Espécies Com Potencial Para Fitorremediação do Herbicida Tebuthiuron. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Ci. Solo, v. 29, p. 627-634, 2005.

POMPÉIA, S. Recuperação da vegetação na serra do mar em áreas afetadas pela poluição atmosférica de Cubatão: uma análise histórica. In: GALVÃO, A. P. M.; SILVA, V. P. Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso. Colombo: **Embrapa Florestas**. 2005, p. 119-143, 2005.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação. Vitória, ES: SEEA; **Incaper;** CEDAGRO, 2007.

PROCÓPIO, S. O. et al. Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de solos contaminados com o herbicida trifloxysulfuron sodium. **Planta Daninha**, v. 22, p. 315-322, 2004.

RIBEIRO, C. F. D. de A. Recuperação de Áreas Degradadas. / **NT Editora**. Brasília, p. 143, 2015.

REDILLAS, M. C. F. R.; JEONG, J. S.; STRASSER, R. J.; KIM, Y. S.; KIM, J. K. JIP analysis on rice (*Oryza sativa* cv Nipponbare) grown under limited nitrogen conditions. **J Korean Soc Appl Biol Chem** 54:827–832, 2011.

REICH, P.B.; WALTERS, M.B. & ELLSWORTH, D.S. Leaf lifespan in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. **Ecological Monographs 62**:365-392, 1992.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 310-319, 2009.

ROCHE, P.; DÍAZ-BURLINSON; GACHET, S. Congruency analysis of species ordenação based on leaf traits: which traits are the more reliable. **Plant Ecology** 174: 37-48, 2004.

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. **Biological Conservation** 142, 1242–1251, 2009.

ROSADO, B. H. P.; MATTOS, E. A. Variação temporal de características morfológicas de folhas em dez espécies do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Macaé, RJ, Brasil. **Acta Bot. Bras.** vol. 21 nº 3 São Paulo, 2007.

SANTANA, J. S.; SARTORELLI, P.; LAGO, J. H. G. Isolamento e avaliação do potencial citotóxico de derivados fenólicos de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae). **Química Nova**, v. 35, p. 2245-2248, 2012.

SANTOS J. R., U. M. S.; GONÇALVES, J. F. C.; FELDPAUSCH, T. R. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in central Amazonia. **Forest Ecology Management**. Amsterdã, p. 299-309, 2006.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Florestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo em bacias hidrográficas do município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambiente e Água**, v. 6, n. 3, p. 110- 126, 2011.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL E POLICY WORKING GROUP (SER). The SER International Primer on Ecological Restoration. www.ser.org e Tucson: **Society for Ecological Restoration International**, 2004.

SHONO, K.; CADAWEG, E. A.; DURST, P. B. Application of assisted natural regeneration to restore degraded tropical forestlands. **Restoration Ecology** 15, 620–626, 2007.

SINGH-TOMAR R.; MATHUR S.; ALLAKHVERDIEV, S. I.; JAJOO, A. Changes in PSII heterogeneity in response to osmotic and ionic stress in wheat leaves (*Triticum aestivum*). **J Bioenerg Biomembr** 44:411–419, 2012.

SOBRAL, M.; PROENÇA, C.; SOUZA, M.; MAZINE, F.; LUCAS, E. Myrtaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. 2016. Disponível em: http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB10335 Acesso em 25 de maio de 2019.

SFB - SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Florestas do Brasil em resumo - 2010: dados de 2005-2010. **Serviço Florestal Brasileiro**. Brasília, 2010.

STAMP, N. "Out of the quagmire of plant defense hypotheses". **The Quarterly Review of Biology** 78 (1): 23-55, 2003.

STRASSER, R. J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. Analysis of fluorescence transient, In: G. Papageogiou, Govindjee (eds.), Chlorophyll Fluorescence: *a* Signature of Photosynthesis, Advances in Photosynthesis and Respiration, **Springer**, Dordrecht, v. 19, p. 321-362, 2004.

SOUZA, J. L.; GUIMARÃES, G. P. Rendimento de massa de adubos verdes e o impacto na fertilidade no solo em sucessão de cultivos orgânicos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1796-1805, 2013.

TABARELLI, M., SILVA, J. M. C.; GASCON, C. Forest fragmentation, synergisms and the impoverishment of neotropical forests. **Biodiversity and Conservation**, v. 13, p.1419-1425, 2004.

TABARELLI, M.; PINTO, L. P.; SILVA, J. M. C.; HIROTA, M. M.; BEDÊ, L. C. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 132-138, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. **Porto Alegre: Artmed**, p. 888, 2017.

TEODORO, R. B.; OLIVIERA, F. L.; SILVA, D. M. N.; FÁVERO, C.; QUARESMA, M. A. L. Leguminosas herbáceas perenes para utilização como coberturas permanentes de solo na Caatinga Mineira. **Revista Ciência Agronômica, Fortaleza**, v. 42, n. 2, p. 292-300, 2011.

TESTONI, A. J. A. importância da topografia na recuperação de áreas degradadas. **Unoesc&Ciência – ACET**, Joaçaba, v.1, n.1, p.21-30, 2010.

THE PLANT LIST. Myrtaceae [online] 2013. Disponível em: http://www.theplantlist.org/1.1/browse/A/Myrtaceae/ Acesso em 25 de maio de 2019.

TIANLU, M.; BARFOD, A. Anacardiaceae. In: WU Z. Y.; RAVEN, P. H.; HONG, D. Y. (eds.) Flora of China. Vol. 11. **Science Press and Missouri Botanical Garden Press**, Beijing and St Louis. Pp. 335-357, 2008.

TIMOSSI, P. C.; WISINTAINER, C.; SANTOS, B. J.; PEREIRA, V. A.; PORTO, V. S. Supressão de plantas daninhas e produção de sementes de crotálaria, em função de métodos de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 525-530, 2011.

TOLEDO, D. S.; COSTA, C. A.; BACCI, L.; FERNANDES, L. A.; SOUZA, M. F. Production and quality of tomato fruits under organic management. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 253-257, 2011.

VAN DER WERF, G. R.; MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; OLIVIER, J. G. J.; KASIBHATLA, P. S.; JACKSON, R. B.; COLLATZ, G. J.; RANDERSON, J. T. CO2 emissions from forest loss. **Nature Geoscience** 2, 737–738, 2009.

VARGAS, T. O.; DINIZ, E. R.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; CECON, P. R. Nitrogen contributions of legume roots to cabbage nutrition. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 6, p. 415421, 2013.

VARJABEDIAN, R. Lei da Mata Atlântica: retrocesso ambiental. **Estudos avançados**, v. 24, p. 147-160, 2011.

VIOLLE, C.; NAVAS, M. L.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C.; HUMMEL, I.; GARNIER, E. Let the concept of trait be functional! Oikos, **Copenhagem**, v. 116, n. 5, p. 882-892, 2007.

WESTOBY, M.; FALSTER, D. S.; MOLES, A. T.; VESK, P. A.; WRIGHT, I. J. Plant Ecological Strategies: some leading dimensions of variation between species. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo alto, v. 33, n. 1, p. 125-159, 2002.

WITKOWSKI, E. T. F.; Lamont, B. B. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. **Oecologia** 88: 486-493, 1991.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). The Marrakesh Accords & The Marrakesh Declaration. 2001 http://unfccc.int/cop7/documents/accords_draft.pdf Acesso em 16 de mar de 2019.

CAPÍTULO II

3. A ECOFISIOLOGIA VEGETAL COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO PARA O APRIMORAMENTO DAS TECNOLOGIAS E PRÁTICAS DE REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

RESUMO

A superexploração de recursos vegetais e minerais, principalmente em regiões de florestas tropicais, está causando uma perda vertiginosa da biodiversidade no planeta. Visando mitigar esse tipo de impacto, temos dois desafios: conservar as áreas restantes e restaurar aquelas que se encontram degradadas. Isso requer um melhor conhecimento sobre as interações solo-planta e sua influência no crescimento de diferentes espécies. Neste contexto, foi feita a avaliação ecofisiológica de quatro espécies arbóreas nativas da mata atlântica utilizadas para revegetação de uma área degrada pela extração de argila. Para isso, mudas de quatro espécies [*Psidium cattleianum* e *Schinus terebinthifolius* (espécies não fixadoras de nitrogênio) e *Dalbergia ecastophyllum* e *Inga laurina* (espécies fixadoras de nitrogênio)] foram transplantadas para três tratamentos de solo, escarificação, escarificação + gradagem, subsolagem + gradagem (T1, T2 e T3, respectivamente), em dois tipos distintos de parcela: **i**) ausência do adubo verde; **ii**) presença da adubação verde, composta por mix de sementes com gramíneas, leguminosas e crucíferas (P1 e P2, respectivamente). Aos seis e doze meses foram avaliados o índice de pigmentos fotossintéticos, a fluorescência transiente da clorofila *a*, os atributos foliares, os atributos químicos e físicos do solo, utilizados na análise multivariada. Aos seis meses observa-se perdas energéticas pela dissipação não fotoquímica em *Psidium cattleianum* e *Schinus terebinthifolius* causado provavelmente por competição com as espécies do adubo verde. Por outro lado, aos doze meses a adubação verde promoveu melhoras ao elevar principalmente, a eficiência fotoquímica e o índice de performance do fotossistema II nos dois grupos de espécies. Também foi possível observar por meio da análise multivariada que os atributos foliares (espessura, suculência e massa foliar por unidade de área) estão fortemente correlacionados com os parâmetros do teste JIP em relação a dissipação não fotoquímica (perdas energéticas). Este estudo demonstrou que os efeitos positivos da adubação verde sobre a ecofisiologia das espécies arbóreas são mais evidentes ao longo do tempo, ao promover melhoras fotoquímicas e nos atributos foliares principalmente para o grupo das espécies não fixadoras de nitrogênio. O tratamento T3 subsolagem + gradagem demonstra ser o mais indicado para descompactação do solo em projetos de revegetação de áreas degradadas.

Palavras-chave: fluorescência transiente da clorofila *a*, espécies arbóreas, recuperação do solo, adubo verde.

ABSTRACT

Overexploitation of plant and mineral resources, particularly in rainforest regions, is causing a dramatic loss of biodiversity on the planet. To mitigate this kind of impact, we have two challenges: conserving the remaining areas and restoring those that are degraded. This requires a better understanding of soil-plant interactions and their influence on the growth of different species. In this context, the ecophysiological evaluation of four native tree species from the Atlantic Forest was used for revegetation of a degraded area by clay extraction. For this, seedlings of four species [*Psidium cattleianum* and *Schinus terebinthifolius* (non-nitrogen-fixing species) and *Dalbergia ecastophyllum* and *Inga laurina* (nitrogen-fixing species)] were transplanted to three soil treatments: scarification, scarification + harrowing, subsoiling + harrowing. (T1, T2 and T3, respectively), in two distinct types of plot: i) absence of green manure; ii) presence of green manure, composed of seed mix with grasses, legumes and crucifers (P1 and P2, respectively). At six and twelve months were evaluated the photosynthetic pigment index, the transient chlorophyll *a* fluorescence, the leaf attributes, the chemical and physical soil attributes, used in multivariate analysis. At six months, energy losses due to non-photochemical dissipation are observed in *Psidium cattleianum* and *Schinus terebinthifolius*, probably caused by competition with green manure species. On the other hand, at twelve months the green manure promoted improvements by increasing mainly the photochemical efficiency and the photosystem II performance index in both species groups. It was also possible to observe through multivariate analysis that leaf attributes (thickness, succulence and leaf mass per unit area) are strongly correlated with the JIP test parameters in relation to non-photochemical dissipation (energy losses). This study showed that the positive effects of green manure on the ecophysiology of tree species are more evident over time, promoting photochemical and leaf attributes improvements mainly for the non-nitrogen fixing group. The T3 subsoiling + harrowing treatment proves to be the most suitable for soil decompression in degraded areas revegetation projects.

Keywords: transient chlorophyll *a* fluorescence, tree species, soil recovery, green manure.

3.1 Introdução

A superexploração de recursos florestais por meio da conversão de terras para pecuária e agricultura, atividades de extração ilegal de madeira, remoção de áreas florestais para fins de desenvolvimento e exploração mineral, causam um grande impacto (MOHAMAD JAFFAR et al., 2018). A compactação e perda dos nutrientes do solo nesse processo são os principais fatores que limitam a recuperação de uma área degradada (HOLL, 2013; MOHAMAD JAFFAR et al., 2018). No Brasil, a exploração mineral é muito relevante para o PIB do país, no entanto, suas ações provocam uma perda da vegetação, e consequentemente dos meios naturais de regeneração (banco de sementes, plântulas, rebrota) das áreas impactadas pela exploração ao longo do tempo (HOLL, 2013). A utilização de argila para instalação de bases de exploração de petróleo, por exemplo, promove uma retirada da camada superficial do solo rica em matéria orgânica e macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K); os micronutrientes como magnésio (Mg), manganês (Mn), cobre (Cu), ferro (Fe) dos horizontes mais profundos também são afetados. Todas essas alterações edáficas acarretam em uma redução da capacidade produtiva do ecossistema (FRANCO et al., 1992).

Desde 1500, a Mata Atlântica, um dos 35 hotspots de biodiversidade mundial (MITTERMEIER et al., 2005; NOSS et al., 2015) vem sofrendo perturbações devido à superexploração dos recursos naturais. Originalmente cobria uma área de 1,3 milhão de km² atualmente encontra-se reduzida a 22% do tamanho inicial, com apenas 7% em bom estado de conservação acima de 100 hectares (MMA, 2012). O desmatamento, a expansão da área agrícola, a exploração de recursos minerais do solo, causam uma perda da matéria orgânica e nutrientes, bem como alterações na estrutura e dinâmica do solo, todas essas atividades de degradação da terra reduzem a qualidade física, química e biológica do solo (IPCC, 2000; IPCC, 2001; IPCC, 2007). A compactação do solo, por exemplo, diminui o espaço poroso e aumento a densidade do solo, dificultando ou até mesmo impossibilitando o desenvolvimento radicular (HANZA & ANDERSON, 2005). Assim, o tipo, a extensão e a gravidade da degradação podem comprometer a resiliência do ambiente de tal forma que o processo de sucessão ecológica da área pode ser retardado de forma significativa ou até mesmo ser completamente prejudicado, impossibilitando que a revegetação natural ocorra nessas áreas (MAGNAGO et al., 2012).

Torna-se necessário, então, uma melhora dos atributos físico-químicos do solo, bem como a seleção de espécies compatíveis para cada caso de revegetação (OLIVEIRA NETO et al., 1998). Todavia, nessa situação a maioria dos estudos se concentram na sobrevivência e na caracterização do crescimento avaliando altura e diâmetro do caule das espécies (DE MORAES et al., 2006;

CALGARO et al., 2008; ZAMITH & SCARANO, 2010) sem relacionar os efeitos das condições e tratamentos do solo na fisiologia das plantas e o seu impacto nos parâmetros crescimento.

