

**INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
Minas Gerais
Campus Bambuí

Wellerson Juliano Eleutério

**ESTUDO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO EM
PROCESSO DE INVASÃO POR *LEUCAENA LEUCOCEPHALA* (LAM.) DE WIT E O
SEU CONTROLE**

Bambuí - MG

2021

WELLERSON JULIANO ELEUTÉRIO

**ESTUDO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO EM
PROCESSO DE INVASÃO POR *LEUCAENA LEUCOCEPHALA* (LAM.) DE WIT E O
SEU CONTROLE**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Linha de Pesquisa: Ecologia Aplicada

Orientador(a): Prof. Dr. Neimar Freitas Duarte

Coorientadora: Prof. Dra. Ludimilla Portela Zambaldi Lima Suzuki

BambuÍ - MG

2021



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Bambuí
Diretoria Geral
Diretoria de Inovação, Pesquisa e Pós-graduação
Coordenadoria de Pós-Graduação
Av. Professor Mário Werneck, 2590 - Bairro Buritis - CEP 30575-180 - Belo Horizonte - MG
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação de Mestrado, intitulada “ESTUDO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO EM PROCESSO DE INVAÇÃO POR LEUCAENA LEUCOCEPHALA (LAM.) DE WIT E O SEU CONTROLE”, de autoria do mestrando em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, **Wellerson Juliano Eleutério**, aprovado pela Banca Examinadora de Defesa, em 29/03/2021, com a média de **79,5 pontos**.

Bambuí (MG), 29 de março de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Ronaldo dos Reis Barbosa, Supervisor(a) do Núcleo de Controle e Registro Acadêmico de Pós-graduação**, em 31/03/2021, às 07:12, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Nilma Portela Oliveira, Usuário Externo**, em 31/03/2021, às 07:58, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Augusto Lacorte, Professor**, em 31/03/2021, às 09:01, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **0791855** e o código CRC **4F1B9489**.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Bambuí
Diretoria Geral
Diretoria de Inovação, Pesquisa e Pós-graduação
Coordenadoria de Pós-Graduação
Av. Professor Mário Werneck, 2590 - Bairro Buritis - CEP 30575-180 - Belo Horizonte - MG
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

FICHA DE APROVAÇÃO - retificação

Na Ficha de Aprovação expedida em 29/03/2021, onde se lê: “Dissertação de Mestrado, intitulada “ESTUDO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO EM PROCESSO DE INVAÇÃO POR LEUCAENA LEUCOCEPHALA (LAM.) DE WIT E O SEU CONTROLE”, de autoria do mestrando em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, **Wellerson Juliano Eleutério**, aprovado pela Banca Examinadora de Defesa, em 29/03/2021, com a média de **79,5 pontos**”; **leia-se:** “Dissertação de Mestrado, intitulada “ESTUDO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO EM PROCESSO DE INVASÃO POR LEUCAENA LEUCOCEPHALA (LAM.) DE WIT E O SEU CONTROLE”, de autoria do mestrando em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, **Wellerson Juliano Eleutério**, aprovado pela Banca Examinadora de Defesa, em 29/03/2021, com a média de **79,5 pontos**”.

Bambuí (MG), 27 de junho de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Ronaldo dos Reis Barbosa, Supervisor(a) do Núcleo de Controle e Registro Acadêmico de Pós-graduação**, em 27/06/2021, às 08:23, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Nilma Portela Oliveira, Usuário Externo**, em 07/07/2021, às 09:00, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Augusto Lacorte, Professor**, em 07/07/2021, às 13:37, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Neimar de Freitas Duarte, Docente do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - EBTT**, em 03/08/2021, às 10:00, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **0880319** e o código CRC **F447AB6A**.

E39e Eleutério, Wellerson Juliano.

Estudo para recuperação de área degradada por mineração em processo de invasão por *Leucaena leucocephala* (LAM.) de WIT e o seu controle. / Wellerson Juliano Eleutério. – Bambuí, 2021.

116 f.: il.; color.

Orientador: Prof. Dr. Neimar Freitas Duarte.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2021.

1. *Leucaena leucocephala*. 2. Espécies invasoras. 3. Microbiota do solo. I. Duarte, Neimar Freitas. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 631.46

Ao meu pequeno Francisco.
Ao meu irmão Adriano, que infelizmente
partiu em 2019 sem ver essa conquista.
A Márcia pela paciência e por
tão bem cuidar do nosso pequeno...
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto do Universo pelo dom da vida e por todas as oportunidades e inspirações que sempre me proporcionou;

Ao pequeno Francisco por ser minha motivação diária. Te amo filho!

À minha família, que mesmo sem entender muito bem esse momento, sempre acreditou, respeitou e apoiou nas minhas escolhas;

À Márcia pelos cuidados com o Francisco durante minha ausência para o trabalho e aulas do mestrado;

Aos amigos da área de meio ambiente da Companhia Siderúrgica Nacional – CSN pelo apoio, em especial ao Paulo Moisés pelos campos e participação em algumas aulas/viagens do Mestrado;

Aos amigos de longa data que sempre estão ao meu lado, em especial ao “Gilsão” e ao Ricardo, meus compadres e irmãos do coração, que em tempos sombrios sempre foram um porto seguro;

Aos professores Dr. Neimar Freitas Duarte, Dr. Gustavo Augusto Lacorte e Dra. Ludimilla Portela Zambaldi Lima Suzuki, por terem me orientado e apoiado durante toda a trajetória. Sem vocês eu não conseguiria;

A amiga Dra. Nilma Portela Oliveira pelo carinho, pelas contribuições técnicas e por aceitar prontamente o convite para participação na banca examinadora.

“Ei, senhor de engenho, eu sei bem quem você é,
sozinho cê num guenta, sozinho cê num entra a pé...”

Negro Drama, Racionais MC's.

RESUMO

As invasões biológicas promovem a degradação dos ecossistemas e a redução dos serviços ambientais, apresentando-se como uma das principais causas da perda da biodiversidade. A leucena (*Leucaena leucocephala* Lam. R. de Wit) é uma espécie arbustivo arbórea nativa do México, considerada invasora em diversas partes do mundo, inclusive no Brasil. O objetivo desse trabalho foi estudar a interação biológica da leucena na recuperação de áreas degradadas através da avaliação dos seus efeitos em nutrientes e microrganismos do solo, além de testar diferentes métodos de controle físico-químicos do seu potencial invasor. Foram realizados dois experimentos: i) coleta de amostras compostas de solo em área ocupada predominante pela leucena (tratamento) e áreas ocupadas por pastagem exótica brachiária em regeneração natural (pré-tratamento) e área de Floresta Estacional Semidecidual (controle), descrita no estudo como mata nativa. As amostras de solo foram analisadas em seus parâmetros químicos e biológicos, esse último com foco na diversidade alfa e beta de microrganismos e suas funções metabólicas; ii) realização de delineamento experimental para estudar o controle da espécie em uma área invadida, com aplicação de oito tratamentos e três repetições em blocos casualizados, com uso dos herbicidas picloran+2,4D (288 +1.080 g ha⁻¹), triclopir-butotílico (5 L p.c./ha), glifosato (2,40 kg i.a. ha⁻¹), isolados e os mesmos aplicados posteriormente no toco da planta, após corte raso. Nossos resultados indicaram que: i) a leucena (*L. leucocephala*) não alterou a composição química do solo e da microbiota local na área invadida, apresentando índices de beta diversidade bastante similares aos da área de mata adjacente, e essas por sua vez, diferiram da área de pastagens exótica em regeneração natural; ii) o melhor tratamento é a aplicação de picloram +2,4D sobre os tocos atingindo média de 80% de eficácia no controle. Mesmo em aplicações diretas, sem a realização de cortes, o picloram +2,4D se mostrou mais eficaz que triclopir e glifosato, atingindo bons resultados de controle até aos 60 dias após o tratamento (DAT).

Palavras-chave: *Leucaena leucocephala*. Espécies invasoras. Microbiota do solo. Áreas degradadas.

ABSTRACT

Biological invasions promote the degradation of ecosystems and the reduction of environmental services, becoming one of the main causes of biodiversity loss. *Leucaena leucocephala* Lam. R. de Witt) is a tree species native to Mexico, considered invasive in several parts of the world, including Brazil. This dissertation seeks to understand the biological interaction of the exotic tree species *Leucaena leucocephala* (Lam. De Wit) in the recovery of degraded areas through the evaluation of their effects on soil nutrients and microorganisms, in addition to testing different methods of physical-chemical control of its potential invader. To achieve this objective, two experiments were carried out: i) collection of samples composed of soil in an area predominantly occupied by leucena (treatment) and areas occupied by exotic brachial pasture in natural regeneration (pre-treatment) and an area of Seasonal Semideciduous Forest (control), described in the study as native forest. The soil samples were analyzed for their physical and biological parameters, the latter focusing on the alpha and beta diversity of microorganisms and their metabolic functions. ii) conducting an experimental design to study the control of the species in an invaded area, with the application of eight treatments and three repetitions in randomized blocks, using the herbicides picloran + 2,4D (288 + 1.080 g ha⁻¹), triclopyr-butotyl (5 L pc / ha), glyphosate (2.40 kg ia ha⁻¹), isolated and the same applied later on the plant stump, after shallow cut. Our results indicated that: i) the leucena (*L. leucocephala*) did not alter the chemical composition of the soil and of the local microbiota in the invaded area, presenting beta diversity rates very similar to those of the adjacent forest area, and these in turn, differed the area of exotic pastures in natural regeneration; ii) the best treatment is the application of picloram + 2,4D on the stumps, reaching an average of 80% efficiency in the control. Even in direct applications, without cutting, picloram + 2,4D was more effective than triclopyr and glyphosate, achieving good control results up to 60 days after treatment (DAT).

Key words: *Leucaena leucocephala*. Invasive species. Soil microbiota. Degraded areas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS DO CAPÍTULO 1 – Invasões biológicas e seu efeito atributos químicos e microrganismos do solo

Figura 1 – Mapa das áreas onde foram realizadas coletas de solo para avaliação microbiana	56
Figura 2 – Desenho amostral das áreas de coleta de solo para análise microbiana	57
Figura 3 – Curva de rarefação	61
Figura 4 – Diagrama de ordenação baseado nos eixos 1 e 2 por meio de Análise de Componentes Principais	62
Figura 5 – Boxplot de alfa diversidade por índice e tipologia de solo amostrado	66
Figura 6 – Abundância relativa dos filos bacterianos dominantes para cada amostra de solo acessada	70
Figura 7 – Diagrama de mapa de calor da abundância de famílias dominantes em cada amostra de solo acessado	72
Figura 8 – Mapa de calor baseado na correlação entre as famílias bacterianas mais abundantes e parâmetros químicos do solo	73
Figura 9 – Representação de dissimilaridades Unifrac ponderadas (diversidade β) na estrutura da comunidade bacteriana por biplot de Análise de Componentes Principais (ACP) das áreas estudadas	75
Figura 10 – Diversidade de KO entre as áreas estudadas	76

FIGURAS DO CAPÍTULO 2 – Invasão Biológica e Controle Físico-Químico de leucena (*Leucaena leucocephala* Lam. De Wit).

Figura 1 – Área de estudo com destaque para a proximidade com divisa de Biomas Cerrado e Mata Atlântica, e o mapa de aplicação da lei federal nº 11.428/2006	89
Figura 2 – Altura de plantas de Leucena (m) em diferentes dias após os tratamentos físico-químico	94
Figura 3 – Medida da circunferência do tronco a altura do peito (cm) em diferentes dias após os tratamentos físico-químico	94

FIGURAS DA NOTA TÉCNICA

Figura 1 – Desenho amostral das áreas de coleta de solo para análise microbiana	105
Figura 2 – Altura de plantas de Leucena (m) em diferentes dias após os tratamentos físico-químico	107
Figura 3 – Medida da circunferência do tronco a altura do peito (cm) em diferentes dias após os tratamentos físico-químico	107
Figura 4 – Altura de plantas de Leucena (m) em diferentes dias após os tratamentos físico-químico	109
Figura 5 – Medida da circunferência do tronco a altura do peito (cm) em diferentes dias após os tratamentos físico-químico	110

LISTA DE TABELAS

TABELAS DO CAPÍTULO 1 – Invasões biológicas e seu efeito em atributos químicos e microrganismos do solo

Tabela 1 – Valores médios para os parâmetros da análise química do solo nos três tipos de ambientes avaliados	63
Tabela 2 – Coeficientes de correlação de Pearson entre índices de alfa-diversidade e propriedades do solo	67
Tabela 3 – Abundância relativa média dos filos bacterianos dominantes nas amostras de solo coletas nos três tipos de ambientes	70
Tabela 4 – Tabela de p-valores para o teste PERMANOVA para cada uma das métricas utilizadas para geração das matrizes de dissimilaridade entre as comunidades	75

TABELAS DO CAPÍTULO 2 – Invasão Biológica e Controle Físico-Químico de leucena (*Leucaena leucocephala* Lam. De Wit).

Tabela 1 – Dados expansão de ocupação do solo pela leucena	92
Tabela 2 – Percentual de controle dos diferentes tratamentos aos diferentes dias de avaliação após aplicação	93

TABELAS DA NOTA TÉCNICA

Tabela 1 – Dados expansão de ocupação do solo pela leucena	108
Tabela 2 – Percentual de controle dos diferentes tratamentos aos diferentes dias de avaliação após aplicação	108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP – Análise de Componentes Principais

Al – Alumínio

ASVs – Amplicon Sequencing Variants

B – Boro

C – Carbono

Ca – Cálcio

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

cm³ – Centímetros cúbicos

Cu – Cobre

DAT – Dias Após Tratamento

DNA – Ácido desoxirribonucleico

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ES – Espírito Santo

FBN – Fixação Biológica de Nitrogênio

Fe – Ferro

FMA – Fungos Micorrízicos Arbusculares

FAO – Food and Agriculture Organization

GISP – Global Invasive Species Programme

IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal

IEF – Instituto Estadual de Florestas

IFMG – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais

IUCN – International Union for Conservation of Nature

K – Potássio

KCl – Cloreto de Potássio

KEGG – Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes

KO – KEGG Ontology

L. leucocephala – *Leucaena leucocephala* (Lam) De Wit

MG – Minas Gerais

Mg – Magnésio

Mha – Milhões de hectares

min. – Minutos

mL – Mililitros

Mn – Manganês

Mol – Mol

MO – Matéria Orgânica

MPSTA – Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologias Ambientais

N ou N² – Nitrogênio

P – Fósforo

pH – Potencial de Hidrogênio

P-rem – Fósforo remanescente

PCR – Reação em Cadeia da Polimerase

S – Enxofre

SCOPE – Scientific Committee of Environmental Problems

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

TFSA – Terra fica seca ao ar

UC – Unidade de Conservação da Natureza

Zn – Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	17
2. OBJETIVOS	21
2.1 <i>Objetivo Geral</i>	21
2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	21
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1 <i>Recuperação de Áreas Degradadas</i>	22
3.1.1 <i>Métodos de Recuperação de Áreas Degradadas</i>	23
3.1.2 <i>Uso de leguminosas na Recuperação de Áreas Degradadas</i>	31
3.2 <i>Alelopatia</i>	35
3.3 <i>Leucena</i>	36
3.3.1 <i>Classificação taxonômica e descrição botânica</i>	36
3.3.2 <i>Introdução no Brasil</i>	38
3.3.3 <i>Invasão biológica e efeito alelopático da leucena</i>	39
Referências	42
4. INVASÕES BIOLÓGICAS E SEUS EFEITOS EM ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICRORGANISMOS DO SOLO	51
4.1 <i>Resumo</i>	51
4.2 <i>Abstract</i>	52
4.3 <i>Introdução</i>	53
4.4 <i>Materiais e Métodos</i>	55
4.5 <i>Resultados e Discussão</i>	61
4.6 <i>Conclusão</i>	77
Referências	78
5. INVASÃO BIOLÓGICA E CONTROLE FÍSICO-QUÍMICO DE LEUCENA (<i>Leucaena leucocephala</i> Lam. de Wit)	83
Resumo	83
Abstract	84
Introdução	86
Materiais e Métodos	87
Resultados	90
Discussão	94
Conclusão	95

Referências	96
6. CONCLUSÃO DA DISSERTAÇÃO	100
7. ANEXOS	100
7.1 Nota Técnica	100
7.2 Submissão da Nota Técnica	113
7.3 Análises de Solo	114

1 – INTRODUÇÃO GERAL

Uma mistura cada vez mais complexa de elementos e fatores antropogênicos está levando à perda da biodiversidade global e impedindo o funcionamento dos ecossistemas e sua capacidade de fornecer serviços essenciais. Embora a crescente atenção dispensada à conservação em muitas partes do mundo, a biodiversidade continua a diminuir (BUTCHART et al. 2010).

As invasões biológicas são uma das principais causas de declínio na biodiversidade local e são um fator fundamental para a degradação dos ecossistemas e redução dos serviços ecossistêmicos em todo o mundo (PILE et al., 2017).

Desde a publicação do livro “A Origem da Espécies” (DARWIN, 1859) até os dias atuais, os estudiosos alertam sobre possíveis danos causados pela introdução de espécies não naturais, embora tentativas de demonstrar esses efeitos maléficos na sucessão de plantas produziram resultados conflitantes, pois alguns estudos demonstraram que espécies exóticas de plantas que aparecem nos estágios iniciais são substituídas por espécies nativas no decorrer da sucessão (CRAIG 1993; FRANKLIN et al. 1999; MANNER et al. 1985; YOSHIDA e OKA 2001).

Em outra vertente, estudos com espécies arbóreas exóticas que tem se espalhado por biomas brasileiros, como a *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. (nativa dos Andes), *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne. (nativa da África), demonstram a dificuldade no controle destas espécies, mesmo com alto dispêndio financeiro nas tentativas de combate às invasoras (SILVA et al. 2018). Além destas espécies podemos citar espécies introduzidas como Eucalipto que possui efeito alelopático no sub-bosque e várias Braquiárias que dominam a paisagem de estradas e outras áreas sem utilização (DUARTE, 2005).

Os impactos ambientais de espécies exóticas invasoras variam de acordo com as características biológicas de cada espécie, que definem sua capacidade de adaptação às condições físicas e biológicas locais de cada ambiente no qual a espécie foi inserida. O impacto mais frequente decorre da dominância do meio invadido, o que implica na expulsão de espécies nativas e na redução de populações naturais, por vezes com risco de extinções locais (ZILLER & GALVÃO, 2002).

As espécies invasoras podem também ocasionar a quebra de cadeias tróficas, a alteração de ciclos naturais, de características químicas ou físicas de solos e do equilíbrio hídrico. As plantas exóticas geralmente alteram funções ecológicas fundamentais como produtividade vegetal, cadeias tróficas, ciclagem de nutrientes, distribuição e dominância de espécies em determinadas áreas ou ecossistemas, bem como o porte da vegetação, acúmulo de biomassa e

consequentemente de serapilheira, taxas de decomposição, relações entre polinizadores e plantas. Essas espécies também podem alterar o regime de incêndios e ciclo hidrológico, levando a uma seleção de espécies e ao empobrecimento dos ambientes invadidos (ZILLER, 2007; DECHOUM, 2012).

Existe também o risco de que produzam híbridos a partir de espécies nativas, proporcionando maior potencial invasor, além de que todas as mudanças promovidas por espécies invasoras podem impactar negativamente as atividades econômicas direta ou indiretamente associadas ao uso de recursos naturais em ambientes estáveis, desencadeando alterações na matriz produtiva existente. Esse processo é denominado de contaminação biológica e refere-se aos danos causados por espécies que não fazem parte, naturalmente, de um dado ecossistema, mas que se naturalizam, passam a se dispersar e provocam mudanças em seu funcionamento, não permitindo sua recuperação natural (ZALBA, 2008).

Até a década de 1980 as invasões biológicas eram entendidas e relacionadas apenas aos locais perturbados pelo homem e as alterações generalizadas ocorridas em ambientes naturais, como unidades de conservação não foram percebidas em todo o mundo como uma grande ameaça à biodiversidade. Esse panorama começou a mudar quando um comitê internacional de pesquisa com foco específico em espécies invasoras (Comitê Científico para Problemas do Meio Ambiente – SCOPE em inglês) começou a pesquisar invasões em reservas naturais. Os resultados deste trabalho apareceram em artigos que abordavam a invasão em áreas protegidas localizadas em ilhas, terras áridas, savanas tropicais, florestas secas e em regiões de clima mediterrâneo (MACDONALD e FRAME, 1988; FOXCROFT et al. 2017)

Em um levantamento recente sobre medidas de controle de espécies invasoras em áreas protegidas ao longo de 30 anos, revisitando as áreas estudadas no programa SCOPE, Shackleton et al. (2020) concluíram que as invasões de plantas geralmente pioram e aumentam em número, extensão e ameaça ao longo do tempo, enquanto populações de mamíferos invasores tem apresentado declínio e de répteis e peixes mantidas estáveis no período analisado.

A lista do Grupo de Especialistas em Espécies Invasoras da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN, 2020) mostrou que das 100 espécies mais invasivas do mundo, 36 são plantas e que estas espécies podem afetar seriamente a biodiversidade em todo o mundo.

Dentre as 36 espécies de plantas, a leucena (*Leucaena leucocephala* Lam. De Wit.) se destaca pela grande capacidade de expansão em diferentes biomas podendo se expandir amplamente em reservas naturais e centros de diversidade de plantas ao redor do mundo (WAN; WANG, 2018).

A leucena é uma espécie arbustivo-arbórea originária do México e América Central que teve seu cultivo estimulado em diversas partes do mundo em meados do século passado, principalmente por estar entre as espécies leguminosas de rápido crescimento, fixadoras de nitrogênio. Por isso foi considerada uma alternativa promissora para recuperação da cobertura vegetal e reabilitação de áreas degradadas (FRANCO e FARIA, 1997; RESENDE e KONDO, 2001 apud COSTA e DURIGAN, 2012).

Estas características, somadas a grande tolerância à seca, têm feito que a leucena seja, até os dias atuais, amplamente cultivada também para uso na alimentação animal (ruminantes ou não ruminantes), adubação verde e no controle de plantas daninhas. Ela possui efeitos alelopáticos sobre espécies invasoras de culturas agrícolas como *Desmodium purpureum* (desmódio), *Bidens pilosa* (picão-preto), *Amaranthus hybridus* (caruru), *Sida rhombifolia* L. (guanxuma) e *Ipomoea grandifolia* (Dammer) O' Donell (corda de viola) (SÁ, 1997, MAULI et al., 2009; PIRES et al., 2001).

Existem resultados também dos efeitos alelopáticos da leucena sobre espécies nativas. Em pesquisa com a aplicação do extrato aquoso de folhas e frutos sobre a germinação e crescimento da raiz da espécie arbórea denominada canafistula (*Peltophorum dubium Spreng*), Scherer et al. (2005) concluíram que os extratos de frutos possuem potencial alelopático em qualquer concentração e o de folhas da leucena apenas em concentração de 100%.

Por outro lado, *L.leucocephala* é reconhecida como uma espécie muito eficiente na recuperação das propriedades físicas do solo, particularmente porosidade e densidade aparente, devido à rápida incorporação de húmus em solo mineral (SHELTON e BREWBAKER 1994).

Neste contexto, o objetivo desse trabalho é estudar a interação biológica de *L. leucocephala* em um complexo minero industrial localizado na região Centro Oeste de Minas Gerais.

Optou-se por dividir o trabalho em capítulos, apesar do objeto de estudo ser o mesmo que é a *L. leucocephala*, porém estudou-se aspectos diferentes. Definiu-se por:

Capítulo 1 – Descreveu-se os métodos de recuperação de áreas degradadas e utilizando uma abordagem experimental para avaliar os efeitos de *L. leucocephala* em nutrientes e microrganismos do solo.

Capítulo 2 – Também em abordagem experimental, apresentou um artigo submetido à Revista *Árvore – Brazilian Journal of Forest Science*, onde foram analisados diferentes métodos de controles físico-químicos para a espécie invasora *L. leucocephala*.

Capítulo 3 – Ao final da dissertação é apresentado como produto técnico uma Nota Técnica, direcionada à Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), complexo minero industrial localizado no município de Arcos/MG onde foram desenvolvidos os experimentos.

2 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS

Objetivo Geral

Estudar a interação biológica da *Leucaena leucocephala* (Lam. de Wit) com as comunidades de microrganismos do solo e possíveis métodos de controle em áreas degradadas invadidas pela espécie.

Objetivos específicos

- Avaliar os efeitos de *Leucaena leucocephala* Lam. de Wit em atributos químicos e microrganismos do solo;
- Descrever estratégias de recuperação de área degradadas sobre atributos químicos do solo e diversidade microbiológica, especialmente através do uso de plantas leguminosas;
- Testar diferentes métodos de controle físico-químicos para *Leucaena leucocephala* Lam. de Wit;
- Fornecer à empresa proprietária da área invadida, através de Nota Técnica, sugestão de método mais eficaz no controle à *Leucaena leucocephala* Lam. de Wit e sugestões para recomposição da área invadida.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Recuperação de áreas degradadas

Áreas degradadas são aquelas caracterizadas por solos empobrecidos e erodidos e que apresentam instabilidade hidrológica, produtividade primária e diversidade biológica reduzidas, sendo que a degradação decorre de processos e fenômenos do meio ambiente, naturais ou antropogênicos que prejudicam as atividades de um ou mais organismos. A degradação resulta da desarmonia dos processos envolvidos e o ambiente degradado é aquele que apresenta maior entropia quando comparado com um ambiente equilibrado (PARROTA, 1992).

A degradação dos ecossistemas é resultado de diversos fatores que atuam sobre o solo e sua vegetação, alterando suas propriedades físico-químicas e principalmente biológicas, comprometendo o funcionamento dos sistemas simbióticos, tais como os fungos micorrízicos arbusculares – FMA's (LIMA et al., 2007; SIQUEIRA et al., 2007). A baixa resiliência é uma característica marcante de um ecossistema degradado, pois a sua recuperação pode ser lenta ou até mesmo não ocorrer, o que demanda a intervenção antrópica por meio de práticas de recuperação do solo e conseqüentemente o monitoramento da sua eficácia (LIMA et al., 2007).

As áreas degradadas apresentam poucas interações, com ciclos biogeoquímicos simples. Uma forma de diminuir os custos com o uso de fertilizantes químicos na recuperação de áreas degradadas é melhorar a disponibilidade e uso de nutrientes naturais por plantas, para isto uma das formas é aproveitar o potencial microbiano do solo e/ou a incorporação de microrganismos, os quais possuem a capacidade de interação com as plantas e suas funções metabólicas de interesse, tornando-se uma grande alternativa para desonerar e viabilizar a produção de mudas, diminuindo os custos na recuperação dessas áreas (VIVAN, 1998; KATHOUNIAN, 1999; SANTOS et. al., 2008).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) 28% dos solos do mundo apresentam algum grau de degradação e na América Latina as estimativas são de que 27% de toda a área terrestre seja severamente ou muito severamente degradada. Apenas no Brasil isso equivale a um total de 236 milhões de hectares (Mha) ou aproximadamente quatro vezes à área dedicada às culturas aráveis, sendo que a maior parte da degradação em solos brasileiros se encontra em pastagens plantadas na região central do país (ZIMMER e EUCLIDES, 1997; BOT et al. 2000; BODDEY et al. 2003).

As áreas de mineração representam cerca de 1,2% das áreas degradadas no mundo, enquanto as áreas agrícolas, somadas às áreas de pastagens, representam 69%. Embora a mineração não contribua com uma grande parcela em extensão, se comparada aos demais

agentes degradadores, devido à sua característica locacional pontual, a que se considerar que seus efeitos são drásticos no meio ambiente uma vez que a área de influência indiretamente afetada pode ser muito maior que a área de exploração em si, pois envolve além da área de extração, as áreas de estéreis e rejeitos, provocando alterações sobre a água, o ar, o solo, o subsolo e a paisagem como um todo (DIAS, 1998; KOBİYAMA et. al., 2001; CABRAL et al., 2002).

A Constituição Brasileira, promulgada em 1988, em seu artigo 225, tratou, de forma específica, a exploração e recuperação de áreas degradadas pela Mineração, quando no seu parágrafo segundo estabelece: “Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei” (BRASIL, 1988).

No Brasil em geral, a retirada de áreas de florestas resultou em pastagens de baixíssima produtividade que em muitos locais desenvolveram intensos processos erosivos devido à intensidade das chuvas de verão e essas valas estão se expandindo gradualmente a cada ano, causando uma enorme perda de sedimentos que são depositados em riachos e rios das bacias hidrográficas. O subsolo exposto em voçorocas praticamente não possui matéria orgânica, é muito pobre em nutrientes para plantas e carece de qualquer banco de sementes. Situações semelhantes ocorrem em subsolos expostos por cortes de estradas, terraplanagem em canteiros de obras e atividades de mineração (CHAER et. al., 2011).

O desenvolvimento de projetos de recuperação de áreas degradadas é imprescindível para o restabelecimento do equilíbrio entre o homem e a natureza. Isso só é possível com a incorporação de projetos racionais e menos impactantes que possibilitem o desenvolvimento de forma sustentável (JACOMEL; MARANHO, 2005).

Atualmente, é necessário conciliar áreas produtivas com áreas de conservação, causando assim uma sinergia entre aquelas paisagens dramaticamente fragmentadas. Portanto, para a manutenção da qualidade de vida no planeta, a recuperação de áreas degradadas, principalmente no que diz respeito ao aumento da conectividade entre os fragmentos, tornou-se uma ação vital (REIS et al., 2006).

3.1.1 Métodos de recuperação de áreas degradadas

As estratégias de recuperação de áreas degradadas no território brasileiro, com uso de espécies vegetais exóticas e nativas, inicialmente ocorreram em três modalidades com abordagens distintas. A primeira delas, denominada estratégia do “tapete verde” consistia em um plantio homogêneo que resultava numa rápida cobertura vegetal, porém pobre em

diversidade. A segunda modalidade, se baseia em estratégia mais exigente da sucessão vegetal, resultando em elevada diversidade, porém com estabelecimento vegetal muito lento, permitindo maior exposição do solo e conseqüentemente a erosão. Por fim, uma terceira modalidade, que conjugava as potencialidades das duas abordagens, com a formação de ilhas de diversidade em meio ao “tapete verde”, trouxe a vantagem de acelerar o processo de sucessão ecológica, minimizar os processos erosivos, garantir uma grande diversidade e auto-sustentabilidade do sistema (GRIFFITH; DIAS; MARCO JÚNIOR, 2000).

A recuperação de habitats degradados requer o estabelecimento de um sistema solo-planta autossustentável sendo que o manejo da vegetação é muitas vezes essencial para combater a erosão do solo, restaurar a fertilidade do solo e acelerar processos de recuperação natural (DOBSON et al. 1997; HOLL 1999; LEITÃO et al. 2010; CECCON et al. 2012).

Atualmente existem diversas técnicas para a recuperação de áreas degradadas, sendo que algumas delas envolvem medidas mecânicas como a escarificação e construção de terraços, outras medidas biológicas como o plantio de sementes e/ou de mudas nativas e mais recentemente a bioengenharia do solo ou engenharia biológica que é a combinação de técnicas que usam materiais inertes como ferro, rocha e geotêxteis, com estrutura vivas (SANTOS; HOLANDA, 2013).