Alguns sistemas florestais de regiões tropicais tem a capacidade de recuperar-se naturalmente de forma mais rápida (HOLL, 2013). Por outro lado, algumas áreas apresentam uma recuperação inicial lenta ou até mesmo impossibilitada de regenerar-se naturalmente (SHONO et al., 2007), como exemplo, podemos citar as altas taxas de compactação do solo encontradas em áreas de exploração de petróleo, esse tipo de impacto pode impermeabilizar o solo modificando a condutividade vertical da água, diminuindo, assim, sua disponibilidade às plantas (DEXTER, 2004). Uma resistência a penetração no solo elevada, é capaz de inibir o crescimento e a eficácia das raízes, com efeitos negativos para absorção de água e nutrientes (ROSOLEM et al., 2002; BEUTLER & CENTURION, 2004). Áreas muito compactadas também apresentam uma deficiência de oxigênio, que afeta negativamente a microbiota e a ciclagem de nutrientes no solo (SOUZA et al., 2006).

Nesta perspectiva, visando promover melhoras nas condições do solo, os projetos de revegetação podem utilizar práticas como a adubação verde. Basicamente ela consiste na utilização de espécies leguminosas, gramíneas, crucíferas, entre outras, de rápido crescimento, que possam incorporam matéria orgânica ao solo (SILVA et al., 2002; FERREIRA et al., 2016). A sua utilização melhora os atributos químicos do solo também auxilia o processo de descompactação, e consequentemente, propicia melhores condições para o desenvolvimento de raízes, infiltração da água e oxigênio no solo (GOMES, 2010; LIMA et al., 2012; FERREIRA et al., 2016). A adubação verde pode ainda aumentar a quantidade de macro e micronutrientes, bem como reduzir o pH do solo. Todavia, para continuidade dos benéficos essa prática de ser contínua, isso não é um problema considerando o baixo custo de aplicação (SILVA et al., 1999; GOMES, 2010; FERREIRA et al., 2016).

A fotossíntese demonstra-se muito sensível a mudanças no ambiente (KALAJI et al., 2012), assim, as medições fotossintéticas são um fator importante nos estudos de estresse nas plantas. A etapa fotoquímica da fotossíntese é o ponto de partida dos principais processos fundamentais a vida de espécies vegetais superiores. A fluorescência transiente da clorofila *a* é uma técnica simples, não destrutiva e rápida na análise do status fisiológico das plantas ao determinar o efeito de cada parâmetro no desempenho fotoquímico dos indivíduos estudados (PAPAGEORGIOU & GOVINDJEE, 2011; STIRBET & GOVINDJEE, 2011; 2012). Outra ferramenta interessante em estudos ecofisiológicos são características foliares como: espessura da lâmina foliar (ESP) (WITKOWSKI & LAMONT, 1991), suculência (SUC) (KLUGE & TING, 1978), massa da folha por unidade de área (MFA) (REICH et al., 1992), utilizadas em diversos estudos para organizar

diferentes espécies em grupos funcionais e descrever estratégias de utilização, respostas e desempenho dos indivíduos diante da disponibilidade de recursos do ambiente (GARNIER et al., 2001; EVINER & CHAPIN III, 2003; DÍAZ et al., 2004).

Considerando a escassez de estudos que relacionem os efeitos das condições físico-químicas do solo e a ecofisiologia das espécies arbóreas utilizadas em projetos de revegetação, hipotetizamos que: espécies de diferentes grupos funcionais (fixadoras e não fixadoras de nitrogênio) respondem de maneiras distintas a presença e ausência da adubação verde. Assim, buscamos responder também, se a adubação verde é capaz de promover incrementos significativos nos parâmetros fotoquímicos e atributos foliares das espécies. Os efeitos desse tipo de adubação sobre a fisiologia das espécies ocorrem no início do desenvolvimento das plantas ou ao longo do tempo? Qual o melhor tratamento para descompactação do solo? Dentro deste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adubação verde em três tipos de tratamentos para descompactação do solo, buscando as relações entre os seus efeitos na ecofisiologia de espécies arbóreas fixadoras e não fixadoras de nitrogênio, utilizadas na revegetação de uma área degradada pela exploração de argila.

3.2 Materiais e Métodos

3.2.1 Área de estudo e material vegetal

O experimento foi realizado no município de São Mateus – ES, na jazida de Inhambu, uma área de exploração de petróleo da Petrobrás (18°53’41.903’’S e 39°52’40.904’’O), a região é denominada como Floresta Estacional Semidecidual (ROLIM et al., 2016), devido a peculiaridades edafoclimáticos da região. O local do estudo possui um clima quente e úmido (tipo Aw de Köppen), apresentando duas estações bem definidas secas no outono-inverno e chuvosa na primavera-verão, com temperatura média de 24 ºC (ALVARES et al., 2013). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, com pH ácido em torno de 5,0 e fertilidade variando de média a baixa (ESPÍRITO SANTO, 1994), solos pobres como esse são típicos da Mata Atlântica (SILVA et al., 2007).

A área do experimento é um local de intensa exploração de argila para estabilização e instalação de bases para exploração de petróleo. Neste local foi demarcado uma área denominada Fundo de Cava: área de jazida não classificada como talude ou bacia de inundação. Normalmente, por apresentar um elevado grau de compactação em função do trânsito de máquinas no processo de

exploração da jazida (Manual para recuperação de áreas degradadas por extração de piçarra na Caatinga, 2010).

Um trabalho de caracterização físico-química do solo realizado concomitantemente na área por Pinheiro et al. (2019), obteve os seguintes resultados na caracterização química do solo: pH 4,6, fósforo (P) 0,69 mg dm^{-3}, potássio (K) 8,75 mg dm^{-3}, sódio (Na) 21,5 mg dm^{-3}, Cálcio (Ca) 0,26 cmolc dm^{-3}, Magnésio (Mg) 0,21 cmolc dm^{-3}, alumínio (Al) 0,68 cmolc dm^{-3}, acidez potencial (H+Al) 2,2 cmolc dm^{-3}, soma de bases (SB) 0,59 cmolc dm^{-3}, CTC efetiva (T) 12,72 cmolc dm^{-3}, CTC pH 7 2,79 cmolc dm^{-3}, saturação em bases (V) 20,45%, saturação de alumínio (m) 55,42%, matéria orgânica (MO) 4,73 g Kg^{-1}. Excetuando a saturação por alumínio, todos os atributos químicos do solo são baixos segundo Prezotti (2007), dessa forma, a adubação e calagem do solo foi realizada antes da implantação do experimento. Com o auxílio de um penetrômetro Pinheiro et al. (2019) aferiu resistência a do solo à penetração (Mpa), observou-se uma resistência inicial de: 0-10 cm (10 Mpa), 10-20 cm (17 Mpa), 20-30 cm (21 Mpa), 30-40 cm (24 Mpa), segundo (CANARACHE, 1990) esses valores representam uma resistência extremamente alta > 15,0 Mpa, impossibilitando completamente o crescimento das raízes.

Foram utilizadas no experimento as seguintes espécies arbóreas fixadoras de nitrogênio: *Dalbergia ecastophyllum* (L.) Taub. (Rabo-de-bugio), *Inga laurina* (Sw.) Willd. (Ingazinho), e não fixadoras de nitrogênio: *Psidium cattleianum* Sabine (Goiabinha) e *Schinus terebinthifolius* Raddi (Aroeira), as mudas para o plantio foram adquiridas em um viveiro local.

No experimento também foi utilizada a adubação verde composta por um mix de sementes composto por espécies, forrageiras, leguminosas e crucíferas: *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf, *Cajanus cajan* (L. Millsp.), *Canavalia ensiformis* (L.) DC., *Crotalaria juncea* L., *Crotalaria ochroleuca* G. Don, *Mucuna pruriens* (L.) DC., *Raphanus sativus* L., *Stylosanthes spp*.

3.2.2 Desenho experimental

O experimento foi conduzido em um delineamento em blocos causalizados (DBC) com 4 repetições e 24 parcelas de 20 m^2 dispostas em uma área de 720 m^2. Em fevereiro de 2018 um indivíduos de cada espécies por parcela foram plantados em solo tratado por escarificação, escarificação + gradagem, subsolagem + gradagem (T1, T2 e T3, respectivamente), em dois tipos distintos de parcelas: **i**) utilizando mix de sementes com gramíneas, leguminosas e crucíferas (adubo verde); **ii**) sem o uso do adubo verde (P1 e P2, respectivamente). Após o plantio, o

experimento foi monitorado periodicamente, para a observação do estabelecimento das plantas e acompanhamento da germinação das sementes do mix e enraizamento das mudas. As medições morfológicas, atributos foliares, índice de pigmentos fotossintéticos e fluorescência transiente da clorofila *a* realizadas em dois períodos (aos seis e doze meses).

3.2.3 Fluorescência transiente da clorofila a e pigmentos fotossintéticos

As medidas da cinética da fluorescência transiente da clorofila *a* foram realizadas entre as 7h e 10h, com fluorômetro portátil HandyPEA (Hanstech, King's Lynn, Norkfolk, UK) previamente às leituras, a terceira folha completamente expandida a partir da base foi adaptada ao escuro por 30 minutos com auxílio de clips foliares, esse é o tempo necessário para oxidação completa do sistema fotossintético nas espécies utilizadas para revegetação nesse experimento. Um flash de luz foi emitido, esse pulso proporciona uma irradiância de 3000 μmol m^{-2} s^{-1} de fótons nas folhas, com duração de 1 s. Com auxílio do software Biolyzer foram obtidos os dados para construção da curva OJIP e calculados os parâmetros do teste JIP. De acordo com Strasser & Strasser (1995) foram realizadas as normalizações e interpretações dos parâmetros (Tabela 1). O índice de clorofila foi medido nas mesmas folhas usadas para as medições da fluorescência da clorofila *a*, utilizando-se um medidor de clorofila portátil (ClorofiLOG, modelo CFL 1030).

Tabela 1: Fórmulas dos termos usados no teste JIP obtidos a partir do transiente de fluorescência da clorofila a (O-K-J-I-P) de acordo com Strasser et al., (2004); Chen et al., (2015).

Parâmetros de fluorescência	Descrição
Dados extraídos do transiente de fluorescência OJIP	
$\mathbf{F_0}$ = 0.02 ms	Fluorescência mínima
$\mathbf{F_K}$ = 0.3 ms	Intensidade da fluorescência no ponto K aos 0.3 ms do transiente OJIP
$\mathbf{F_J}$ = 2 ms	Intensidade da fluorescência no ponto J aos 2 ms do transiente OJIP
$\mathbf{F_I}$ = 30 ms	Intensidade da fluorescência no ponto I aos 30 ms do transiente OJIP
$\mathbf{F_P}$ = 300 ms	Intensidade máxima da fluorescência no ponto P aos 300 ms do transiente OJIP
Rendimento quântico e eficiências	
$\boldsymbol{\varphi P_0}$ = TR_0 / ABS = [1 – (F_0/F_M)] = F_V/F_M	Rendimento quântico fotoquímico máximo para fotoquímica primária
$\boldsymbol{\varphi E_0}$ = ET_0 / ABS = [1 – (F_0/F_M)] $\psi 0 = \varphi P_0\ \psi 1$	Eficiência quântica da transferência de um elétron da Q_A^- para a cadeia de transporte de elétrons além da Q_A^-
$\boldsymbol{\varphi D_0}$ = 1 – φP0 = (F_0/F_M)	Rendimento quântico fotoquímico para dissipação de calor
$\mathbf{RC/CS_0}$ **=** (ABS/CS) (TR_0/ABS) (RC/TR_0) = FM φP_o VJ/M_0	Centros de reação redutores de Q_A ativos por seção transversal no FSII
Fluxos específicos de energia (por Q_A reduzindo centro de reação do FSII)	
ABS/RC = M_0 / V_J / φP_0	Fluxo de absorção por centro de reação ativo
$\mathbf{DI_o/RC}$ = [(ABS / RC) − (TR_0 / RC)]	Energia total dissipada como calor por centro de reação
Índices de desempenho	
$\mathbf{PI/_{ABS}}$ = RC / ABS * φP_0 / (1 - φP_0) * ψE_0 / (1 - ψE_0)	Índice de desempenho (potencial) para conservação de energia desde éxcitons capturados até a redução dos aceptores de elétrons do intersistema.

3.2.4 Atributos foliares e crescimento das plantas

Para obtenção dos atributos foliares foi utilizado um cortador de metal para retirar três discos da região mediana do limbo foliar, com 5,97 mm de diâmetro. E com auxílio de uma balança digital de precisão (0,0001 g), foi realizada a pesagem dos discos foliares para se obter o valor da massa fresca (MF). A seguir, eles foram colocados em placas de petri e hidratados com água destilada por 24h, e então realizadas as medições de espessura dos discos (mm) com paquímetro digital e pesagem para se obter o valor da massa túrgida (MT). Por fim, os discos foram acondicionados em sacos de papel e colocados em estufa para secagem à ± 60º C, até se obter massa seca (MS) constante.

A partir dos valores obtidos, foram calculados: **i**) Suculência g m^{-2} (SUC) pela diferença entre a massa túrgida (MT) e a massa seca (MS) em razão da área dos discos foliares (KLUGE & TING, 1978); **ii**) Massa foliar por área foliar g m^{-2} (MFA) estimada pela razão entre a massa seca (MS) e a área foliar (KLUGE & TING, 1978). **iii**) Densidade mg / mm^{-3} (DEN) obtida pela fórmula: DEN = MFA / ESP (WITKOWSKI & LAMONT, 1991); **iv**) Conteúdo relativo de água (CRA - %) foi calculado pela seguinte fórmula: CRA = [(MF-MS) / (MT-MS)] x 100 e expresso em porcentagem (%) (BARRS & WEATHERLEY, 1962). O diâmetro à altura da base (DAB) das árvores plantadas foi medido com paquímetro digital e medido ao nível do solo. A altura da parte aérea foi medida do colo das plantas até a gema apical, em centímetros (PAIVA, 2000), com auxílio de uma fita métrica.

3.2.5 Análise estatística

O experimento foi conduzido em um delineamento em bloco ao acaso (DBC) com quatro repetições, contendo três tratamentos de descompactação do solo: T1 - Escarificação, T2 – Escarificação + Gradagem e T3 - Subsolagem + Gradagem x dois tipos de parcelas P1 - ausência do mix de sementes e P2 - presença do mix de sementes), com quatro espécies: *D. ecastophyllum*, *I. laurina*, *P. cattleianum* e *S. terebinthifolius*. Os dados obtidos foram submetidos a análise multivariada de componentes principais (PCA) para identificar as correlações existentes entre os parâmetros ecofisiológicos na tentativa de explicar o estabelecimento, as estratégias ecológicas e crescimento das espécies na presença e ausência do mix de sementes ao longo do tempo (em dois períodos). Os dados do teste-JIP foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância. Considerando uma melhor visualização da dispersão e assimetria dos dados os resultados dos atributos foliares foram apresentados na forma de Box Plots. Para realizar as análises foi utilizado o programa estatístico - R.