A escarificação do solo é realizada para o rompimento de camadas compactadas através do uso de implemento escarificador que promove a desagregação do solo, proporcionando um aumento da macroporosidade e porosidade total, bem como a redução na resistência do solo à penetração, elevando a taxa de infiltração, a capacidade de armazenamento de água e favorecendo o desenvolvimento de raízes (TORMENA et. al., 2002; CAMARA & KLEIN, 2005; REICHERT et al., 2009).

A escarificação deve ser realizada em áreas que não possuam restrições ao uso de máquinas e implementos, até uma profundidade de pelo menos um metro, de forma a diminuir o efeito da água como agente causador de erosão em áreas de recuperação ambiental. Além da escarificação (“ripagem”), a criação de rugosidades e a abertura de pequenas covas de 20 a 30 centímetros interrompem o escoamento das águas pluviais e cria micro-habitats que propiciam a germinação de sementes (BARTH 1989).

A diminuição da rugosidade ao longo do tempo é influenciada pela erosividade das chuvas, a qual é dependente do volume, intensidade pluviométrica e da enxurrada associada às precipitações, bem como pelo tipo e manejo do solo e pelo grau de degradação de suas propriedades físicas. A chuva diminui a rugosidade, pois, ao incidir diretamente sobre o solo, a energia cinética das suas gotas provoca separação das partículas de solo na crista das

microelevações, as quais são depositadas na base das microdepressões do microrrelevo. Assim, as ondulações do microrrelevo tendem a se tornar menos acentuadas ao longo da duração das chuvas (COGO et al., 1984; PAZ GONZÁLEZ & CASTRO, 1996; ELTZ & NORTON, 1997; BERTOL et al., 2006; CASTRO et al., 2006).

A transposição direta de solo ou “*top soil*” é uma técnica em que a camada de solo de um fragmento natural contendo um banco de sementes, propágulos e restos vegetais é transferida para uma área degradada. Esse método de recuperação propicia o aproveitamento do potencial de resiliência (autorregeneração) e da máxima quantidade e diversidade de material vegetal (propágulos, restos de vegetais e animais) disponíveis na camada superficial do solo do remanescente preservado (MARTINS, 2012).

A transposição de solo contendo serapilheira (material vegetal depositado na superfície do solo) contém grande parte do banco de sementes de espécies pioneiras, de nutrientes e de matéria orgânica. Dessa forma, após a germinação, as plântulas encontrarão condições mais adequadas para seu estabelecimento e desencadearão o processo sucessional na área como um todo. A serapilheira ainda produz sombra e retém umidade, criando condições microclimáticas que favorecem a germinação de sementes e o estabelecimento de plântulas (MORAES et. al., 1998; MARTINS, 2007).

O banco de sementes que o “*top soil*” carrega é composto por sementes viáveis, em estado de dormência primária ou secundária, presentes na superfície ou interior do solo, que juntamente com a serapilheira que o recobre, é um importante reservatório de sementes de espécies nativas, matéria orgânica, insetos, mesofauna e microfauna do solo, microrganismos e nutrientes (HARPER, 1977; BRANCALION et. al., 2015).

Os benefícios da transposição direta de solo não se limitam ao aproveitamento das sementes presentes no material transportado, como também de outros propágulos germinativos como rebrota de tocos, raízes e galhos, potencializando o recrutamento de espécies nativas para a área em processo de restauração (BRANCALION et. al., 2015).

Embora os solos tropicais tenham, em geral, baixos teores de nutrientes, são fontes importantes de micronutrientes, tais como zinco, boro, cobre, cobalto e macronutrientes como o potássio. Nesse contexto a presença de microrganismos é da maior importância para o ciclo, a conservação e a absorção dos nutrientes pelas plantas. Embora grande parte da vida microbiana seja destruída durante o armazenamento do solo orgânico, uma quantidade suficiente sobrevive, sendo de grande valor, e decisiva em recuperação das áreas degradadas. A transferência direta do solo orgânico durante a lavra do minério, sem necessidade de

armazenamento, minimiza as perdas microbianas e de nutrientes e maximiza o número de plantas e sementes (BARTH, 1989).

Em paisagens fragmentadas ou áreas degradadas, a sucessão ecológica pode ser prejudicada pela falta de sementes, mas a deposição de sementes pode ser incrementada com o uso de estruturas que atraem pássaros (MCCLANAHAN; WOLF; 1987, 1993). Essas estruturas podem ser naturais, tais como árvores isoladas vivas ou mortas (GUEVARA et al., 1986), e artificiais, como a instalação de árvores secas ou postes de madeira (MCCLANAHAN; WOLF, 1993; GUEDES et al., 1997) distribuídas de forma planejada. Estruturas artificiais podem iniciar um processo de sucessão porque aumentam a composição florística local e adjacente (MCCLANAHAN; WOLFE, 1987; MELO, 1997; REIS et al., 2010), por sua vez aumentando a complexidade estrutural e beneficiando a interação entre plantas e animais (GUEDES et al., 1997).

A construção de poleiros artificiais em áreas degradadas pode contribuir para o incremento no aporte de sementes, porém a presença de poleiros vivos (espécies arbóreas isoladas) constitui numa importante contribuição ao aporte de sementes zoocóricas em meio às áreas abertas e são preferidos pela fauna dispersora quando comparados a poleiros secos ou artificiais (SANTOS e PILLAR, 2007).

Especificamente para plantas dispersas por pássaros, a presença de um ponto focal para pousar em meio à vegetação (por exemplo, poleiros) aumenta a dispersão de sementes e possibilidades de deposição no solo (HOLL, 1998). O número de sementes dispersas sob os poleiros pode ser influenciado pelo número de pontos de aterrissagem (MCCLANAHAN; WOLFE, 1987).

Além das aves frugívoras, outros vertebrados alados como morcegos frugívoros podem contribuir para a dispersão de sementes. Gonzales et al., 2009, em estudo realizado em área de floresta em regeneração nas Filipinas comparando dispersão de sementes florestais por aves e morcegos, com uso de pares de coletores noturnos e diurnos, detectaram que as aves foram os dispersores mais importantes na área investigada e sugeriram que os esforços de restauração devem focar na atração destes dispersores para áreas degradadas. Porém, trabalhos realizados no México detectaram que os morcegos dispersam maior quantidade de sementes e maior quantidade de espécies do que as aves (MEDELÍN e GAONA, 1999) e que existem nítidas diferenças entre algumas espécies de plantas dispersadas no período noturno e no período diurno (GALINDO-GONZÁLEZ et al., 2000).

A sucessão secundária é um método de recuperação de áreas degradadas que se baseia na combinação de grupos com características de espécies de diferentes estágios da sucessão,

separando as espécies em grupos ecológicos com comportamentos semelhantes, principalmente no que diz respeito à necessidade ou não de pequenas ou grandes lacunas em diferentes estágios de desenvolvimento das plantas para sua utilização em plantios mistos (KAGEYAMA e CASTRO 1989).

Segundo Whitmore (1982), as clareiras formadas na floresta são reocupadas por diferentes grupos ecológicos de espécies arbóreas adaptadas para se regenerar em clareiras de diferentes tamanhos. Assim, as espécies podem ser separadas com base em suas respostas às lacunas existentes nas áreas degradadas.

O reflorestamento misto deve ser composto por espécies em diferentes estágios de sucessão, semelhantes às florestas naturais, que são compostas por um mosaico de estágios sucessionais. Esse mosaico de fases estruturais muda constantemente à medida que um estágio é sucedido pelo seguinte, e sua composição florística depende da frequência e do tamanho das clareiras. Esta interpretação mostra que a alta diversidade das florestas tropicais seria muito mais função da diversidade entre lacunas do que propriamente dentro destas e que um plantio de recuperação misto pode ser considerado como um conjunto de grandes clareiras com diferentes composições de espécies, proporcionando a alta diversidade como encontrada em áreas naturais (WHITMORE, 1982).

No estabelecimento de modelos de plantios mistos de espécies arbóreas nativas para recuperação ambiental, independentemente da sua origem, as espécies poderiam ser agrupadas em dois grandes grupos: as Pioneiras (dependentes de luz solar) de crescimento mais rápido e as não Pioneiras (sombreadas) de crescimento mais lento na fase inicial do ciclo de vida. Segundo KAGEYAMA et al., 1994, os modelos de plantios mistos devem basicamente compatibilizar estes dois conjuntos de fornecimento e requerimento de luz. As espécies pioneiras teriam distintas capacidades de sombreamento, assim como as não pioneiras teriam diferentes graus de exigência à luz.

Outro princípio sucessional na revegetação de áreas degradadas é a nucleação, definida como a capacidade de uma espécie em propiciar melhorias significativas nas qualidades ambientais, permitindo um aumento na probabilidade de ocupação deste ambiente por outras espécies (YARRANTO & MORRISOIN, 1974 apud REIS et al., 2003).

A nucleação pode atuar sobre toda a diversidade dentro dos estágios sucessionais envolvendo o solo, os produtores, os consumidores e os decompositores. Entre as técnicas de nucleação estão a transposição de solo, semeadura direta e hidrosemeadura, poleiros artificiais, chuva de sementes, transposição de galharia, plantio de mudas em ilhas de alta diversidade e coleta de sementes com manutenção da variabilidade genética. Acredita-se que a importância

das técnicas nucleadoras está na capacidade de as mesmas refazerem, dentro das comunidades, diferentes nichos ecológicos, associados aos organismos que as compõem (REIS et al., 2003).

As técnicas nucleadoras promovem um aumento de colonização das espécies resultando em uma maior capacidade de restauração da área degradada, aceleram o resgate da estrutura das comunidades, ajudam na reconstituição da funcionalidade dos ecossistemas garantindo uma biodiversidade elevada e uma complexidade de interações. (TRES et al., 2005).

A nucleação representa uma alternativa diferenciada de restauração, uma vez que promove “gatilhos ecológicos” para a formação de comunidades estáveis e permite que os fenômenos eventuais (não normais) através da sucessão natural possam atuar no sentido de integrar a área degradada com os fluxos naturais das áreas vizinhas, facilitando o processo sucessional natural, tornando-se mais efetiva quanto mais numerosos e diversificados forem os núcleos, pois as ações nucleadoras se complementarão no sentido de rapidamente formar uma comunidade mais estabilizada (GRANT, 1980; BECHARA, 2006; REIS et al. 2007).

Destaca-se também que a regeneração natural é um processo importante na recuperação de áreas degradadas e depende em primeiro lugar da disponibilidade de sementes, depois da possibilidade de dispersão e finalmente das condições do meio ambiente para seu estabelecimento. As comunidades vegetais naturais evoluíram ao longo dos séculos, culminando com uma associação ótima para o máximo aproveitamento dos recursos ambientais e do meio, de forma sustentada (SEITZ, 1994).

A utilização de espécies nativas visando à reabilitação de áreas degradadas é uma das melhores alternativas, porém tais espécies precisam ter afinidade com solos, clima e as demais espécies da região (NETO et. al., 2004).

Dentre as vantagens de se utilizar as espécies nativas, podemos citar a contribuição para a conservação da biodiversidade regional, protegendo, ou expandindo as fontes naturais de diversidade genética da flora em questão e da fauna a ela associada, podendo também representar importantes vantagens técnicas e econômicas devido à proximidade da fonte de propágulos, facilidade de aclimação e perpetuação das espécies (SILVA JÚNIOR et. al., 2013).

A proteção vegetal ou revestimento vegetal de áreas degradadas tem a função de minimizar e estabilizar os processos erosivos garantindo assim a estabilidade das estruturas instaladas além de amenizar o aspecto visual negativo causado pela atividade.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1990), a cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão, através de benefícios como a proteção contra o efeito “splash” das gotas de chuvas, barreira natural para dispersão de águas aumentando a evaporação antes

do contato com o solo, maior infiltração de águas através dos canalículos formados a partir da decomposição de raízes, adição de matéria orgânica com conseqüente incremento do solo o que potencializa os efeitos de retenção de água e aumento da superfície de atrito, diminuindo a velocidade de escoamento.

Para o controle do processo erosivo, é importante a presença de espécies vegetais com capacidade de estabelecimento em locais de condição adversa, já que sua existência e vigor dependem da disponibilidade de nutrientes e umidade do solo, fatores que prevalecem em níveis insuficientes nas áreas erodidas (STOCKING, 1982).

De uma forma geral, a atividade que envolve revegetação de áreas requer uma vegetação específica, possuidora de características próprias que possam favorecer seu desenvolvimento nesses locais (SOUZA, 2007).

O conhecimento das espécies vegetais com capacidade de estabelecimento em locais de condições adversas, associadas aos padrões de dispersão e de regeneração natural, é fundamental para o controle dos processos erosivos, ampliando as possibilidades de sucesso nas intervenções direcionadas para a recuperação de áreas degradadas (SEITZ, 1994).

Para Einloft et. al. (1997) esse conhecimento deve considerar as condições de sobrevivência em áreas com pouca fertilidade, vigor de crescimento, disponibilidade de sementes, capacidade de dispersão e eficácia no recobrimento do solo. De acordo com Pereira (2005), essas características constituem fatores edafo-climáticos, ambientais e fisiológicos que se tornam determinantes para o processo de seleção das espécies.

O uso de cobertura herbácea proporciona uma barreira contra deslizamentos de superfície e erosão eólica, podendo ser obtidas através de sementeiras ou por desenvolvimento de raízes. As sementeiras devem utilizar uma combinação de espécies de ciclo anual e de germinação acelerada com espécies de crescimento lento, formando uma proteção de curto e longo prazo (GRAY e SOTIR, 1996).

Antes de se implantar qualquer tipo de cobertura vegetal, devem ser levadas em consideração algumas dificuldades na realização dessa revegetação. Normalmente, esta dificuldade está relacionada ao fato de que o solo não possui uma estrutura primária necessária para o estabelecimento e crescimento das plantas (MANHAGO, 2008).

Para a conservação de taludes, a recomposição vegetal se mostra como a metodologia mais adequada e de maior relevância para bloqueio de processos erosivos como ravinamentos, desmoronamentos de encostas, soterramento e entupimento de calhas de estradas, assoreamento de cursos hídricos etc. Porém determinadas espécies vegetais vão apresentar melhor adaptação a cada tipo de ambiente e de área degradada (SANTANA FILHO et. al., 1997; SOUZA, 2007)

A escolha correta de plantas, para uso em áreas degradadas, erodidas ou áreas instáveis, permite obter sucesso da revegetação e até mesmo de estabilizar áreas que apresentavam instabilidade (PEREIRA, 2005).

A Bioengenharia é uma alternativa interessante na recuperação de áreas degradadas, principalmente em taludes e áreas de erosão, pois promove uma associação de alternativas envolvendo estruturas biodegradáveis como fibras vegetais, estacas vivas, madeira e estruturas rígidas como pedras, concreto, ferro entre outros. Trata-se de uma tecnologia moderna, que envolve grande utilização de produtos de origem vegetal (abundante em países tropicais), com o objetivo de recuperar e controlar processos erosivos em estágios avançados. Comparativamente aos métodos tradicionais de engenharia, este permite minimizar o uso de equipamentos pesados, mão de obra e materiais de preço elevados (PEREIRA, 2001).

A contribuição da utilização de vegetais está principalmente relacionada ao desenvolvimento radicular e do caule dos mesmos, que são utilizados em arranjos geométricos convenientes de modo a formar elementos estruturais e mecânicos que promovem a contenção do solo (retenção de movimentos de terra) e contribuem para a sua proteção, já que melhoram as condições de drenagem reduzindo a velocidade do escoamento superficial e aumentando a parcela de infiltração (PEREIRA NETO, 2012)

De acordo com Couto et. al. (2010) as técnicas de bioengenharia são utilizadas desde o período romano para controlar processos erosivos em taludes e margens de rios, em diferentes partes do mundo, e caíram em desuso após o advento da Revolução Industrial, que popularizou o uso da tecnologia do concreto armado e aço, materiais inertes que inicialmente apresentaram-se baratos e seguros. Essas técnicas antigas de bioengenharia foram retomadas em 1930 por engenheiros americanos com base na vantagem de requerer menor utilização de maquinário e maior utilização de mão de obra braçal com menor qualificação em comparação com as práticas tradicionais de engenharia civil, vantagem que fica mais evidente quando se trata de locais de difícil acesso ou inacessíveis para o maquinário.

A utilização de geossintéticos conhecidos como biomantas e biotêxteis fabricados com uso de algodão, fibra de coco beneficiada, sisal, turfa, trigo, milho entre outros, até materiais sintéticos, compostos por polipropileno, polietileno, náilon entre outras, que podem ser coladas, costuradas ou estruturalmente ligadas a malhas ou redes também se mostram como potenciais protetores da vegetação na redução de processos erosivos, permitindo que a vegetação seja estabelecida em situações adversas (GRAY e SORTIR, 1996; COUTO et al., 2010).

Outras técnicas de bioengenharia são a construção de retentores de sedimentos como gabião, arrimo, paliçadas de madeira e bermalongas, sendo que a contribuição desses

dispositivos se baseia na construção de estrutura para deposição contínua de sedimentos e suavização do escoamento natural do terreno, reduzindo o aparecimento de processos erosivos em maciços. A construção de tais estruturas reduz o volume e força do fluxo de águas sobre leitos e taludes de áreas erodidas ou potencialmente erosivas, minimizando a desestabilização e transporte de sedimentos (PEREIRA NETO, 2012).

3.1.2 Uso de leguminosas na recuperação de área degradadas

A família botânica Leguminosae é uma das mais importantes nos trópicos, apresentando representantes herbáceos, arbustivos e arbóreos distribuídos em mais de 650 gêneros, os quais além da diversidade, desempenham importantes funções como maior disponibilidade e incorporação de matéria orgânica no solo, com conseqüente cobertura da camada superficial e disponibilidade de nitrogênio no ambiente, o que tornam as plantas dessa família botânica eficientes na recuperação de áreas degradadas (RIBEIRO, 1999; FRANCO et. al., 2003).

A maioria das espécies tropicais de árvores leguminosas são capazes de nodular de forma eficaz com rizóbios e essas espécies estão entre todas as subfamílias de leguminosas lenhosas, as quais compõem cerca de 8.000 espécies. A maior subfamília Papilionideae, com aproximadamente 4.000 espécies, também concentra a maioria das espécies nodulantes, seguida por Mimosoideae, porém apenas uma pequena porção das leguminosas Caesalpinoideae são capazes de nodular (DE FARIA et. al. 1989; SPRENT e PARSONS, 2000; LEWIS et. al, 2005; SPRENT 2009).

A pesquisa sobre nodulação de árvores leguminosas no Brasil começou em meados da década de 1960 com a seleção e resposta em campo de *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá ou sansão do campo), uma espécie nativa da Caatinga que se tornou uma das leguminosas arbóreas mais frequentemente plantadas no Brasil, que tem sido amplamente utilizada como cercas vivas, estabilização de paisagens e recuperação de áreas degradadas (DÖBEREINER 1967 apud COSTA et. al. 2011; LORENZI, 2002).

Porém o estudo da fixação biológica de nitrogênio (FBN) no Brasil somente foi intensificado na década de 1980 resultando na identificação de um grande número de espécies nodulantes e de fatores bióticos e abióticos que limitam a nodulação e a FBN. A maioria das pesquisas sobre FBN em árvores leguminosas e seus usos para recuperação de áreas degradadas no Brasil foram realizadas pela equipe da Embrapa Agrobiologia, a qual possui atualmente mais de 5.500 cepas isoladas de espécies de leguminosas lenhosas que apresentam potencial para uso

na recomposição de áreas degradadas (DE FARIA et al. 1984, 1987, 1989, MOREIRA et al. 1992, FRANCO e DE FARIA 1997).

A utilização de leguminosas para recuperar áreas degradadas apresenta várias vantagens, devido à existência de um grande número de espécies que ocorrem em várias regiões do Brasil e à relativa facilidade na obtenção de sementes. Entretanto, a principal preferência pelo uso das espécies leguminosas, se deve à característica especial que elas possuem em relação às outras plantas, que é a capacidade de se associarem com microrganismos do solo, como bactérias fixadoras de nitrogênio, que transformam o nitrogênio do ar em compostos nitrogenados assimiláveis pelos vegetais, podendo tornar a planta parcial ou totalmente independente do aporte externo desse nutriente. Essa associação pode incorporar mais de 500 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N ao sistema solo-planta, o qual, juntamente com o fósforo, são os nutrientes que mais limitam o estabelecimento e o desenvolvimento vegetal (SIQUEIRA & FRANCO, 1988; AZEVEDO et. al. 2007).

Devido à sua capacidade de fixar nitrogênio, as espécies leguminosas têm sido usadas como fonte de N em vários agroecossistemas tropicais incluindo pastagens, campos de plantio direto, silviculturas e agrossilvicultura. Nestes sistemas diversos, o teor de N e de matéria orgânica (MO) do solo aumentaram. A MO é muito importante em solos tropicais, pois desempenha um papel crucial na formação e manutenção da estrutura do solo, fertilidade e nutrientes e disponibilidade de água. Em áreas de pastagens, florestas ou sistemas aráveis sob plantio direto, onde o solo não é regularmente perturbado por intervenções mecânicas, etc., leguminosas fixadoras de N₂ podem desempenhar um papel muito importante papel no aumento do carbono do solo (ou seja, sequestro de CO₂ atmosférico), especialmente em áreas degradadas onde os estoques de C começam em um nível muito baixo (FISHER et al. 1994, TARRÉ et. al. 2001; BODDEY et Al. 2009; SISTI et Al. 2004, BODDEY et al. 2010; RESH et al. 2002, BALIEIRO et al. 2008; HANDAYANTO et Al. 1995; BAYER et al. 2001, CRASWELL e LEFROY 2001, SIX et al. 2002).

As leguminosas são espécies com grande potencial reprodutivo, com poucas exigências nutricionais e que melhoram a fertilidade do substrato por meio da fixação biológica de nitrogênio realizada através de simbiose com bactérias (rizóbios), disponibilizando N para outras plantas. Essas plantas também apresentam raízes com estruturas e profundidades que permitem a estabilização de solos degradados como os encontrados em áreas em processos iniciais de erosão, sendo essa a grande vantagem na utilização de leguminosas (MANHAGO, 2008).

A FBN realizada por rizóbio em simbiose com leguminosa é de grande importância para programas de recuperação de solos degradados, geralmente deficientes em nitrogênio, em virtude da intensa perda de matéria orgânica. As leguminosas também são importantes no processo de estabilização da matéria orgânica do solo, pois para cada 10 unidades de carbono sequestradas há a necessidade de imobilizar, em média, uma unidade de nitrogênio (TRANNIN et al., 2001; SISTI et al., 2004).

O cultivo com leguminosas proporciona não apenas a ocorrência de bactérias fixadoras de nitrogênio como favorece o incremento na população de fungos micorrízicos nativos do solo, os quais em associação com as raízes das plantas, aumentam a sua capacidade de absorção de água e nutrientes. Essas associações favorecem o estabelecimento da cobertura vegetal, funcionando como catalisadoras de importantes funções ecológicas (SIEVERDING, 1991). As plantas fixam C pelo processo de fotossíntese, formando a biomassa vegetal e durante o crescimento das plantas, parte da biomassa produzida retorna ao solo, composta por folhas, galhos e estruturas reprodutivas, constituindo a camada de serapilheira. A ação do processo de decomposição sobre a serapilheira proporciona a ciclagem de nutrientes, que exerce importante papel na reabilitação de áreas degradadas (COSTA et. Al, 2004).

As leguminosas arbóreas têm grande capacidade de geração de biomassa depositada em forma de serapilheira no solo, o que promove mudanças nas substâncias húmicas presentes na matéria orgânica (CANELLAS et. al., 2004; SCHIAVO, 2005). Os efeitos benéficos das leguminosas vão além da fixação de nitrogênio, sendo que algumas espécies apresentam estabelecimento e crescimento satisfatório em áreas de mineração (SÂMOR, 1999; SCHIAVO, 2005; COUTINHO et al., 2006), boa adaptação e rusticidade em ambientes com condições adversas de clima e solo (ANDRADE et al., 2000; GALIANA et al., 2002).

Dentre as leguminosas de maior uso na recuperação de áreas degradadas está a *Mimosa scabrella* Benth, popularmente conhecida por Bracatinga, espécie que apresenta uma grande tolerância climática, ocorrendo em áreas de altitude variando de 400m a 1800m, precipitação entre 1300 mm e 2300mm e faixa de temperaturas entre 12° e 20° C, apresenta uma grande produção de serapilheira (CARPANEZZI, 1992; NAPPO; OLIVEIRA FILHO; MARTINS, 2000; NAPPO; GRIFFITH; MARTINS, 2004; NAPPO; GRIFFITH; MARTINS, 2005).

Estudos demonstraram os efeitos positivos da *Mimosa scabrella* em áreas de empréstimos, em especial na formação de um pequeno horizonte superficial orgânico, diminuição da densidade e aumento da porosidade do solo, além da incorporação de matéria orgânica (REICHMANN NETO; SANTOS, 1982). Regensburger (2000), em pesquisas de recuperação ambiental em área de mineração no município de Doutor Pedrinho (SC),

comparando leguminosas com não leguminosas, concluiu que a bracatinga foi a espécie que apresentou melhor resultado para solos com alto teor de argila e alumínio.

Outras leguminosas bastante utilizadas em estudos de recuperação de áreas degradadas no Brasil são *Gliciridia sepium*, *Acacia auriculiformis*, *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Acacia mangium* e *Sesbania virgata*. Costa et al., 2004 em estudo com as leguminosas *M. caesalpiniiifolia*, *A. auriculiformis* e *G. sepium* mostraram que a queda de serapilheira após 10 anos de plantio em área de decapeamento de solo em Seropédica, Estado do Rio de Janeiro, variou de 5,7 a 11,2 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca. Esses valores não eram muito diferentes daqueles obtidos em uma floresta secundária próxima de 20 anos (9,2 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). A entrada anual de nutrientes em kg ha⁻¹ ano⁻¹ estava na faixa de 130-170 para N, 4,9-7,9 para P, 24-31 para K, 150-190 para Ca e 29-40 para Mg nas áreas reflorestadas, valores semelhantes ou superiores aos observados no local de floresta secundária.

Forrester et. al. (2006) em estudo de revisão de publicações sobre produção de *Eucalyptus globulus* consorciado com leguminosas, verificaram que a produtividade primária foi afetada positivamente em todos os casos, sendo que mesmo sem o aumento específico da produção de biomassa ou grãos do indivíduo, ocorre o aumento percentual de nitrogênio oriundo da capacidade de nodulação e fixação das leguminosas, resultando em incremento à fertilidade do solo.

Severino e Christoffoleti (2001) citam o uso eficiente de leguminosas forrageiras na redução da germinação e da produção de fitomassa seca de gramíneas invasoras. Silva et. al. (2009) também comprovaram a redução da comunidade infestante na cultura do tomateiro devido plantio de entrelinhas com leguminosas forrageiras. Outros resultados positivos também foram obtidos por Fávero et. al. (2001) e Erasmo et. al. (2004).

O consórcio de espécies lenhosas de uso comercial como eucalipto com leguminosas em áreas degradadas, melhora a qualidade biológica do solo e têm potencial de se tornar vantajoso para todas as espécies consorciadas através do aumento da produção total dos povoamentos com base na melhoria das condições edáficas. Essa prática altera as condições e estrutura do solo, incrementando o teor de matéria orgânica e a consequente disponibilidade de nutrientes, promovendo condições fisiológicas e ambientais favoráveis ao desenvolvimento dos indivíduos em consorciação (GAMA-RODRIGUES, 1997).

Estudos de consórcios com diversas espécies de *Eucalyptus* em plantio com leguminosas como *Acacia mangium*, *A. mearnsii*, *Falcataria molucna*, e espécies nativas como *Terminalia amazonica* com *Inga edulis* demonstraram que o crescimento e produção nesses plantios são maiores em comparações com plantios monoculturais das mesmas espécies

(SCHIAVO et al., 2004; FORRESTER et al., 2004, 2005; BINKLEY et al., 2003; NICHOLS et al., 2001).

Contudo, ressalva-se que a seleção de espécies e as práticas de manejo são fundamentais em sistemas consorciados, as quais se não devidamente observadas podem comprometer a produtividade esperada, sendo que Hunt et al., 1999 obtiveram resultados insatisfatórios observados ao consorciarem *Acacia dealbata* e *E. nitens*. Outro ponto de atenção para a recuperação de áreas degradadas refere-se ao uso de espécies exóticas, as quais favorecem a contaminação biológica local, apresentam potencial invasor e podem aumentar a degradação (REIS et al., 2003).

3.2 Alelopatia

A alelopatia é definida como a produção por plantas, algas, bactérias ou fungos de compostos metabólicos secundários como subprodutos de vias metabólicas primárias, denominados aleloquímicos. Esses compostos influenciam no crescimento e desenvolvimento de sistemas biológicos ou agricultáveis, através de ações indiretas que podem incluir alterações de propriedades do solo como seu estado nutricional ou atividades de microrganismos prejudiciais ou benéficos, e diretos como alterações em aspectos da fisiologia vegetal, incluindo a inibição do processo fotossintético em espécies concorrentes (WINTER, 1961; WHITTAKER e FEENY, 1971; IAS, 1996).

Os termos alelopatia e competição, embora ocasionalmente possam ser colaborativos ou complementares, são conceitos totalmente diferentes, (INDERJIT e CALLAWAY, 2003; FERREIRA, 2004). A alelopatia refere-se à interação entre organismos onde determinados indivíduos produzem e liberam substâncias no ambiente capazes de afetar o crescimento de organismos próximos, enquanto a competição envolve a remoção pelos organismos competidores de determinados elementos do ambiente como luz, minerais ou água (DAKSHINI et al., 1999).

Conforme a nova hipótese de armas descrita por Callaway e Ridenour (2004), plantas invasoras têm capacidade de excretarem substâncias novas para as comunidades ocupadas que têm efeitos alelopáticos mais fortes sobre os competidores nativos e a comunidade microbiana, do que em relação aos seus vizinhos naturais que se adaptaram ao longo do tempo.

As interações alelopáticas de plantas, embora sejam conhecidas desde o século 4 AC, apenas foram devidamente observadas pela comunidade científica nos últimos anos e atualmente desempenham um papel fundamental na manutenção da sustentabilidade dos

agroecossistemas, através da adoção de estratégias ambientalmente corretas, como rotação de culturas, cobertura ou supressão de culturas, consorciação, incorporação de resíduos de culturas, cobertura morta e bioherbicidas (SCAVO, et. al., 2018).

3.3 Leucena

3.3.1 – Classificação taxonômica e descrição botânica

O gênero *Leucaena*, pertencente à família Fabaceae–Leguminosae, subfamília Mimosoidae e tribo Mimosae, tem sua origem no México, América Central e sul do EUA, contudo passou por processos de domesticação antes de ser disseminado pantropicamente (BREWAKER, 1978; EVANS, 1993).

De acordo com a Academia Nacional de Ciências dos EUA (NAS, 1997), civilizações pré-colombianas disseminaram o gênero pelo mar do Caribe e ao redor do Golfo do México e a capacidade das espécies se entrecruzarem proporcionou que híbridos de *Leucaena pulverulenta* fossem usados como árvores de sombra na Indonésia já no início do século 20.

Conforme estudos de Hughes (1998) existem 17 espécies diploides e 5 tetraploides de leucena, seis taxa específicos e dois híbridos, com portes variando de arbustivo a arbóreo e alturas que podem atingir 18 metros.

A espécie mais conhecida do gênero, por suas características e importantes usos em países tropicais, é a *Leucaena leucocephala*, indivíduos de porte arbustivo arbóreo e que até o ano de 1961 era conhecida como *Leucaena glauca* (L. Benth), quando Hendrick de Wit publicou na Holanda um estudo que constatou que o nome *Mimosa Glauca* dado por Linnaeus em 1740 apresentava diferenças da planta *L. leucocephala* (Lam.) de Wit em número de estames e características das vagens (HILL, 1969; DRUMOND e RIBASKI, 2010).

As leucenas são espécies perenes de crescimento rápido que necessitam de temperaturas entre 25° e 30° C, o que proporcionou uma boa adaptação ao clima tropical. Os nomes comuns mais utilizados para a espécie são *Acácia frondosa*, *Acácia glauca*, *Acacia leucocephala*, *Leucaena glauca*, *Leucaena latisiliqua*, *Mimosa glauca*, *Mimosa leucocephala*, *Acácia palida*, *Faux acacia*, *Leucaena* e *Leucena* (BREWBAKER, 1978; HUGHES, 1998; INSTITUTO HÓRUS, 2009).

A produção de biomassas e o porte são as principais características que diferem as variedades de leucenas, sendo conhecidas mais de 100 variedades que são agrupadas em três tipos, estes por sua vez, diferenciados de acordo com seus hábitos de crescimento: o tipo

havaiano de porte mais baixo, atinge no máximo 5 metros de altura, porém com florescência precoce de 4 a 6 meses de idade. O tipo salvadorenho tem hábito arbóreo, podendo atingir 20 metros de altura, possui folhas grandes e troncos grossos o que levou a denominação popular de “leucena gigante ou arbórea”. Por fim o tipo peruano que também possui características arbóreas, chegando a 15 metros de altura, porém com ramificações extensas e grande quantidade de folhagens, o que resulta em pouco rendimento lenhoso (BREWBAKER, 1983; DRUMOND e RIBASKI, 2010).

O sistema radicular das leucenas é profundo o que permite um maior alcance de água e nutrientes e conseqüentemente proporciona uma tolerância a uma ampla gama de condições edáficas. A espécie é comumente encontrada crescendo em posição vertical em penhascos e sem qualquer necessidade de tratamentos culturais, e também se desenvolve bem em ambientes neutros ou alcalinos, especialmente calcário (NAS, 1977).

As leucenas possuem folhas bipinadas de 15 a 25 centímetros de comprimento, ráquis pubescentes, com 4 a 10 pares de pinas de 5 a 10 centímetros de comprimento contendo cada uma 5 a 20 pares de folíolos oblongos lineares, agudos e inequiláteros. Possuem estípulas triangulares e glabras de 15 milímetros de comprimento e a inflorescência é globosa, de 2,5 a 3,0 centímetros de diâmetro, solitária, formada de 100 a 180 flores brancas e minúsculas. Os frutos são vagens finas com coloração marrom brilhante, possuindo 12 a 18 centímetros de comprimento e cobertas com minúsculos pelos, quando jovens. Cada vagem contém de 15 a 25 sementes e em um quilograma de sementes de leucena pode conter de 15 a 20 mil sementes (NAS, 1977; DRUMOND e RIBASKI, 2010).

Embora a leucena seja uma espécie perene, ventos fortes, geadas ou secas prolongadas fazem com que suas folhas compostas percam dezenas de pequenos folhetos ou ainda, suas folhas e folhetos se dobrem em resposta ao estresse de umidade, temperaturas frias ou sombreamento. As plantas desenvolvem, ainda muito pequenas, uma raiz principal substancial para alcançar a água antes que a planta jovem sofra os impactos do déficit hídrico (NAS, 1977).

As leucenas se reproduzem por fecundação cruzada tendo como polinizadores uma gama de insetos generalistas, incluindo abelhas. A dispersão de sementes ocorre não apenas por gravidade (barocoria), podendo sobrevir por formigas (mimerocoria) e aves (ornotocoria). A espécie também possui a capacidade de autofecundação, o que proporciona a produção de sementes mesmo por indivíduos isolados. O banco de sementes se mantém viável entre 10 e 20 anos e a espécie apresenta florescência e frutificação durante todo o ano, podendo os indivíduos adultos viverem de 20 a 40 anos (HODKINSON e THOMPSON, 2007; INSTITUO HÓRUS, 2009).

As leucenas são espécies pioneiras heliófitas ou seja, apresentam rápido crescimento, tem capacidade de reprodução sexual e assexuada, pois mesmo após o corte a espécie rebrota sucessivamente. A produção de grandes quantidades de sementes, torna a espécie mais eficiente que as espécies nativas em ambientes impactados ou desprovidos de vegetação nativa, pois formam populações com alta densidade (COSTA e DURIGAN, 2010; RICHARDSON et. al., 2000).

3.3.2 – Introdução no Brasil da Leucena

Segundo Vilela e Pedreira (1976), não se sabe quando houve a introdução de *L. leucocephala* no Brasil, porém o relato mais antigo de introdução data de novembro de 1940, no estado de São Paulo, a partir de sementes oriundas do Serviço Florestal do Rio de Janeiro, realizada pelo Instituto Agrônomo de Campinas.

No Brasil, é possível encontrar *L. leucocephala* em quase todos os estados, porém as maiores ocorrências estão nas regiões Sul e Sudeste, e principalmente em áreas de Caatinga no Nordeste, sendo registradas presença da espécie nos sete estados da região. (LEÃO et. al., 2011). De acordo com o Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental (2021), *L. leucocephala* está distribuída em 21 estados brasileiros: Alagoas, Amazonas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Rondônia, Roraima, Santa Catarina, São Paulo e Sergipe.

Existem ainda relatos da presença em estados não descritos pelo Instituto Hórus, como no Acre a partir de experimentos utilizando leucenas como leguminosa forrageira na alimentação animal (COSTA, et. al., 1979), em Goiás em estudos para identificação de polinizadores e sua influência na produção de frutos (MELO-SILVA et. al., 2014) e no Pará também pela introdução da espécie como forrageira para rebanhos tendo em vista seu alto teor de proteína, grande produção de matéria seca e resistência a secas e pragas (TEIXEIRA NETO et. al., 1978)

Na década de 1970 a espécie foi bastante popularizada na região Nordeste pela Superintendência de Desenvolvimento (SUDENE) em parceria com o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) a partir da distribuição de sementes para realização de cultivos experimentais. A espécie *L. leucocephala* foi registrada por técnicos da EMBRAPA como *L. glauca*, porém as sementes distribuídas pela SUDENE não foram registradas quanto à sua procedência (LIMA, 2005).

A EMBRAPA Semi-árido produziu mudas em Petrolina-PE com sementes doadas pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) oriundas da Paraíba e em 1978 com a criação do Programa Nacional de Pesquisas Florestais, foram introduzidas novas variedades provenientes dos estados do ES e MG (LIMA, 2005).

A leucena é uma das espécies invasoras mais frequentes em ilhas oceânicas no mundo e no arquipélago de Fernando de Noronha também se faz presente desde 1940, onde Batistella (1996) estimou que a espécie ocupava 9% da área terrestre e teria sido favorecida por pressões antrópicas como queimada, corte seletivo de árvores e desmatamento.

A espécie se estabelece após perturbações antrópicas, sendo frequentemente encontrada em áreas degradadas, cultivos agrícolas, pastagens, margens de rodovias e também existem relatos de invasão de bordas de remanescentes florestais e margens de cursos hídricos (IBAMA, 1990; INSTITUTO HÓRUS, 2009).

Os cultivos de leucena no Brasil são realizados com a finalidade de recuperação ambiental e especialmente como planta forrageira. A cultivar australiana Cunningham, originária do cruzamento entre os tipos Salvadorenho e Peruano é a mais plantada no país pela grande capacidade produtiva em solos férteis e por apresentar alta ramificação e baixo porte (COSTA e DURIGAN, 2010; LAZZARINI, 2012).

Em estudo realizado na Regional Pampulha em Belo Horizonte, Bodevan et. al. (2016) mapearam os principais habitats e características de uso do solo de indivíduos adultos de leucena identificando que a espécie ocorre com maior frequência em ambientes de solo seco a pleno sol, bordas de mata secundária, margens de corpos d'água e na beira de estrada.

No município de Arcos, Minas Gerais alguns relatos indicam a introdução da espécie na década de 80 como medida para a recuperação de áreas degradadas por atividades de mineração, sendo que atualmente existem maciços inteiros ocupados pela espécie, além da presença em áreas em regeneração uma Estação Ecológica (UC de Proteção Integral) administrada pelo Instituto Estadual de Florestas- IEF, nas margens de rodovias, lotes e áreas verdes urbanas e propriedades rurais.

3.3.3 – Invasão biológica e efeito alelopático da leucena

Todas as espécies de leguminosas contêm metabólitos secundários gerados como mecanismos de defesa contra o ataque de fungos, bactérias, insetos, pássaros ou em alguns casos produzidos como resultado do metabolismo quando são submetidas às condições de estresse. Entre os metabólitos presentes na maioria das leguminosas estão os taninos,

glicosídeos cianogênicos, vicina e convicina, oligossacarídeo galactosil sacarose, gomas de galactomanana, saponinas, aminoácidos não proteína, neurolaterigênica, análogos de arginina, alcaloides, ácido fítico, proteínas antigênicas e aminoácidos aromáticos; e entre os últimos Mimosina, presente em *L. leucocephala* (BELMAR-CASSO e NAVA-MONTERO, 1995).

A mimosina tem um anel aromático de 3-hidroxi-4- (1H) -piridona (3,4 DHP), composto que desempenha um papel importante na resistência das plantas a uma grande variedade de patógenos, além disso, por ser estruturalmente semelhante à tirosina, permite um comportamento inibitório ou antagônico em muitos processos do qual é intermediário. Cepas do gênero *Rhizobium* presentes em *L. leucocephala* são capazes de degradar pequenas quantidades de mimosina presentes nos nódulos nitrificantes e nos exudados adjacentes às suas raízes (HAMMOND, 1995; SOEDARJO e BORTHAKUR, 1998; NGUYEN e TAWATA, 2016).

A lista do Grupo de Especialistas em Espécies Invasoras (IUCN, 2020) mostrou que das 100 espécies mais invasivas do mundo, 36 são plantas e que estas espécies podem afetar seriamente a biodiversidade em todo o mundo. Dentre as 36 espécies de plantas, a leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.) se destaca pela grande capacidade de expansão em diferentes biomas podendo se expandir amplamente em reservas naturais e centros de diversidade de plantas ao redor do mundo (WAN; WANG, 2018).

As leucenas têm sido amplamente utilizadas em ambientes agroflorestais como fonte de cobertura vegetal rica em nitrogênio para melhorar a qualidade do solo para culturas de rendimento, através de suas capacidades de proporcionarem entradas de nitrogênio, nitrificação do solo, e a amonificação do solo, entre os componentes do ciclo do nitrogênio (READ, et. al., 1985; SMIL, 2000).

Estas características, somadas a grande tolerância à seca, têm feito que a leucena seja, até os dias atuais, amplamente cultivada também para uso na alimentação animal (ruminantes ou não ruminantes), adubação verde e no controle de plantas daninhas, através de efeitos alelopáticos sobre espécies invasoras de culturas agrícolas como *Desmodium purpureum* (desmódio), *Bidens pilosa* (picão-preto), *Amaranthus hybridus* (caruru), *Sida rhombifolia* L. (guanxuma) e *Ipomoea grandifolia* (Dammer) O' Donell (corda de viola) (SÁ, 1997, MAULI et al., 2009; PIRES et al., 2001).

De acordo com Singh et. al. (1999) extratos de folhas e serapilheira de leucenas, mesmo em concentrações baixas como 1% e 2% foram capazes de reduzir a germinação e inibir o crescimento em laboratório de plântulas de milho (*Zea mays*), sendo que os extratos de serapilheira apresentaram maior poder inibitório que folhas frescas.

Conforme estudos de Ishak et. al. (2016), folhas, sementes e raízes de leucenas provaram ser alelopáticos para germinação e crescimento de plântulas das espécies *Ageratum conyzoides*, *Tridax procumbens* e *Emilia sonchifolia*, e os solos infestados com leucena também diminuíram a germinação dessas espécies sugerindo que os aleloquímicos presentes em *L. leucocephala* podem ter sido lixiviados para o solo circundante.

Existem resultados também dos efeitos alelopáticos da leucena sobre espécies nativas, através de pesquisa com a aplicação do extrato aquoso de folhas e frutos sobre a germinação e crescimento da raiz da espécie arbórea denominada canafistula (*Peltophorum dubium Spreng*), na qual se concluiu que os extratos de frutos possuem potencial alelopático em qualquer concentração e o de folhas da leucena apenas em concentração de 100% (SCHERER et al., 2005).

Em estudo realizado na ilha de Fernando de Noronha, Mello e Oliveira (2016) investigaram os potenciais efeitos alelopáticos da leucena na germinação da espécie nativa Mulungu (*Erythrina velutina*) em experimentos realizados em viveiro e campo, com as duas espécies apenas e também com a presença de uma terceira espécie nativa, Feijão-Bravo (*Capparis flexuosa*). Os pesquisadores descobriram que a sobrevivência e crescimento de *E. velutina* foram consideravelmente inibidos pela presença de árvores de leucenas e que o efeito isolado de *C. flexuosa* sobre *E. velutina* variou de neutro a positivo, porém no experimento com a presença de leucenas e *C. flexuosa* os efeitos negativos combinados sobre o mulungu foram piores do que o efeito da presença apenas de leucenas, fornecendo uma nova hipótese de que o equilíbrio das interações entre espécies nativas pode variar de neutro/positivo para negativo na presença de espécies exóticas.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. G.; COSTA, G. S.; FARIA, S. M. Decomposição e deposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpinifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em Planossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 777-785, 2000.
- AZEVEDO, R. L.; RIBEIRO, G. T.; AZEVEDO, C. L. L. Feijão Guandu: uma planta multiuso. **Revista da Fapese**, v. 3, n. 2, p. 81- 86, jul./dez. 2007.
- BALIEIRO, F. C.; ALVES, B. J. R.; PEREIRA, M. G.; FRANCO, A. A.; FARIA, S. M.; CAMPELLO, E. F. Biological nitrogen fixation and nutrient release from litter of the guachapele leguminous tree under pure and mixed plantation with eucalyptus. **Cerne, Lavras**, v. 14, p. 185-193, 2008.
- BARTH, R.C. **Recuperação de áreas degradadas no Brasil**. Boletim técnico.Viçosa. SIF/UFV, 1989. 41p.
- BATISTELLA, M. Espécies Vegetais Dominantes do Arquipélago de Fernando de Noronha: grupos ecológicos e repartição espacial. *Acta Botanica Brasilica*, 10, 223-235.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.1473-1478, 2001.
- BECHARA, F.C. Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga. Tese de Doutorado, Curso de Pós Graduação em Recursos Florestais, ESALQ-USP, Piracicaba. 2006.
- BELMAR-CASSO, R. F. e NAVA-MONTERO, R. N. **Factores antinutricionales en la alimentación de animales monogásticos**. México: FMVZ-UADY; CRUPY-UACH.
- BERTOL, I.; DO AMARAL, A.J. VÁSQUEZ, E. V.; GONZÁLEZ, A. P.; BARBOSA, F. T.; BRIGNONI, L. F. Relações da rugosidade superficial do solo com o volume de chuva e com a estabilidade de agregados em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.543-553, 2006.
- BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Ícone Editora, São Paulo, 1990. p.248-267.
- BINKLEY, D., SENOCK, R.; BIRD, S. Twenty years of stand development in pure and mixed stands of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Facaltaria moluccana*. **Forest Ecology and Management** 182(1):93-102. 2003.
- BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; SOARES, L. H. D. B., JANTALIA, C.; URQUIAGA, S. Biological nitrogen fixation and the migration of greenhouse gas emissions. In: *Nitrogen Fixation in Crop Production*. Eds. D.W. merich and H.B. Krishhnan. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, pp 387-413. 2009

BODDEY, R.M.; XAVIER, D.F.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Brazilian agriculture: the transition to sustainability. **Journal of Crop Production**, v.9, p.593-621, 2003.

BODEVAN, D.I.L.; COELHO, C.W.G.A.; MARQUES, A.R. **Ocorrência da Invasora *Leucaena leucocephala* na Regional Pampulha em Belo Horizonte**. VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Campina Grande/PB – 21 a 24/11//2016.

BOT, A.; NACHTERGAELE, F., e YOUNG, A. **Potencial de recursos da terra e restrições nos níveis regional e nacional**. No. 90. Food & Agriculture Org., 2000.

BRANCALION, P.H.S.; VIANI R.A.G.; RODRIGUES, R.R.; S. Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In: Martins SV, editor. Restauração ecológica de ecossistemas degradados. 2. ed. Viçosa: Editora UFV; 2015.

BRASIL, **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988.

BREWBAKER, J.L. **Systematics, self-incompatibility, breeding systems and genetic improvement of *Leucaena* species**. In: LEUCAENA RESEARCH IN THE ASIA PACIFIC REGION. 1983, OTTAWA. Proceedings. OTTAWA: IDRC, 1983. p.17-22.

BREWBAKER, J. L. **Guide to the systematics of genus *Leucaena* (Mimosaceae)**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1978. 16p.

BUTCHART, S.H.M.; et. Al. **Global Diversity: Indicators of Recent Declines**. Science 28 May 2010: Vol. 328, Issue 5982, pp. 1164-1168

CALLAWAY, R.M.; RIDENOUR, W.M. **Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability**. Front. Ecol. Environ. 2. 436-443. 2004.

CAMARA, R.K. e KLEIN, V.A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **R. Bras. Ci. Solo**, 29:789-796, 2005.

CAMPELLO, E. F. C. A influência de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio na sucessão vegetal em áreas degradadas na Amazônia. Viçosa: UFV, 121p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. 1998.

CANELLAS, L.P.; ESPINDOLA, J.A.A.; REZENDE, C.E.; CAMARGO, P.B.; ZANDONADI, D.B.; RUMJANEK, V.M.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G. & BRAZ-FILHO, R. Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. *Sci. Agric.*, 61:53-61, 2004.

CARPANEZZI, O. T. B. Cultivo da bracatinga (*Mimosa scabrella*) no Brasil e propriedades para o seu aperfeiçoamento. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 7.,1992, Nova Prata. Anais ... Santa Maria: UFSM, p.640-655. 1992.

CASTRO, L.G.; COGO, N.P. & VOLK, L.B.S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **R. Bras. Ci. Solo**, 30:339-352, 2006.

CECCON, G.; STAUT, L. A.; SAGRILO, E.; MACHADO, L. A. Z.; NUNES, D. P.; ALVES, V. B. Legumes and forage species sole or intercropped with corn in soybean-corn succession in Midwestern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 1, p. 204-212, 2012.

CHAER, G. M.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M.; BODDEY, R. M.; SCHMIDT, S. Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. **Tree Physiology**, Oxford, v. 31, p. 139-149, 2011.

COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C. e FOSTER, G.R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 48:368-373, 1984.

COLOZZI-FILHO, A. e CARDOSO, E. J. B. N. Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalária cultivada na entrelinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Vol.35 no.10 Brasília. 2000.

COSTA, G.S.; FRANCO, A.A.; DAMANESCENO R.N.; FARIA, S.M. Aporte de nutrientes pela serapilheira em uma área degradada revegetada com leguminosas arbóreas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 919-927, 2004.

COSTA, J. N. M. N.; DURIGAN, G. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae): invasora ou ruderal?. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 825-833, Outubro, 2010.

COUTO, L. et. Al. Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil. **Boletim Técnico CBCN**. Nº 1. Viçosa, 2010.

CRAIG, R. J. **Regeneration of native Mariana island forest in disturbed habitats**. *Micronesica* 26:99–108. 1993.

CRASWELL, E. T. e LEFROY, R. D. B. The role and function of organic matter in tropical soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61, 7–18 (2001). <https://doi.org/10.1023/A:1013656024633>

DAKSHINI, K.M.M.; FOY, C.L. e INDERJIT. Allelopathy; One Component in a Multifaceted Approach to Ecology.3-14.In Inderjit;Dakshini, K.M.M. & Foy, C.L. **Principles and practices in plant ecology**. Boca Raton, CRC Press. 1999.

DECHOUM, M. S. Métodos e técnicas de erradicação e controle de espécies exóticas invasoras aplicáveis em unidades de conservação: as melhores práticas. Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental. 2009.

DELARIVA, R.L. e AGOSTINHO, A. Introdução de espécies: uma síntese comentada. *Acta Scientiarum*. V. 21, n. 2, p. 255-262. 1999.

DIAS FILHO, M. B. Pastagens cultivadas na Amazônia oriental brasileira: processos e causas de degradação e estratégias de recuperação. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. Recuperação de áreas Desenvolvimento Sustentável Atualidades em 33 Recuperação de Áreas Degradadas degradadas. Viçosa: UFV/Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.135-147.

DOBSON A.P.; BRADSHAW, A.D.; BAKER A.A. Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology. *Science* 277(5325):515–522. 1997.

DRUMOND, M.A. e RIBASKI, J. **Leucena (Leucaena leucocephala): leguminosa de uso múltiplo para o semiárido brasileiro**. Comunicado Técnico 262/142. Embrapa Florestas. 2010.

ELTZ, F.L.F. & NORTON, L.D. Surface roughness changes as affected by rainfall erosivity, tillage and canopy cover. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:1.746-1.755, 1997.

ERASMO, E.A.L. et al. Potencial De Espécies Utilizadas Como Adubo Verde No Manejo Integrado de Plantas Daninhas. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v. 22, n. 3, p. 337-342. 2004.

EVANS, L. T. **The domestication of crop plants**. In: EVANS, L. T. Crop evolution, adaptation and yield. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. p. 62-112.

FAO–UNESCO FAO–UNESCO Soil Map of the World—Revised Legend (Reprint of FAO World Soil Resources Report 60). Technical Paper 20, International Soil Reference and Information Centre, Wageningen. 1988.

FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M. Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 36, n. 11, p. 1355-1362. 2001.

FERREIRA, A.G. Interferência: Competição e Alelopatia. Pp. 251-262. In: Ferreira, A.G. & Borghetti, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre, Artmed Editora. 2004.

FISHER, M.J.; RAO, I. M.; AYARZA, M. A.; LASCANO, C. E.; SANZ, J. I.; THOMAS, R. J.; VERA, R. R. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in South America savannas. *Nature* 371:236-238. 1994.

FORRESTER, D. I.; BAUHUS, J.; KHANNA, P. K. Growth dynamics in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *Forest Ecology and Management* Amsterdam, v. 193, n. 1-2, p. 81-95, 2004.

FORRESTER, D. I.; BAUHUS, J.; COWIE, A. L. On the success and failure of mixed species tree plantations: lessons learned from a model system of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 209, n. 1-2, p. 147-155, 2005.

FORMAN, R.T.T. & GODRON, M. **Landscape ecology**. New York, John Wiley. 1986.

FOXCROFT L.C.; PYŠEK, P.; RICHARDSON, D.M.; GENOVESI, P.; MACFADYEN S. Plant invasions in protected areas: progress and priorities. *Biol Invasions* 19:1353–1378. 2017.

FRANCO, A. A.; FARIA, S. M. The contribution of N₂-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. *Soil Biology Biochemistry*, Oxford, v. 9, n. 516, p. 897-903, 1997.

FRANKLIN, J., D. R.; DRAKE, L. A.; BOLICK, D.; SMITH S.; MOTLEY, T. J. Rain forest composition and patterns of secondary succession in the Vava'u Island Group, Tonga. *J. Veg. Sci.* 10:51–64. 1999.

GALIANA, A. et al. Nitrogen fixation estimated by the ¹⁵N natural abundance method in *Acacia mangium* Willd. inoculated with *Bradyrhizobium* sp. and grown in silvicultural conditions., **Soil Biology Biochemistry** Oxford., v. 34, p. 351-262, 2002.

GALINDO-GONZÁLES, J.; GUEVARA, S.; SOUSA, V. J. Bat and Bird generated seed rains at isolated trees in pastures in a tropical rainforest. **Conservation Biology** 14 (6): 1693-1703. 2000.

GRANT, V. Gene flow and the homogeneity of species populations. **Biologisches Zentralblatt** 99: 157-169. 1980.

HAMMOND, A. C. **Leucaena toxicosis and its control in ruminants**. *J. Anim. Sci.* 73 (5):1487-1492, 1995.

HARPER, J. L. **Population biology of plants**. London, Academic Press, 892p. 1977

HILL, G.D. **Grazing under coconuts in the Marobe District**. Papua New Guinea Agric. J., Port Moresby, 21 (1): 10-2, 1969.

HOLL, K. D. Factors limiting tropical rainforest regeneration in abandoned pasture: seed rain, seed germination, microclimate, and soil. **Biotropica**, 31. 1999.

HUGHES, C. E. *Leucaena: manual de recursos genéticos*. Oxford: Oxford Forestry Institute, 1998. 280 p. (Tropical Papers, 37).

HULME, P. E.; PYŠEK, P.; JAROŠÍK, V.; PERGL, J.; HEJDA, M.; SCHAFFNER, U., VILLÀ, M. **Bias and error in understanding plant invasion impacts**. **Trends in Ecology & Evolution**. Volume 28, pages 212-218. 2013.

IAS – International Allelopathy Society. 1996. Constitution and Bylaw of IAS. Cádiz-Spain, **IAS Newsletter**.

IBAMA-FUNATURA. Plano de Manejo do Parque Estadual Marinho de Fernando de Noronha. Ibama-funatura. Brasília. 1990.

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS. Rede de Bibliotecas. Manual de normalização de trabalhos acadêmicos. Belo Horizonte: IFMG, 2020. Disponível em: <https://www2.ifmg.edu.br/portal/ensino/bibliotecas/manual-de-normalizacao-do-ifmg>. Acesso em: 27 jan. 2021.

INSTITUTO HÓRUS – Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental, Florianópolis – SC. Base de dados de espécies exóticas invasoras do Brasil, <http://bd.institutohorus.org.br/www> Acesso em 27 jan. 2021.

IUCN – Internacional Union for Conservation of Nature. Invasive Species Specialist Group. 2020. Disponível em: <http://www.issg.org/> Acesso em 17 dez. 2020.

ISHAK, M. S.; ISMAIL, B. S. e YUSOFF, N. **Allelopathic potential of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit on the germination and seedling growth of *Ageratum conyzoides* L., *Tridax procumbens* L. and *Emilia sonchifolia* (L.) DC.** *Allelopathy Journal* 37 (1): 109-122. 2016.

KAGEYAMA, P.Y. e CASTRO, C.F.A. Sucessão secundária, estrutura genética e plantações de espécies arbóreas nativas. **IPEF**. Piracicaba n. 41/42, p. 83-93, 1989.

KOBIYAMA, M.; MINELLA, J. P. G; FABRIS, R. Áreas degradadas e sua recuperação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.210, p.10-17, maio/jun. 2001.

LAZZARINI, L.E.S. Avaliação de Dois Genótipos de *Leucena* Cultivadas em Consórcio com Capim Massai no Bioma Cerrado. Dissertação Mestrado – UFMG, Escola de Veterinária. 2012.

LEÃO, T. C. C.; ALMEIDA, W. R.; DECHOUM, M.; ZILLER, S. R. **Espécies Exóticas Invasoras no Nordeste do Brasil: Contextualização, Manejo e Políticas Públicas.** Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste e Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental. Recife, PE. 2011. 99 p.

LEITÃO, F. H. M.; MARQUES, M. C. M.; CECCON, E. Young restored forests increase seedling recruitment in abandoned pastures in the Atlantic rainforest. **Rev Biol Trop** 58(4):1271–1282. 2010

LIMA, P. C. F. *Leucena*. In: KIILL. L. H. P; MENEZES, E. A. (Orgs.). **Espécies vegetais exóticas com potencialidades para o semi-árido.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 157-205, 2005.

MANNER, H. I., THAMAN, R. R.; Hassall; D. C. Plant succession after phosphate mining on Nauru. *Aust. Geogr.* 16:185–195. 1985.

MAULI, M. M. et al. Alelopatia de *Leucena* sobre soja e plantas invasoras *Leucaena* allelopathy on weeds and soybean seed germination. p. 55–62, 2009.

MELLO T.J. e OLIVEIRA AAd. **Making a Bad Situation Worse: An Invasive Species Altering the Balance of Interactions between Local Species.** *PLoS ONE* 11(3): e0152070. doi:10.1371/journal.pone.0152070. 2016.

MELO-SILVA, C.; PERES, M. P.; MESQUITA NETO, J. N.; GONÇALVES, B. B.; LEAL, I. A. B. **Biologia reprodutiva de *L. leucocephala* (Lam.) R. de Wit (Fabaceae: Mimosoideae): sucesso de uma espécie invasora.** *Neotropical Biology and Conservation*, v. 2, n. 9, pág. 91-97, 2014.

METZGER, J.P. Bases ecológicas para a “reserva legal”. **Ciência Hoje** vol. 31, p.48-9.2002.

NAPPO, M.E.; OLIVEIRA FILHO, A.T.; MARTINS, S.V. A estrutura do sub-bosque de povoamentos homogêneos de *Mimosa scabrella* Bentham, em área minerada, em Poços de Caldas, MG. **Ciência Florestal, Santa Maria**, v. 10, n. 2, p. 17-29, 2000.

NAPPO, M.E.; GRIFFITH, J.J.; MARTINS, S.V.; MARCO JR, P.; SOUZA, A.L.; OLIVEIRA FILHO, A.T. Dinâmica da estrutura fitossociológica da regeneração natural em sub-bosque de *Mimosa scabrella* Benth em área minerada, em Poços de Caldas, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 811-829, 2004.

NAS - NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Leucaena promising forage and tree crop for the tropics**. 1. ed. Washington, D. C. 1977. 115p.

NGUYEN, B. C. Q. e TAWATA, S. **The chemistry and biological activities of mimosine: a review**. *Phytother. Res.* 30 (8):1230-1242, 2016.

PARROTTA; J.A. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Leucaena*, tantan. SO-ITF-SM-52. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, New Orleans. 8 p. 1992.

PAZ GONZÁLEZ, A. e CASTRO, M.T.T. Medida del microrrelieve del suelo y estimación de la retención hídrica en depresiones de la superficie. In: Grandal D'Anglade, A. & Pagés Valcarlos, J.L., eds. REUNIÓN DE GEOMORFOLOGIA, 4., La Coruña, p.829-841. 1996.