4. RESULTADOS

4.1 Índice de pigmentos fotossintéticos

A adubação verde causou um decréscimo de 13% do índice de Clorofila b (Clr. b) no tratamento T3 - Subsolagem / Gradagem em *S. terebinthifolius* após seis meses de cultivo. Similarmente, observou-se reduções dos valores do índice de Clorofila a (Clr. a) e de Clorofila total (Clr. total)

de aproximadamente 15% em T1 – Escarificação para *P. cattleianum* (espécie não fixadora de nitrogênio). Ainda no grupo das espécies fixadoras de nitrogênio, observou-se decréscimos de 8% nos valores do índice de Clr. a e Clr. total em *I. laurina* no tratamento T3 - Subsolagem / Gradagem. Além disso, em *D. ecastophyllum* as reduções no índice de Clr. a (- 8%), Clr. b (- 19%), Clr. total (- 9%) foram observadas para os três tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2: Efeito da ausência e presença da adubação verde (P1 e P2, respectivamente) em três tratamentos de solo (T1 - Escarificação, T2 - Escarificação/Gradagem e T3 - Subsolagem / Gradagem) sobre o índice de pigmentos fotossintéticos (Clr. a – Clorofila a, Clr. b – Clorofila b, Clr. total – Clorofila total) de quatro espécies: *S. terebinthifolius*, *P. cattleianum*, *I. laurina* e *D. ecastophyllum* utilizadas na revegetação de áreas degradadas.

			S. terebinthifolius		***P. cattleianum***		***I. laurina***		***D. ecastophyllum***	
			6 meses	12 meses	6 meses	12 meses	6 meses	12 meses	6 meses	12 meses
Clr. a	T1	P1	38.6 ± 11.9 a	29.9 ± 3.2 a	**41.7 ± 2.6 a**	32.7 ± 3.3 a	42.3 ± 3.1 a	**33.6 ± 4.8 b**	41.2 ± 1.5 a	33.4 ± 1.9 a
		P2	42.6 ± 2.8 a	29.2 ± 3.7 a	**35.1 ± 12.6 b**	31.6 ± 4.4 a	42.5 ± 1.7 a	**41.2 ± 1.8 a**	39.3 ± 2.0 a	35.4 ± 1.8 a
	T2	P1	43.3 ± 4.7 a	24.3 ± 3.1 a	42.4 ± 3.9 a	32.8 ± 2.6 a	43.6 ± 3.5 a	**32.3 ± 4.5 b**	**39.5 ± 3.8 a**	**32.1 ± 4.5 b**
		P2	42.7 ± 2.8 a	21.2 ± 5.2 a	38.9 ± 3.2 a	31.6 ± 4.3 a	42.3 ± 3.3 a	**39.6 ± 5.1 a**	**37.5 ± 1.8 b**	**36.2 ± 1.3 a**
	T3	P1	43.0 ± 3.1 a	24.5 ± 3.4 a	42.1 ± 2.8 a	33.6 ± 3.2 a	**44.8 ± 2.3 a**	**33.0 ± 2.8 b**	**41.4 ± 1.3 a**	**31.5 ± 2.5 b**
		P2	42.8 ± 3.7 a	27.6 ± 4.7 a	40.2 ± 3.7 a	31.0 ± 2.7 a	**41.8 ± 3.6 b**	**39.1 ± 2.4 a**	**37.3 ± 2.5 b**	**34.8 ± 1.7 a**
Clr. b	T1	P1	18.3 ± 1.4 a	6.7 ± 1.2 a	13.5 ± 1.3 a	8.3 ± 1.6 a	16.1 ± 2.2 a	**8.6 ± 2.6 b**	**15.2 ± 2.4 a**	**8.6 ± 1.6 b**
		P2	16.1 ± 2.8 a	6.7 ± 1.3 a	13.8 ± 1.9 a	7.7 ± 2.4 a	14.2 ± 2.8 a	**16.4 ± 2.3 a**	**13.3 ± 1.8 b**	**10.8 ± 2.1 a**
	T2	P1	17.4 ± 2.5 a	5.1 ± 0.4 a	13.1 ± 2.2 a	7.9 ± 1.3 a	17.0 ± 3.1 a	**7.5 ± 2.3 b**	12.7 ± 3.8 a	**9.2 ± 3.6 b**
		P2	16.6 ± 3.3 a	4.4 ± 1.9 a	10.9 ± 2.0 a	7.7 ± 1.8 a	15.3 ± 3.7 a	**15.2 ± 5.3 a**	11.2 ± 1.8 a	**10.9 ± 0.9 a**
	T3	P1	**18.8 ± 2.3 a**	5.5 ± 0.9 a	16.1 ± 4.5 a	8.6 ± 1.7 a	17.2 ± 2.0 a	**7.9 ± 1.3 b**	**14.9 ± 1.0 a**	**7.8 ± 1.3 b**
		P2	**16.3 ± 4.5 b**	6.1 ± 1.5 a	14.2 ± 2.5 a	7.5 ± 1.8 a	16.5 ± 2.7 a	**12.7 ± 2.0 a**	**11.0 ± 1.2 b**	**10.2 ± 1.4 a**
Clr. total	T1	P1	54.5 ± 16.9 a	36.7 ± 4.4 a	**55.1 ± 3.6 a**	41.0 ± 4.8 a	58.5 ± 4.8 a	**42.3 ± 7.3 b**	**56.4 ± 3.9 a**	**42.0 ± 3.4 b**
		P2	58.8 ± 4.8 a	36.0 ± 5.0 a	**47.0 ± 16.6 b**	39.3 ± 6.8 a	56.7 ± 4.4 a	**58.1 ± 4.0 a**	**52.6 ± 3.8 b**	**46.2 ± 3.8 a**
	T2	P1	60.8 ± 6.9 a	29.4 ± 3.2 a	55.5 ± 6.0 a	40.8 ± 3.9 a	60.6 ± 6.3 a	**39.9 ± 6.8 b**	**52.3 ± 7.5 a**	**41.4 ± 7.9 b**
		P2	59.3 ± 6.0 a	25.6 ± 7.0 a	49.9 ± 5.2 a	39.4 ± 6.0 a	57.6 ± 7.0 a	**54.9 ± 10.3 a**	**48.7 ± 3.2 b**	**47.1 ± 2.2 a**
	T3	P1	61.8 ± 5.4 a	30.0 ± 3.8 a	57.1 ± 8.1 a	42.3 ± 4.9 a	**62.0 ± 3.9 a**	**40.9 ± 3.9 b**	**56.4 ± 1.7 a**	**39.4 ± 3.8 b**
		P2	59.1 ± 7.9 a	33.8 ± 6.1 a	52.9 ± 7.0 a	38.5 ± 4.4 a	**56.4 ± 7.5 b**	**51.8 ± 4.4 a**	**48.4 ± 3.6 b**	**45.1 ± 2.9 a**

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferiram entre si para cada característica avaliada de acordo com teste de Tukey a 5% de significância, nos dois períodos avaliados, 6 e 12 meses, respectivamente.

Todavia, após doze meses, o uso de adubo verde resultou em aumentos significativos no índice de clorofila no grupo das espécies fixadoras de nitrogênio em relação às parcelas com ausência da adubação verde. Observou-se um incremento médio de 17%, 46% e 25% nos índices de Clr. a, Clr. b e Clr. total em *I. laurina*, respectivamente, nos três tratamentos. Similarmente, um incremento médio de 9% (Clr. a), 20% (Clr. b) e 11% (Clr. total) também foram observados nos três tratamentos em *D. ecastophyllum*. Nenhuma diferença significativa foi observada para os índices de clorofila no grupo das espécies não fixadoras de nitrogênio (*S. terebinthifolius* e *P. cattleianum*) após 12 meses de tratamento (Tabela 2).

4.2 Fluorescência transiente da clorofila *a*

Os transientes da fluorescência da clorofila *a* e seus valores médios em amostras previamente adaptadas ao escuro são mostrados na figura 2. Os transientes das quatro espécies *S.*

terebinthifolius (Figura 1, AI e AII), *P. cattleianum* (Figura 1, BI e BII), *I. laurina* (Figura 1, CI e CII) e *D. ecastophyllum* (Figura 1, DI e DII) apresentaram curvas O-K-J-I-P com aumento polifásico característico, com início no ponto basal O (fluorescência inicial - F_0 = 0.02 ms) até o seu ponto máximo P (fluorescência máxima F_P = 300 ms) com pontos intermediários (J e I) bem definidos. Nas espécies não fixadoras de nitrogênio (*S. terebinthifolius* e *P. cattleianum*) os tratamentos resultaram em uma maior heterogeneidade das amostras aos seis meses em relação aos doze meses (Figura 1, AI e BI). Por outro lado, aumentos no ponto J foram observados nas amostras tratadas com adubação verde nos três tratamentos em *I. laurina* (Figura 1, CI e CII) e *D. ecastophyllum* (Figura 1 DII). Consequentemente, essas amostras nas fases seguintes da cinética da fluorescência [J-I (F_J = 2 ms a F_I = 30 ms) e I-P (F_I = 30 ms a F_P = 300 ms)] também se diferiram das demais.

Nas espécies fixadoras de nitrogênio (*I. laurina* e *D. ecastophyllum*) os parâmetros do teste JIP (Tabela 3) diferiram estatisticamente apenas após doze meses de tratamento, observa-se maiores valores nos fluxos específicos de energia para absorção (ABS/RC) e dissipação (DI_o/RC) na ausência do mix. Por outro lado, na presença do mix, elevou-se a densidade dos centros redutores de Q_A (RC/CS_0). Para as medidas de rendimento quântico φP_0, φE_0 e φD_0, observa-se que a ausência do mix elevou apenas o valor da produção quântica da energia de dissipação (φD_0), enquanto na sua presença, os valores do rendimento quântico para fotoquímica primária (φP_0) e a eficiência quântica para transferência de um elétron além da Q_A^- (φE_0) foram maiores, similarmente aos do índice de desempenho ($PI/_{ABS}$). Essas diferenças são mais expressivas em *I. laurina* nos três tratamentos de solo e em *D. ecastophyllum* apenas no tratamento de subsolagem + gradagem.

Aos seis meses, o tratamento com mix de sementes eleva ABS/RC e DI_o/RC, bem como o φD_0 (rendimento quântico) nas espécies não fixadoras de nitrogênio (*S. terebinthifolius* e *P. cattleianum*). Por outro lado, φP_0, φE_0 e $PI/_{ABS}$ encontram-se mais elevados na ausência do mix. Não há variação em RC/CS_0. Contudo, aos doze meses, é possível observar uma mudança nesse panorama, isto é, elevam-se os valores de ABS/RC, DI_o/RC e φD_0 na ausência do mix, e na sua presença RC/CS_0, φP_0 e $PI/_{ABS}$ apresentam maiores valores, similarmente às espécies fixadoras nesse mesmo período. A eficiência quântica para transferência de um elétron além da Q_A^- (φE_0) não varia. Essas diferenças são mais expressivas em *S. terebinthifolius* no tratamento com escarificação aos seis meses e com subsolagem + gradagem aos doze meses (Tabela 3).

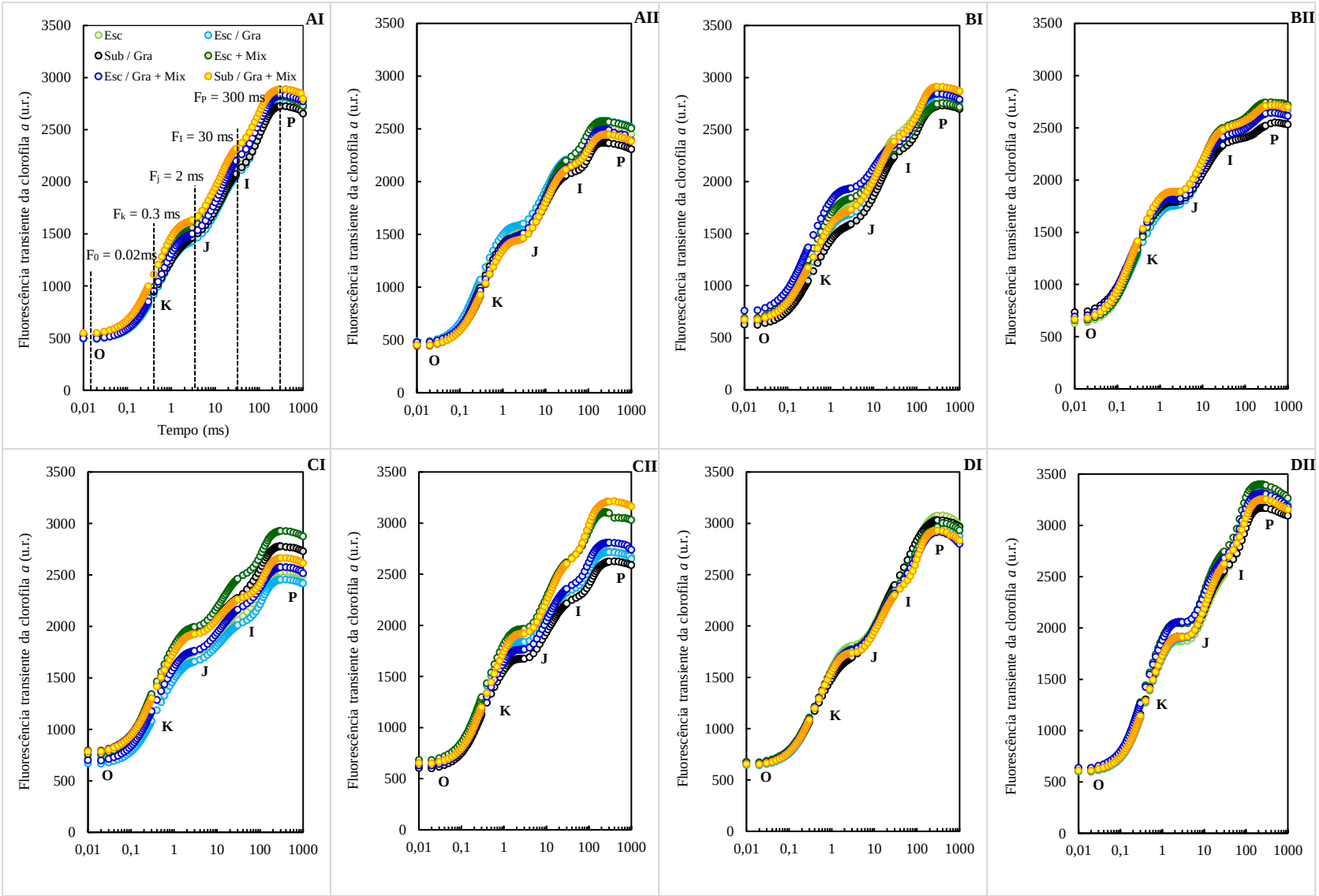

Figura 1: Efeitos da presença e ausência da adubação verde em diferentes formas de tratamento do solo (Esc - Escarificação, Esc / Gra - Escarificação/Gradagem e Sub / Gra - Subsolagem / Gradagem) na curva polifásica (O-K-J-I-P) de emissão da fluorescência da clorofila *a* nas espécies: [AI e AII] *Schinus terebinthifolius*, [BI e BII] *Psidium cattleianum*, [CI e CII] *Inga laurina* e [DI e DII] *Dalbergia ecastophyllum*, aos seis e doze meses respectivamente.

Tabela 3: Médias dos parâmetros do teste-JIP obtidas em *S. terebinthifolius*, *P. cattleianum* (espécies não fixadoras de nitrogênio), *I. laurina* e *D. ecastophyllum* (espécies fixadoras de nitrogênio) sob três tratamento do solo (T1 - Escarificação, T2 - Escarificação/Gradagem e T3 - Subsolagem / Gradagem) em dois tipos de parcelas (P1 – ausência da adubação verde e P2 – presença da adubação verde).

			S. terebinthifolius		***P. cattleianum***		***I. laurina***		***D. ecastophyllum***	
			6 meses	12 meses	6 meses	12 meses	6 meses	12 meses	6 meses	12 meses
ΦP_O	T1	P1	0.80 ± 0.02 a	**0.78 ± 0.01 b**	**0.75 ± 0.03 a**	0.74 ± 0.02 a	0.71 ± 0.03 a	**0.74 ± 0.01 b**	0.77 ± 0.03 a	0.80 ± 0.01 a
		P2	0.81 ± 0.02 a	**0.80 ± 0.01 a**	**0.72 ± 0.04 b**	0.72 ± 0.05 a	0.72 ± 0.03 a	**0.76 ± 0.01 a**	0.76 ± 0.03 a	0.79 ± 0.01 a
	T2	P1	0.81 ± 0.01 a	0.78 ± 0.01 a	0.75 ± 0.02 a	0.72 ± 0.03 a	0.72 ± 0.02 a	**0.73 ± 0.02 b**	0.76 ± 0.02 a	0.80 ± 0.01 a
		P2	0.82 ± 0.02 a	0.77 ± 0.02 a	0.74 ± 0.02 a	0.69 ± 0.06 a	0.71 ± 0.02 a	**0.75 ± 0.02 a**	0.76 ± 0.04 a	0.79 ± 0.01 a
	T3	P1	**0.81 ± 0.02 a**	0.78 ± 0.01 a	0.75 ± 0.02 a	**0.66 ± 0.06 b**	0.73 ± 0.03 a	**0.75 ± 0.01 b**	0.76 ± 0.01 a	**0.78 ± 0.01 b**
		P2	**0.79 ± 0.01 b**	0.79 ± 0.01 a	0.75 ± 0.01 a	**0.73 ± 0.02 a**	0.72 ± 0.03 a	**0.78 ± 0.01 a**	0.76 ± 0.02 a	**0.80 ± 0.01 a**
ΦE_O	T1	P1	0.47 ± 0.02 a	0.40 ± 0.04 a	**0.40 ± 0.04 a**	0.34 ± 0.03 a	0.34 ± 0.04 a	0.34 ± 0.04 a	0.40 ± 0.05 a	**0.42 ± 0.02 a**
		P2	0.47 ± 0.03 a	0.42 ± 0.03 a	**0.35 ± 0.09 b**	0.33 ± 0.03 a	0.34 ± 0.03 a	0.37 ± 0.04 a	0.41 ± 0.07 a	**0.39 ± 0.04 b**
	T2	P1	0.50 ± 0.03 a	0.38 ± 0.03 a	0.41 ± 0.04 a	0.34 ± 0.02 a	0.35 ± 0.05 a	**0.32 ± 0.04 b**	0.40 ± 0.05 a	0.42 ± 0.04 a
		P2	0.51 ± 0.04 a	0.37 ± 0.06 a	0.37 ± 0.05 a	0.31 ± 0.04 a	0.34 ± 0.04 a	**0.37 ± 0.05 a**	0.40 ± 0.06 a	0.40 ± 0.03 a
	T3	P1	**0.53 ± 0.03 a**	0.38 ± 0.02 a	0.43 ± 0.05 a	0.29 ± 0.04 a	0.35 ± 0.05 a	**0.36 ± 0.04 b**	0.46 ± 0.04 a	**0.37 ± 0.04 b**
		P2	**0.46 ± 0.04 b**	0.41 ± 0.03 a	0.42 ± 0.03 a	0.30 ± 0.08 a	0.33 ± 0.05 a	**0.40 ± 0.02 a**	0.42 ± 0.06 a	**0.42 ± 0.02 a**
ΦD_O	T1	P1	0.18 ± 0.02 a	**0.21 ± 0.01 a**	**0.24 ± 0.03 b**	0.25 ± 0.02 a	0.28 ± 0.03 a	**0.25 ± 0.01 b**	0.22 ± 0.03 a	0.19 ± 0.01 a
		P2	0.19 ± 0.02 a	**0.19 ± 0.01 b**	**0.27 ± 0.04 a**	0.27 ± 0.05 a	0.27 ± 0.03 a	**0.23 ± 0.01 a**	0.23 ± 0.03 a	0.20 ± 0.01 a
	T2	P1	0.17 ± 0.01 a	0.21 ± 0.01 a	0.24 ± 0.02 a	0.27 ± 0.03 a	0.27 ± 0.02 a	**0.26 ± 0.02 a**	0.23 ± 0.02 a	0.19 ± 0.01 a
		P2	0.18 ± 0.02 a	0.22 ± 0.02 a	0.25 ± 0.02 a	0.30 ± 0.06 a	0.28 ± 0.02 a	**0.24 ± 0.02 b**	0.23 ± 0.04 a	0.20 ± 0.01 a
	T3	P1	**0.18 ± 0.02 b**	0.21 ± 0.01 a	0.24 ± 0.02 a	0.33 ± 0.06 a	0.26 ± 0.03 a	**0.24 ± 0.01 a**	0.23 ± 0.01 a	**0.21 ± 0.01 a**
		P2	**0.20 ± 0.01 a**	0.20 ± 0.01 a	0.24 ± 0.01 a	0.28 ± 0.08 a	0.27 ± 0.03 a	**0.21 ± 0.01 b**	0.23 ± 0.02 a	**0.19 ± 0.01 b**
ABS/RC	T1	P1	1.71 ± 0.24 a	**2.52 ± 0.35 a**	2.32 ± 0.28 a	2.97 ± 0.38 a	2.32 ± 0.51 a	2.59 ± 0.32 a	1.93 ± 0.25 a	1.98 ± 0.13 a
		P2	1.63 ± 0.19 a	**2.07 ± 0.20 b**	2.50 ± 0.39 a	3.03 ± 0.44 a	2.38 ± 0.15 a	2.41 ± 0.16 a	2.02 ± 0.30 a	2.14 ± 0.24 a
	T2	P1	1.52 ± 0.19 a	2.58 ± 0.29 a	**2.26 ± 0.21 b**	3.03 ± 0.47 a	2.24 ± 0.17 a	**2.77 ± 0.26 a**	1.89 ± 0.23 a	1.97 ± 0.19 a
		P2	1.56 ± 0.22 a	2.57 ± 0.43 a	**2.56 ± 0.16 a**	3.57 ± 0.73 a	2.41 ± 0.25 a	**2.44 ± 0.28 b**	1.95 ± 0.37 a	2.10 ± 0.20 a
	T3	P1	**1.58 ± 0.18 b**	**2.59 ± 0.17 a**	2.25 ± 0.17 a	3.47 ± 0.57 a	2.28 ± 0.26 a	**2.48 ± 0.20 a**	1.98 ± 0.13 a	**2.09 ± 0.21 a**
		P2	**1.84 ± 0.31 a**	**2.26 ± 0.24 b**	2.39 ± 0.30 a	3.14 ± 0.38 a	2.25 ± 0.23 a	**2.10 ± 0.10 b**	1.95 ± 0.11 a	**1.91 ± 0.15 b**
DI_O/RC	T1	P1	**0.33 ± 0.08 a**	**0.54 ± 0.10 a**	**0.56 ± 0.12 b**	0.78 ± 0.17 a	0.66 ± 0.20 a	**0.66 ± 0.11 a**	0.45 ± 0.12 a	0.39 ± 0.04 a
		P2	**0.31 ± 0.06 b**	**0.41 ± 0.06 b**	**0.68 ± 0.20 a**	0.84 ± 0.33 a	0.66 ± 0.09 a	**0.57 ± 0.07 b**	0.49 ± 0.11 a	0.41 ± 0.05 a
	T2	P1	0.28 ± 0.06 a	0.55 ± 0.09 a	**0.55 ± 0.10 b**	0.88 ± 0.18 a	0.62 ± 0.08 a	**0.73 ± 0.13 a**	0.44 ± 0.08 a	**0.37 ± 0.06 b**
		P2	0.28 ± 0.07 a	0.57 ± 0.14 a	**0.65 ± 0.08 a**	1.07 ± 0.38 a	0.69 ± 0.11 a	**0.59 ± 0.11 b**	0.46 ± 0.17 a	**0.45 ± 0.10 a**
	T3	P1	**0.29 ± 0.06 b**	**0.54 ± 0.06 a**	0.55 ± 0.09 a	**1.15 ± 0.46 a**	0.62 ± 0.14 a	**0.62 ± 0.09 a**	0.46 ± 0.05 a	**0.46 ± 0.07 a**
		P2	**0.37 ± 0.09 a**	**0.45 ± 0.05 b**	0.59 ± 0.10 a	**0.85 ± 0.18 b**	0.62 ± 0.11 a	**0.45 ± 0.04 b**	0.45 ± 0.06 a	**0.38 ± 0.04 b**
RC/CS_O	T1	P1	322 ± 32.8 a	**217 ± 38.4 b**	308 ± 32.8 a	247 ± 34.3 a	316 ± 42.5 a	**274 ± 58.7 b**	367 ± 28.3 a	327 ± 21.4 a
		P2	333 ± 32.4 a	**249 ± 46.5 a**	296 ± 33.7 a	238 ± 27.2 a	323 ± 31.2 a	**307 ± 31.3 a**	357 ± 32.8 a	315 ± 31.0 a
	T2	P1	338 ± 20.0 a	212 ± 23.0 a	305 ± 27.2 a	248 ± 43.1 a	312 ± 48.2 a	258 ± 35.8 a	363 ± 23.1 a	336 ± 26.9 a
		P2	327 ± 33.0 a	197 ± 38.0 a	293 ± 18.9 a	222 ± 33.7 a	306 ± 30.6 a	278 ± 35.5 a	352 ± 30.6 a	324 ± 26.8 a
	T3	P1	315 ± 25.5 a	**188 ± 34.5 b**	299 ± 24.9 a	240 ± 24.4 a	332 ± 27.4 a	**261 ± 25.0 b**	357 ± 20.4 a	329 ± 32.3 a
		P2	311 ± 25.6 a	**226 ± 31.6 a**	304 ± 23.3 a	233 ± 30.1 a	312 ± 43.9 a	**330 ± 31.7 a**	356 ± 19.8 a	336 ± 25.9 a
$PI/_{ABS}$	T1	P1	36.1 ± 11.1 a	**16.5 ± 5.9 b**	16.0 ± 4.4 a	9.1 ± 3.4 a	11.1 ± 4.1 a	10.4 ± 4.0 a	20.7 ± 7.9 a	24.4 ± 5.5 a
		P2	39.1 ± 9.2 a	**22.7 ± 5.9 a**	12.5 ± 8.2 a	8.3 ± 2.5 a	10.6 ± 2.7 a	13.4 ± 3.9 a	22.3 ± 11.5 a	19.2 ± 7.6 a
	T2	P1	53.2 ± 13.8 a	14.6 ± 4.3 a	**17.2 ± 3.9 a**	8.0 ± 2.3 a	11.4 ± 3.5 a	**8.2 ± 2.7 b**	20.9 ± 6.7 a	25.8 ± 8.5 a
		P2	49.8 ± 18.3 a	14.7 ± 9.4 a	**12.0 ± 3.8 b**	7.1 ± 2.8 a	9.8 ± 2.2 a	**13.3 ± 4.5 a**	21.7 ± 8.7 a	20.9 ± 3.9 a
	T3	P1	**55.1 ± 12.3 a**	**13.7 ± 2.8 b**	19.0 ± 5.6 a	5.3 ± 2.4 a	12.0 ± 4.4 a	**11.9 ± 3.6 b**	26.5 ± 6.8 a	19.2 ± 8.6 a
		P2	**31.2 ± 9.9 b**	**19.4 ± 6.2 a**	16.7 ± 3.3 a	7.3 ± 2.2 a	10.5 ± 3.5 a	**18.8 ± 4.4 a**	23.0 ± 9.1 a	23.0 ± 7.2 a

Valores acompanhados por letras diferentes na mesma coluna por tratamento em cada parâmetro referem-se a diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

4.3 Atributos Foliares

De modo geral, as quatro espécies avaliadas apresentaram uma tendência de valores mais elevados para todos os atributos foliares avaliados aos seis meses em relação aos valores obtidos aos doze meses. É possível verificar essas tendências ao observar a maior amplitude na distribuição dos dados (valores mínimos e máximos) em relação à mediana (Figura 2, 3 e 4).

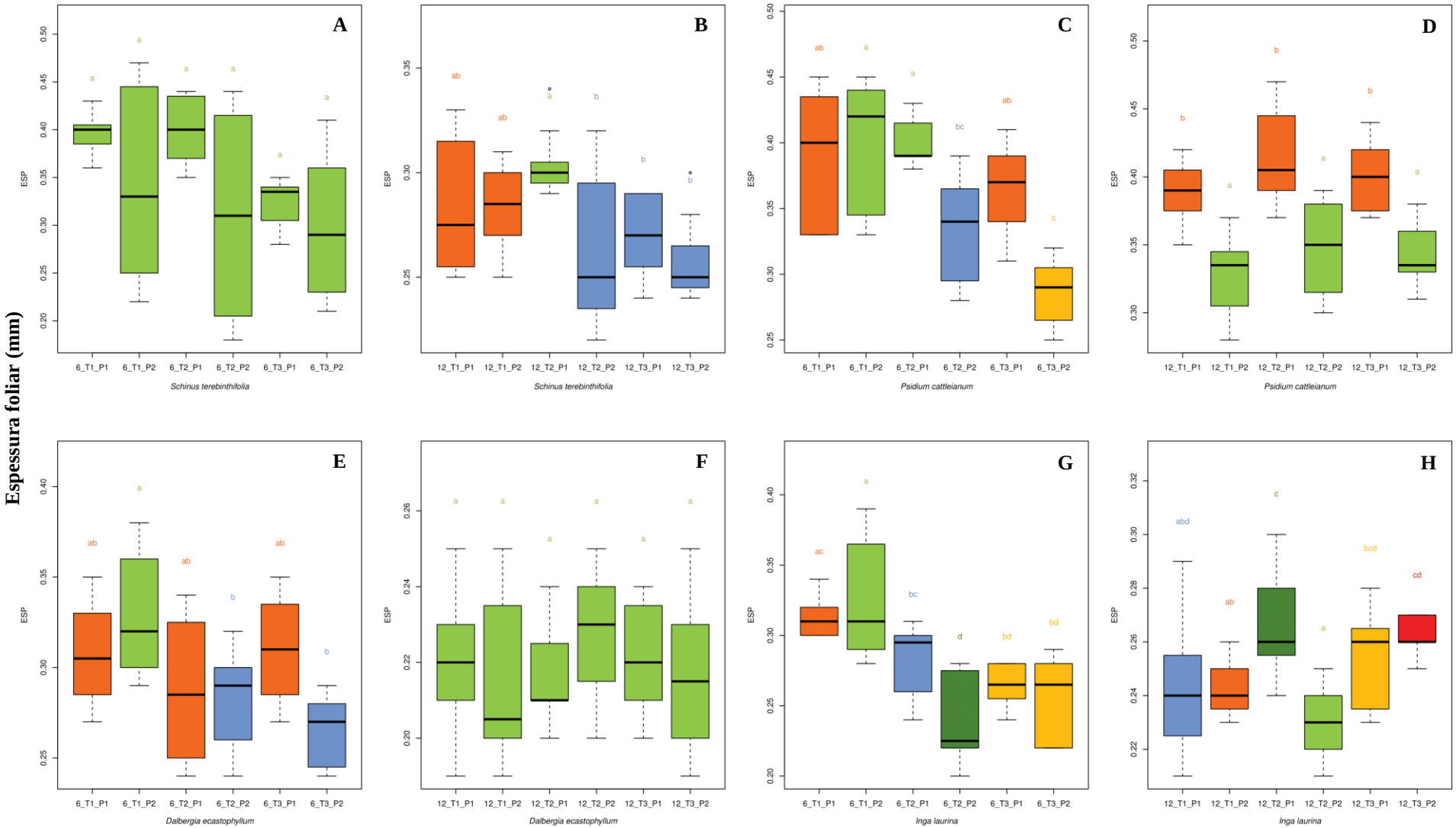

Figura 2: Variação da espessura foliar (mm) em quatro espécies arbóreas: *S. terebinthifolius* (**A** e **B**), *P. cattleianum* (**C** e **D**), *D. ecastophyllum* (**E** e **F**) e *I. laurina* (**G** e **H**) aos seis e doze meses, respectivamente, em três tratamentos de solo [T1-Escarificação, T2-Escarificação + gradagem e T3-Subsolagem + gradagem] com dois tipos de parcelas [P1- ausência do adubo verde e P2- presença do adubo verde]. No gráfico Box-Plot, o box, delimitado pelo 1º e 3º quartis, contêm 50% dos dados onde a mediana é representada pela linha horizontal interna do box. As linhas horizontais mais externas representam os valores mínimos e máximos. Diferentes letras referem-se às diferenças significativas encontradas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey a 5% de significância.