PIRES, N. DE M. et al. Efeito do extrato aquoso de leucena sobre o desenvolvimento, índice mitótico e atividade da peroxidase em plântulas de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 1, p. 55–65, 2001.

PIVELLO, V. R. Invasões Biológicas no Cerrado Brasileiro: Efeitos da Introdução de Espécies Exóticas na Biodiversidade. *Ecologia. INFO.* 33. 2011

PYŠEK, P.; JAROŠÍK, V.; HULME, P. E. PERGL, J.; HEJDA, M.; SCHAFFNER, U., VILLÀ, M. **A global assessment of invasive plant impacts on resident species, communities and ecosystems: the interaction of impact measures, invading species' traits and environment**. *Global Change Biology* 18, 1725–1737. 2012.

READ, M.D.; KANG, B.T.; WILSON, G.F. **Use of *Leucaena leucocephala* (Lam. de Wit) leaves as nitrogen source for crop production**. *Fert Res;* 8:107-16. 1985; <http://dx.doi.org/10.1007/BF01048894>

REIS, A.; BECHARA, F.C.; ESPINDOLA, M.B., VIEIRA, N.K.; SOUZA, L.L. Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar processos sucessionais. **Natureza & Conservação** 1, p. 28-36, 85-92. 2003.

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

RESH, S. C.; BINKLEY, D.; PARROTA, J. A. Great soil carbon sequestration under nitrogen fixing trees compared with *Eucalyptus* species. **Ecosystems** 5:217-231. 2002.

RICHARDSON, D. M.; PYŠEK, P.; REJMÁNEK, M.; BARBOUR, M. G.; PANETTA, F. D.; WEST, C. J. **Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions**. *Diversity and Distributions.* v. 6, p. 93–107, 2000.

SCAVO, A.; RESTUCCIA, A.; MAUROMICALE, G. Allelopathy: Principles and Basics Aspects for Agroecosystem Control. **In: Sustainable Agriculture Reviews 28**. Ecology for Agriculture. 2018.

SCHERER, L.M.; ZUCARELI, C. A.; ZUCARELI, V. FORTES, A. M. T. Allelopathic effects of aqueous extracts of leucena (*Leucaena leucocephala* Wit) leave and fruit on germination and root growth of canafistula (*Peltophorum dubium* Spreng). *Semina: Ciências Biológicas e Saúde* 26(2):161-166. 2005.

SCHIAVO, J. A. Revegetação de áreas degradadas pela extração de argila, com espécies micorrizadas de *Acacia mangium*, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis* 2005. Tese 117 p. (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes, 2005.

SHACKLETON, R. T.; FOXCROFT, L. C.; PYŠEK, P.; WOOD, L. E., RICHARDSON, D. M. Assessing biological invasions in protected areas after 30 years: Revisiting nature reserves targeted by the 1980s SCOPE programme. **Biological Conservation**, v. 243, march. 2020.

SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn: Technical Cooperation, Federal Republic of Germany, 371p. 1991.

SOEDARJO, M. e BORTHAKUR, D. **Mimosine, a toxin produced by the tree-legume *Leucaena* provides a nodulation competition advantage to mimosine-degrading *Rhizobium* strains**. *Soil Biol. Biochem.* 30 (12):1605-1613, 1998

SINGH, H. P.; BATISH, D. R.; KOHLI, R. K. **Allelopathic effect of *Leucaena leucocephala* on *Zea mays***. *Journal of Tropical Forest Science*, Vol. 11, No. 4. 1999.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R. A.; ALVES, R. A.; URQUIAGA, B. J. R. S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of a conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil Till. Res.* 76:39-58. 2004.

SMIL V. **Cycles of Life**. Scientific American Library. New York: 2000.

TARRÉ, R. M.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R. B.; RESENDE, C. P.; FERREIRA, J. M.; ALVES, E.; URQUIAGA, B. J. R. S.; BODDEY, R. M. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels soils in under brachiaria pastures in the Atlantic Forest region of the South of Bahia, Brazil. *Plant Soil* 234: 15-26. 2001.

TEIXEIRA NETO, J. F.; VEIGA, J. B. da; AZEVEDO, G. P. C. de; CAMARÃO, A. P. **Produção de gramíneas e leguminosas forrageiras no Estado do Pará**. In: Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Belém: Anais, 1978. p. 377.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S. & GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Sci. Agric.*, 59:795- 801, 2002.

VILELA, E.; PEDREIRA, J.V.S. Efeitos de Densidades de Semeadura e Níveis de Adubação Nitrogenada no Estabelecimento de *Leucaena leucocephala* Lam. de Wit. **Boletim Indústria Animal**, Nova Odessa – SP. 1976.

VILLÀ, M.; ESPINAR, J. L.; HEJDA, M; HULME, P. E.; JAROŠÍK, V.; MARON, J. L.; PERGL, J.; SCHAFFNER, U., SUN, Y.; PYŠEK, P. **Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems.** Ecology Letters, 14: 702–708. 2011.

WAN, J.-Z.; WANG, C.-J. Expansion risk of invasive plants in regions of high plant diversity: A global assessment using 36 species. Ecological Informatics, n. 2017, p. #pagerange#, 2018.

WHITTAKER R.H.; FEENY P.P. **Allelochemicals: chemical interactions between species.** Science, 757–770. 1971.

WINTER AG. **New physiological and biological aspects in the interrelationships between higher plants.** Symp Soc Exp Biol 15:229–244. 1961.

YOSHIDA, K. e OKA, S. **Pattern of secondary succession in anthropogenic habitats on Miyako-jima Island, the Ryukyu Islands, north-western Pacific.** Geogr. Rep. Tokyo Metropolitan Univ. 36:1–10. 2001.

ZALBA, S.M.; MONDIN, C.A. & ZILLER, S.R. Plantas Invasoras na Floresta com Araucária: novas espécies, novos impactos, novos desafios. In: Floresta de Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável. Editorial UNISINOS, Porto Alegre, Brasil. 2008.

ZILLER, S.R., ZALBA, S.M. & DUDEQUE ZENNI, R. Modelo para el desarrollo de una estrategia nacional para el manejo de especies exóticas invasoras. Programa de Especies Exóticas Invasoras para Sudamérica, The Nature Conservancy - Programa Global de Especies Invasoras (GISP). Curitiba, Brasil. 61 pp. 2007.

ZILLER, S. R. e GALVÃO, F. A degradação da estepe gramíneo-lenhosa no Paraná por contaminação biológica de Pinus elliottii e P. taeda. FLORESTA, Curitiba, PR, v. 32, n.1, p. 41-47, maio-2002.

ZIMMER, A.H. e K.F. EUCLIDES. **As pastagens e a pecuária de corte brasileira.** In Proceedings of an International Symposium on Animal Production under Grazing. Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, pp 349–379. 1997,

4. Invasões por leucenas e seu efeito em atributos químicos e microrganismos do solo

4.1 Resumo

Mudanças nas características bioquímicas e biológicas do solo como carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, atividades enzimáticas, respiração basal e diversidade podem sinalizar mecanismos de degradação ou recuperação do solo, funcionando como indicadores ambientais importantes e rápidos no monitoramento de mudanças no meio ambiente. Essa dissertação teve como objetivo avaliar possíveis alterações em atributos químicos e microrganismos do solo pela espécie arbórea exótica Leucena (*Leucaena leucocephala*) em uma área de invasão monoespecífica, comparando áreas de pastagem exótica (braquiária) em regeneração natural e vegetação nativa. (Floresta Estacional Semidecidual) em Arcos, Minas Gerais. O sequenciamento de alto rendimento do gene 16S rRNA foi usado para acessar a estrutura das comunidades bacterianas do solo, e uma ampla gama de medições de parâmetros químicos do solo para realizar uma abordagem comparativa, para acessar as diferenças nas comunidades microbianas e para correlacionar os dados químicos locais do solo nos três sistemas de uso da terra. Nossos resultados demonstraram que áreas com ocorrência de leucena apresentam diferenças consideráveis nos nutrientes do solo (P, Cu, Fe e Mn), porém não afetaram a microbiota local da área invadida, apresentando índices de diversidade beta, ou seja, a composição bacteriana e consequente metabolismo diversidade, muito semelhante à área de mata nativa, e estas por sua vez, diferiam da área de pastagens em regeneração.

Palavras-chave: *Leucaena leucocephala*. Espécies invasoras. Microbiota do solo. Áreas degradadas.

4.2 Abstract

Changes in soil biochemical and biological characteristics such as carbon and nitrogen from microbial biomass, enzymatic activities, basal respiration and diversity can signal mechanisms of soil degradation or recovery, functioning as important and fast environmental indicators in monitoring changes in the environment. The present study aimed to evaluate possible changes in chemical attributes and soil microorganisms by the exotic tree species *Leucaena* (*L. leucocephala*) in a monospecific invasion area, comparing areas of exotic pasture (brachiaria) in natural regeneration and native vegetation. (Seasonal Semideciduous Forest) in Arcos, Minas Gerais. High-throughput sequencing of the 16S rRNA gene was used to access the structure of soil bacterial communities, and a wide range of measurements of soil chemical parameters to perform a comparative approach, to access differences in microbial communities and to correlate the local physical-chemical management of the soil in the three land use systems. Our results demonstrated areas with *leucaena* occurrence feature considerable differences in soil nutrients (P, Cu, Fe and Mn), however they did not affect the local microbiota in the invaded area, presenting beta diversity indexes, that is, the bacterial composition and consequent metabolic diversity, very similar to the native forest area, and these in turn, differed from the area of regenerating pastures.

Key words: *Leucaena leucocephala*. Invasive species. Soil microbiota. Degraded areas.

4.3 Introdução

Os organismos diazotróficos de bactérias ou domínios *Archaea* são responsáveis pela fixação biológica de nitrogênio e apenas alguns procariontes são capazes de usar nitrogênio atmosférico através da enzima nitrogenase que catalisa a conversão de gás N² em amônia NH³. Para se obter sucesso no sistema de fixação de nitrogênio é necessária uma interação sincronizada entre as espécies microbianas e a planta hospedeira (FRANCHE, et. al., 2009; SANTI, et. al., 2013).

Algumas árvores fazem associação apenas com uma categoria de microrganismos, por exemplo *Leucena leucocephala* (com poucas exceções) ou *Sesbania grandiflora* formam nódulos apenas com *Rhizobium* (sensu stricto). Já *Acacia meamsii* ou *Acacia albida* nodulam apenas com *Bradyrhizobium*, existindo ainda um terceiro grupo de plantas que formam nódulos tanto com *Rhizobium* quanto com *Bradyrhizobium* como *Acacia seyal* (STEPPLER e RAMACHANDRAN NAIR; 1987).

Embora as leguminosas apresentem grande potencial na recuperação dos atributos físico-químicos e biológicos do solo, e no Brasil tenhamos um grande número de espécies leguminosas nativas, grande parte dos projetos de recomposição de áreas degradadas em solo nacional têm sido realizados com espécies não nativas, as quais apresentam potencial de modificação estrutural e descaracterização de fisionomias, causando sérios danos à biodiversidade se tornando espécies invasoras no locais onde são introduzidas (MIYASAKA, 1984; MARTINS, 2001; PIVELLO, 2005; MARTINS, 2006).

As leucenas são altamente adaptáveis a muitas condições de estresse ambiental, incluindo pH's de solos alcalinos e ácidos e áreas de escassez hídrica o que possibilita, devido à sua capacidade de fixação de nitrogênio e sistema radicular profundo, condições de crescimento e desenvolvimento em solos de encostas erodidas e montanhas (BREWBAKER, 2016; HONDA et. al., 2018; ISHIHARA et. al., 2018; BAGEEL et. al., 2020)

As plantas invasoras geralmente escapam dos herbívoros especializados de suas áreas nativas, embora possam sofrer danos de herbívoros generalistas e ainda assim apresentam potencial de desenvolver maior resistência e tolerância aos danos causados por esses generalistas através de mecanismos de evolução. Estudos observacionais sugerem que espécies de plantas invasoras afetam a comunidade de artrópodes herbívoros com potencial de permear pelas redes tróficas para influenciar a abundância de predadores, porém poucos estudos abordaram ou quantificaram esses efeitos nos níveis tróficos mais altos (LIAO et. Al. 2013; LAU, 2012).

Plantas invasoras também podem obter sucesso na colonização de novas áreas através do mecanismo de alelopatia, fenômeno onde uma planta, rica em fonte de metabólitos secundários (aleloquímicos) produzidos como subprodutos do metabolismo primário, utiliza estes compostos para modificação do sistema ambiental de outras plantas que crescem nas suas proximidades, podendo ser definida também como o efeito prejudicial de produtos ou exsudatos químicos produzidos por uma espécie vegetal na germinação, crescimento ou desenvolvimento de outras espécies vegetais que compartilham o mesmo habitat (NANDAL et. al., 1994; CHEEMA et. al. 2005; BELEL e RAHIMATU 2012).

A liberação de “fitotoxinas por plantas” tem sido considerado um mecanismo de sucesso de plantas invasoras devido aos efeitos das toxinas no crescimento e nos processos biológicos de outras espécies na comunidade. Por essa razão, a alelopatia tem recebido cada vez mais atenção dentro dos estudos de invasões biológicas (BAIS et. al., 2003; HIERRO e CALLAWAY, 2003; NEGI et. al., 2016).

Com o crescimento das plantas, os exsudatos radiculares, incluindo compostos específicos e fitoquímicos, afetam a diversidade e estrutura da comunidade microbiana da rizosfera em diferentes estágios e em troca as rizobactérias promotoras do desenvolvimento vegetal colonizam de forma específica e eficaz o solo ao redor das raízes, o que maximiza a absorção de nutrientes, promove o crescimento e confere resistência aos fatores abióticos (PII et. al., 2015).

O mecanismo alelopático também pode ocorrer de forma não intencional, quando os fitoquímicos afetam uma planta apenas por coincidência podendo alterar as condições ambientais a partir da liberação de grandes quantidades de exsudatos os quais permanecerão por mais tempo no solo ou em menores quantidades de forma a serem degradados mais rapidamente (AN et. al., 2002). Uma mutação ou uma série de mutações podem alterar a qualidade ou quantidade de produtos químicos liberados e como resultado, essa ferramenta química pode se tornar eficaz na competição com outras plantas (CHOESEN e BOERNER, 1991; NILSSON et. al., 2000).

Uma planta pode se desenvolver em um novo ambiente onde os efeitos dos fitoquímicos liberados não são os mesmos que em seu ambiente natural e mudanças nas relações alelopáticas de uma espécie podem ocorrer se houve a colonização de novas comunidades de plantas ou de uma nova área geográfica. Nesses locais, os microrganismos do solo podem degradar fitoquímicos liberados de espécies exóticas com menos eficiência do que dentro de suas áreas de distribuição ou vegetação naturais, podendo não ter a capacidade de tolerar os novos compostos gerados (CALLAWAY e ASCHEHOUG, 2000).

De acordo com Lorenzo et. al. (2013) a interação entre novos aleloquímicos e microrganismos do solo somente começaram a ser estudada recentemente, embora a microbiota do solo seja um fator importante na determinação da estrutura e dinâmica de comunidades de plantas e podem ser afetadas por espécies invasoras. Entre os efeitos que os fitoquímicos podem causar em microrganismos estão o acúmulo de patógenos fúngicos locais na rizosfera, alterações nas comunidades microbianas de solos de pastagens, inibição da associação fungo-micorrízica (SHI et. al., 2011; WOLFE et. al., 2008; CANTOR et. al., 2011).

A comunidade microbiana do solo é diversa e sua composição varia muito no espaço e no tempo, dinâmica associada à rápida resposta às alterações ambientais que a torna um importante bioindicador da qualidade de solos, além de que sua presença pode modificar muito os efeitos alelopáticos de algumas plantas, e às vezes os próprios microrganismos benéficos parecem ser afetados negativamente de forma direta por compostos alelopáticos (CANNAVAN, 2011; CIPOLLINI et. al., 2012).

As modificações em características bioquímicas e biológicas do solo como carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, atividades enzimáticas, respiração basal e diversidade podem sinalizar mecanismos de degradação ou recuperação do solo, funcionando como importantes e rápidos indicadores ambientais no monitoramento de alterações no ambiente (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007; CARVALHO et. al. 2012).

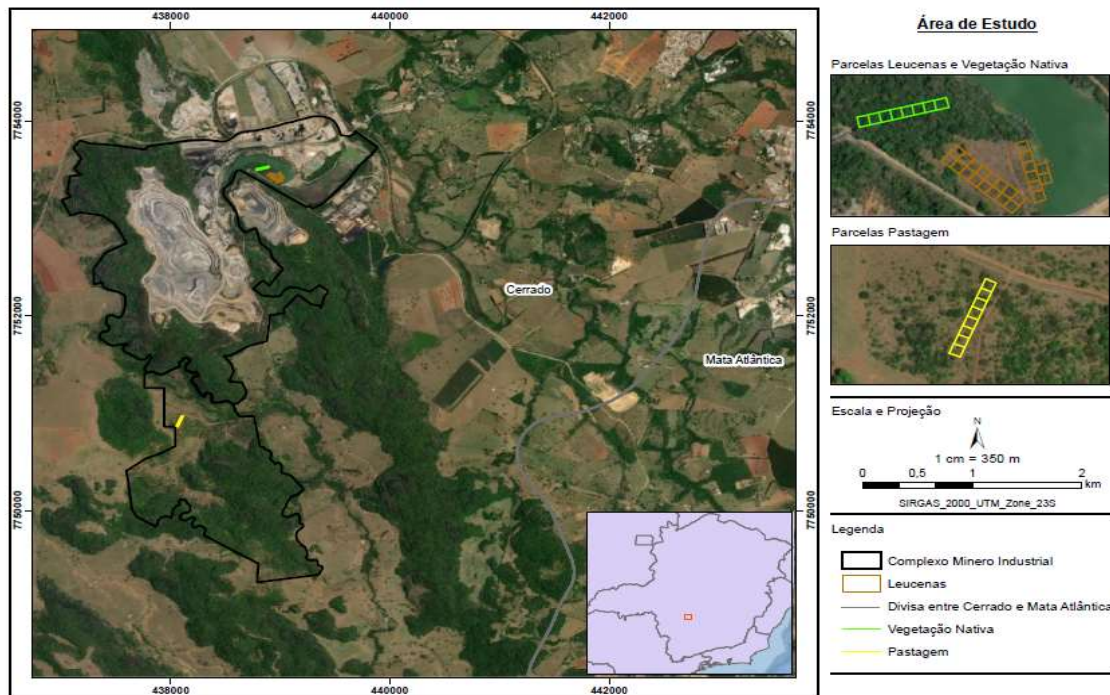
O presente estudo teve como objetivo avaliar possíveis alterações em atributos químicos e microrganismos do solo pela espécie arbustivo arbórea exótica leucena (*L. leucocephala*) em uma área de invasão monoespecífica, tendo como comparação áreas de pastagem exótica (braquiária) em regeneração natural e vegetação nativa (Floresta Estacional Semidecidual) no município de Arcos, Minas Gerais.

4.4 Materiais e Métodos

Área de estudo e amostragem

A abordagem para avaliar as alterações na comunidade microbiana consistiu em comparar a estrutura (taxômica e funcional) de bactérias presentes no solo de três áreas distintas, sendo a área controle ocupada por vegetação nativa da fisionomia Floresta Estacional Semidecidual, área pré-tratamento ocupada por pastagem exótica (braquiária) em regeneração natural e área tratamento ocupada pela espécie invasora arbustivo arbórea leucena (*Leucaena leucocephala* LAM. de Wit) , localizadas dentro de duas propriedades que compõem um complexo minero industrial no município de Arcos/MG (fig. 1).

Figura 1 - Mapa das áreas onde foram realizadas coletas de solo para avaliação microbiana.



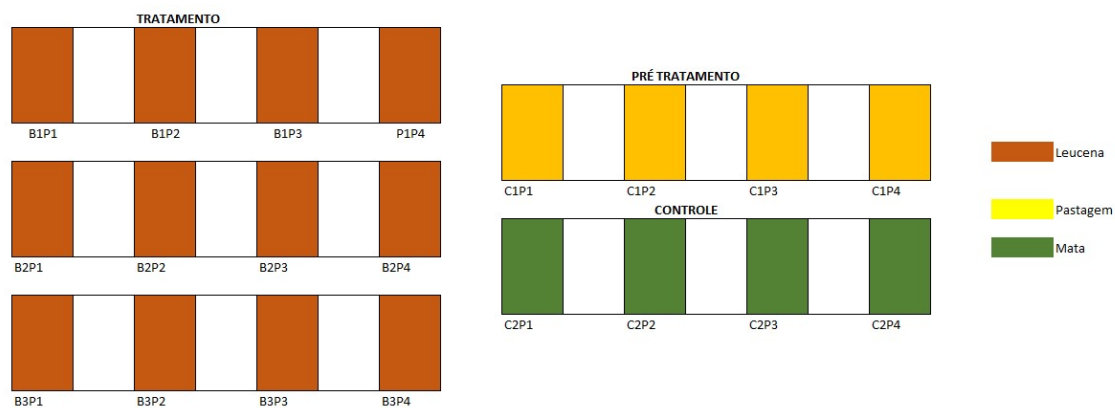
Fonte: Autor, 2020.

A área ocupada por leucena (tratamento) foi dividida em 3 blocos amostrais com 8 parcelas de 15m x 15m em cada bloco. Em cada bloco foram coletas 4 amostras compostas de solo, resultando nessa área em um total de 12 amostras, as quais foram homogêneas, e receberam a codificação “B” para bloco e “P” para parcela, ou seja, a amostra B1P1 refere-se ao “Bloco 1-Parcela 1” e assim sucessivamente até B3P4 (Bloco 3-Parcela 4”).

A área ocupada por pastagem braquiária em regeneração natural foi denominada de “pré-tratamento”, enquanto a área ocupada por vegetação nativa foi descrita como “tratamento” e também seguiram a mesma divisão de parcelas e amostragens, recebendo respectivamente as letras “C1” e “C2” como indicação de “áreas controles”, sendo 1 bloco e 4 amostras compostas de solo em cada área (C1P1 até C1P4 e C2P1 até C2P4).

Dessa forma, o estudo foi elaborado com base em 20 amostras compostas de solo nos cinco blocos citados, conforme desenho amostral na fig. 2.

Figura 2 - Desenho amostral das áreas de coleta de solo para análise microbiana.



Fonte: Autor, 2020

As amostras coletadas foram coletadas em outubro/2020 e armazenadas em sacos plásticos comerciais utilizados para o armazenamento de alimentos em geladeiras ou freezers e seguiram para o Laboratório de Biologia Molecular do IFMG – Campus Bambuí onde foram mantidas resfriadas. Foram separados 0,25 mg de solo de cada uma das 20 amostras para realização da extração de DNA, amplificação por PCR e sequenciamento de alto rendimento.

Análises químicas de solo

A caracterização dos fatores abióticos do solo nas áreas estudadas pode auxiliar no entendimento de possíveis variações nas comunidades de microrganismos, as quais poderão ser afetadas pela disponibilidade ou deficiência de determinados elementos químicos, servindo como um indicador de degradação ou conservação do solo, além de permitir uma comparação entre as amostras estudadas (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

As 20 amostras de solo foram encaminhadas para o Laboratório de Solos do Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG Campus Bambuí e submetidas a análises físicas e químicas de parâmetros como matéria orgânica (MO), pH (H₂O), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), enxofre (S) além da capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva, parâmetros que podem ser relacionados com o metabolismo dos microrganismos do solo.

O pH foi medido por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo: água, na proporção 1:2,5. Os cátions trocáveis (Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺) foram obtidos utilizando-se uma solução extratora, em que o método do KCl 1 mol/L é o preferencial. Esses cátions adsorvidos são então analisados por métodos volumétricos, de emissão ou absorção atômica. O fósforo e o potássio disponível utilizam o extrator Mehlich-1 (HCl 0,05 mol/L + H₂SO₄ 0,0125 mol/L), a

relação 10 cm³ TFSA: 100 ml extrator, 5 min de agitação e decantação por 16 h. A acidez potencial (H + Al) é extraída pelo método Ca(OAc)₂ 0,5 mol/L, pH 7, na relação 5 cm³ TFSA: 75 ml extrator, 10 min de agitação e decantação por 16 h. Extração da acidez potencial do solo com acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e determinação volumétrica com solução de NaOH em presença de fenolftaleína como indicador, conforme previsto por Teixeira et al., (2017) e Ribeiro et al., (1999).

A amostra de solo contendo matéria orgânica foi submetida ao processo de combustão com aquecimento programado e perda de massa pela incineração em mufla. O teor de MO foi quantificado pela diferença entre a massa do solo seco em estufa e a massa do resíduo obtido após a incineração em mufla. A extração de B foi realizada pelo método água quente. A água deionizada, adicionada a 10 cm³ TFSA, acondicionados em saco grosso de polietileno com 0,4 g de carvão ativado, 20 ml H₂O e aquecendo por 4 min a 630 W ou por 5 min a 450 W de emissão de ondas, em forno de micro-ondas. O S disponível é extraído pelo método Hoefl et al., com Ca(H₂PO₄)₂, 500 mg/L de P, em HOAc 2 mol/L (Hoefl et al., 1973), a 10 cm³ TFSA adicionar 0,5 g de carvão ativado e 25 ml de extrator. Agitar 45 min, decantar 5 min e filtrar em papel de filtração lenta. A extração de Zn, Mn, Fe e Cu disponíveis é feita em conjunto com P e K disponíveis utilizando a solução extratora de Mehlich-1 (HCl 0,05 mol/L + H₂SO₄ 0,0125 mol/L).

Extração de DNA, amplificação por PCR e sequenciamento de alto rendimento

O DNA genômico total foi extraído das amostras de solos usando um kit DNeasy PowerSoil (Qiagen, Hilden, Alemanha) de acordo com o protocolo do fabricante. As amostras foram processadas logo após saírem da etapa de coleta. A concentração de DNA foi estimada em um espectrofotômetro NanoDrop (Thermo Scientific, CA, EUA) e armazenada a -20°C para posterior análise.

A diversidade microbiana de cada amostra de solo foi analisada por sequenciamento de alto rendimento a partir de fragmentos das regiões V3-V4 amplificada do gene 16S rRNA usando os primers 314F e 806R, seguindo as diretrizes estabelecidas pelo Earth Microbiome Project (Gilbert et al., 2014). As amplificações por PCR foram realizadas em triplicatas usando primers personalizados contendo adaptadores Illumina e sequências de código de barras distintas para que cada amostra de DNA amplificada incluísse uma combinação diferente de códigos de barras para distinguir as bibliotecas após a etapa de sequenciamento (Gilbert et al., 2014).

Todas as reações de PCR foram realizadas usando a mistura de reação de PCR otimizada OneTaq® Hot Start Quick-Load® 2X Master Mix com GC Buffer (New England Biolabs), com o seguinte programa de termociclagem PCR: 94 ° C por 3 min; 25 ciclos de 94 ° C por 45 s / 50 ° C por 60 s / 72 ° C por 90 s; 72°C por 10 min. As reações finais de PCR foram limpas usando esferas AMPure XP (Beckman Coulter, Brea, CA) e quantificadas com ensaios de dsDNA Picogreen (Invitrogen, EUA). Em uma tentativa de normalizar a etapa de sequenciamento, quantidades iguais de produtos de PCR de cada amostra (50 ng / amostra) foram reunidas. O PCR agrupado foi submetido a eletroforese em gel de agarose a 1% para purificação por isolamento das bandas de PCR (300-500 bp) usando uma lâmina estéril. As bandas de PCR agrupadas foram purificadas a partir de gel de agarose com NucleoSpin™ Gel e PCR Clean-up Kit (Macherey-Nagel™, Alemanha) e quantificadas por um fluorômetro Qubit® 2.0 (Thermo Scientific, CA, EUA). PCR agrupado foi submetido a sequenciamento de extremidades emparelhadas (2x250 bp) em uma plataforma MiSeq (Illumina, San Diego, CA, EUA) com um MiSeq Reagent Kit V2 (500 ciclos) da CEFAP Facility (Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil).

Análise de bioinformática

As sequências do gene 16S rRNA amplificado foram processadas usando o pipeline QIIME 2 versões 2017.11 (CAPORASO ET AL., 2010; QIIME 2 Development Team, 2017). O plug-in “demux” foi usado para visualizar gráficos de qualidade interativos e verificar a qualidade de leitura. O plug-in “DADA2” (CALLAHAN ET AL., 2016) foi subsequentemente aplicado para remover primers, truncar bases de baixa qualidade com base nos gráficos interativos, desrepliar, identificar quimeras e mesclar leituras emparelhadas. As sequências representativas de ASVs foram taxonomicamente atribuídas com um classificador Naïve Bayes. Eles foram preparados com o plugin “classificador de recursos” usando o banco de dados de genes 16S rRNA com 99% de similaridade com o banco de dados SILVA (v.132) como referência (QUAST et al., 2013). Análises exploratórias e estatísticas de dados foram realizadas no nível ASV (tabelas de frequência ASV), uma vez que a abordagem ASV é um equivalente de maior resolução da unidade taxonômica operacional (OTUs), delineada por 100% de similaridade de sequência (CALLAHAN et al., 2017; PORTER e HAJIBABAEI, 2018). A análise de predição funcional de grupos bacterianos recuperados por QIIME2 foi realizada no software Phylogenetic Investigation of Communities by Reconstruction of Unobserved States 2 - PICRUST2 (DOUGLAS et al., 2020). Foi utilizado o pipeline “qiime picrust2 full-pipeline”

otimizado para rodar no ambiente QIIME2 no qual gerou tabelas de frequência de entradas de ortólogos funcionais previstos (KOs) do banco de dados KEGG (KANEHISA e GOTO, 2000) como saída, para cada amostra de solo.

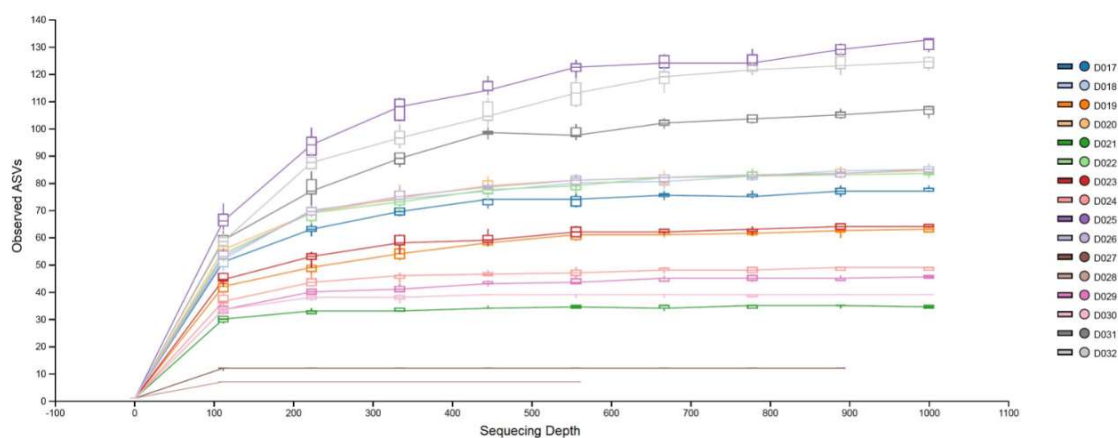
Análise estatística

As análises de dados taxonômicos foram realizadas a partir do software QIIME2 para gerar vetores de diversidades alfa e beta. As análises de alfa diversidade, ASVs observados, índices de diversidade CHAO 1, Shannon, diversidade filogenética de Faith e índices de uniformidade de Pielou foram calculadas e testes comparativos de Kruskal-Wallis foram conduzidos para comparações nas três amostras de solo (controle, pré-tratamento e tratamento), usando o software estatístico R (R versão 3.3.2). Os padrões de composição (diversidade beta) foram estimados por Bray-Curtis e Unifrac (ponderado e não ponderado) métricas de dissimilaridade. Testes em pares foram realizados com Análise Multivariada de Variância Permutacional (PERMANOVA), e os padrões de agrupamento foram visualizados com a criação de gráficos de Análise de Componentes Principais (ACP ou PCoAs em inglês), usando aplicativos QIIME2.