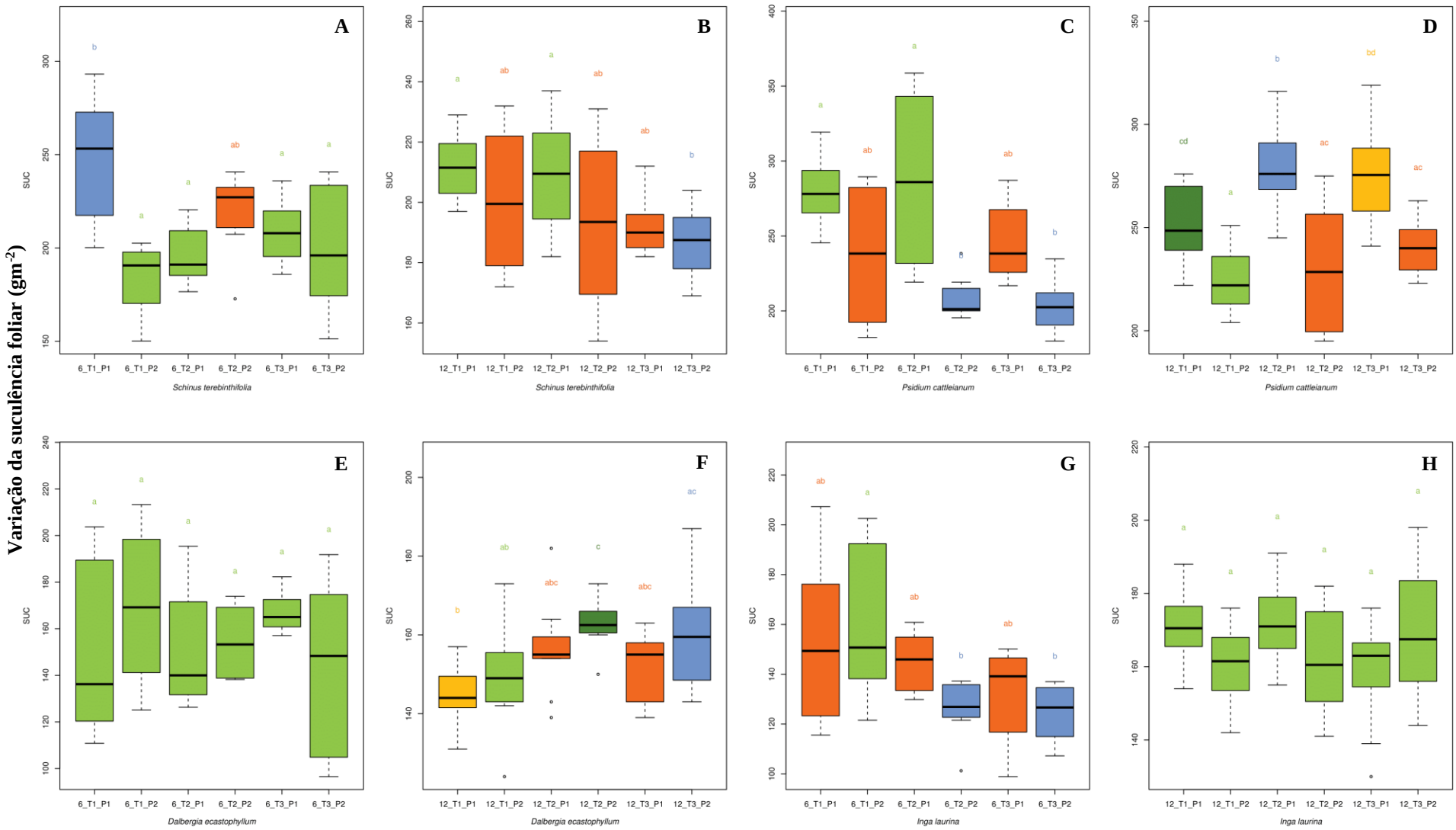

Figura 3: Variação da suculência foliar (gm^{-2}) em quatro espécies arbóreas *S. terebinthifolius* (**A** e **B**), *P. cattleianum* (**C** e **D**), *D. ecastophyllum* (**E** e **F**) e *I. laurina* (**G** e **H**) aos seis e doze meses, respectivamente, em três tratamentos de solo [T1-Escarificação, T2-Escarificação + gradagem e T3-Subsolagem + gradagem] com dois tipos de parcelas [P1- ausência do adubo verde e P2- presença do adubo verde]. No gráfico Box-Plot, o box, delimitado pelo 1º e 3º quartis, contêm 50% dos dados onde a mediana é representada pela linha horizontal interna do box. As linhas horizontais mais externas representam os valores mínimos e máximos. Diferentes letras referem-se às diferenças significativas encontradas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey a 5% de significância.

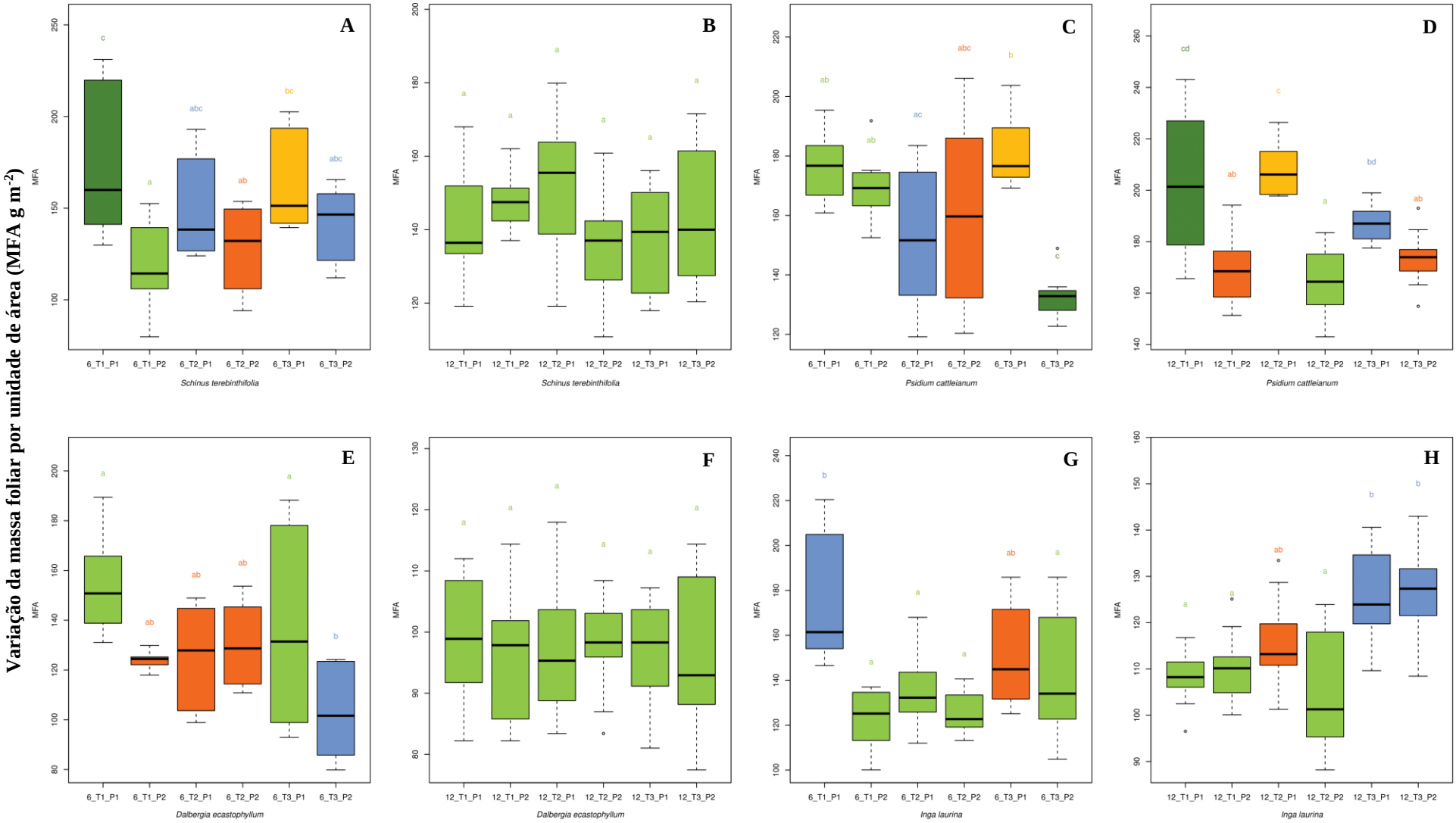

Figura 4: Variação da massa foliar por unidade de área (MFA g m^{-2}) em quatro espécies arbóreas: *S. terebinthifolius* (**A** e **B**), *P. cattleianum* (**C** e **D**), *D. ecastophyllum* (**E** e **F**) e *I. laurina* (**G** e **H**) aos seis e doze meses, respectivamente, em três tratamentos de solo [T1-Escarificação, T2-Escarificação + gradagem e T3-Subsolagem + gradagem] com dois tipos de parcelas [P1-ausência do adubo verde e P2- presença do adubo verde]. No gráfico Box-Plot, o box, delimitado pelo 1º e 3º quartis, contêm 50% dos dados onde a mediana é representada pela linha horizontal interna do box. As linhas horizontais mais externas representam os valores mínimos e máximos. Diferentes letras referem-se às diferenças significativas encontradas entre os tratamentos de acordo com teste de Tukey a 5% de significância.

Similarmente, observa-se uma tendência de redução da espessura (mm), da suculência (gm^{-2}) e da massa de folha por unidade de área ($g\ m^{-2}$) na presença da adubação verde em cada tratamento (Escarificação, Escarificação + gradagem e Subsolagem + gradagem). Esta redução é bem mais evidente nas espécies não fixadoras de nitrogênio nos dois períodos avaliados (Figura 2, 3 e 4).

No grupo das espécies não fixadoras de nitrogênio, reduções significativas da espessura foliar foram observadas no tratamento T3 - Subsolagem/Gradagem em relação aos demais tratamentos em *S. terebinthifolius* aos seis e doze meses (Figura 2 A e B). De maneira similar, essa redução também aconteceu em *P. cattleianum* na primeira avaliação (Figura 2 C). Ainda aos dozes meses, observa-se a redução significativa da espessura foliar na presença da adubação verde nos três tratamentos (Figura 2 D). Por outro lado, as reduções desse atributo foliar para o grupo das espécies fixadoras de nitrogênio só ocorreram no tratamento T3 - Subsolagem/Gradagem (aos seis meses) em *D. ecastophyllum* e no tratamento T2 - Escarificação/Gradagem (nas duas avaliações) em *I. laurina*. As variações nos outros tratamentos não foram significativas para esse grupo funcional (Figura 2 E, G e H).

Similarmente, na presença da adubação verde, observa-se uma redução significativa da suculência foliar no tratamento T1 – Escarificação e T2 - Escarificação/Gradagem em *S. terebinthifolius* e *P. cattleianum*, respectivamente, na primeira avaliação (Figura 3 A e C). A massa foliar por unidade de área reduziu nestes mesmos tratamentos e também no tratamento T3 - Subsolagem/Gradagem em *P. cattleianum*. Além disso, a adubação verde reduziu significativamente esses dois atributos foliares nos três tratamentos aos doze meses (Figura 3 D). Em *D. ecastophyllum* a suculência não variou aos seis meses e aos doze apresentou uma tendência de aumento em T2 - Escarificação/Gradagem (Figura 3 E e F). Em *I. laurina*, observa-se uma redução significativa da suculência no tratamento T3 - Subsolagem/Gradagem na primeira avaliação (Figura 3 G). Todavia, não houve diferenças nesse parâmetro para essa espécie aos doze meses (Figura 3 H).

Na presença da adubação verde, os valores da massa foliar por unidade de área reduziram significativamente no tratamento T3 - Subsolagem/Gradagem e T1 – Escarificação em *D. ecastophyllum* e *I. laurina*, respectivamente, aos seis meses (Figura 4 E e G) e em *I. laurina* no tratamento T2 - Escarificação/Gradagem aos doze meses (Figura 4 H). Por outro lado, nesse mesmo período, a massa foliar por unidade de área não variou estatisticamente em *D. ecastophyllum* (Figura 4 F).

4.4 Análise Multivariada

Os dois primeiros eixos da análise de componentes principais (PCA) explicaram 58,8% da variação total dos dados, com os eixos 1 e 2 explicando 37,6% e 21,2%, respectivamente (Figura 5). O primeiro eixo foi identificado como um eixo da plasticidade foliar (atributos foliares) e da eficiência fotoquímica. As variáveis de maior correlação com o eixo 1 foram: massa foliar por unidade de área, suculência e espessura, rendimento quântico fotoquímico para dissipação de calor (φD_o) e rendimento quântico fotoquímico máximo para fotoquímica primária (φP_o). O segundo eixo foi relacionado com os demais processos fotoquímicos, com os atributos físico-químicos do solo e com o crescimento das plantas (Altura), considerando que as variáveis de maior correlação com o eixo 2 foram: energia total dissipada como calor por centro de reação (DI_o/RC), fluxo de absorção por centro de reação ativo (ABS/RC), centros de reação redutores de Q_A ativos por seção transversal no FSII (RC/CS_o), eficiência quântica para transferência de um elétron além da Q_A^- (φE_o), índice de desempenho do FSII ($PI/_{ABS}$), índice de clorofila *a*, índice de clorofila *b*, teor de clorofila, troca catiônica efetiva, fósforo, potássio, matéria orgânica, magnésio, pH em água, resistência do solo à penetração e altura.

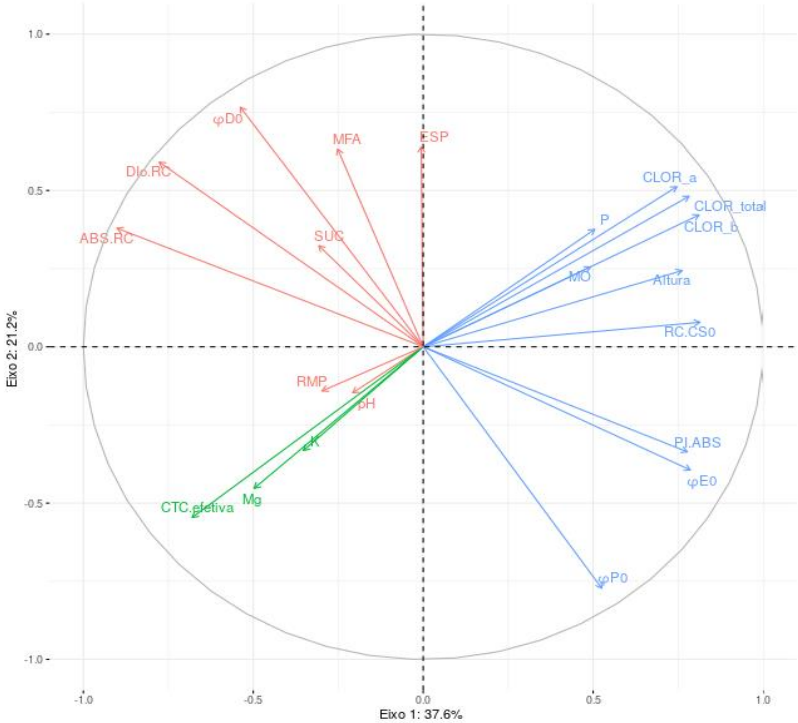

Figura 5: Resultado da ordenação produzida a partir da Análise de Componentes Principais (PCA) para todos os parâmetros utilizados na avaliação ecofisiológica de *S. terebinthifolius*, *P. cattleianum*, *D. ecastophyllum* e *I. laurina*. Variáveis fotoquímicas [ABS/RC, DI_o/RC, RC/CS_o, $PI/_{ABS}$, φP_o, φE_o, φD_o (lista de verificação na Tabela 1)], pigmentos fotossintéticos (Clr. a – Clorofila a, Clr. b – Clorofila b, Clr. total – Clorofila total), atributos foliares (ESP – espessura, SUC – suculência, MFA, massa foliar por unidade de área), atributos físico-químicos do solo [troca catiônica efetiva (CTC-efetiva)], fósforo (P)], potássio (K)], matéria orgânica (MO)], pH em água, resistência do solo à penetração (RPM)].

A análise de componentes principais explicou 58,9% da variação do conjunto total de dados da Figura 6. O eixo 1 explicou 37,6% da variância dos dados, enquanto o eixo 2 explicou 21,3%. A partir da distribuição dos indivíduos nos eixos 1 e 2 observa-se a formação de dois grupos distintos. As quatro espécies (*S. terebinthifolius*, *P. cattleianum*, *D. ecastophyllum*, *I. laurina*) aos seis meses agrupam-se do lado esquerdo (inferior), se separando do segundo grupo formado no lado direito (superior) aos doze meses.

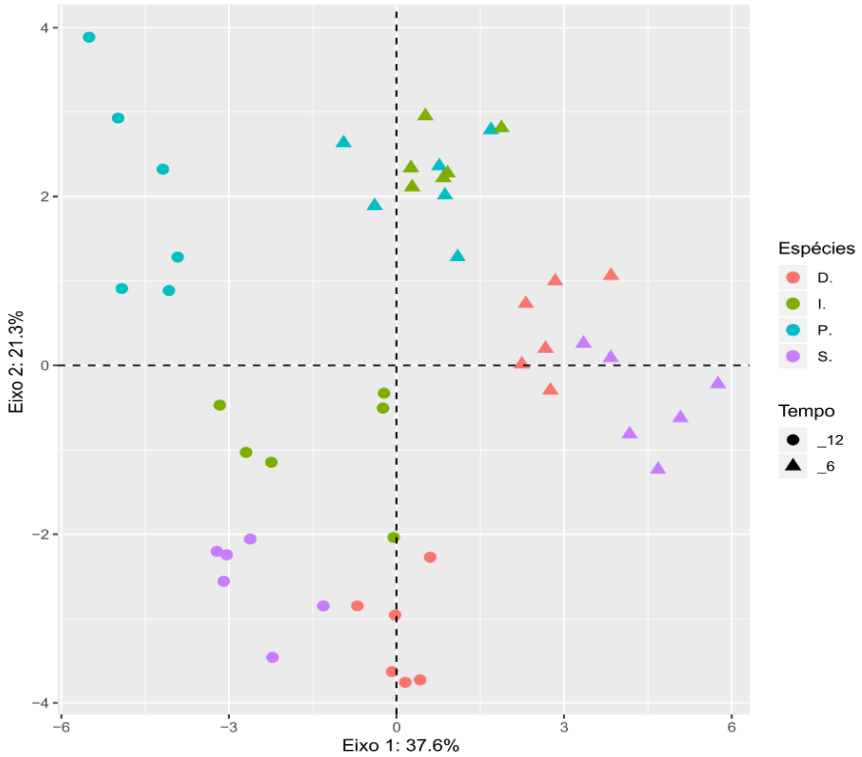

Figura 6: Resultado da ordenação produzida a partir da Análise de Componentes Principais (PCA) para o conjunto de espécies *S. terebinthifolius* S. *P. cattleianum* P. (não fixadoras de nitrogênio), *D. ecastophyllum* D. e *I. laurina* I. (fixadoras de nitrogênio) em função do tempo da coleta aos seis _6 e doze _12 meses.

De maneira similar, a ordenação produzida pela PCA para os três tratamentos de solo ao longo do tempo também evidencia a formação de grupos distintos. Aos seis meses (Figura 7 A), os eixos 1 (31,6%) e 2 (23,5%) explicaram 55,1% da variação dos dados. Aos dozes meses (Figura 7 B), o eixo principal explicou 41,7% e o eixo secundário 21,4%, totalizando 63,1%. É nítida a diferenciação entre os tratamentos, com a formação de dois grupos em relação ao eixo 2. Aos seis meses o tratamento T3-Subsolagem + gradagem posicionado na parte superior diferencia-se dois demais (T1-Escarificação e T2-Escarificação + gradagem) localizados na parte inferior (Figura 7 A). Por outro lado, aos doze meses, não há sobreposição dos pontos. Assim, observa-se a formação de três grupos distintos com o tratamento T3-Subsolagem + gradagem diferenciando-se ainda mais dos demais.

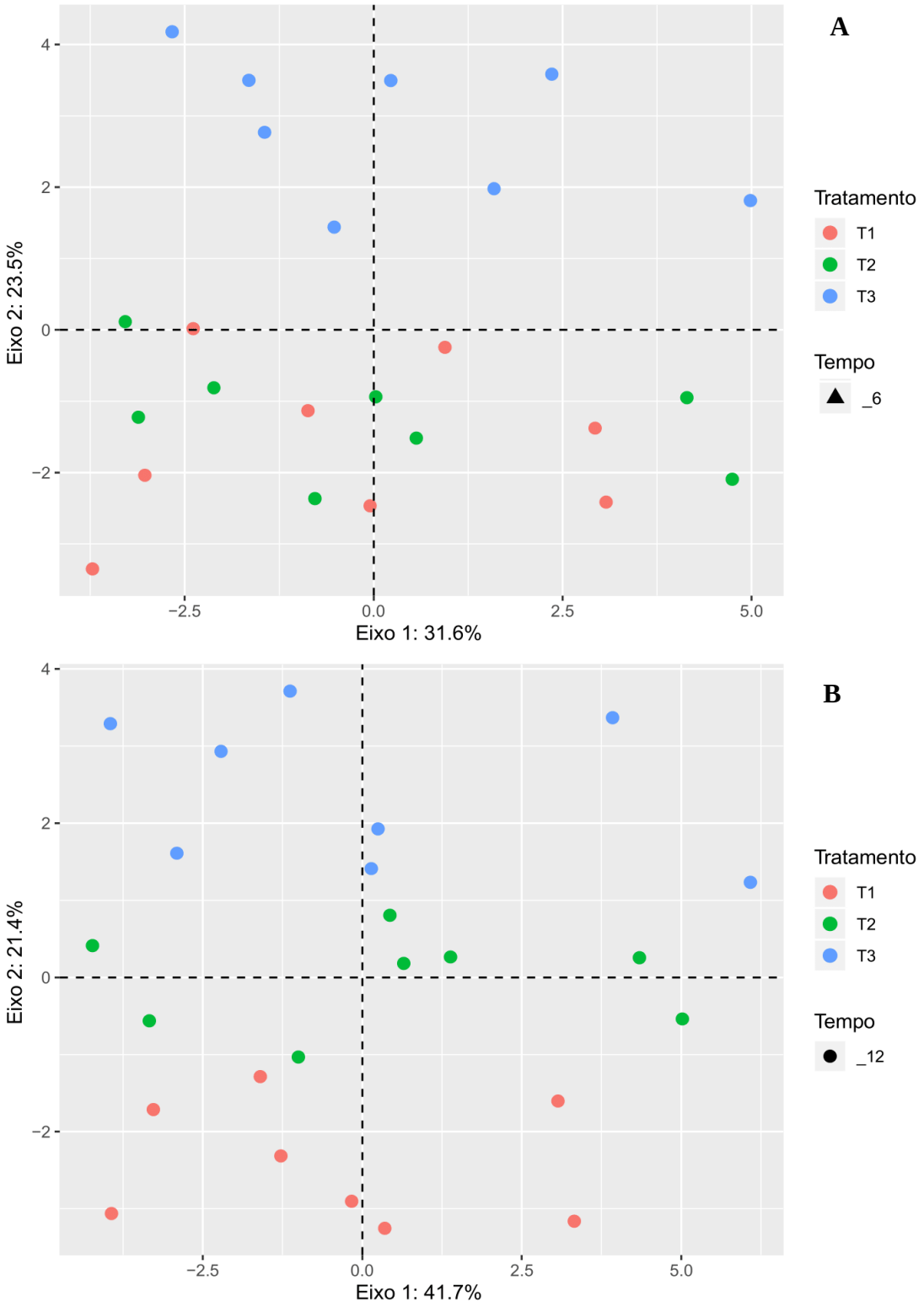

Figura 7: Resultado da ordenação produzida a partir da Análise de Componentes Principais (PCA) para os tipos de tratamentos do solo: T1-Escarificação T1 , T2-Escarificação + gradagem T2 e T3-Subsolagem + gradagem T3 em função do tempo da coleta aos (**A**) seis _6 e (**B**) doze _12 meses.

5. DISCUSSÃO

Neste estudo, nós avaliamos as respostas fisiológicas de quatro espécies arbóreas da mata atlântica em diferentes tratamentos de solo na presença e ausência do adubo verde, o qual foi constituído por um mix de sementes de espécies leguminosas, crucíferas e forrageiras. As respostas ecofisiológicas dos indivíduos podem servir de base para o aprimoramento das técnicas para revegetar áreas degradadas. Condições bióticas e abióticas encontradas no campo podem afetar o desempenho das plantas (OUKARROUM et al., 2007). As reações fotoquímicas da fotossíntese são particularmente sensíveis a condições e restrições ambientais (KALAJI et al., 2012), tornando essas medições um componente importante dos estudos de estresse nas plantas. Aqui a fluorescência transiente da clorofila *a* foi utilizada para aferir a eficácia do adubo verde em diferentes tratamentos de descompactação do solo no desempenho do aparato fotoquímico de dois grupos de espécies *S. terebinthifolius* e *P. cattleianum* (espécies não fixadoras de nitrogênio) e *I. laurina* e *D. ecastophyllum* (espécies fixadoras de nitrogênio).

A curva típica polifásica O-K-J-I-P da fluorescência da clorofila *a* nos fornece informações importantes sobre a estrutura e funcionamento do aparato fotossintético das plantas (KAUTSKY & HIRSCH, 1934; SCHREIBER et al., 1994; KALAJI et al., 2012; KALAJI et al., 2016). A fase O-J (F_0 = 0.02 ms a F_J = 2 ms) está relacionada com os processos da fotoquímica primária do lado aceptor de elétrons do FSII (TÓTH et al., 2007; KALAJI et al., 2016). A diferença observada aos seis meses, no tratamento T3-Subsolagem + gradagem em *P. cattleianum*, pode representar perdas energéticas dos aceptores primários de aceptor de elétrons do FSII. Por outro lado, em *I. laurina* as amostras dos três tratamentos na presença da adubação verde foram mais elevadas na fase J-I (F_J = 2 ms a F_I = 30 ms) que corresponde aos processos de redução do intersistema, onde o fluxo de elétrons passa por Q_A^- e Q_B^- até a redução da plastoquinona (PC). Essas diferenças entre as amostras demonstram um aumento do *pool* de PQ na presença do adubo verde nos três tratamentos para essa espécie. A maior influência da adubação verde também na fase I-P (F_I = 30 ms a F_P = 300 ms) que está relacionada com os aceptores de elétrons do FSI (REDILLAS et al., 2011; PORCAR-CASTELL et al., 2014; KALAJI et al., 2016), corrobora essa afirmação sobre o *pool* que PQ no aparato fotossintético. Diversas condições ambientais podem afetar o estado fisiológico das plantas, e, assim, o tempo de ocorrência dessas transições (GUO & TAN, 2015; KALAJI et al., 2016).

Os resultados demonstram o efeito negativo da adubação verde sobre o rendimento fotossintético do FSII aos seis meses de experimento no grupo de espécies não fixadoras de nitrogênio (Tabela 3). Esta redução no rendimento fotoquímico das plantas pode ser atribuída a processos

competitivos por água e nutrientes (MORRIS & MYERSCOUGH, 1991; NISSANKA et al., 1997; RAJCAN & SWATON, 2001), considerando que a primeira avaliação foi realizada no período de inverno, caracterizado por baixos índices de precipitação na região onde foi realizado o experimento. Consequentemente, dano fotoinibitório ao FSII pode ter ocorrido, considerando-se a redução da eficiência quântica da fase fotoquímica primária e do rendimento quântico do transporte de elétrons do FSII (φP_o e φE_o, respectivamente) e um aumento do fluxo de absorção por centro de reação ativo (ABS/RC) nos tratamentos T1-Escarificação e T2-Escarificação + gradagem para *P. cattleianum* e no tratamento T3-Subsolagem + gradagem para *S. terebinthifolius*. Esses resultados indicam que houve um certo grau de desequilíbrio entre o fluxo de energia absorvido e a utilização dessa energia pelos processos fotoquímicos (CHEN et al., 2016; ZHANG et al., 2016; KALAJI et al., 2017).