A abundância relativa dos filos predominantes (frequência > 1%) foi apresentada em gráficos de barras de frequência, resumidos pelos grupos de amostra (Controle, Pré Tratamento e Tratamento). Além disso, os gêneros mais abundantes (que compõem > 3% das leituras de pelo menos uma amostra) foram usados para gerar um mapa de calor, incluindo todas as amostras de solo. Testes de Kruskal-Wallis foram realizados para comparar a frequência de táxons dominantes (filos ou gêneros) entre os grupos de amostra.

Foram adotadas duas abordagens para analisar os resultados funcionais do PICRUSt2: uma abordagem geral e uma abordagem estruturada. Em toda a abordagem, cada entrada KO foi considerada como um recurso para gerar índices de diversidade de Shannon e matrizes de dissimilaridade de Bray-Curtis. Na abordagem formal, vetores de diversidade de Shannon e matrizes de dissimilaridade de Bray-Curtis foram calculados para cada nível secundário da hierarquia de caminhos KEGG de forma independente. Realizamos testes de pares entre comunidades bacterianas acessadas em grupos de amostra (testes de Kruskal-Wallis). Da mesma forma, os testes de pares PERMANOVA foram calculados a partir de matrizes de dissimilaridade de Bray-Curtis. Todas as análises comparativas foram calculadas usando QIIME2.

Figura 3 – Curva de rarefação.



Fonte: Autor, 2020.

4.5 Resultados e Discussão

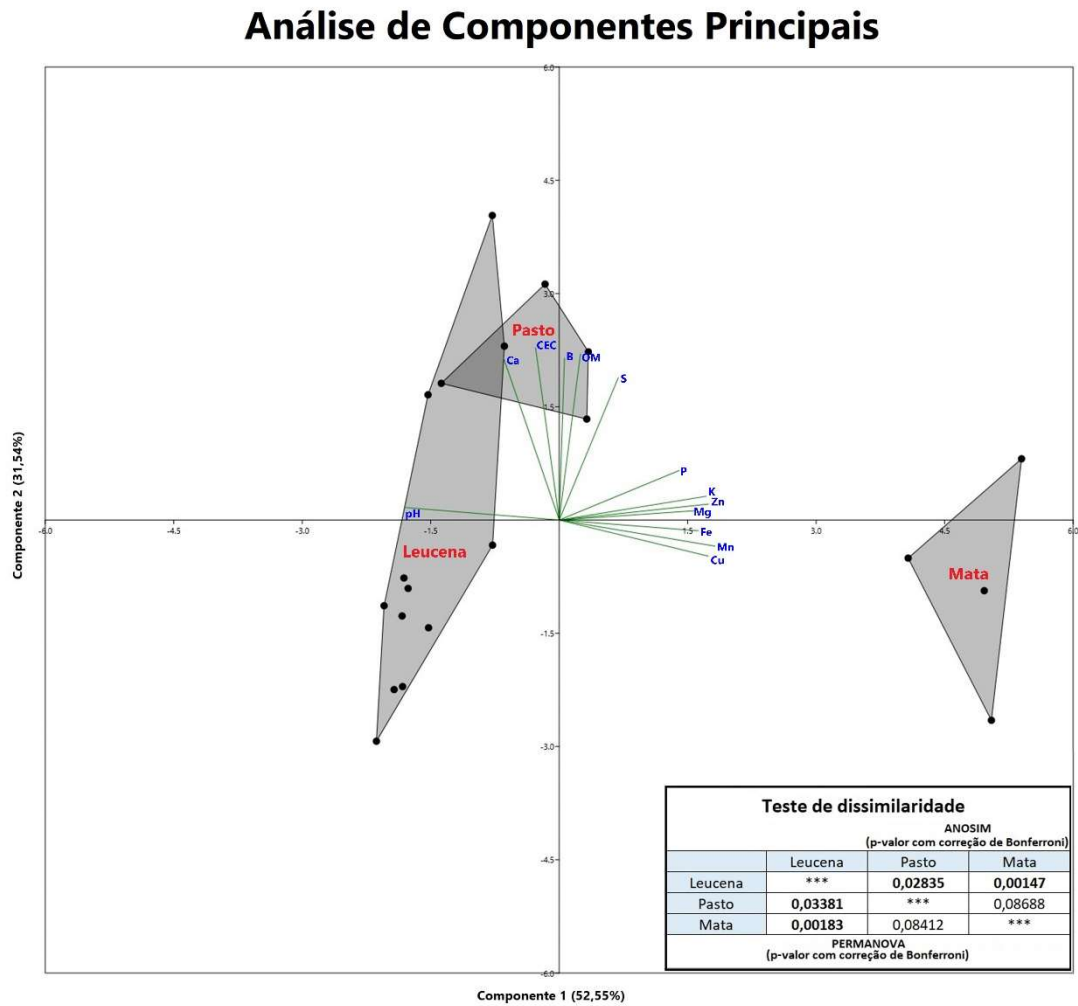
4.5.1 Parâmetros químicos do solo

Os parâmetros químicos do solo com maior correlação e relevância foram analisados com base na Análise de Componentes Principais (PCA), correlação de Pearson e teste de Kruskal-Wallis com o objetivo de investigar se os parâmetros químicos entre as amostras de solos das três áreas eram diferentes entre si.

Na PCA é utilizada uma técnica de estatística multivariada que transforma o conjunto de variáveis originais em outro conjunto de variáveis de mesma dimensão, denominados componentes principais, com o objetivo de redução do volume de dados com a menor perda possível da informação (REGAZZI, 2000).

A ACP entre as três áreas resultou em uma maior similaridade entre os solos das áreas de leucenas e pastagem braquiária ($p > 0,01$) e em uma dissimilaridade destas em relação às amostras de solo da área de mata, figura 4. Foi possível verificar que os dois eixos principais são capazes de explicar 84,09% (eixo x = 52,55% e eixo y = 31,54%) da variação existente entre as áreas, evidenciando que o grupo formado pelas amostras de solo da área de leucenas se diferenciam das amostras da área de mata especialmente em relação aos micronutrientes P, K, Mg, Fe, Mn e Cu.

Figura 4 – Diagrama de ordenação baseado nos eixos 1 e 2 por meio de Análise de Componentes Principais representando 84,09% da variabilidade original dos atributos das áreas de estudo.



Fonte: Autor, 2020.

Foram identificadas diferenças estatísticas significativas no teste de Kruskal-Wallis ($p > 0.05$) entre as três áreas (leucena, pastagem braquiária em regeneração e mata) apenas para os parâmetros pH e Cu, enquanto houve uma semelhança para os parâmetros MO, B, Zn e S para todas as áreas (tabela 1). Os parâmetros P, Fe e Mn nas áreas de pasto e mata apresentaram similaridade entre si e diferenças estatísticas significativas em relação à área de leucenas, contudo CTC e Ca da área ocupada por leucenas não apresentaram diferenças significativas em relação à área de mata, enquanto a área de pasto variou estatisticamente nesses parâmetros em relação às duas áreas florestais.

Tabela 1. Valores médios para os parâmetros da análise química do solo nos três tipos de ambientes avaliados.

Parâmetros do solo	Ambientes		
	Leucena	Pasto	Mata
pH	8.24 (0.04)a	8.13 (0.03)b	6.9 (0.11)c
CTC	17.86 (0.95)b	22.8 (0.51)a	16 (0.91)b
MO (dag/Kg)	4.52 (0.38)a	5.9 (0.21)a	4.7 (0.33)a
P (mg/dm ³)	0.3 (0.25)b	20.3 (7.52)a	24.6 (5.37)a
K (mg/dm ³)	34.75 (4.50)b	57.3 (1.38)b	135 (22.46)a
Ca (cmolc/dm ³)	16.34 (0.87)b	21.3 (0.46)a	12.69 (0.72)b
Mg (cmolc/dm ³)	0.3 (0.11)a	0.38 (0.04)a	0.27 (0.37)b
B (mg/dm ³)	0.23 (0.06)a	0.38 (0.04)a	2.18 (0.08)a
Cu (mg/dm ³)	2.67 (0.02)c	9.18 (0.03)b	18.75 (0.29)a
Fe (mg/dm ³)	11.71 (3.06)b	42.5 (11.18)a	24.59 (13.12)a
Mn (mg/dm ³)	0.77 (0.50)b	3.05 (3.60)a	7.23 (3.40)a
Zn (mg/dm ³)	1.42 (0.19)a	1.28 (0.71)a	2.95 (0.87)a
S (mg/dm ³)	14.72 (1.62)a	20.1 (1.13)a	18.8 (2.36)a

Valores do desvio padrão das médias estão apresentados entre parênteses. Diferentes letras indicam diferenças significativas nas linhas no teste de Kruskal-Wallis ($p < 0.05$), onde (a) significa maior valor.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Com base na tabela 1 nota-se que as áreas estudadas apresentam pH variando de neutro na área de mata a alcalino nas áreas de leucenas e pasto, o que pode ser explicado por ações antrópicas de aplicação de corretivos agrícolas em áreas cultivadas, sendo que a leucena se instalou em área de pastagem braquiária abandonada no empreendimento.

De acordo com Barreto et. al. (2006) e Zalamena (2008) solos de áreas de culturas, como as áreas estudadas de pastagem braquiária em regeneração e da área ocupada por leucenas, apresentam maiores teores de pH devido a medidas corretivas de solo através de calagem em anos anteriores à realização das amostragens.

De acordo com Malavolta (1979), solos corrigidos apresentam menor disponibilidade de Fe, Cu, Mn e Zn e maiores de K, Ca e Mg, proporcionando também uma melhor CTC. Nossos resultados se aproximam dessas afirmações ao indicarem maiores teores de Cu, Mn na mata e de Ca e Mg nas áreas de pasto, porém discordam ao apresentarem grandes quantidades

de Fe na pastagem e de K na mata nativa, além de teores idênticos de Zn para as três áreas estudadas.

O teor de cálcio na área de leucenas não variou estatisticamente do valor encontrado na área de mata, porém apresentou diferença significativa em relação à área de pastagens. O Ca é fundamental à atividade enzimática e estrutura da membrana de microrganismos, sendo que em baixas concentrações pode inibir o crescimento de colônias de fungos (GRIFFIN, 1994).

Em estudo sobre a incorporação de restos vegetais no solo através de leguminosas como feijão guandu, mucuna preta e leucena, Lourenço et al. (1993) e Nascimento et al. (2003) não identificaram a contribuição destas espécies para o incremento de Ca, elemento que mantém relação direta com os valores de CTC. Esses resultados estão em concordância com os obtidos nesse experimento ao encontrarmos diferenças significativas nos níveis de Ca e consequente CTC na área de pastagens em comparação com as áreas de mata nativa e leucenas.

O teor de matéria orgânica foi similar nas três áreas em conformidade com estudos que indicam que leguminosas e pastagens forrageiras apresentam capacidade de melhorar as frações lábeis de matéria orgânica (ROSSI et. al., 2012).

Os parâmetros pH, MO, Ca e Mg são essenciais nas atividades dos microrganismos dos solos e determinantes de suas composições. Embora pH e MO não tenham variado estatisticamente para as áreas estudadas, as áreas de pastagem braquiária e leucenas apresentaram maiores valores de Ca e Mg em comparação à área de mata provavelmente devido a práticas agrícolas de correções de solo e adubações (BARRETO et al., 2006; ZALAMENA, 2008).

Segundo Belay et. al. (2015) a fertilização mineral pode afetar a comunidade aérea e consequentemente a estrutura e funções da comunidade subterrânea. Treseder (2008) também relata que o aumento da entrada de nutrientes pela fertilização mineral pode suprimir microrganismos do solo.

Considerando apenas o teor de MO, nossos resultados ~~concordam~~ concordam com os estudos de Theodoro et al., (2003) ao encontrar altos teores em áreas de plantio de café e mata nativa, porém discordam dos resultados obtidos por Centurion et al., (2001) e Dube et al., (2019) que encontraram menores teores em solos cultivados quando comparados com áreas não cultivadas.

4.5.2 Diversidade Bacteriana (α - diversidade)

A alfa diversidade também conhecida por diversidade local refere-se à riqueza ou número total de espécies em determinado habitat (MAGGURAN, 2004). Os microrganismos

encontrados nas áreas de estudo não apresentaram diferenças significativas para os índices estimados CHAO 1, Diversidade de Shannon, porém as áreas de leucena apresentaram diferenças entre a área de pastagens para os índices de Equitabilidade de Pielou e Diversidade Filogenética Faith, enquanto a área de mata nativa apresentou valores intermediários entre as duas anteriores, conforme demonstrada na figura 5.

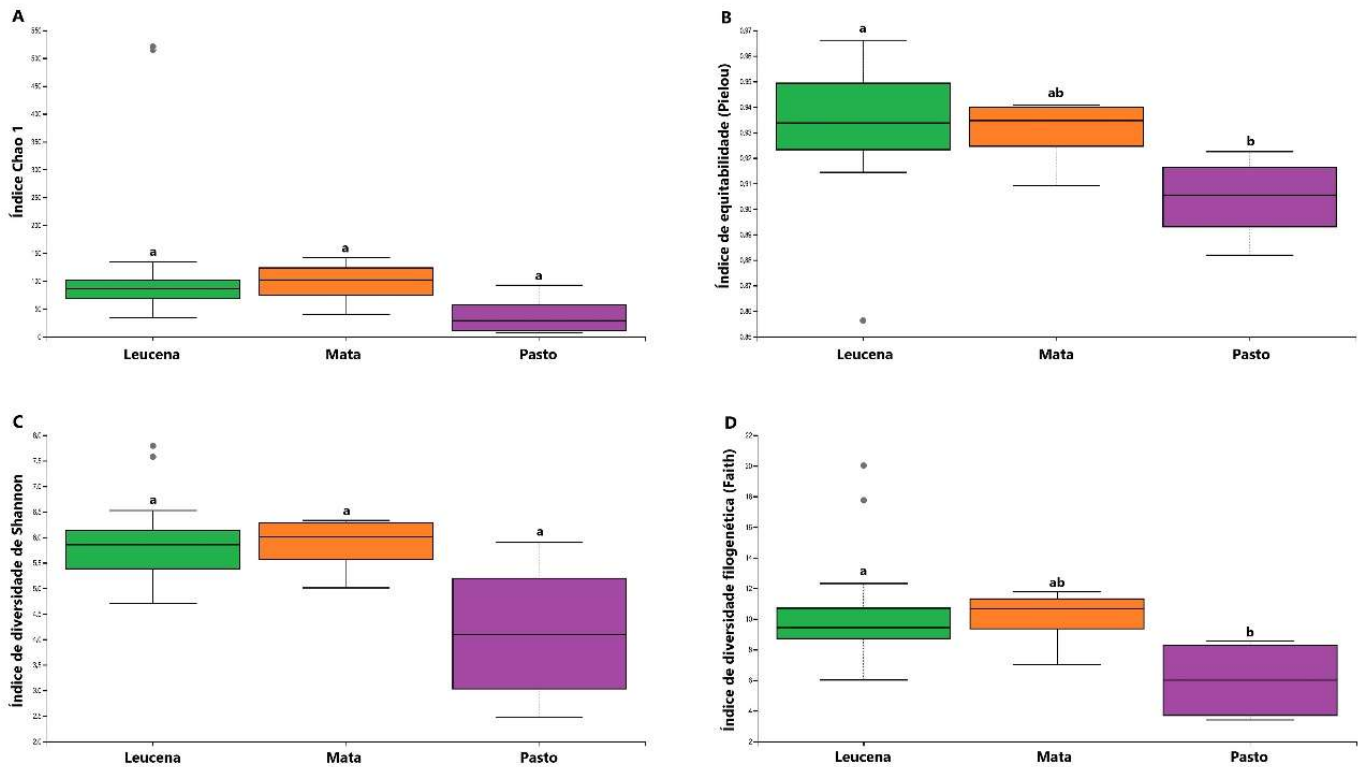
O índice CHAO 1 baseia-se em uma “regra de parada” heurística e intuitiva para abordagem de diversidade onde espécies adicionais não devem ser encontradas quando todas as espécies da amostra são representadas por pelo menos dois indivíduos (GOTELLI e COLWELL, 2009).

O índice de diversidade de Shannon se baseia no número de espécies em conjunto com o número de indivíduos de cada espécie, ou seja, abundância e variação entre os grupos bacterianos encontrados (MAGURRAN e MCGILL, 2010).

O índice de equitabilidade demonstra o quão bem está distribuída a diversidade de indivíduos sem considerar o número total de indivíduos encontrados (MAGURRAN e MCGILL, 2010).

O índice de diversidade filogenética de Faith é obtido a partir da soma dos comprimentos dos braços da árvore filogenética das espécies em uma comunidade, sendo que maiores comprimentos de braços indicam tempos evolutivos maiores e conseqüentemente grupos taxonômicos mais distintos entre si (FAITH, 1992).

Figura 5 – Boxplot de alfa diversidade por índice e tipologia de solo amostrado.



Fonte: Autor, 2020.

Esses resultados, especialmente com foco na área de leucenas, discordam das afirmações de Liao et. al. (2008), onde as invasões de plantas podem alterar os processos do ecossistema a partir de mudanças no pool de nutrientes das áreas invadidas, podendo influenciar as comunidades bacterianas. O resultado é discordante também para a pesquisa de Lorenzo et. al. (2013), onde as alterações promovidas por plantas invasoras ocorrem por meio de mecanismos de alelopatia que também podem levar a mudanças nos fluxos de nutrientes dos solos.

Por outro lado, Canei et. al. (2013) ao compararem a estrutura da comunidade bacteriana de áreas com plantio de pinus, araucária e floresta nativa, concluíram pela baixa divergência da microbiota naquelas áreas, o que concorda com o resultado da pesquisa ao comparar a microbiota da área de leucenas com a área de mata nativa, não encontrando diferenças entre as espécies ocorrentes nas duas áreas.

Como a área de pastagem apresentou diferenças em relação à área ocupada por leucenas na alfa diversidade para os índices de Equitabilidade de Pielou e Diversidade Filogenética Faith e a biota bacteriana do solo na área de leucenas não se diferenciou da encontrada na área de

Floresta Estacional Semidecidual, o estudo indica que as plantas de leucenas podem melhorar a qualidade do solo de uma área invadida por esta espécie.

4.5.3 Correlações de Spearman entre os parâmetros físico-químicos do solo e a α -diversidade

O coeficiente de correlação de Spearman, que possibilita a comparação de duas matrizes com diferentes escalas (CLARKE e WARWICK, 1994), foi utilizado com o objetivo de verificar possíveis correlações entre as variáveis microbianas e químicas do solo. Nesse coeficiente temos que uma correlação positiva significa que aumento em uma variável será acompanhado do aumento em outra, correlação negativa significa que uma variável tende a diminuir e a outra aumentar e correlação nula onde não é possível identificar nenhuma relação entre as variáveis.

De acordo com a tabela 2, foram identificadas apenas correlações negativas para os parâmetros químicos CTC, MO, Ca, B e S, com destaque para o parâmetro S que foi o único que apresentou correlação negativa no índice de Equitabilidade ao nível $p > 0,05$.

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Spearman entre índices de alfa-diversidade e propriedades do solo

Propriedades do solo	Índices de diversidade			
	Chao1	Shannon	Equitabilidade	Diversidade filogenética
pH	ns	ns	ns	ns
CTC	-0.53 **	-0.49 *	ns	-0.57 ***
MO (dag/Kg)	-0.59 ***	-0.60 ***	ns	-0.67 ***
P (mg/dm ³)	ns	ns	ns	ns
K (mg/dm ³)	ns	ns	ns	ns
Ca (cmolc/dm ³)	-0.50 *	-0.44 *	ns	-0.54 **
Mg (cmolc/dm ³)	ns	ns	ns	ns
B (mg/dm ³)	-0.75 ***	-0.73 ***	ns	-0.78 ***
Cu (mg/dm ³)	ns	ns	ns	ns
Fe (mg/dm ³)	ns	ns	ns	ns
Mn (mg/dm ³)	ns	ns	ns	ns
Zn (mg/dm ³)	ns	ns	ns	ns
S (mg/dm ³)	-0.53 *	-0.56 **	-0.52 *	-0.61 **

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Foram encontradas diferenças entre os índices de diversidade CHAO1 para as amostras de Ca e S ao nível $p > 0.05$, CTC ao nível $p > 0.01$ e MO e B ao nível $p > 0.001$. Para o índice de Shannon foram encontradas diferenças para as amostras de CTC, Ca ao nível $p > 0.05$, S ao nível $p > 0.01$ e MO e B ao nível $p > 0.001$.

Quanto à diversidade filogenética, que considerada a variabilidade e distribuição dos grupos bacterianos, considerando não apenas a riqueza, mas também a distância filogenética entre as espécies de microrganismos acessados (MAGURRAN e MCGILL, 2010) foram encontradas diferenças para as amostras de Ca e S ao nível $p > 0.01$ e CTC, MO e B ao nível $p > 0.001$ conforme tabela 2.

Esses resultados são diferentes dos obtidos por Mendes et al. (2015) ao comparar florestas nativas com áreas agricultáveis, pastagens e áreas desmatadas, concluindo que as áreas agrícolas apresentavam maior diversidade em comparação com as áreas florestais. Discordam também do estudo elaborado por Degruene et al. (2017) ao comparar sistemas de cultivos convencionais e reduzidos, os quais concluíram que sistemas agrícolas de baixo insumo (comparável à área de pastagens em regeneração) apresentavam maior abundância de microrganismos.

4.5.4 Composição Bacteriana

Foram encontrados nas amostras de solo oito filos dominantes, Proteobacteria, Bacteroidetes, Acidobacteria, Verrucomicrobia, Planctomycetes, Chloroflexi, Firmicutes e Actinobacteria. Na área de leucenas, os filos mais abundantes foram Proteobacteria, Acidobacteria e Bacteroidetes, enquanto na área de pastagens foram Proteobacteria, Acidobacteria, Bacteroidetes e Verrucomicrobia. A área de mata apresentou domínio dos filos Proteobacteria, Verrucomicrobia e Firmicutes, sendo que o último se destacou em abundância em comparação às áreas de leucena e pastagens, conforme apresentado na figura 6 e tabela 3.

O filo Proteobacteria é o mais abundante do domínio Bacteria compreendendo organismos diversos com capacidade de fixar nitrogênio atmosférico e desenvolver funções essenciais nos ciclos do C, N e S (JANSSEN, 2006; KERSTERS, 2006; ROESCH, 2007). São bactérias que apresentam respostas às alterações no meio e comumente relatadas em interações com plantas como endossimbiontes ou como auxiliares de resistência sistêmica e biocontrole (RAYMOND et al., 2004; MADHAIYAN et al., 2004).

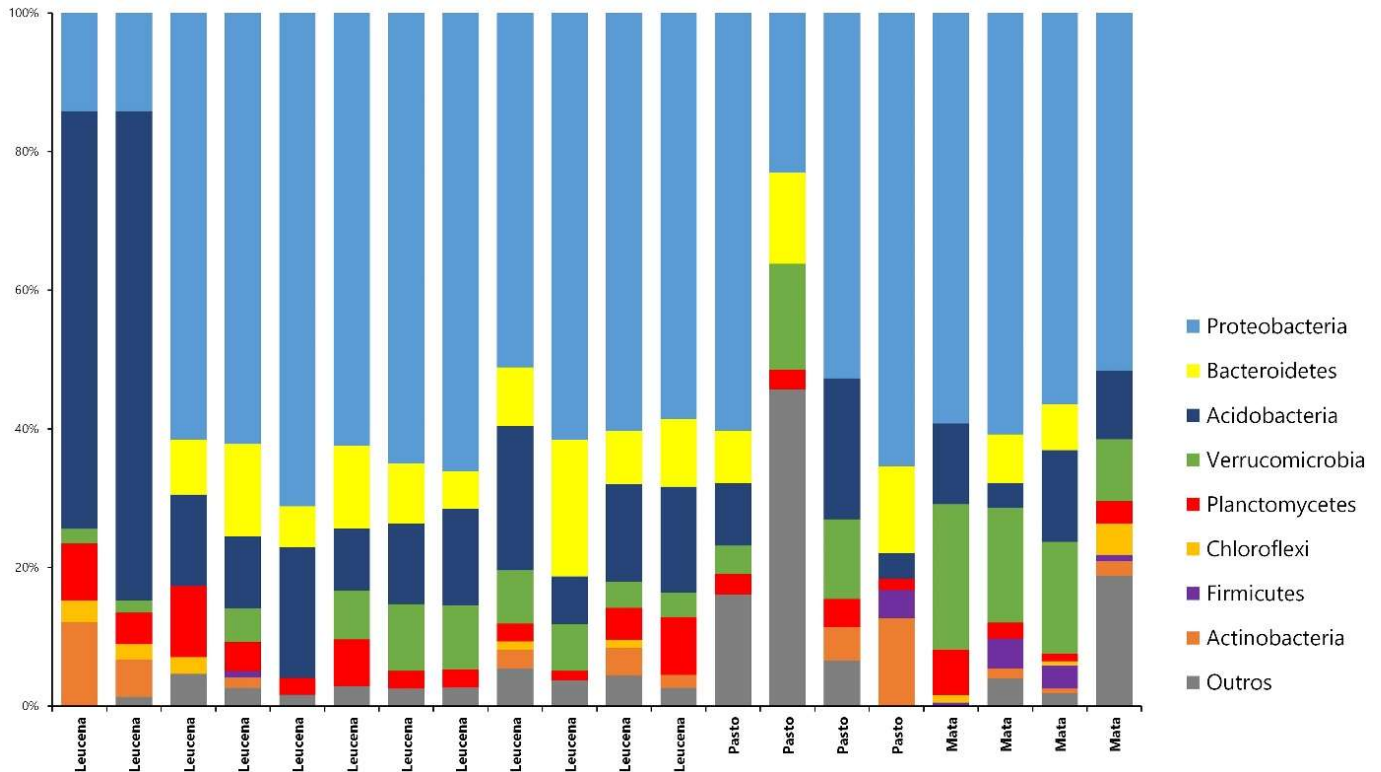
As acidobacterias são um filo globalmente distribuído e altamente diverso que habitam uma ampla variedade de ambientes terrestres e aquáticos, sendo particularmente abundantes em

solos ácidos, turfeiras e ambientes ricos em ferro mineral. Seu papel funcional no meio ambiente inclui a decomposição de vários biopolímeros e a participação no ciclo global de carbono, ferro e hidrogênio (DEDYSH e DAMSTÉ, 2018).

As bactérias do filo Verrucomicrobia são comuns em ambientes de solo e água doce, apresentando distribuição universal e capacidade relatada de degradação de polissacarídeos, o que as tornam importantes agentes no ciclo do C nos ecossistemas da Terra. Verrucomicrobia é um dos filios mais importantes da microbiota do solo e embora esteja disseminado em muitos ecossistemas, seu papel nas comunidades microbianas permanece pouco compreendido e pouco se sabe sobre sua distribuição e diversidade no solo (RANJAN, 2010; NIXON, et. al., 2019).

O filo Firmicutes contemplam bactérias de alta resistência a condições ambientais desfavoráveis e por isso são fortes indicadoras ambientais, aumentando proporcionalmente em solos compactados. Esse filo contempla gêneros importantes como *Bacillus* e *Paenibacillus*, que estão diretamente relacionados ao crescimento das plantas (HARTMANN et al., 2014; PINDI et al. 2014). Alguns representantes desse filo como as bactérias dos gêneros *Bacillus* e *Clostridium* utilizam como estratégia de sobrevivência um rápido crescimento quando as condições ambientais proporcionam nutrientes em abundância, prevalecendo apenas quando existem grandes quantidades de nutrientes e baixa competição (PEREIRA et al., 2006).

Figura 6 – Abundância relativa dos filos bacterianos dominantes para cada amostra de solo acessada. Os filos bacterianos com abundância relativa inferior a 3% foram agrupados em “Outros”.



Fonte: Autor, 2020.