O aumento da energia total dissipada como calor por centro de reação (DI_o/RC) e a produção quântica da energia de dissipação (φD_o) observado em *P. cattleianum* nos tratamentos T1-Escarificação e T2-Escarificação + gradagem e de *S. terebinthifolius* no tratamento T3-Subsolagem + gradagem na presença na adubação verde aos seis meses evidenciam perdas energéticas. Esses parâmetros podem ser considerados marcadores fisiológicos em potencial porque representam uma rota competitiva que funciona como mecanismo fotoprotetor (CHEN et al., 2016; KALAJI et al., 2017). Segundo Taiz et al. (2017), a energia luminosa absorvido pelos fotossistemas pode seguir por três vias, são elas: **i**) fluorescência, um fenômeno físico onde os elétrons no estado fundamental absorvem energia da luz, excitam-se (menor estabilidade) e ao retornarem ao estado anterior liberam essa energia na forma de um fóton (fluorescência); **ii**) via fotoquímica, que representa a transferência dos fótons da luz em transporte de elétrons pela etapa fotoquímica da fotossíntese; **iii**) via não-fotoquímica, que basicamente é a perda de parte da energia absorvida na forma de calor. Vale destacar que as três vias são processos competitivos e que os aumentos de DI_o/RC e φD_o no grupos de espécies não fixadoras de nitrogênio na presença da adubação verde aos seis meses caracteriza-se um mecanismo de foto proteção, pois essa condição poderia evitar a superprodução de quinona A reduzida (Q_A^-) (STRASSER et al., 2004; REDILLAS et al., 2011; CHEN et al., 2015).

O $PI_{/ABS}$ é o parâmetro do teste JIP que representa o desempenho de todos os processos fotoquímicos relacionados ao FSII e é um ótimo indicador da vitalidade da planta principalmente no que se refere aos efeitos de variadas condições ambientais (STRASSER et al., 2004; REDILLAS et al., 2011; STIRBET et al., 2014). Ele é o produto de três parâmetros: φP_o, ΨE_o e γRC. Alterações no índice de desempenho do FSII podem ocorrer caso exista um desbalanço em

um ou mais desses três fatores (STRASSER et al., 2004). Neste estudo, decréscimos no índice de desempenho do FSII ($PI/_{ABS}$) foram observados em *P. cattleianum* no tratamento T2-Escarificação + gradagem e *S. terebinthifolius* no tratamento T3-Subsolagem + gradagem aos seis meses, isso indica que a adubação verde não foi capaz de manter o potencial de conservação de energia para redução dos aceptores de elétrons do FSII. Shukor et al. (2015) observou alterações (φP_o,) em mudas de *Azadirachta excelsa* (mogno) que cresciam em solos compactados. Faria-Silva et al. (2017) constatou que mudas de *Mangifera indica* (manga), expostas ao estresse combinado de luz e calor no campo também apresentaram reduções em φP_o e esse desbalanço reduziu significativamente o índice de desempenho do FSII, demonstrando uma condição de fotoinibição. No caso das espécies não fixadoras de nitrogênio, a redução no rendimento quântico fotoquímico do FSII (φP_o) foi o que mais contribuiu para redução do índice de desempenho do FSII ($PI/_{ABS}$) aos seis meses nas parcelas com adubação verde.

Os incrementos observados em φP_o na segunda avaliação, nas quatro espécies arbóreas do experimento, demonstram o potencial de facilitação da adubação verde, em outros parâmetros relacionados a eficiência fotoquímica como os centros de reação redutores de Q_A ativos por seção transversal no FSII (RC/CS_o) e o índice de desempenho do FSII ($PI/_{ABS}$) também foi observado um incremento nas amostras do T3-Subsolagem + gradagem cultivadas com adubação verde. Ferreira (2009) trabalhou com a revegetação de áreas degradadas na Amazônia e observou um aumento da eficiência fotoquímica em indivíduos de *Bertholletia excelsa* plantados com adubação verde. No presente estudo, a adubação verde resultou em um aumento nos índices de clorofila a (Clr. a), clorofila b (Clr. b) e clorofila total (Clr. total) nos três tratamentos nas espécies fixadoras de nitrogênio (*I. laurina* e *D. ecastophyllum*) aos doze meses. Nestas espécies, altos valores dos índices de clorofila influenciaram diretamente as reações fotoquímicas da fotossíntese, considerando-se o incremento descrito para os parâmetros do teste JIP relacionadas à eficiência da fotoquímica primária (φP_o, φE_o, $PI/_{ABS}$, RC/CS_o) neste estudo. Por outro lado, a ausência da adubação verde nesse mesmo período elevou φD_o, ABS/RC e Di_o/RC nas espécies em todos os três tratamentos, evidenciando perdas energéticas pela via não fotoquímica (CHEN et al., 2015; TAIZ et al., 2017).

Um aumento na espessura das folhas pode ocorrer em espécies que habitam ambientes com altas intensidades luminosas, baixa disponibilidade de água e/ou nutrientes no solo (MELO JÚNIOR & BOEGER, 2016). De forma geral, o adubo verde promoveu decréscimos na espessura (ESP) e suculência (SUC) das folhas do grupo das espécies não fixadoras de nitrogênio nos três tratamentos nos dois períodos avaliados. A espessura está relacionada com a suculência, que por sua vez,

representa a capacidade dos tecidos foliares armazenarem água, característica em plantas CAM, halófitas, xerófitas (KLUGE & TING, 1978; WITKOWSKI & LAMONT, 1991; SCHWINNING & EHLERINGER, 2001; NIINEMETS & KULL, 2003). Os valores elevados de suculência e espessura na ausência da adubação verde também foram observados em espécies herbáceas e de florestas de transição na restinga (BÄCHTOLD & MELO JÚNIOR, 2015, MELO JÚNIOR & BOEGER, 2016, SILVA et al., 2016). A ausência da adubação verde elevou a espessura e suculência nas espécies desse estudo, de modo semelhante ao que aconteceu com as espécies da restinga.

Similarmente, a adubação verde reduziu a massa da folha por unidade de área (MFA) em *S. terebinthifolius* e *P. cattleianum* (não fixadoras de nitrogênio) nos três tratamentos. Esse parâmetro reflete o custo de construção da folha baseado em carbono (VILLAR & MERINO, 2001). Assim, os elevados valores de MFA observados nas parcelas com ausência da adubação verde demonstram uma baixa disponibilidade de água e/ou nutrientes no solo, uma maior longevidade da folha, o que caracteriza uma eficiência na utilização dos escassos nutrientes (REICH et al., 1992; VILLAR & MERINO, 2001; WRIGHT & CANNON, 2001; NIINEMETS & KULL, 2003). Espécies com maior MFA tendem a ter o limbo mais espesso ou um tecido mais denso, principalmente ao carbono investido para construção da folha (CORNELISSEN et al., 2003). Rosado & de Mattos (2007) analisaram ESP, SUC, MFA e outros atributos foliares em uma comunidade vegetal de restinga em relação a disponibilidade de recursos ao longo do tempo e concluíram que houve uma convergência nas respostas das espécies para disponibilidade de água, com maiores valores para esses atributos nos meses mais secos do ano. De la Riva et al. (2016) ao avaliarem esses parâmetros em espécies lenhosas do mediterrâneo concluíram que indivíduos com reduzidos valores de MFA crescem em ambientes ricos em recursos enquanto espécies com um elevado MFA indicam ambientes pobres em recursos.

As análises multivariadas e suas diversas formas de aplicação em estudos com espécies vegetais e variáveis ambientais permitem testar a hipótese e contribuir para responder as perguntas deste estudo (McGARIGAL et al., 2000; PALMER, 2005; FELFILI et al., 2007). Para o conjunto de espécies observa-se na análise multifatorial, que as variáveis mais importantes para explicação do crescimento nos períodos avaliados foram o conteúdo de fósforo no solo, a matéria orgânica, a clorofila *a*, *b*, total e RC/CS_o. Aos seis meses, a altura não variou estatisticamente. Esse resultado pode ser justificado, pois, o conjunto de parâmetros que apresentaram as correlações mais fortes com o crescimento não diferiram no grupo das espécies fixadoras de nitrogênio (*I. laurina* e *D. ecastophyllum*), nesse mesmo período (Tabela 2 e Tabela 3). Por outro lado, aos doze meses,

observa-se uma elevação no conjunto de paramentos relacionados a altura das espécies nas parcelas com adubação verde, mas o crescimento diferiu apenas entre os tratamentos, com maior altura nos indivíduos de *I. laurina* no tratamento T3-Subsolagem + gradagem. Apesar disso, a adubação verde promoveu um impacto positivo ao longo do tempo, com destaque para o tratamento T3-Subsolagem + gradagem, capaz de promover o maior descompactação solo, e, consequentemente, disponibilizar, com maior facilidade, o ar e água que se encontram nos poros do solo (TROEH et al., 2007).

6. CONCLUSÃO

A hipótese de que na presença da adubação verde, as espécies arbóreas não fixadoras de nitrogênio apresentariam melhoras mais significativas nos atributos foliares e fotoquímicos, em relação a sua ausência, em comparação ao grupo das espécies fixadoras de nitrogênio pode ser corroborada em parte, pois *P. cattleianum* e *S. terebinthifolius* sofreram um leve estresse fotoquímico em seu desenvolvimento inicial. Por outro lado, os resultados obtidos nos atributos foliares nos dois períodos ajuda a corroborar esta hipótese, considerando que esses parâmetros praticamente não sofreram variação em *I. laurina* e *D. ecastophyllum* (fixadoras de nitrogênio). Ainda, este estudo demonstrou que ao longo do tempo a adubação verde aumentou o teor de pigmentos fotossintéticos (Clr. a, Clr. b, Clr. total) nas espécies fixadoras de nitrogênio, e consequentemente, promoveu um aumento na capacidade de conservação de energia direcionada pela via fotoquímica (φP_o, φE_o, RC/CS_o, $PI/_{ABS}$) nos dois grupos funcionais de espécies. As amostras cultivadas no tratamento T3-subsolagem + gradagem, obtiveram um melhor desempenho em relação aos demais tratamentos do solo considerando os resultados obtidos no conjunto de parâmetros avaliados. Dessa forma, a técnica da subsolagem que promove o maior grau de descompactação do solo, aliado a adubação verde demonstra o seu uso potencial em projetos de revegetação de áreas degradadas.

7. REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013.

BÄCHTOLD, B.A. & MELO JUNIOR, J.C.F. Plasticidade morfológica *de Calophyllum brasiliense* Camb. (Calophyllaceae) em duas formações de restinga no sul do Brasil. **Acta Biológica Catarinense**, 2:21-32, 2015.

BARRS, H.D.; WEATHERLEY, P.E. A Re-Examination of the Relative Turgidity Techniques for Estimating Water Deficits in Leaves. **Australian Journal of Biological Sciences**, 15, 413-428. http://dx.doi.org/10.1071/BI9620413. 1962.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Matéria seca e altura das plantas de soja e arroz em função do grau de compactação e do teor de água de dois latossolos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.142-149, 2004.

CALGARO, H. F.; VALÉRIO FILHO, W. V.; AQUINO, S. S.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Adubação química e orgânica na recuperação da fertilidade de subsolo degradado e na micorrização do *Stryphnodendron polyphyllum*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1337-1347, 2008.

CANARACHE, A. Generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. Amsterdam, **Soil Till**. Res. 16:56-70, 1990.

CHEN, Q.; GUAN, T.; YUN, L.; LI, R.; RECKNAGEL, F. Online forecasting chlorophyll *a* concentrations by an auto-regressive integrated moving average model: feasibilities and potentials. **Harmful Algae** v. 43, p. 58–65, 2015.

CHEN, S.; YANG, J.; ZHANG, M.; STRASSER, R. J.; QIANG, S. Classification and characteristics of heat tolerance in Ageratina adenophora populations using fast chlorophyll *a* fluorescence rise OJIP. **Environmental and Experimental Botany**. v. 122, p. 126-140, 2016.

CORNELISSEN, J.H.C., LAVOREL, S., GARNIER, E., et al. A handbook of protocols for standarised and easy measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, 51, p. 335–380, 2003.

DE LA RIVA, E. G.; OLMO, M.; POORTER, H.; UBERA, J. L.; VILLAR, R. Leaf Mass per Area (LMA) and Its Relationship with Leaf Structure and Anatomy in 34 Mediterranean Woody Species along a Water Availability Gradient. **Plos One**, 11(2), e0148788. doi: 10.1371/journal.pone.0148788, 2016.

DE MORAES, L. F. D.; ASSUMPÇÃO, J. M.; LUCHIARI, C. Plantio De Espécies Arbóreas Nativas Para a Restauração Ecológica Na Reserva Biológica De Poço Das Antas, Rio De Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, vol. 57, no. 3, p. 477–489, 2006.

DEXTER, A.R. Soil physical quality: Part I. Theory. Effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, 120:201-214, 2004.

DÍAZ, S.; HODSON, J.G.; THOMPSON, K.; CABIDO, M.; CORNELISSEN, J.H.C.; JALILI, A.; MONTSERRAT-MARTÍ, G.; GRIME, J.P.; ZARRINKAMAR, F.; ASRI, Y.; BAND, S.R.;

BASCONCELO, S.; CASTRO-DÍEZ, P.; FUNES, G.; HAMZEHEE, B.; KHOSHNEVI, M.; PÉREZ-HARGUINDEGUY, N.; PÉREZ-RONTOMÉ, M.C.; SHIRVANY, F.A.; VENDRAMINI, F.; YAZDANI, S.; ABBAS-AZIMI, R.; BOGAARD, A.; BOUSTAMI, S.; CHARLES, M.; DEHGHAN, M.; TORRES-ESPUNY, L.D.; FALCZUK, V.; GUERRERO-CAMPO, J.; HYND, A.; JONES, G.; KOWSARY, E.; KAZEMI-SAEED, F.; MAESTRO-MARTÍNEZ, M.; ROMO-DÍEZ, A.; SHAW, S.; SIAVASH, B.; VILLAR-SALVADOR, P.; ZAK, M.R. The plant traits that drive ecosystems: Evidence from three continents. **Journal of Vegetation Science**, 15:295-304, 2004.

EMPRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: **Ministério da Agricultura e do Abastecimento**, 2011.

ESPÍRITO SANTO (Estado) Secretaria de Estado de Ações Estratégicas e Planejamento. Informações municipais do Estado do Espírito Santo. **Vitória: Departamento Estadual de Estatística**, v. 1. 803p, 1994.

EVINER, V.T.; CHAPIN III, F.S. Functional matrix: a conceptual framework for predicting multiple plant effects on ecosystems process. **Annual Review Ecology and Systematic**, 34:455-485, 2003.

FALKER, Automação agrícola. Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030). **Porto Alegre**, 33p, 2008. Disponível em: http://www.falker.com.br/download.php. Acesso em 24 fev. 2019.

FARIA-SILVA, L.; GALLON, C. Z.; PURGATTO, E.; SILVA, D.M. Photochemical metabolism and fruit quality of Ubá mango tree exposed to combined light and heat stress in the field. **Acta Physiologiae Plantarum**. v. 39, p.238, 2017.