Tabela 3 – Abundância relativa média dos filos bacterianos dominantes nas amostras de solo coletadas nos três tipos de ambientes

Filos mais abundantes (freq > 3%)	Ambientes		
	Leucena	Pasto	Mata
Proteobacteria	0.54 (0.06)a	0.5 (0.09)a	0.57 (0.02)a
Acidobacteria	0.22 (0.06)a	0.08 (0.04)a	0.1 (0.02)a
Planctomycetes	0.05 (0.01)a	0.03 (0.01)a	0.03 (0.01)a
Bacteroidetes	0.08 (0.02)a	0.08 (0.03)a	0.03 (0.02)a
Verrucomicrobia	0.05 (0.01)a	0.08 (0.03)ab	0.16 (0.02)b
Actinobacteria	0.02 (0.01)a	0.04 (0.03)a	0.01 (0)a
Chloroflexi	0.01 (< 0.001)a	< 0.001 (< 0.001)a	0.02 (0.01)a
Firmicutes	< 0.001 (< 0.001)a	0.01 (0.01)a	0.02 (0.01)b

Valores do desvio padrão das médias estão apresentados entre parênteses. Diferentes letras nas linhas indicam diferenças significativas ($p < 0.05$) no teste de Tukey ou teste de Kruskal-Wallis para dados com distribuição normal ou não, respectivamente. Letra (a) significa maiores valores

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

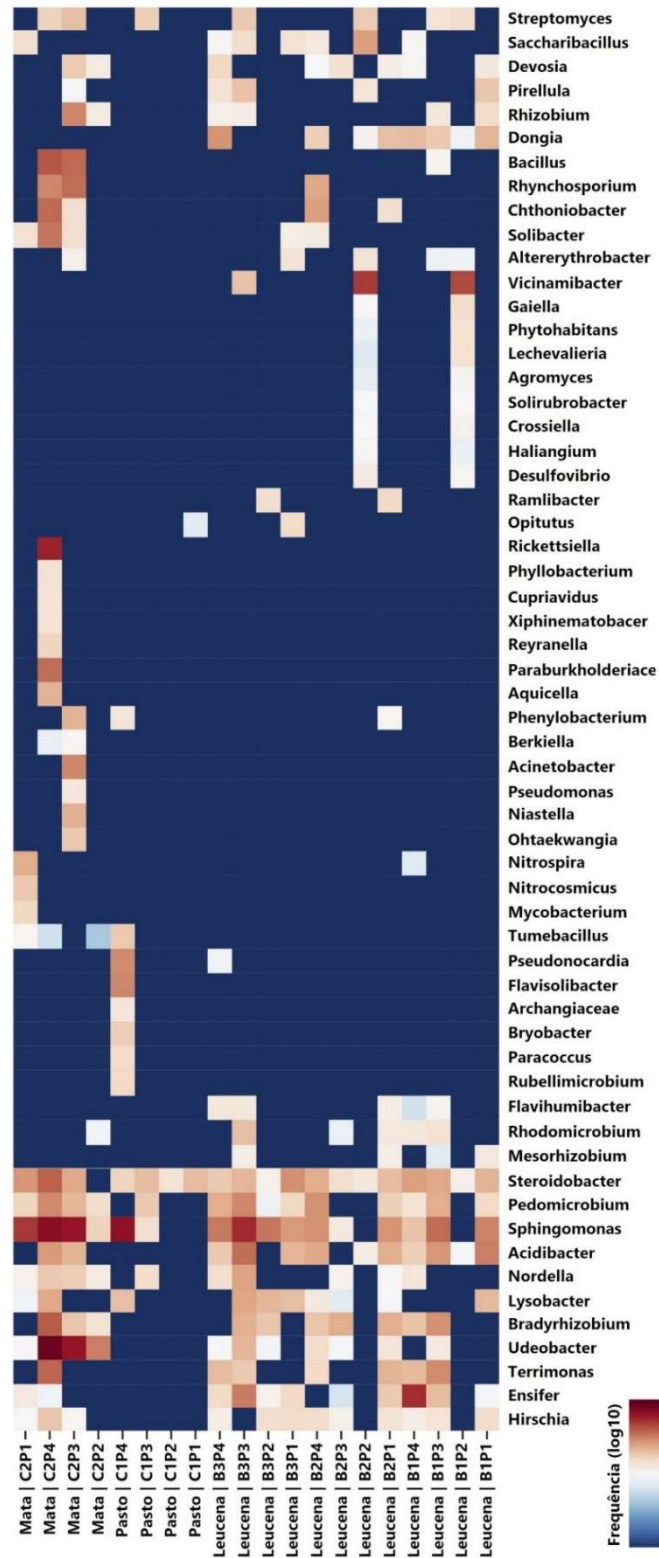
Observou-se que o filo Proteobacteria foi dominante em todas as amostras analisadas, justificado por ser o filo de maior abundância do domínio Bacteria (KERSTERS, 2006), seguido pelo filo Acidobacteria, porém com nítida diferença entre os filos encontrados nas áreas de leucena e mata em relação à área de pastagens. Essa diferença é melhor justificada na área de mata por ter apresentado menor pH (6,9) em relação à área de pastagens (8,13), e concorda com autores como Mendes et al. (2015) e Souza et al. (2017) que relataram que Acidobacteria são mais abundantes em solos florestais em comparação com solos de áreas agricultáveis.

Os resultados de maior dominância do filo Verrucomicrobia na área de mata concordam com o trabalho de Fierer et al. (2012) que compararam as alterações na microbiota em função de mudanças na disponibilidade de N em longo prazo e discordam dos resultados obtidos por Ranjan (2010) ao estudar os efeitos na diversidade microbiana, com foco em Verrucomicrobia, ocasionado desmatamento na Amazônia.

Na figura 8 refinou-se a análise comparativa com base nas famílias mais representativas encontradas nas amostras de solo acessadas através de um mapa de calor. Nessa análise observamos que existem famílias bacterianas que são abundantes nas três áreas investigadas como Steroidobacterias, Pedomicrobium e Sphingomonas, todas pertencentes ao filo Proteobacteria. Contudo destaca-se no resultado a ocorrência das famílias Acidibacterias (filo Acidobacteria), Bradyrhizobium (filo Proteobacteria), Udeobacterias e Hirschia (filo Proteobacteria) que foram encontradas nas áreas de mata e leucenas, e não se mostraram presentes nas amostras de solo da área de pastagens.

Destaca-se também nos resultados, a ocorrência de algumas famílias bacterianas somente em áreas de mata como Paraburkholderiace (filo Proteobacteria), Acinetobacterias (filo Actinobacteria) e Nitrospira (filo Nitrospirae).

Figura 7 – Diagrama de mapa de calor da abundância de famílias dominantes em cada amostra de solo acessado.



Fonte: Autor, 2020

4.5.5 Análise da correlação famílias x parâmetros de solo

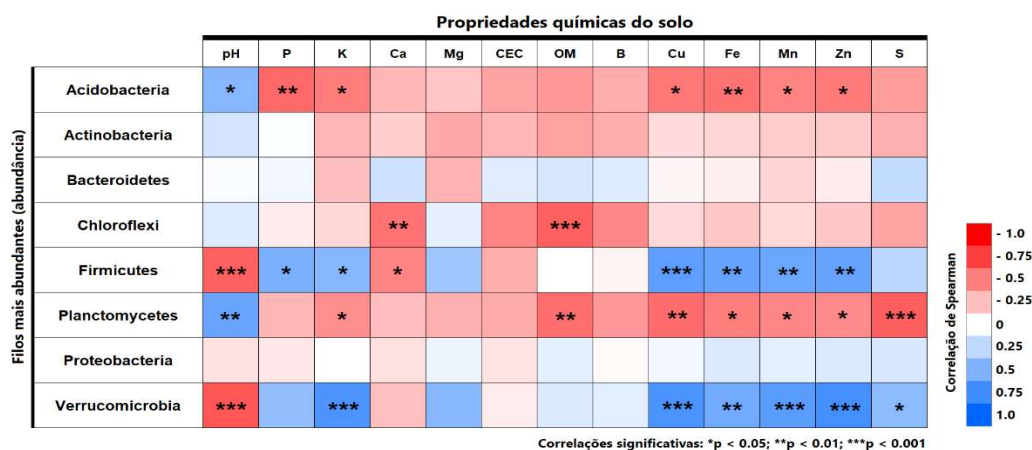
A análise dos coeficientes de correlação de Spearman entre os atributos químicos dos solos e as famílias de bactérias acessadas demonstrou que as famílias bacterianas dominantes foram afetadas de diferentes formas a partir da presença ou ausência de elementos químicos.

A figura 8 mostra um mapa de calor baseado nas análises de correlação entre as famílias dominantes e os atributos químicos do solo nas três áreas estudadas. Os quadrantes em azul demonstram que existe uma alta correlação positiva entre as variáveis, ou seja, quanto maior a concentração do elemento químico no solo, maior será a abundância da família na amostra. Desta forma observou-se altas correlações positivas entre os parâmetros K, Cu, Fe, Mn e Zn e os filos Firmicutes e Verrucomicrobia. Para Firmicutes também houve correlação positiva para P, enquanto para Verrucomicrobia para S. Os filos Acidobacteria e Plantomycetes tiveram correlação positiva apenas para o parâmetro pH.

No mapa de calor, os quadrantes em vermelho indicam alta correlação negativa, ou seja, quanto maior a concentração do elemento químico menor será a abundância da família na amostra de solo. Desta forma, destacou com altas correlações negativas as famílias Acidobacterias e Plantomycetes em relação aos elementos químicos K, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn. A família Plantomycetes apresentou correlação negativa significativa em relação ao parâmetro MO, enquanto a família Chloroflexi para MO e Ca, e a família Firmicutes para pH e Ca.

Dentre as correlações positivas, destacaram os filos Verrucomicrobia e Firmicutes para os micronutrientes K, Cu, Fe, Mn e Zn, além de S apenas para Verrucomicrobia e P Firmicutes.

Figura 8 – Mapa de calor baseado na correlação entre as famílias bacterianas mais abundantes e parâmetros químicos do solo.



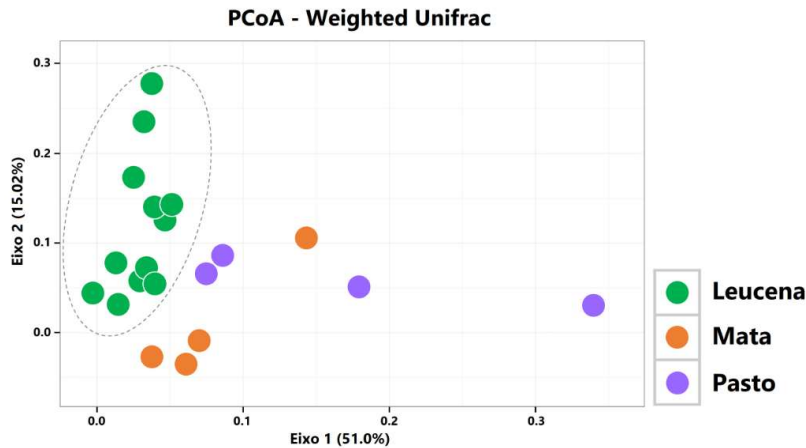
4.5.6 Composição das comunidades bacterianas (β - diversidade)

A composição total das comunidades acessadas entre as amostras de solo das três áreas também foi comparada utilizando-se β - diversidade, que descreve o quanto as comunidades são diferentes ou similares em termos de composição de espécies. A diversidade β , é uma medida de como a variedade e em alguns casos as abundâncias de espécies diferem entre comunidades ou amostras ao longo de gradientes (MAGURRAN E MCGILL, 2010). Para tanto foi utilizada a métrica Unifrac, que é usada para comparar as comunidades biológicas a partir da incorporação de informações sobre o parentesco relativo de membros da comunidade e das distâncias filogenéticas entre organismos observados. A Unifrac não-ponderada, considera as relações filogenéticas entre taxa não compartilhadas entre grupos e Unifrac ponderada, considera a abundância da taxa entre os grupos além das relações filogenéticas revelarem que a composição das comunidades varia significativamente entre as áreas estudadas. Foi utilizada a ACP baseada em testes PERMANOVA para investigar se estatisticamente a composição das espécies em cada amostra de solo são distintas ou similares entre si.

Na figura 10 temos a representação das 20 amostras de solo das áreas estudadas, onde cada ponto representa uma amostra de solo e quanto mais próximo um ponto do outro, maior a similaridade entre as amostras.

Foi possível verificar que os dois eixos principais são capazes de explicar 66,02% (eixo x = 51% e eixo y = 16,02%) da composição das espécies demonstrando uma maior similaridade entre as espécies presentes na área de leucenas e matas em comparação com as espécies presentes na pastagem braquiária em regeneração.

Figura 9 – Representação de dissimilaridades Unifrac ponderadas (diversidade β) na estrutura da comunidade bacteriana por biplot de Análise de Componentes Principais (ACP) das áreas estudadas.



Fonte: Autor, 2020.

A tabela 4 apresenta os padrões de composição da β - diversidade estimados pelas métricas de dissimilaridade Bray-Curtis e Unifrac (ponderado e não ponderado), a partir de testes em pares realizados com Análise Multivariada de Variância Permutacional (PERMANOVA). Conforme observado, as comunidades bacterianas presentes nas amostras de solo provenientes das áreas de pastagem braquiária apresentam maior dissimilaridade em comparação com as áreas de leucenas.

Tabela 4 – Valores de P para o teste de PERMANOVA para cada uma das métricas utilizadas para geração das matrizes de dissimilaridade entre as comunidades.

Grupos sob teste (PERMANOVA)		Matriz de dissimilaridade		
		Weighted UNIFRAC	Unweighted UNIFRAC	Bray-Curtis
Leucena	Mata	0.022	0.084	0.006
	Pasto	0.004	0.007	0.007
Mata	Pasto	0.149	0.099	0.057

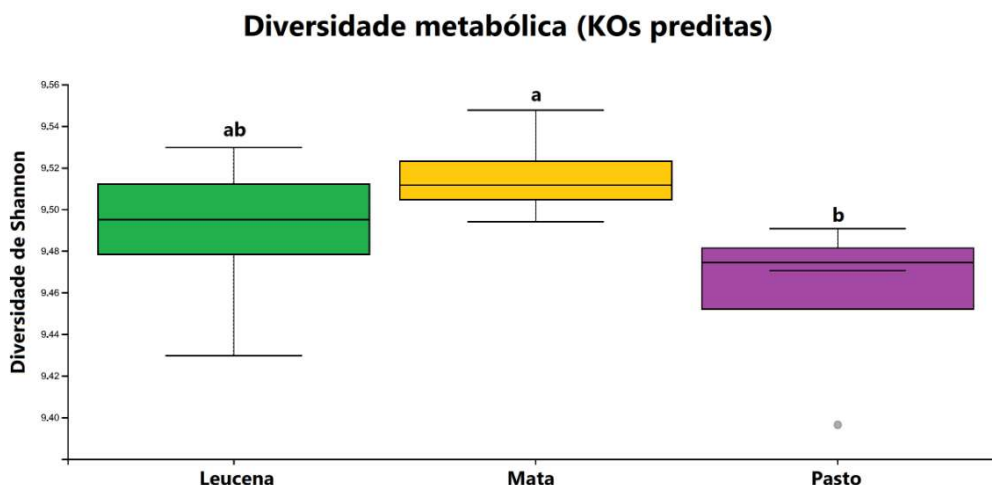
Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

4.5.7 Diversidade metabólica

A diversidade metabólica da microbiota encontrada nas amostras de solo estudadas foi comparada através do índice de diversidade de Shannon sendo identificado que a composição KO na área de leucenas não se diferencia da composição encontrada nas áreas de pastagens e mata, porém as duas últimas são diferentes entre si, figura 11.

As semelhanças entre os grupos de organismos das áreas de leucenas e mata sugerem que eles desempenham funções similares (ALISSON, MARTINY; 2008).

Figura 10 – Diversidade de KO entre as áreas estudadas.



Apesar desse resultado não sugerir alterações na população bacteriana da área de leucenas em relação à área de mata nativa, Canei et. al. (2018) ao compararem áreas de reflorestamento com pinus, araucária e floresta nativa, encontraram menor atividade microbiológica do solo nas áreas com plantio de pinus (sp. exótica). Também Lorenzo et. al. (2013), ao compararem os diferentes impactos na microbiota do solo por componentes alelopáticos da leguminosa *A. dealbata*, identificaram mudanças na diversidade genética e funcional das comunidades presentes em solo de floresta de pinheiros na Europa.

As raízes das plantas desempenham papel fundamental em diversos processos do solo, a partir da deposição de quantidades consideráveis de carbono estabilizado disponíveis nas células de revestimento da raiz, mucilagens, exsudatos solúveis e tecidos em decomposição, tornando-se um dos principais habitats para muitos organismos do solo. Esse efeito positivo das espécies invasoras não pode ser desconsiderado (HUSTCH et. al., 2002; HAWES et. al., 2003; NGUYEN, 2003; MCCORMACK et. al.; 2015).

As técnicas para recuperação de áreas degradadas devem incorporar informações da interação de plantas e ecossistema do solo. Hoje ainda é um viés a preocupação e direcionamento dos esforços para a parte visível da área degradada, porém o solo é tão ou mais importante quanto, pois presta o serviço ecossistêmico de suportar toda a comunidade arbórea a ser manejada.

4.6 Conclusão

As tipologias vegetais predominantes no ecossistema podem influenciar a dinâmica dos atributos químicos do solo e conseqüentemente interferir na população microbiana.

As áreas com ocorrência de leucenas apresentou diferenças consideráveis quanto aos nutrientes do solo (P, Cu, Fe e Mn), porém não afetou a microbiota local na área invadida, apresentando índices de beta diversidade, ou seja, a composição bacteriana e conseqüente diversidade metabólica, bastante similares aos da área de mata nativa, e estas por sua vez, diferiram da área de pastagens em regeneração, sugerindo que a erradicação da espécie como invasora poderá ser realizada de maneira sucessional com plantio de árvores nativas tolerantes à sombra e podendo inclusive ser potencializada por propágulos germinativos de áreas naturais vizinhas à área invadida.

Ressalta-se por fim as limitações da pesquisa com o enfoque nas possíveis alterações da espécie invasora na microbiota do solo e não sobre a comunidade arbórea, conforme vários estudos na literatura mundial.

REFERÊNCIAS

- ALLISON, S. D. e MARTINY, J. B. H. Resistance, resilience and redundancy in microbial communities. PNAS August 12, 2008 105 (Supplement 1) 11512-11519; <https://doi.org/10.1073/pnas.0801925105>
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. **Indicadores biológicos de qualidade do solo.** Bioscience Journal, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, jul. 2007.
- BAIS, H. P.; VEPACHEDU, R.; GILROY, S.; CALLAWAY, R. M., VIVANCO, J. M. Allelopathy and Exotic Plant Invasion: From Molecules and Genes to Species Interactions. **Science.** 05 Sep 2003.
- BARRETO, A. C.; LIMA, F. H. S.; FREIRE, M. B. G. dos S. ARAÚJO, Q. R. de.; FREIRE, F. J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. UFERSA. **Revista Caatinga** - ISSN 0100-316X. v. 19, n.4, p.415-425, 2006.
- BELAY, Z.; VESTBERG M.; ASSEFA, F. Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across different land use types in a humid low land area of Ethiopia. **Trop Subtrop Agroecosyst** 18:47–69. 2015
- BELEL, M. D. e RAHIMATU, D. B. Allelopathic Effect of *Cyperus tuberosus* Seed and Leaf Extract on Seedling Growth of Groundnuts (*Arachis hypogaea*). **Journal of Agriculture & Social Sciences.** 2012
- CALLAWAY, R. M. e ASCHEHOUG E. T. “Invasive Plants versus Their New and Old Neighbors: A Mechanism for Exotic Invasion,” **Science**, Vol. 290, No. 5491, 2000, pp. 521-523. 2000.
- CANEI, A. D.; HERNÁNDEZ, A. G., MORALES, D. M. L., SILVA, E. P. da; SOUZA, L. F.; LOSS, A.; LOURENZI, C. R.; DOS REIS, M. S.; SOARES, C. R. F. S. Atributos microbiológicos e estrutura de comunidades bacterianas como indicadores da qualidade do solo em plantios florestais na Mata Atlântica. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1405-1417. 2018
- CANNAVAN, F.S. J. A estrutura e a composição de comunidades microbianas (Bacteria e Archaea) em fragmentos de carvão pirogênico de Terra Preta de Índio na Amazônia Central. 2011. 138 f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP, Piracicaba.
- CANTOR, A.; AARON, J.; HALE, A. N.; TRAW, M. B. Low allelochemical concentrations detected in garlic mustard-invaded forest soils inhibit fungal growth and AMF spore germination. **Biological Invasions**, 13(12). Dec. 2011.
- CARPANEZZI, A. A. Talhões pioneiros para a recuperação de ecossistemas florestais degradados. In: Seminários Aspectos Ecológicos de Matas Mesófilas Semidecíduas. Rio Claro: UNESP. 1991p. 94-104.

CARPANEZZI, A.A. 1998. Espécies para recuperação ambiental. In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Espécies não tradicionais para plantio com finalidades produtivas e ambientais. EMBRAPA/CNPQ, Curitiba: p.43-53.

CARVALHO, F.; MOREIRA, F. M. S.; CARDOSO, E. J. B. **Chemical and biochemical properties of Araucaria angustifolia (Bert.) Ktze. forest soils in the state of São Paulo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Lavras, v. 36, n. 4, p. 1189-1202, jul. 2012.

CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.254-258, 2001 Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.

CHAGAS, N. G.; NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. de F. da.; BELTRÃO, N. E. M. Efeito de sistema de cultivo e manejo na conservação do solo e produtividade das culturas para agricultores de sequeiro. In: 3 Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva no semi-árido. Campina Grande, 2001. Campina Grande. EMBRAPA-CNPQ. V CD. Disponível em: < <http://www.abcmac.org.br/simposio/1> >. Acesso em: 13 jan. 2021.

CHEEMA, Z.A.; IRSHAD A. Comparative efficacy of sorghum allelopathic potential for controlling barnyardgrass in rice. Proc. 4th World cong. Allelopathy, Aug.2005. WaggaWagga Australia, pp. 508–513. 2005.

CLARKE, K. R.; WARWICK, R.M. Change in marine communities: An approach to statistics analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory, 1994.

CIPOLLINI, D.; RIGSBY, C. M. e BARTO E. K. **Microbes as Targets and Mediators of Allelopathy in Plants.** Review article. J Chem Ecol (2012) 38:714–727.

DEDYSH, S. N.; DAMSTÉ, J. S. S. Acidobacteria. Disponível em <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0027685>. Acesso em 18 jan. 2021.

DEGRUNE, F.; THEODORAKOPOULOS, N.; COLINET, G.; HIELI, M. P.; BODSON, B.; TAMINIAU, B.; DAUBE, G.; VANDENBOL, M.; HARTMANN, M. **Temporal Dynamics of Soil Microbial Communities below the Seedbed under Two Contrasting Tillage Regimes.** Frontiers in Microbiology 1127, 2017.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. M. ; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-21.

DUBE, J. P.; VALVERDE, A.; STEYN, J. M.; COWAN, D. A.; VAN DER WAALS, J. E. **Differences in Bacterial Diversity, Composition and Function due to Long-Term Agriculture in Soils in the Eastern Free State of South Africa.** Diversity, 2019, 11, 61.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas.** Londrina, Editora Planta. 2006.

FAITH, D.P. 1992. Conservation evaluation and phylogenetic diversity. Biol. Conserv. 61(1):1-10.

FARIA, S. M. de; LIMA, H. C. de; FRANCO, A. A.; MUCCI, E. S. F.; SPRENT, J. I. Nodulation of legume trees from Southeast Brazil. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 99, p. 347-356, 1987.

FIERER, N.; LAUBER, C. L.; RAMIREZ, K. S.; ZANEVELD, J.; BRADFORD, M. A. KNIGHT, R. Comparative metagenomic, phylogenetic and physiological analyses of soil microbial communities across nitrogen gradients. *The ISME Journal* 6, 1007–1017. 2012.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; SILVA, E. M. R. da; FARIA, S. M. de. Revegetação de solos degradados. Seropédica: EMBRAPA-CNPBS, 1992. 11p. (EMBRAPA-CNPBS. Comunicado Técnico, 9)

GRIFFIN, D. H. Fungal physiology. 2. ed. New York: Wiley-Liss, 1994. 458 p.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. (eds.). Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos, 2ª edição, Rio de Janeiro, 1995. Bertrand Brasil. p.149-209.

HARTMANN, M. NIKLAUS, P.A.; ZIMMERMANN, S. **Resistance and resilience of the forest soil microbiome to logging-associated compaction.** *ISME J* 8:226–244. 2014.

HAWES, M.C.; BENGOUGH, A.G.; CASSAB, G; PONCE, G. 2003. **Root caps and rhizosphere.** *Journal of Plant Growth Regulation* 2: 352–367.

HUTSCH, B.W., AUGUSTIN J, MERBACH W. 2002. **Plant rhizodeposition: an important source of carbon turnover in soils.** *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 165: 397–407

IMOKE, D. E.; IBU, J. U.; OMONYA, O. C.; NWABUEZE, J. O.; NJAR, G. N. **Effects of land degradation on soil productivity in Calabar South Local Government Area, Nigeria.** *European Journal of Social Sciences*, v.18, p.21-34, 2010.

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS. Rede de Bibliotecas. Manual de normalização de trabalhos acadêmicos. Belo Horizonte: IFMG, 2020. Disponível em: <https://www2.ifmg.edu.br/portal/ensino/bibliotecas/manual-de-normalizacao-do-ifmg>. Acesso em: 27 jan. 2021.

JANSSEN, P.H. Identifying the dominant soil bacterial taxa in libraries of 16S rRNA and 16S rRNA genes. *Appl Environ Microbiol* 73:1719–1728. 2006.

LEINFELDER, Robson Rodrigues; IRAMINA, Wilson Siguemasa; ESTON, Sérgio Médiçi de. Mining as a tool for reclamation of a Degraded Area. **Rem: Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 68, n. 2, p. 215-220, June 201. Disponível em <https://doi.org/10.1590/0370-44672015680127>. Acesso em 13 jan. 2021.

LIAO, C., PENG, R., LUO, Y., ZHOU, X., WU, X., FANG, C., CHEN, J., LI, B., 2008. Altered ecosystem carbon and nitrogen cycles by plant invasion: a meta-analysis. *New Phytologist* 177, 706e714.

LOURENÇO, A.J.; MATSUI, E.; DELISTOIANOV, J.; BOIN, C.; BORTOLETO, O. Efeito de leguminosas tropicais na matéria orgânica do solo e na produtividade do sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.263-268. 1993.

MADHAIYAN, M.; POONGUZHALI, S.; SENTHILKUMAR, M.; SESHADRI, S.; CHUNG, H.Y.; YANG, J.C.; SUNDARAM, S.; SA, T.M. Growth promotion and induction of systemic resistance in rice cultivar Co-47 (*Oryza sativa* L.) by *Methylobacterium* spp. **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, v.45, p.315-324, 2004.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 4. ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 256p. 1979.

MARTINS, C. R. et al. Recuperação de uma área pela mineração de cascalho como o uso de gramíneas nativas. **Revista Árvore**, v. 25, n. 2, 157-166. 2001.

MARTINS C. R. Caracterização e Manejo da Gramínea *Melinis Minutiflora* P. Beauv. Capim Gordura: Uma espécie invasora do cerrado. 2006. 162 f. Tese. Universidade de Brasília. Brasília, 2006.

MCCORMACK, M.L.; DICKIE, I.A.; EISSENSTAT, D.M.; et al. 2015. **Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes**. *New Phytologist* 207: 505–518

MENDES, L. W.; BROSSI, M. J. L.; KURAMAE, E. E.; TSAI, S. M. **Land-use system shapes soil bacterial communities in Southeastern Amazon region**. *Applied Soil Ecology* 95, 2015, 151–160.

MIYASAKA, S. Histórico do estudo de adubação verde, leguminosas viáveis e suas características. In: *Adubação Verde no Brasil*. Fundação Cargill, 1984. p. 64-123.

NASCIMENTO, J.T.; DA SILVA, I. F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. F. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.457-462, 2003

NEVES, E., TOSTES, A. **Meio ambiente: aplicando a lei**. Rio de Janeiro: Cecip Vozes, 1992. 20 p.

NGUYEN, C. 2003. **Rhizodeposition of organic C by plants: mechanisms and controls**. *Agronomie* 23: 375–396

NIXON, S.L.; DALY, R.A.; BORTON, M.A. SOLDEN, L.M.; WELCH, S.A.; COLE, D.R.; MOUSER, P.J.; WILKINS, M.J.; WRIGHTON, K.C. Genome-Resolved Metagenomics Extends the Environmental Distribution of the Verrucomicrobia Phylum to the Deep Terrestrial Subsurface. *mSphere*. 2019 Dec 18;4(6): e00613-19. doi: 10.1128/mSphere.00613-19.

PEREIRA, R. M.; SILVEIRA, E.L.; SCAQUITTO, D. C.; PEDRINHO, E. A. N.; VALMORAES, S. P.; WICKERT, E.; CARARETO-ALVES, L. M.; MACEDO LEMOS, E. G. **Molecular characterization of bacterial populations of different soils**. **Braz. J. Microbiol.**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 439-447, Dec. 2006.

PINDI, P.K.; SULTANA, T.; VOOTLA, P. K. **Plant growth regulation of Bt-cotton through Bacillus species.** 3 Biotech 4:305–315. 2014

PIVELLO, V. R. Invasões Biológicas no Cerrado Brasileiro: Efeitos da Introdução de Espécies Exóticas sobre a Biodiversidade. ECOLOGIA. INFO 33. 2005.

RANJAN, K. **Verrucomicrobia: a model phylum to study the effects of deforestation on Microbial diversity in the amazon forest.** Master of Science in Environmental Science. The University of Texas. 2010

RAYMOND, J.; SIEFERT, J.L.; STAPLES, C.R; BLANKENSHIP, RE. The natural history of nitrogen fixation. Molecular Biology and Evolution, v.21, p.541-554, 2004.

REGAZZI, A.J. Análise multivariada, notas de aula INF 766, Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, v.2, 2000.

RESENDE, M.; CURI, N; REZENDE, S. B.; CÔRREA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes.** 4.ed. Viçosa: Neput, 2002. p.237-257.

SIMMONS, J.; CURRIE W.; ESHLEMAN, K.N.; KUERS, K.; MONTELEONE S., T.L. NEGLEY; POHLAD, B., and THOMAS, C. Forest to reclaimed land-use change leads to altered ecosystem structure and function. Ecological Applications 18:104–118. 2008.

SKOUSEN, J.; GORMAN, J.; PENA-YEWTKHIW, E.; KING, J.; STEWART, J.; EMERSON, P.; and DELONG, C. Hardwood tree survival in heavy groundcover on reclaimed land in West Virginia: Mowing and ripping effects. Journal of Environmental Quality 38:1400–1409. 2009.

THEODORO, V. C. A.; ALVARENGA, M. I. N.; GUIMARÃES, R. J.; SOUZA, C. A. S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:1039-1047, 2003.

TOY, T. J.; DANIELS, W. L. Reclamation of disturbed lands. In: MAYER, R. A. **Encyclopedia of environmental analysis and remediation.** New York: John Wiley, p.4078-4101. 1998.

TRESEDER, K.K. Nitrogen additions and microbial biomass: a meta-analysis of ecosystem studies. Ecol Lett 11:1111–1120. 2008

XIAO, L., PENG, L., PENG S., LIU Y. Soil nutrient stoichiometries and enzymatic activities along an elevational gradient in the dry-hot valley region of southwestern China. Archives of Agronomy and Soil Science 65:3, pages 322-333. 2019

ZALAMENA, J. **Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do Planalto - RS.** Dissertação Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2008.

ZIPPER, C.E.; BURGER J.A.; SKOUSEN, J.G., ANGEL, P.N., BARTON, D.; DAVIS, V.; and FRANKLIN, J.A. Restoring forests and associated ecosystem services on Appalachian coal surfacemines. *Environmental Management* 47:751–765. 2011.

5. Invasão Biológica e Controle Físico-Químico de leucena (*Leucaena leucocephala* Lam. De Wit).

Artigo submetido à Revista *Árvore* – Brazilian Journal of Florest Cience

*** Formato e estilo: Revista *Árvore***

INVASÃO BIOLÓGICA E CONTROLE FÍSICO-QUÍMICO DE LEUCENA (*Leucaena leucocephala* LAM. De Wit).

Resumo

Invasões biológicas têm recebido cada vez mais atenção de pesquisadores em todo o mundo e têm se tornado cada vez mais evidente a necessidade de medidas de prevenção, recursos humanos e financeiros adequados, engajamento público e combinação de vários métodos de controle. A leucena (*Leucaena leucocephala* LAM. De Wit) é uma espécie arbustivo arbórea que se encontra na lista das 100 espécies invasoras mais agressivas do planeta, elaborada pela União Mundial para a Conservação da Natureza – IUCN. O objetivo deste trabalho foi estudar a invasão biológica e controle da Leucena no município de Arcos/MG. Para a realização da avaliação da ocupação do solo ocorridas pela Leucena dos anos de 2005 a 2017, foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 7 e 8. Para cada ano avaliado foram gerados mapas temáticos de uso e ocupação do solo da área de expansão da espécie exótica, a fim de quantificar a área total invadida, para a melhor visualização das áreas ocupadas e das diferentes classes de vegetação nas imagens Landsat, foram gerados mapas com o uso do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). A média de expansão anual da leucena na área foi de 0,112 ha/ano. O delineamento experimental para estudar o controle da espécie, utilizou-se oito tratamentos e três repetições em blocos casualizados, com uso dos herbicidas picloran+2,4D (288 +1.080 g ha⁻¹), triclopir-butotílico (5 L p.c./ha), glifosato (2,40 kg i.a. ha⁻¹), isolados e os mesmos aplicado posteriormente no toco, após corte raso. O melhor controle se deu através da realização de corte raso e aplicação de picloram + 2,4D sobre os tocos, atingindo média de 80% de controle da espécie em 360 dias após o tratamento (DAT).

Palavras-chave: *Leucaena leucocephala*. Espécies invasoras. Herbicida.

Abstract

Biological invasions have received increasing attention from researchers around the world and the need for preventive measures, adequate human and financial resources, public engagement and a combination of various control methods has become increasingly evident. *Leucaena* (*Leucaena leucocephala* LAM. De Wit) is a tree species found on the list of the 100 most aggressive invasive species on the planet, prepared by the World Union for Conservation of Nature - IUCN. The objective of this work was to study the biological invasion and control of *Leucaena* in the municipality of Arcos / MG. In order to carry out the land occupation assessment carried out by *Leucaena* from 2005 to 2017, images from the Landsat 5 satellites were used. In order to quantify the total area invaded, for a better visualization of the occupied areas and the different classes of vegetation in the Landsat images, maps were generated using the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). The average annual expansion of *leucaena* in the area was 0.112 ha / year. The experimental design to study the control of the species used eight treatments and three replications in randomized blocks, using the herbicides picloran + 2,4D (288 +1.080 g ha⁻¹), triclopyr-butotyl (5 L pc / ha), glyphosate (2.40 kg ai ha⁻¹), isolated and the same applied later on the stump, after shallow cut. The best control was given by shallow cutting and application of picloram + 2,4D on the stumps, reaching an average of 80% control in 360 days after treatment (DAT).

Key Words: *Leucaena leucocephala*. Invasive species. Herbicide

Introdução

No Brasil cerca de 40% das introduções de espécies exóticas invasoras são devidas ao uso ornamental de plantas e a criação de animais de estimação, sendo que a atenção dos pesquisadores e gestores ambientais para estas espécies é relativamente recente considerando o grande número de invasoras já estabelecidas no território nacional desde o início do processo de colonização europeia no século XVI (LEÃO et. al. 2011; SAMPAIO e SCHMIDT, 2013). O interesse científico pela introdução de espécie não é novo, remonta desde a publicação de “A origem das espécies” por Charles Darwin (1859). Darwin chamava a atenção sobre a quão poderosa podia ser a introdução de uma espécie onde não ocorria naturalmente, mas foi na publicação “Ecologia das invasões” por Charles Elton em 1958 que este ramo da Ecologia se consolidou.

A leucena (*Leucaena leucocephala*) é uma espécie arbustivo arbórea originária do México e América Central que foi plantada em muitos países tropicais, incluindo o sudoeste da Ásia, na África e América do Sul como fonte de sombreamento para outras culturas comerciais, entre corredores de plantios (quebra vento ou cinturão verde) e para produção de madeira. Porém características como o rápido crescimento, produção de sementes em grandes quantidades, capacidade de reprodução sexual e assexuadamente (rebrotas sucessivas após o corte), sucessão pioneira e tolerância a ambientes diversos, fazem com que a espécie seja considerada invasora em diversas partes do mundo (OKIGBO, 1984; NOBLE, 1989; BLOSSEY e NÖTZOLD, 1995).

É uma espécie de rápido crescimento, chegando a crescer até três metros de altura no primeiro ano, e com grande capacidade de regeneração. O grande destaque da espécie recai sobre sua multiplicidade de usos: como madeira forrageira e como planta melhoradora dos solos, especialmente quando consorciada com outras culturas (DRUMOND, 1992).

A espécie foi utilizada em diversos países, para produção de madeira, recomposição vegetal, adubação verde e sombreamento em pastagem. Teve seu cultivo fortemente promovido por organizações internacionais devido à sua utilidade como fonte de forragem e lenha, denominada árvore milagrosa nos primeiros anos do seu cultivo global (GISP, 2005). No Brasil também foi utilizado para a recomposição florestal do Refúgio Biológico de Santa Helena (RBSH), localizado no Sul do Brasil, oeste do Estado do Paraná (1990). Em Tarumã (SP) no início da década de 1980, foi realizado um plantio de leucenas em uma área de afloramento rochoso através de semeadura direta, em área distante 200 m de zona ripária e de fragmento florestal.

A leucena se estabeleceu em mais de 120 países tropicais, subtropicais e de temperaturas quentes em todo o mundo após introduções deliberadas para sistemas agrofloretais e outros fins, e uma vez estabelecida, a leucena é de difícil controle e erradicação, pois rebrota vigorosamente após o corte. Para erradicação, os tocos cortados precisam ser tratados com diesel ou outros produtos químicos, e mesmo assim o banco de sementes do solo pode permanecer viável por pelo menos 10-20 anos após a dispersão das sementes (OLCKERS, 2011; HUGHES, 2010).

Embora existam poucas informações sobre o controle específico de leucenas, várias técnicas mecânicas e químicas desenvolvidas para outras invasoras lenhosas podem ser relevantes. Caso se mostre viável, o controle mecânico pode se tornar uma opção apropriada para o tratamento de densas infestações de leucenas usando equipamentos como escavadeiras com acessórios de lâmina, arados com lâminas, ou tratores e máquinas equipados com equipamentos destrutivos (VITELLI e PITT, 2006; FOLKERS, 2010).

O controle de mudas e rebrotas pode ser realizado com herbicidas aplicados usando algumas técnicas diferentes, no entanto a leucena é uma espécie bastante difícil de se controlar com herbicidas em comparação com outras ervas daninhas lenhosas, com maior mortalidade geralmente alcançada pelo controle de plantas mais jovens, preferencialmente por pulverização foliar (CAMPBELL et. al., 2019).

Dado esse panorama de grande potencial invasor aliado as dificuldades no controle da invasão após o estabelecimento da espécie, o presente trabalho buscou estudar as características da invasão por Leucena em uma área degradada por atividades minerárias e diferentes formas para o seu controle.

Materiais e Métodos

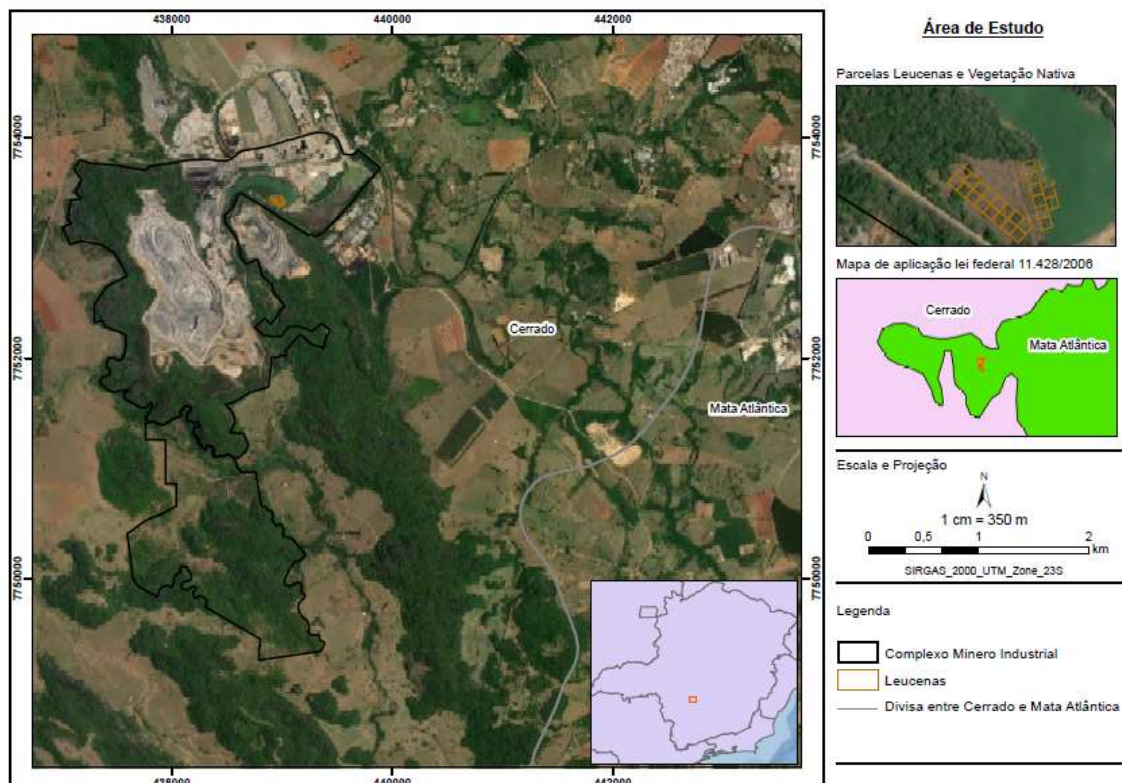
Área de estudo

O estudo foi realizado em um complexo minero industrial localizado no município de Arcos/MG, coordenadas geográficas 20° 18' 58,63" S, 45° 35' 4,39" W e altitude de 710 m, onde existem maciços de leucena em áreas destinadas a conservação ambiental – Reserva do Particular do Patrimônio Natural – RPPN. De acordo com os responsáveis pelo empreendimento, mudas de leucenas foram plantadas na década de 1980 com objetivo de recuperação de áreas degradadas por atividades minerárias.

A área encontra-se em região de ecótono dos Biomas Cerrado e Mata Atlântica, porém apesar de integralmente inserida nos limites do bioma Cerrado conforme o Instituto Brasileiro

de Geografia e Estatística – IBGE, quando avaliados os limites de aplicação da Lei Federal Lei Federal nº 11.428, de 22 de setembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, regulamentada pelo Decreto Federal nº 6.660, de 21 de novembro de 2008, o local encontra-se nos limites da Mata Atlântica (BRASIL, 2006; IBGE, 2019).

Figura 1 – Área de estudo com destaque para a proximidade com divisa de Biomas Cerrado e Mata Atlântica, e o mapa de aplicação da lei federal nº 11.428/2006.



Fonte: Autores, 2020.

Na década de 80 foi introduzida a *Leucaena leucocephala* com o objetivo de recuperar a área de aproximadamente 6,70 hectares impactada pela mineração, porém a espécie foi se propagando em outras áreas, se tornando uma espécie invasora.

O clima regional é caracterizado pela sazonalidade, com chuvas no verão e inverno seco sendo classificado como um clima subtropical úmido do tipo Cwa de Köppen. No município de Arcos, a temperatura média é 20,7 °C. Os meses mais quentes do ano são janeiro a março com uma temperatura média de 23,4 °C, enquanto junho e julho são os meses com menor temperatura média, compreendendo 16,4 °C.

Segundo estudos de Meguro et. al. 2007, a área apresenta características de pluviosidade anual entre 1.000 e 1.500 mm. O trimestre de dezembro a fevereiro, além de mais chuvoso, é o de maior excedente hídrico e o de escoamento superficial mais ativo.

A região possui período chuvoso bem definido, entre os meses de novembro a janeiro, e estação seca pronunciada entre maio e agosto. No ano de 2019, período em que foi realizado o controle de leucenas mediante corte e aplicação de herbicidas o acumulado da precipitação total foi de 1263 mm (INPE, 2020 – dados estação A565 Bambuí/MG). O solo da área em estudo é um solo alcalino, que apresentava boas características de fertilidade.

Invasão biológica

Para a realização da avaliação da ocupação do solo ocorridas pela Leucena dos anos de 2005 a 2017, foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 7, equipado com sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) e Landsat 8, equipado com um sensor ótico, o OLI (Operational Land Imager) e o sensor infravermelho termal, o TIRS (Thermal InfraRed Sensor). Os sensores foram escolhidos por apresentarem bandas que cobrem as principais feições da curva espectral dos vegetais, com cenas suficientemente abrangentes, além de possuírem qualidade radiométrica e serem economicamente viáveis. Neste estudo foram utilizadas imagens com resolução de 30 m para o satélite Landsat 7 ETM+ e de 30m (15m) para o satélite Landsat 8 OLI+TRS, referente aos dias 09 de julho de 2005, 07 de julho de 2010, 03 de agosto de 2014 e 10 de julho de 2017. Foram utilizadas as bandas 3 (0,63 μm - 0,69 μm), 4 (0,76 μm – 0,90 μm) e 5 (1,55 μm – 1,75 μm) para as imagens de 2005 e 2010 e, as bandas 4 (0,64 μm - 0,67 μm), 5 (0,85 μm - 0,88 μm) e 6 (1,57 μm – 1,65 μm), para 2014 e 2017.

Para cada ano avaliado foram gerados mapas temáticos de uso e ocupação do solo da área de expansão da espécie exótica, a fim de quantificar a área total invadida. Todo o processamento de imagens foi realizado utilizando-se o aplicativo ESRI ArcGIS Desktop versão 10.4 e as imagens obtidas através do software Earth Observing System (EOS). A classificação supervisionada das imagens foi realizada com o intuito de analisar a cobertura do solo pela leucena. O método utilizado para esta classificação foi o da distância mínima que atribui cada pixel desconhecido à classe cuja média é mais próxima a ele. Para a melhor visualização das áreas ocupadas e das diferentes classes de vegetação nas imagens Landsat, foram gerados mapas com o uso do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). O NDVI é calculado pela diferença entre as bandas do Infravermelho próximo e do Vermelho, normalizada pela soma das mesmas bandas. O modelo utilizado foi proposto por Rouse et al. (1973).

Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com oito tratamentos e três repetições. As unidades experimentais foram constituídas em uma área ocupada por leucenas com aproximadamente 1,40 hectares foi dividida em parcelas experimentais de 15 m de largura por 15 m de comprimento (225 m²), cada uma com no mínimo 10 plantas de leucena em cada parcela.

Os tratamentos estudados foram constituídos pelos herbicidas isolados e por corte raso nas plantas, aplicados nas modalidades de pós-emergência, a aplicação foi realizada com o uso de bomba costal nos troncos e nos tocos, logo após a execução do corte raso das árvores de leucena, conforme cada um dos tratamentos propostos: 1 – Testemunha; 2- picloran+2,4D (288 +1.080 g ha⁻¹) diretamente sobre o tronco 3 - Triclopir-butotílico diretamente sobre o tronco das árvores (5 L p.c./ha), 4 –Glifosato diretamente sobre o tronco das árvores (2,40 kg i.a. ha⁻¹), 5 – Corte raso sem destoca das árvores; 6 – Corte raso sem destoca das árvores e aplicação de picloran sobre os tocos (4%); 7 – Corte raso sem destoca das árvores e aplicação de Triclopir-butotílico sobre os tocos (5 L p.c./ha) e 8 – Corte raso sem destoca das árvores e aplicação de Glifosato sobre os tocos (2,40 kg i.a. ha⁻¹).

Foram realizadas as avaliações aos 30, 60, 180 e 360 dias após os tratamentos (DAT) dos seguintes parâmetros: percentual de controle da espécie exótica avaliação visual utilizando-se escala percentual, em que 0 (zero) significa ausência de sintomas (epinastia das plantas, diminuição da área foliar e encarquilhamento das folhas, paralisação do crescimento) e 100 %, morte de todas as plantas, número de indivíduos regenerantes da espécie exótica (considerou regeneração brotações ocorridas), medição da altura do solo até a parte mais alta da planta (metros) e medição da circunferência do caule a altura do peito. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Resultados

Invasão biológica

A área que utilizou leucena para recuperação apresentou potencial invasor e competitivo das plantas de leucena, que invadiu uma área de pastagem braquiária abandonada, se tornando uma invasão pura, não permitindo a regeneração de outras espécies e enriquecimento do sub-bosque. Lima (1996), descreve o uso destas espécies na recuperação de áreas degradadas ocupando extensas áreas contínuas de monoculturas, têm sido, com relativa frequência,

metaforicamente, denominadas pela mídia como “desertos verdes” e, como tais, alvo de inúmeras críticas, o que usualmente desperta reações hostis, como se esta fosse a forma mais indesejável de uso da terra quando se busca a conservação da natureza. A área onde a espécie foi plantada encontra-se aproximadamente a 2 km da área invadida. Após iniciar o desenvolvimento em 2005, ocorreu uma expansão de 0,40 ha entre 2005 e 2010; 0,42 ha entre 2010 e 2014; e 0,53 ha entre 2014 e 2017. A média de expansão anual da leucena na área foi de 0,112 ha/ano.

Tabela 01 – Dados expansão de ocupação do solo pela leucena.

Expansão na ocupação do solo				
Período (anos)	Área perímetro (ha)	Período (anos)	Aumento (ha)	Aumento (%)
2005 – 2010	0,40	5	0,40	29%
2010 – 2014	0,82	4	0,42	31%
2014 – 2017	1,35	3	0,53	40%
Área total invadida		1,35 ha		100%

Fonte: Elaborada pelos autores, 2020.

Controle da Leucena

Pode-se observar os dados que o controle mediante aplicação direta dos herbicidas sobre o tronco das árvores de leucena foi ineficaz utilizando os produtos triclopir e glifosato (tratamentos 3 e 4), para o tratamento 2 com o uso do picloran + 2,4D apresentou média de controle 65 e 63% aos 30 e 60 dias, respectivamente. Porém, ocorreu recuperação das plantas, com regeneração de 80% aos 360 DAT (Tabela 2).

Em avaliação de campo o tratamento com aplicação direta de picloran + 2,4D sobre o tronco (tratamento 2), iniciou-se com brotação lenta em apenas alguns dos galhos, sendo que os demais galhos das leucenas avaliadas se encontravam secos, esse resultado comparado ao vigor das árvores nas áreas testemunha e corte raso (controle), denotou um retardo na brotação das espécies testadas com aplicação direta desse controle químico.

Em relação à aplicação dos herbicidas sobre a base do caule, após o corte das plantas de leucena, o produto triclopir (tratamento 7) apresentou melhor desempenho em comparação à aplicação direta sobre troncos (tratamento 8), atingindo média de controle de 70 e 50% aos 30 e 60 DAT, enquanto a aplicação de glifosato diretamente sobre os tocos resultou em controle de 20%. Também ocorreu recuperação das plantas alcançando 100% de recuperação para os tratamentos com o uso de triclopir e glifosato (tratamentos 3, 4, 7 e 8 – Tabela 2).

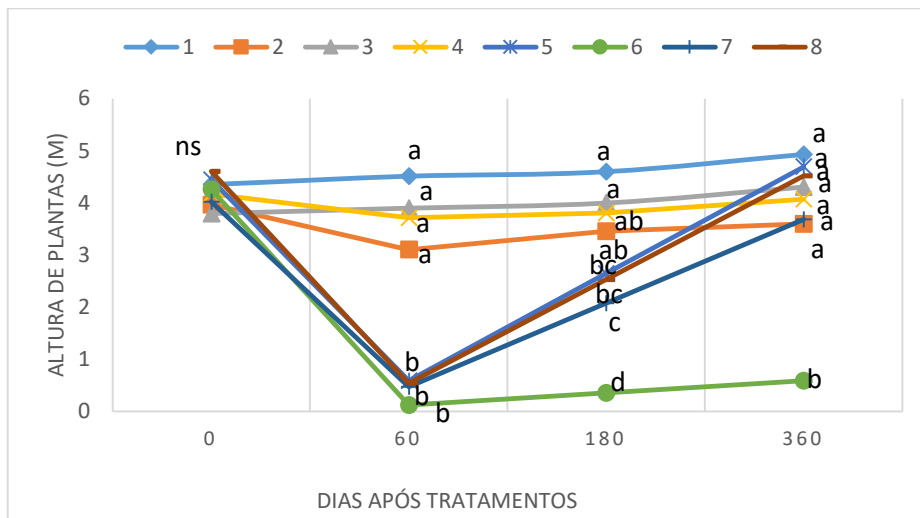
Tabela 2 – Percentual de controle dos diferentes tratamentos aos diferentes dias de avaliação após aplicação.

Tratamentos	Percentual de controle			
	30 DAT	60 DAT	180 DAT	360 DAT
1 – Controle	0,0 %	0,0 %	0,0 %	00,0 %
2 –picloram + 2,4D	65%	63%	30 %	20 %
3 - Triclopir-butotílico;	0,0%	0,0 %	0,0 %	0,0 %
4 –Glifosato	0,0%	0,0 %	0,0 %	0,0 %
5 – Corte raso	50%	10%	0,0 %	0,0 %
6 – Corte + picloram + 2,4D	90%	80%	80%	80%
7 – Corte + Triclopir-butotílico	70%	50%	0,0 %	0,0 %
8 – Corte + Glifosato	30%	20%	0,0 %	0,0 %

Fonte: Elaborada pelos autores, 2020.

Observando o efeito dos tratamentos na altura e circunferência nas plantas de leucena, pode observar que aos 60 dias há diferença entre os tratamentos, todos os tratamentos utilizando o corte se diferenciam dos tratamentos que somente foi aplicado herbicidas e testemunha. Apesar disto, quando se verifica os dados de rebrota da segunda e terceira avaliação (60 e 180 DAT – figuras 2 e 3) e que aos 180 DAT as plantas se recuperaram evidenciando crescimento em altura e diâmetro do caule. Já a avaliação aos 360 DAT para altura das plantas não existe diferença dos tratamentos da testemunha, exceto o tratamento com corte e uso de picloram+2,4D (Tratamento 6 – Figura 2). O mesmo ocorreu na avaliação da circunferência das plantas tendo uma rápida recuperação no uso dos herbicidas já aos 60 DAT, recuperando-se também as plantas que passaram pelo tratamento de corte e uso de tryclopir e glifosato aos 360 DAT (Tratamentos 7 e 8 –Figura 3).

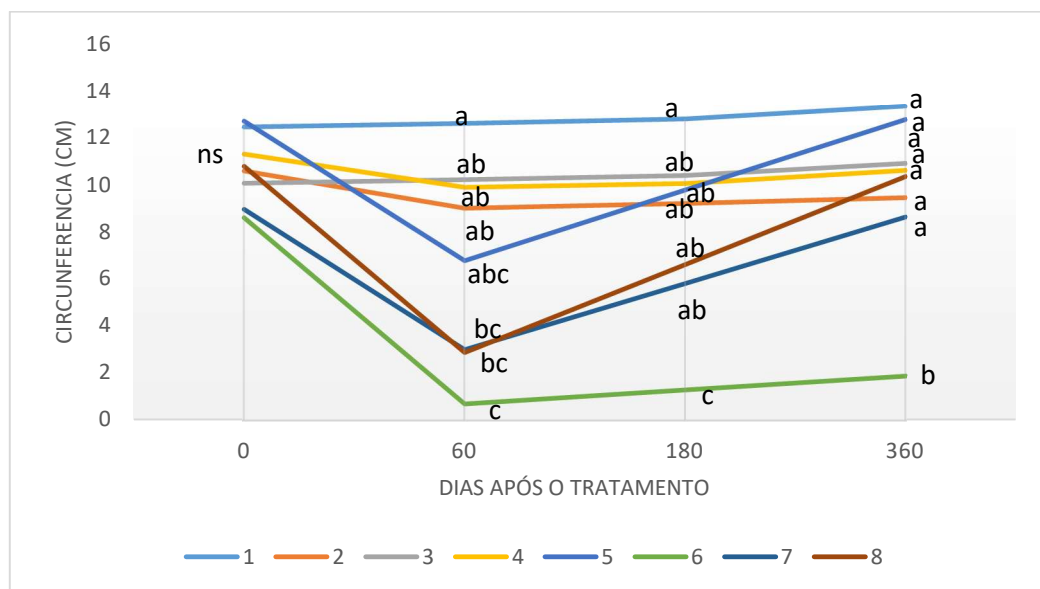
Figura 2 – Altura de plantas de Leucena (m) em diferentes dias após os tratamentos físico-químico.



1 – Controle, 2 – picloram + 2,4D, 3 – Triclopir; 4 – Glifosato; 5 – Corte raso, 6 – Corte + picloram + 2,4D; 7 – Corte + Triclopir; 8 – Corte + Glifosato. Médias unidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$)

Fonte: Elaborada pelos autores, 2020.

Figura 3 – Medida da circunferência do tronco a altura do peito (cm) em diferentes dias após os tratamentos físico-químico.



1 – Controle, 2 – picloram + 2,4D, 3 – Triclopir; 4 – Glifosato; 5 – Corte raso, 6 – Corte + picloram + 2,4D; 7 – Corte + Triclopir; 8 – Corte + Glifosato. Médias unidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Fonte: Elaborada pelos autores, 2020.

Discussão

Possivelmente a espécie foi introduzida na área invadida por sementes oriundas da área em recuperação, devido a leucena produzir uma grande quantidade de sementes, apesar que suas sementes secas e duras sejam predominantemente dispersas por gravidade (barocoria), há relatos de que a espécie é zoocórica e que suas sementes podem ser dispersas por aves e formigas, possibilitando transporte para além do limite de suas copas (BAKER et al., 1965, 1974; INSTITUTO HORUS, 2008).

A espécie depois de introduzida, domina a área interferindo no sub-bosque, estudo para avaliar a regeneração natural em reflorestamento no Rio de Janeiro, também encontrou presença pura das espécies leucena (*Leucaena spp.*) e sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*), a autora justifica este potencial daninho devido as plantas da família Leguminosa possuírem a capacidade de se associar com bactérias (rizóbio) e fungos micorrízicos, se tornado tolerantes aos estresses ambientais.

A realização do corte raso das leucenas seguido da aplicação de picloran+2,4D (tratamento 6) apresentou o melhor resultado entre os tratamentos testados, atingindo 90 e 80% de controle aos 30 e 60 DAT, respectivamente. Apesar do triclopir e picloran+2,4D terem o mesmo mecanismo de ação considerados mimetizadores de auxina (VIDAL, 1997), o uso deles apresentaram resultados diferentes. Talvez seja pela presença de duas substâncias, que são 2,4-D (ácido 2,4-Diclorofenoxiacético) e o picloram (ácido 4-amino 3,5,6 tricloro-2-piridinacarboxílico) esses produtos são latifolicidas, sendo que o 2,4-D apresenta persistência, de curta a média, nos solos, podendo, segundo Silva *et al.* (2007), pode causar intoxicação em espécies sensíveis, como soja, feijão, algodão e outras dicotiledôneas. O picloram apresenta alto período residual, podendo ocasionar contaminação ambiental por sua lixiviação para camadas mais profundas no perfil do solo, podendo atingir cursos de águas (SANTOS et al., 2007).

O picloram, muitas vezes associado ao 2,4-D são usados em aplicações diretas no toco, imediatamente após o corte da planta, para o controle de plantas daninhas de folhas largas de porte arbóreo, arbustivo ou subarbustivo em áreas de pastagens (FRANCESCHI et al., 2017).

As parcelas que sofreram corte raso sem a aplicação de herbicidas (tratamento 5), apresentaram 100% de brotação e desenvolvimento germinativo dos troncos, em concordância com a informação de que a leucena possui capacidade de reprodução assexuada e que possui capacidade de rebrota sucessivas vezes após o corte (BAKER et. al., 1965).

Caldeira e Castro (2012) encontram resultado semelhante para aplicações de picloram com e sem rachaduras mecânicas direcionadas ao toco de plantas de *Tecona grandis* e

observaram resultados satisfatórios de controle, mesmo nos tratamentos em que não havia sido realizado nenhum dano físico no toco das plantas.

Mendes et al. (2016) realizou uma pesquisa semelhante com objetivo de controlar amarelinho (*Tecoma stans*) em áreas de pastagem, aplicando herbicidas (picloram, triclopir e outros) no toco das plantas que foram cortadas, todos os tratamentos com herbicidas resultaram em níveis de controle acima de 95% aos 270 dias após a aplicação, sendo mais eficientes do que o tratamento apenas com a roçada da parte aérea, em função da capacidade de rebrote das plantas, também o tratamento nesta pesquisa somente o uso do corte das plantas de leucena não obteve êxito devido a capacidade de regeneração da planta.

Conclusão

Comparando a aplicação dos três herbicidas comerciais usuais (picloram +2,4D, triclopir e glifosato) para o controle de leucena (*Leucaena leucocephala*) com aplicações diretas sobre o tronco e após realização de corte raso do caule, conclui-se que o melhor resultado para erradicação da espécie é a aplicação de picloram +2,4D sobre os tocos (após corte) atingindo média de 80% de eficácia no controle. Mesmo em aplicações diretas, sem a realização de cortes, o picloram +2,4D se mostrou mais eficaz que triclopir e glifosato, atingindo bons resultados de controle até aos 60DAT.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L. M. S.; MACHADO, R. B.; MARINHO FILHO, J. **A diversidade biológica do Cerrado**. In: AGUIAR, L. M. S.; CAMARGO, A. J. A. (Org.). Cerrado: ecologia e caracterização. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. v. 1, p. 17-38.
- BAKER, H.G. **Characteristics and modes of origin of weeds**. Pp 147-168. In Baker, H.G. e Stebbins, G.L. (eds.) *The genetics of colonizing species*. New York: Academic Press. 1965.
- BAKER, H.G. The evolution of weeds. *Annual Review of Ecology and Systematics* **5**:1-24. 1974.
- BLOSSEY, B. E NÖTZOLD, R. **Evolution and increased competitive ability in invasive nonindigenous plants: a hypothesis**. *Journal of Ecology* **83**:887-889. 1995.
- BRASIL. **Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências.
- CAMPBELL, S., VOGLER, W., BRAZIER, D., VITELLI, J. and BROOKS, S. Weed leucaena and its significance, implications and control. *Tropical Grasslands-Forrajões Tropicais*, v. 7n.4, p.:280–289 280, 2019.
- CI-BRASIL. **CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL – BRASIL. 2005**. Prioridades de Conservação – HOTSPOTS. Disponível em: <http://www.conservation.org.br/como/index.php?id=8>. Acesso em 09 out. 2020.
- DARWIN, C. **On the origin of species**. John Murray. London. 1859.
- DRUMOND, M. A. Produtividade florestal na região Semi-Árida do Nordeste brasileiro. Vitória da Conquista-BA, 1992.
- DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; MACHADO, A. B. M.; SEBAIO, F. A. & ANTONINI, Y. (Orgs). **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação**. Fundação Biodiversitas: Belo Horizonte, 2. ed., 222 p. 2005.
- EITEN, G. **The cerrado vegetation of Brazil**. *Botanical Review*, New York, v. 38, n. 2, p. 201-304, Apr./June 1972.
- EOS – Earth Observing System. Disponível em <https://eos.com/landviewer> Acesso em 02 jan. 2021.
- FRANCESCHI, M.; YAMASHITA, O. M.; ARANTES, S. A. C. M.; ANDRADE, S.P. Comportamento do 2,4-D + picloram em Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.16, n.3, p.238-245, jul./set. 2017
- FOLKERS A. **Management of weedy leucaena in the Mackay Whitsunday region**. Final Report, Blueprint for The Bush Project. Mackay Regional Pest Management Group, Mackay, QLD, Australia. 2010.