FELFILI, J.M.; CARVALHO, F.A.; LIBANO, A.M. VENTUROLI, F., PEREIRA, B.A.S. Análise multivariada em estudos de vegetação. **Comunicações técnicas florestais**, 9, Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, 2007.

FERREIRA, Marciel José Crescimento. Estado nutricional e características fotossintéticas de *Bertholletia excelsa* sob tratamentos de adubação em área degradada na Amazônia central. **Dissertação (mestrado) INPA/UFAM**, Manaus, 2009.

FERREIRA, E. M.; ANDRAUS, M. P., CARDOSO, A. A.; COSTA, L. F. S.; LÔBO, L. M.; LEANDRO, W. M. Recuperação de áreas degradadas, adubação verde e qualidade da água. Revista Monografias Ambientais - **REMOA** v. 15, nº 1, jan-abr. p. 228-246, 2016.

FRANCO, A. A.; Campello, E. F.; Silva, E. M. R da.; Faria, S. M de. Revegetação de solos degradados. **Seropédica: EMBRAPA – CNPAB**, 1992.

GARNIER, E.; LAURENT, G.; BELLMAN, A.; DEBAIN, S.; BERTHELIER, P.; DUCOUT, B.; ROUMET, C.; NAVAS, M.L. Consistency of species ordenação based on functional leaf traits. **New Phytologist**, 152:69-83, 2001.

GOMES, W.A. Estado nutricional, produtividade e qualidade da tangerina cv. Dancy sob adubação verde e poda no Brejo Paraibano. **Dissertação. (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba**, Areia, PB, 2010.

GUO, Y.; TAN, J. Recent advances in the application of chlorophyll a fluorescence from photosystem II. **Photochemistry and photobiology**, 91(1), 1–14, 2015.

HANZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compactation in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 82, n. 02, p. 121-145, 2005.

HOLL, K. D. Tropical moist forest, in Handbook of Ecological Restoration, eds. PERROW, M. R. & DAVY, A. J. **Cambridge, UK: Cambridge University Press**, 539–558, 2002.

HOLL, K. D. Oldfield vegetation succession in the Neotropics, in Old Fields, eds. HOBBS, R. J. & CRAMER, V. A. **Washington, DC: Island Press**, 93–117, 2007.

HOLL, K. D. Restoring Tropical Forest. **Nature Education Knowledge** 4(4):4. 2013. Disponível em: http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/restoring-tropical-forest-97756726 Acesso em 16 de mar de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação. **Brasília**, p. 96, 1990.

IPCC, 2000: Special Report on Emission Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change. Vienna, **Austria**, 2000.

IPCC, 2001: Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report (AR3) of the Integovernmental Panel on Climate Change [Watson, R.T. and the Core Writing Team (Eds.)]. Cambridge, UK e New York, NY, USA: **Cambridge University Press**: 398 pp, 2001.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Pachauri, R.K e Reisinger, A. (Eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), **Geneva, Switzerland**, 104 pp, 2007.

KALAJI, M.H.; CARPENTIER, R.; ALLAKHVERDIEV, S.I.; BOSA, K. Fluorescence parameters as early indicators of light stress in barley. **J Photochem Photobiol** B 112:1–6, 2012.

KALAJI, H. M.; JAJOO, A.; OUKARROUM, A.; BRESTIC, M.; ZIVCAK, M.; SAMBORSKA, I. A. Chlorophyll *a* fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. **Acta Physiol. Plant.** 38 102 10.1007/s11738-016-2113-y, 2016.

KALAJI, H.M.; JAJOO, A.; OUKARROUM, A.; BRESTIC, M.; ZIVACK, M.; SAMBORSKA, I. A.; CETNER, M. D.; LUKASIK, I.; GOLTSEV, V.; LADLE, R. J. Chlorophyll fluorescence as a tool for nutrient status identification in rapeseed plants. **Photosynthesis Research**. V,14, n.5 p.124-131, 2017.

KAUTSKY H.; HIRSH A. 1934. Clorophyllfluoreszenz und Kohlensauerassimilazion. Das fluoreszenzgrünerpflanzen. In Campostrini, E. Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas. **BiochemischeZeitschrift**, v. 274, p. 423-434, 2001. Disponível em:http://http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/CENTRO_CCTA_1629_ 1112121492.pdf Acesso em 30 de maio de 2019.

KLUGE, M.; TING, I. P. Crassulacean Acid Metabolism: Analysis of an Ecological Adaptation. Berlin, **Springer-Verlag**, 1978.

LIMA, A. A.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; PASSOS, S. R.; PAULO, F. S.; NOSOLINE, S. M.; FARIA, S. M.; GUERRA, J. G. M.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R. Diversidade e capacidade simbiótica de rizóbios isolados de nódulos de Mucuna-Cinza e Mucuna-Anã. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 337-348, mar./abr. 2012.

MAGNAGO, L. F. S.; MARTINS, S. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; NERI, A. V. Restinga forests of the Brazilian coast: richness and abundance of tree species on different soils. **Anais da Academia Brasileira de Ciências 84**: 807-822, 2012.

MATHUR, S.; JAJOO, A. Alterations in photochemical efficiency of photosystem II in wheat plant on hot summer day. **Physiol Mol Biol Plants**. 20(4): 527–531, 2014.

McGARIGAL, K.; CUSHMAN, S.; STANFORD, S. Multivariate statistics for wildlife and ecology research. New York: **Springer Science and Business Media**, 2000.

MELO JÚNIOR, J.C.F; BOEGER, M.R.T. Leaf traits and plastic potential of plant species in a light-edaphic gradient from a restinga in southern Brazil. **Acta Biológica Colombiana** 21:51-62, 2016.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Mata Atlântica 2012. Disponível em: http://www.mma.gov.br/biomas/mataatlantica Acesso em 01 de mar de 2019.

MITTERMEIER, R. A.; FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A. B.; BRANDON, K. A brief history of biodiversity conservation in Brazil. **Conservation Biology** 19(3): 601-611, 2005.

MOHAMAD JAFFAR, A. N. N.; WASLI, M. E.; PERUMAL, M.; LAT, J.; SANI, H. Effects of Soil Compaction and Relative Light Intensity on Survival and Growth Performance of Planted *Shorea macrophylla* (de Vriese) in Riparian Forest along Kayan Ulu River, Sarawak, Malaysia. **International Journal of Forestry Research**, 1–11. doi:10.1155/2018/6329295, 2018.

MORRIS, E. C.; MYERSCOUGH, P. J. Self-Thinning and Competition Intensity Over a Gradient of Nutrient Availability. **The Journal of Ecology**, 79(4), 903. doi:10.2307/2261088, 1991.

NIINEMETS, Ü.; KULL, K. Leaf structure vs. Nutriente relationship vary with soil conditions in temperate shrubs and trees. **Acta Oecologica**, 24:209-219, 2003.

NISSANKA, S. P.; DIXON, M. A.; TOLLENAAR, M. Canopy gas exchange response to moisture stress in old and new maize hybrid. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 1, p. 172-181, 1997.

NOSS, R. F.; PLATT, W. J.; SORRIE, B. A.; WEAKLEY, A. S.; MEANS, D. B.; COSTANZA, J.; PEET, R. K. How global biodiversity hotspots may go unrecognized: lessons from the North American Coastal Plain. **Diversity and Distributions**, 21(2), 236–244. doi:10.1111/ddi.12278, 2014.

OLIVEIRA NETO, S. N.; PAULA, R. C.; BARROS, N. F. Adequação de um solo degradado para revegetação In: simpósio nacional sobre de recuperação de áreas degradadas, 3, Ouro Preto, MG. **Anais Ouro Preto: SOBRADE/UFV**, p.181-186, 1988.

OUKARROUM, A.; MADIDI, S. E.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R. J. Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought

stress and re-watering. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 60, p. 438-446, 2007.

PAIVA, H.N. Toxidez de Cd, Ni, Pb, e Zn em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.), **Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia). Universidade Federal de Lavras UFLA**, Lavras, 2000.

PALMER, M.W. Ordination methods for ecologist, 2005. Disponível em: http://ordination.okstate.edu Acesso em 1 de jul. de 2019.

PAPAGEORGIOU, G. C.; GOVINDJEE. Photosystem II fluorescence: slow changes—scaling from the past. **J Photochem Photobiol B** 104(12):258–270, 2011.

PINHEIRO, A. C. R. Restauração de área impactada pela exploração de argila em solo de tabuleiro costeiro. **Dissertação de Mestrado, UFES,** 2019.

PORCAR-CASTELL, A.; TYYSTJÄRVI, E.; ATHERTON, J.; VAN DER TOL, C.; FLEXAS, J.; PFÜNDEL, E. E.; BERRY, J. A. Linking chlorophyll a fluorescence to photosynthesis for remote sensing applications: mechanisms and challenges. **Journal of Experimental Botany**, 65(15), 4065–4095.doi:10.1093/jxb/eru191, 2014.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação. Vitória, ES: SEEA; **Incaper;** CEDAGRO, 2007.

RAJCAN, I.; SWATON, C. J. Understanding maize–weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 71, v. 2, p. 139-150, 2001.

REDILLAS, M. C. F. R.; STRASSER, R. J.; JEONG, J. S.; KIM, Y. S.; KIM, J.-K. The use of JIP test to evaluate drought-tolerance of transgenic rice overexpressing OsNAC10. **Plant Biotechnology Reports**, 5(2), 169–175.doi:10.1007/s11816-011-0170-7, 2011.

REICH, P.B.; WALTERS, M.B.; ELLSWORTH, D.S. Leaf lifespan in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. **Ecological Monographs**, 62:365-392. 1992.

ROLIM, S.G.; IVANAUSKAS, N.M.; ENGEL, V.L. As florestas de tabuleiro do norte do Espírito Santo são ombrófilas ou estacionais? In: Floresta Atlântica de Tabuleiro: diversidade e endemismos na Reserva Natural Vale. **Ed. Rupestre**, Belo Horizonte. p. 47-60, 2016.

ROSADO, B.H.P.; MATTOS, E.A. de. Variação temporal de características morfológicas de folhas em dez espécies do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Macaé, RJ, Brasil. **Acta Botânica Brasílica** v. 21 n. 3, p. 741-752, 2007.

ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.S.; TIRITAN, C.S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 65 p. 109-115, 2002.

SCHREIBER, U.; BILGER, W.; NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as a nonintrusive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: SCHULZE, E.D., CALDWELL, M.M. (eds). **Ecophysiology of photosynthesis. Berlin:Springer**, V.100, p.49-70, 1994.

SCHWINNING, S.; EHLERINGER, J. R. Water use trade-offs and optimal adaptations to pulse-driven arid ecosystems. **Journal of Ecology**, 89(3), 464–480. doi:10.1046/j.1365-2745.2001.00576.x, 2001.

SHONO, K.; CADAWEG, E. A.; DURST, P. B. Application of assisted natural regeneration to restore degraded tropical forestlands. **Restoration Ecology**, 15, 620–626, 2007.

SILVA, J.A.A.; DONADIO, L.C.; CARLOS, J.A.D. Adubação verde em citros. **Jaboticabal: FUNEP**, p.37, 1999.

SILVA, V.V. Efeito do pré-cultivo de adubos verdes na produção orgânica de brócolos (*Brassica oleracea* L. var. italica) em sistema de plantio direto**. Dissertação. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**, 2002.

SILVA, R. C.; PEREIRA, J. M.; ARAUJO, Q. R.; PIRES, A. J. V.; DEL REI, A. J. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um Chernossolo com diferentes coberturas vegetais. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa v.31, p. 101-107, 2007.

SILVA, K.R., MELO JÚNIOR, J.C.F.; BOEGER, M.R.T. Variações fenotípicas em Andira fraxinifolia Benth. (Fabaceae) em duas fitofisionomias de Restinga. **Hoehnea** 43: 237-245, 2016.

SHUKOR, N. Effects of soil compactation on growth and physiological characteristics of azadirachtaexcelsa seedlings. **American Jornal of plant physiology.** p.25-42, 2015.

SOUZA, L.M.; CASTILHOS, D.D.; MORSELLI, T.B.G.A.; CASTILHOS, R.M.V. Influência da aplicação de diferentes vermicompostos na biomassa microbiana do solo após cultivo de alface. **R. Bras. Agroci**., 12:429-434, 2006.

STRASSER, B. J.; STRASSER, R. J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: the JIP-test. In: **Mathis, P., Ed., Photosynthesis: From Light to Biosphere,** KAP Press, Dordrecht, 977-980, 1995.

STRASSER, R.J.; SRIVASTAVA, A., TSIMILLI-MICHAEL, M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: Yunus M, Pathre U, Mohanty P (eds), Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation, **Taylor and Francis**, London, pp. 445-483, 2000.

STRASSER, R. J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. Analysis of fluorescence transient, In: G. Papageogiou, Govindjee (eds.), Chlorophyll Fluorescence: *a* Signature of Photosynthesis, Advances in Photosynthesis and Respiration, **Springer, Dordrecht**, v. 19, p. 321-362, 2004.

STIRBET, A.D.; GOVINDJEE. On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll *a* fluorescence induction) and photosystem II: basics and applications of the OJIP fluorescence transient. J **Photochem Photobiol B Biol**, 104:236–57, 2011.

STIRBET, A.; GOVINDJEE. Chlorophyll *a* fluorescence induction: a personal perspective of the thermal phase, the J–I–P rise. **Photosynthesis Research**, http://dx.doi.org/10.1007/s11120-012-9754-5, 2012.

STIRBET, A.; RIZNICHENKO, YU G.; RUBIN, A. B.; GOVINDJEE. Modeling Chlorophyll *a* Fluorescence Transient: Relation to Photosynthesis. **Biochemistry**. vol. 79, n. 4, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. **Porto Alegre: Artmed**, p. 888, 2017.

TÓTH, S.Z.; SCHANKER, G.; STRASSER, R.J. A non-invasive assay of the plastoquinone pool redox state based on the OJIP – transient. – **Photosynth**. Res. 93:193-203, 2007.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e Fertilidade do Solo.** 6 ed. São Paulo: ANDREI, p. 718, 2007.

VILLAR, R.; MERINO, J. Comparison of leaf construction costs in woody species with differing leaf life-spans in contrasting ecosystems. **New Phytologist**, 151:213-226, 2001.

WITKOWSKI, E. T. F.; Lamont, B. B. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. **Oecologia** 88:486-493, 1991.

WRIGHT, I.J.; CANNON, K. Relationships between leaf lifespan and structural defences in a low-nutrient, sclerophyll flora. **Functional Ecology**, 15:351-359, 2001.

ZAMITH, L.R., SCARANO, F.R. Restoration of a coastal swamp forest in southeast Brazil. **Wetlands Ecol Manage**, 18, p. 435–448, 2010.

ZHANG, L.; SU, F.; ZHANG, C.; GONG, F.; LIU, J. Changes of Photosynthetic Behaviors and Photoprotection during Cell Transformation and Astaxanthin Accumulation in *Haematococcus pluvialis* Grown Outdoors in Tubular Photobioreactors. **International Journal of Molecular Sciences**, 18(1), 33.doi:10.3390/ijms18010033, 2016.