HUGHES, C. **Global Invasive Species Database (2020) Species profile: *Leucaena leucocephala***. Downloaded from <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=%2023> on 02-11-2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2019. **Mapa de Biomas e de Vegetação**. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em 09 out. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2012. 271 p.

INSTITUTO HORUS DE DESENVOLVIMENTO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL/The Nature Conservancy. ***Leucaena leucocephala***. 2008. Disponível em: http://www.institutohorus.org.br/download/fichas/Leucaena_leucocephala.htm (Acesso em 29 jun. 2008).

GISP - Programa Global de Espécies Invasoras. América do Sul invadida. A crescente ameaça das espécies exóticas invasoras. 80p, 2005.

LEÃO, T.C.C.; ALMEIDA, W. R. de; DECHOUM, M. de S.; ZILLER, S.R. **Espécies exóticas invasoras no nordeste do Brasil: contextualização, manejo e políticas públicas**. CEPAN e Instituto Hórus. 2011. 99p.

LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 1996. 301 p

MEGURO, M., J. R. PIRANI, R. MELLO-SILVA, e I. CORDEIRO. “Composição Florística e Estrutura das Florestas Estacionais Decíduas sobre Calcário a Oeste da Cadeia do Espinhaço, Minas Gerais, Brasil.” **Bol. Bot. Univ. São Paulo**, 147-171. 2007.

MENDES, R. R.; BIFFE, D. F.; CONSTANTIN, J. 3; OLIVEIRA JR, R. S.; ROSA, E. L. ; CUBA, A.L. F. ; BALADELI, R. B. Controle de amarelinho (*Tecoma stans*) em pastagem com aplicações localizadas de herbicidas. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v.15, n.4, p.303-312, out./dez. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Diretrizes para a Política de Conservação e Desenvolvimento Sustentável da Mata Atlântica**. Brasília-DF, 1998. 26p.

NOBLE, I.R. Attributes of invaders and the invading process: terrestrial and vascular plants. Pp 301-313. In Drake, J.A.; DiCasti, F.; Groves, R.H.; Kruger, F.J.; Mooney, H.A.; Rejmánek, M. & Williamson, M.H. (eds.) **Biological Invasions: a global perspective**. New York: Willey. 1989.

OLCKERS, T. Biological Control of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) in South Africa: A Tale of Opportunism, Seed Feeders and Unanswered Questions. **African Entomology**. DOI: 10.4001/003.019.0219. 2011.

OKIGBO, B.N. Nitrogen-fixing trees in Africa: priorities and research agenda in multiuse exploitation of plant resources. **Pesq Agropec Bras** 19, p.325–330. 1984.

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGWATER, S. **Woody flora distribution of the cerrado biome: phytogeography and conservation priorities.** In: CAVALCANTI, T. B.; WALTER, B. M. T. *Tópicos atuais em botânica.* Brasília: Embrapa/SBB, 2000. p. 340-342.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forests distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p.1141-1153, 2009.

ROUSSE, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite Symposium, 3, 1973. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec.A, p. 309-317.

SAMPAIO, A. B. e SCHMIDT, I.B. Espécies exóticas invasoras em unidades de conservação federais do Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, 2013, v. 3(2), p. 32 – 49

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do bioma cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 43, n. 1, p. 153-156, jan. 2008.

SANTOS, J.B, SILVA AA, Ferreira LR, Procópio SO & Pires FR **Fitorremediação de áreas contaminadas por herbicidas.** In: Silva AA & Silva JF (Eds.) *Tópicos em manejo de plantas daninhas.* Viçosa, Editora UFV. 2007. p. 210-329

SILVA, A.A.; VIVIAN, R.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. Herbicidas: comportamento no solo. In: Silva, A.A.; Silva, J.F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p.189-248.

SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T. (Ed.). **Mapeamento e Inventário da Flora e dos Reflorestamentos de Minas Gerais.** Lavras: UFLA, 2006. cap. 5, p.75-278.

SILVA A.A, Vivian R & Oliveira Júnior RS Herbicidas: Comportamento no solo. In: Silva AA & Silva JF (Eds). *Tópicos em manejo de plantas daninhas.* Viçosa, Editora UFV. p. 156-209.

STEHMANN, J. R.; FORZZA, R. C.; SALINO, A.; SOBRAL, M.; COSTA, D. P. da; KAMINO, L. H. Y. **Plantas da Floresta Atlântica.** Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2009. 2007a

VITELLI J.S; PITT J.L.. **Assessment of current control methods relevant to the management of the biodiversity of Australian rangelands.** The Rangeland Journal 28:37–46. doi: 10.1071/RJ06016. 2006.

WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas.** 2006. 373 p. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília.

ZELAZOWSKI, V. H. **Revegetação do Refúgio Biológico de Santa Helena-Pr,** Itaipu Binacional. Santa Helena, Prefeitura Municipal, 1990.

ZILLER, S. R. Opinião. **Revista Ciência Hoje,** São Paulo, v. 30, n. 178, p. 78, 2001

6 – Conclusão da Dissertação

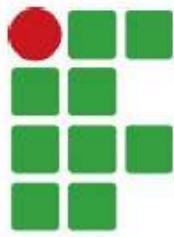
Na avaliação dos efeitos de *Leucaena leucocephala* em nutrientes e microrganismos do solo a partir da comparação dos atributos químicos e biológicos dos solos, conclui-se que mesmo existindo uma maior similaridade entre os parâmetros químicos do solo da área de leucenas com o solo da área de pastagem braquiária em regeneração natural, existiam semelhanças entre a composição e diversidade bacteriana da área ocupada por leucena com a área ocupada por mata, e que essas por sua vez diferiam dos microrganismos ocorrentes na área de pastagem braquiária.

Esse resultado sugere que a leucena, apesar de grande parte da literatura mundial tratar como espécie invasora, não interferiu significativamente nos atributos químicos e biológicos avaliados em comparação à área de mata existente no empreendimento, sugerindo que seu impacto é maior sobre os processos de sucessão ecológica.

Considerando a recente ótica dos estudos de recuperação ambiental sobre os atributos microbiológicos dos solos, os quais se apresentam como importantes aspectos positivos ao desenvolvimento vegetal, o estudo lançou luz na temática sobre como combater e/ou substituir gradativamente *L. leucocephala* por espécies nativas, ganhando força hipótese de que a exótica se comportará como pioneira e se bem manejada, será substituída no decorrer da sucessão ecológica, que poderá ser acelerada com plantios de enriquecimento com espécies nativas.

No experimento com objetivo de verificar o controle e erradicação de leucenas, concluímos que o melhor resultado para controle da espécie é a aplicação de picloram +2,4D sobre os tocos das árvores, atingindo média de 80% de eficácia no controle e que mesmo em aplicações diretas, sem a realização de cortes, o picloram +2,4D se mostrou mais eficaz que triclopir e glifosato, atingindo bons resultados de controle até aos 60DAT.

Contudo, mesmo com a retirada completa dos indivíduos adultos na área invadida, já executada sem sucesso na área estudada em anos anteriores, o banco de sementes da leucena tende a permanecer ativo por muitos anos, resultando em novos dispêndios para o controle dos indivíduos regenerantes da espécie invasora, o que torna o plantio de mudas nativas com características sucessionais secundárias e climáx, ainda que apresentem desenvolvimento lento, medida mais viável e com possibilidade de melhor resultado para recuperação da área.



**INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
Minas Gerais
Campus Bambuí

APÊNDICE

NOTA TÉCNICA

Interessado: Companhia Siderúrgica Nacional – CSN Arcos/MG.

Assunto: Sugestões de método mais eficaz no controle à *Leucaena leucocephala* Lam. de Wit e para recomposição de área invadida pela espécie.

Sumário Executivo

Essa Nota Técnica foi elaborada a partir de abordagem experimental de métodos para controle mecânico e químico de leucenas no complexo minero industrial da CSN – Unidade Arcos/MG e também da avaliação dos efeitos da espécie invasora em atributos químicos e microrganismos do solo a partir da comparação de amostras de solos de uma área ocupada por leucenas com áreas controle ocupadas por pastagem braquiária em regeneração natural e um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual existem no empreendimento.

O presente documento apresenta um resumo dos experimentos e análises realizadas e é concluído com sugestões para a continuidade das atividades de erradicação das leucenas na área invadida, buscando a maior eficiência técnica, econômica e ecológica para o desafio proposto.

Recomenda-se que a empresa revise seu Plano de Controle de Espécies Exóticas, contemplando na área invadida o plantio de espécies secundárias e clímax, visto que as ações de controle físico-químicos das leucenas não apresentaram resultados satisfatórios, principalmente devido à grande viabilidade do banco de sementes presentes na área. Outro resultado que corrobora com essa sugestão é o fato de que os atributos físico-químicos e biológicos da área de leucenas se assemelham aos de uma área de Floresta Estacional Semidecidual existente no empreendimento, demonstrando que as leucenas apresentaram capacidade para a melhoria da qualidade do solo da área invadida.

Contudo, caso a empresa se disponha de realizar novas intervenções com uso de herbicidas, com previsto no Plano de Manejo de Espécies Exóticas aprovado pelo IEF, sugere-se a realização do corte raso e aplicação do o picloram +2,4D, que se mostrou mais eficaz que os herbicidas triclopir e glifosato, mesmo após o corte das leucenas.

Lista de Siglas

DAT – Dias Após o Tratamento

IEF – Instituto Estadual de Florestas

IFMG – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais

IUCN – União Internacional para Conservação da Natureza

KO – KEGG Ontology

MPSTA – Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologias Ambientais

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

PCoA – Análise de Componentes Principais (inglês)

Lista de Figuras

Figura 1 – Desenho amostral das áreas de coleta de solo para análise microbiana.

Figura 2 – Representação de dissimilaridades da beta diversidade na estrutura da comunidade bacteriana por biplot de Análise de Componentes Principais (ACP) das áreas estudadas.

Figura 3 – Diversidade metabólica (KO) entre as áreas estudadas.

Figura 4 – Altura de plantas de Leucena (m) em diferentes dias após os tratamentos físico-químico.

Figura 5 – Medida da circunferência do tronco a altura do peito (cm) em diferentes dias após os tratamentos físico-químico.

Lista de Tabelas

Tabela 01 – Dados expansão de ocupação do solo pela leucena.

Tabela 2 – Percentual de controle dos diferentes tratamentos aos diferentes dias de avaliação após aplicação.

Introdução

A leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.) é uma espécie arbustivo-arbórea originária do México e América Central que teve seu cultivo estimulado em diversas partes do mundo em meados do século passado, principalmente por estar entre as espécies leguminosas de rápido crescimento, fixadoras de nitrogênio. Por isso foi considerada uma alternativa promissora para recuperação da cobertura vegetal e reabilitação de áreas degradadas (FRANCO e FARIA, 1997; COSTA e DURIGAN, 2012).

Contudo vários países onde a espécie foi plantada tem reportado suas características como espécie invasora, o que levou a sua inserção na lista das 100 maiores espécies invasoras do planeta, elaborada pelo Grupo de Especialistas em Espécies Invasoras da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN). A leucena se destaca pela grande capacidade de expansão em diferentes biomas podendo se expandir amplamente em reservas naturais e centros de diversidade de plantas ao redor do mundo (WAN; WANG, 2018).

Os impactos ambientais de espécies exóticas invasoras variam de acordo com as características biológicas de cada espécie, porém os impactos mais frequentes decorrem da dominância do meio invadido, quebra de cadeias tróficas, alteração de ciclos naturais e de características químicas ou físicas de solos e do equilíbrio hídrico. Esses impactos podem implicar na expulsão de espécies nativas e na redução de populações naturais, por vezes com risco de extinções locais (ZILLER, GALVÃO, 2002; DECHOUM, 2012).

Por outro lado, *L.leucocephala* é reconhecida como uma espécie muito eficiente na recuperação das propriedades físicas do solo, particularmente porosidade e densidade aparente, devido à rápida incorporação de húmus em solo mineral (SHELTON e BREWBAKER 1994).

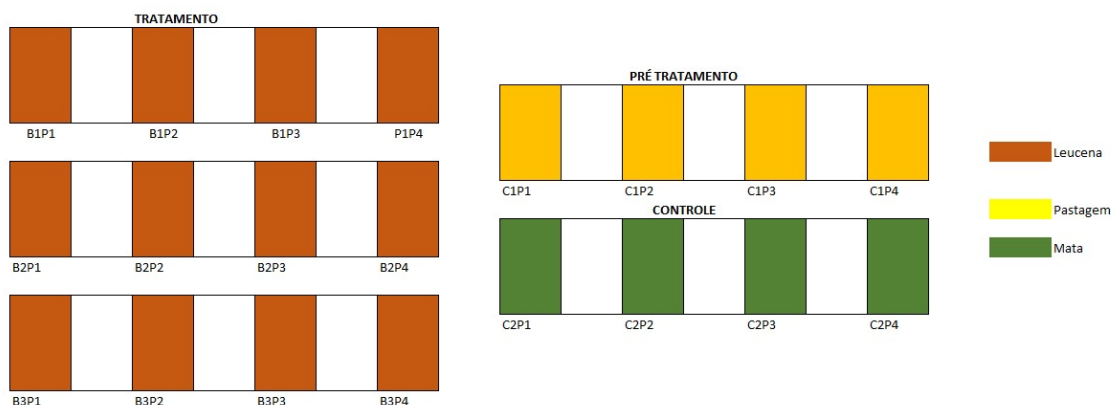
Delineamento Experimental

Atributos químicos e biológicos do solo

A área ocupada por leucena (tratamento) foi dividida em 3 blocos amostrais com 8 parcelas de 15m x 15m em cada bloco. Em cada bloco foram coletas 4 amostras compostas de solo, resultando nessa área em um total de 12 amostras compostas de solo.

As áreas ocupadas por pastagem braquiária em regeneração natural e por vegetação nativa tiveram 4 amostras compostas de solo em cada uma. Dessa forma, o estudo foi elaborado com base em 20 amostras compostas de solo nos cinco blocos citados, conforme desenho amostral na figura 1.

Figura 1 – Desenho amostral das áreas de coleta de solo para análise microbiana.



Fonte: Autor, 2020.

As amostras coletadas foram coletadas em outubro/2020 e armazenadas em sacos plásticos comerciais utilizados para o armazenamento de alimentos em geladeiras ou freezers e seguiram para o Laboratório de Biologia Molecular do IFMG – Campus Bambuí onde foram mantidas resfriadas. Foram separados 0,25 mg de solo de cada uma das 20 amostras para realização da extração de DNA, amplificação por PCR e sequenciamento de alto rendimento.

Invasão Biológica e Controle Físico-Químico de Leucenas

Para avaliação da invasão biológica por leucenas na área do empreendimento utilizamos imagens de satélites Landsat 7 e 8 dos anos de 2005 a 2017 disponíveis no site *Earth Observing System* (www.eos.com). A avaliação da ocupação do solo pela espécie exótica foi realizada a partir de mapas temáticos com uso do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). O NDVI é calculado pela diferença entre as bandas do infravermelho próximo e do vermelho, normalizada pela soma das mesmas bandas. O modelo utilizado foi proposto por Rouse et al. (1973).

Para verificação das medidas de controle físico-químico, a área ocupada por leucenas foi dividida em parcelas experimentais de 15 m de largura por 15 m de comprimento (225 m²), cada uma com no mínimo 10 plantas de leucena em cada parcela, no total de oito tratamentos e três repetições.

Os tratamentos estudados foram constituídos pelos herbicidas isolados e por corte raso nas plantas, aplicados nas modalidades de pós-emergência, a aplicação foi realizada com o uso de bomba costal nos troncos e nos tocos, logo após a execução do corte raso das árvores de leucena, conforme cada um dos tratamentos propostos:

- 1 – Testemunha;
- 2- picloran+2,4D (288 +1.080 g ha⁻¹) diretamente sobre o tronco
- 3 - Triclopir-butotílico diretamente sobre o tronco das árvores (5 L p.c./ha),
- 4 –Glifosato diretamente sobre o tronco das árvores (2,40 kg i.a. ha⁻¹),
- 5 – Corte raso sem destoca das árvores;
- 6 – Corte raso sem destoca e aplicação de picloran sobre os tocos (4%);
- 7 – Corte raso sem destoca e aplicação de Triclopir-butotílico sobre os tocos (5 L p.c./ha);
- 8 – Corte raso sem destoca e aplicação de Glifosato sobre os tocos (2,40 kg i.a. ha⁻¹).

Foram realizadas as avaliações aos 30, 60, 180 e 360 dias após os tratamentos (DAT) dos seguintes parâmetros: percentual de controle da espécie exótica avaliação visual utilizando-se escala percentual, em que 0 (zero) significa ausência de sintomas (epinastia das plantas, diminuição da área foliar e encarquilhamento das folhas, paralisação do crescimento) e 100 %, morte de todas as plantas, número de indivíduos regenerantes da espécie exótica (considerou regeneração brotações ocorridas), medição da altura do solo até a parte mais alta da planta (metros) e medição da circunferência do caule a altura do peito.

Resultados

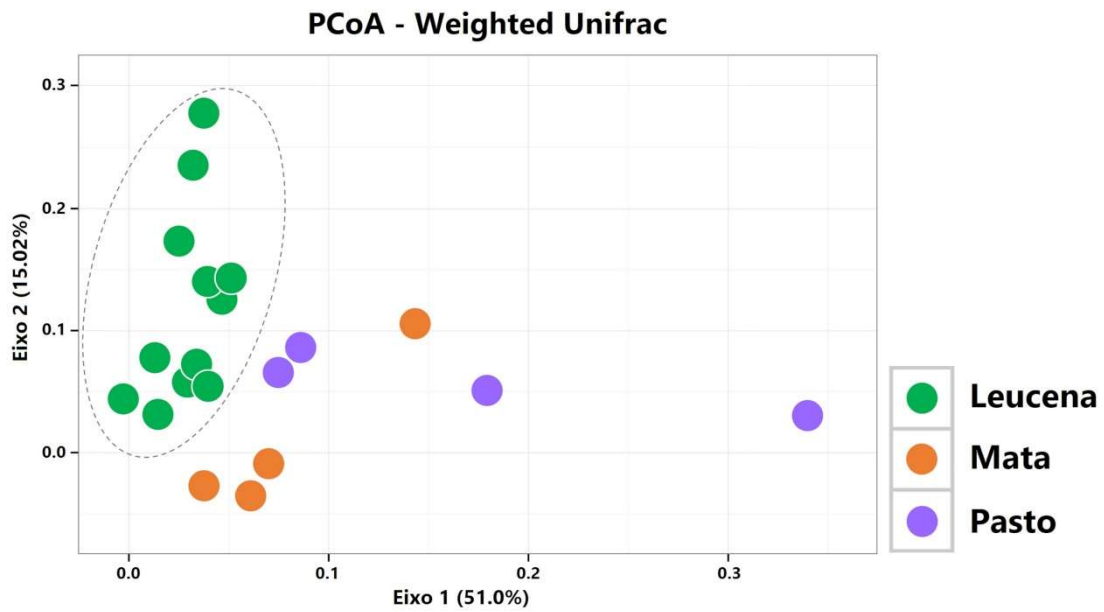
Atributos químicos e biológicos do solo

As análises químicas e biológicas do solo demonstraram que embora houvessem dissimilaridades para parâmetros como P, Cu, Fe e Mn entres os solos das áreas de leucena em comparação com os solos da mata nativa e pastagem braquiária em regeneração natural, a riqueza total de espécies bacterianas (alfa diversidade), composição de espécies (beta diversidade) e a consequente diversidade metabólica (KO) foram similares na área de leucena e mata nativa e essas por sua vez, diferentes da área de pastagem em regeneração natural.

A representação da dissimilaridade da beta diversidade é demonstrada na figura 2 onde quanto mais próximos os pontos indicativos das amostragens de solo realizadas, mais similares eram as amostras entre si.

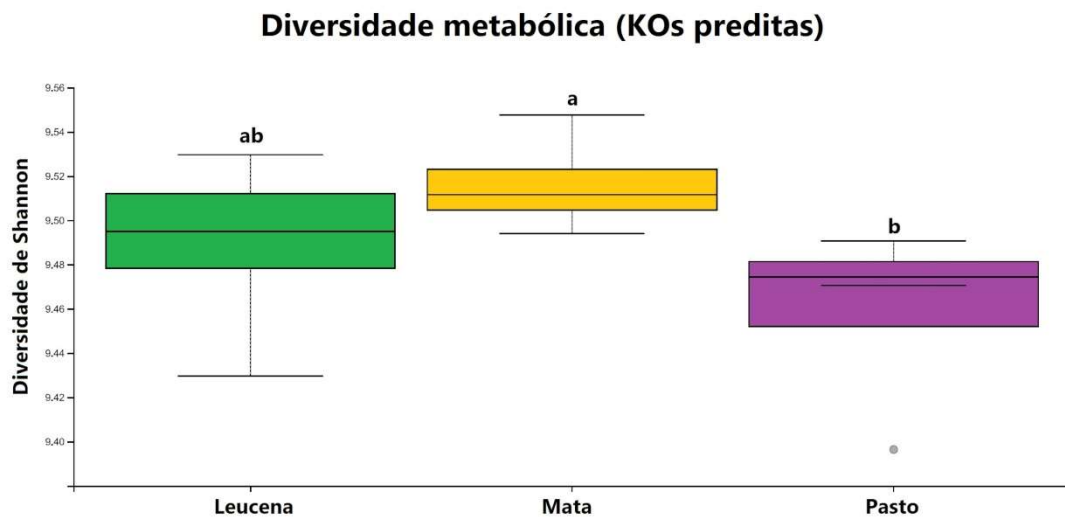
A representação da diversidade metabólica dos microrganismos encontrados nas amostras de solo das áreas é demonstrada na figura 3.

Figura 2 – Representação de dissimilaridades da beta diversidade na estrutura da comunidade bacteriana por biplot de Análise de Componentes Principais (ACP) das áreas estudadas.



Fonte: Autor, 2020.

Figura 3 – Diversidade metabólica (KO) entre as áreas estudadas.



Fonte: Autor, 2020.

Invasão Biológica e Controle Físico-Químico de Leucenas

As leucenas após iniciarem seu desenvolvimento no ano de 2005, tiveram uma expansão de 0,40 ha entre 2005 e 2010; 0,42 ha entre 2010 e 2014; e 0,53 ha entre 2014 a 2017. A média de expansão anual da leucena na área invadida foi de 0,112 ha/ano.

Tabela 01 – Dados expansão de ocupação do solo pela leucena.

Expansão na ocupação do solo				
Período (anos)	Área perímetro (ha)	Período (anos)	Aumento (ha)	Aumento (%)
2005 – 2010	0,40	5	0,40	29%
2010 – 2014	0,82	4	0,42	31%
2014 – 2017	1,35	3	0,53	40%
Área total invadida		1,35 ha		100%

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

O controle mediante aplicação direta dos herbicidas sobre o tronco das árvores de leucena foi ineficaz utilizando os produtos triclopir e glifosato (tratamentos 3, 4, 7 e 8), enquanto o tratamento 2 com o uso do picloran apresentou média de controle 65 e 63% aos 30 e 60 DAT, respectivamente. Porém, ocorreu recuperação das plantas, com regeneração de 80% aos 360 DAT (Tabela 2).

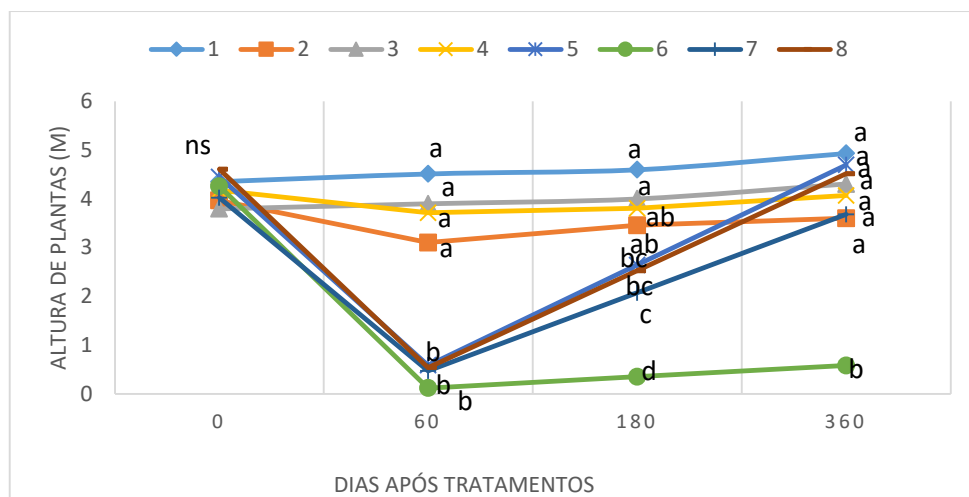
Tabela 2 – Percentual de controle dos diferentes tratamentos aos diferentes dias de avaliação após aplicação.

Tratamentos	Percentual de controle			
	30 DAT	60 DAT	180 DAT	360 DAT
1 – Controle	0,0 %	0,0 %	0,0 %	00,0 %
2 –picloram + 2,4D	65%	63%	30 %	20 %
3 - Triclopir-butotílico;	0,0%	0,0 %	0,0 %	0,0 %
4 –Glifosato	0,0%	0,0 %	0,0 %	0,0 %
5 – Corte raso	50%	10%	0,0 %	0,0 %
6 – Corte + picloram + 2,4D	90%	80%	80%	80%
7 – Corte + Triclopir- butotílico	70%	50%	0,0 %	0,0 %
8 – Corte + Glifosato	30%	20%	0,0 %	0,0 %

Fonte: Autor, 2020.

Observando o efeito dos tratamentos na altura e circunferência nas plantas de leucena, pode observar que aos 60 DAT todos os tratamentos utilizando o corte (tratamentos 6, 7 e 8) se diferenciam dos tratamentos que somente foram aplicados herbicidas e testemunha (tratamentos 2 a 5). Apesar disto, quando se verifica os dados de rebrota da segunda e terceira avaliação (60 e 180 DAT – Figuras 2 e 3) e que aos 180 DAT as plantas se recuperaram evidenciando crescimento em altura e diâmetro do caule. Já a avaliação aos 360 DAT para altura das plantas não existe diferença dos tratamentos da testemunha, exceto o tratamento com corte e uso de picloram+2,4D (Tratamento 6 – figura 4). O mesmo ocorreu na avaliação da circunferência das plantas tendo uma rápida recuperação no uso dos herbicidas já aos 60 DAT, recuperando-se também as plantas que passaram pelo tratamento de corte e uso de tryclopir e glifosato aos 360 DAT (tratamentos 7 e 8 – figura 5).

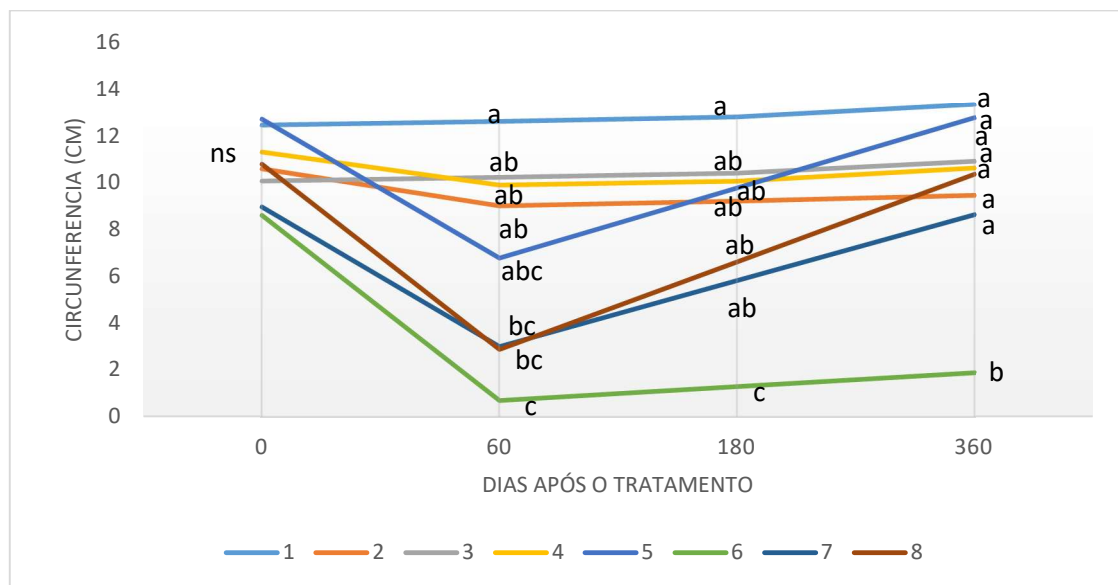
Figura 4 – Altura de plantas de Leucena (m) em diferentes dias após os tratamentos físico-químico.



1 – Controle, 2 – picloram + 2,4D, 3 – Triclopir; 4 – Glifosato; 5 – Corte raso, 6 – Corte + picloram + 2,4D; 7 – Corte + Triclopir; 8 – Corte + Glifosato. Médias unidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$)

Fonte: Autor, 2020.

Figura 5 – Medida da circunferência do tronco a altura do peito (cm) em diferentes dias após os tratamentos físico-químico.



1 – Controle, 2 – picloram + 2,4D, 3 – Triclopir; 4 – Glifosato; 5 – Corte raso, 6 – Corte + picloram + 2,4D; 7 – Corte + Triclopir; 8 – Corte + Glifosato. Médias unidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Fonte: Autor, 2020.

Conclusão

Na avaliação dos efeitos de *Leucaena leucocephala* em nutrientes e microrganismos do solo a partir da comparação dos atributos químicos e biológicos dos solos, nosso estudo concluiu que mesmo existindo uma maior similaridade entre os parâmetros químicos do solo da área de leucenas com o solo da área de pastagem braquiária em regeneração natural, existiam semelhanças entre a composição e diversidade bacteriana da área ocupada por leucena com a área ocupada por mata, e que essas por sua vez diferiam dos microrganismos ocorrentes na área de pastagem braquiária.

Esse resultado indica que, embora a leucena tenha prejudicado a regeneração natural da área invadida, a espécie exótica não interferiu significativamente nos atributos químicos e biológicos avaliados em comparação à área de mata existente no empreendimento, sugerindo que seu impacto é maior sobre os processos de sucessão ecológica.

Considerando a recente ótica dos estudos de recuperação ambiental sobre os atributos microbiológicos dos solos, os quais se apresentam como importantes aspectos positivos ao desenvolvimento vegetal, o estudo lançou luz, na temática sobre como combater e/ou substituir gradativamente *L. leucocephala* por espécies nativas, ganhando força hipótese de que a exótica se comportará como pioneira e se bem manejada, será substituída no decorrer da sucessão ecológica, que poderá ser acelerada com plantios de enriquecimento com espécies nativas.

No experimento com objetivo de verificar o controle e erradicação de leucenas, concluímos que o melhor resultado para controle da espécie é a aplicação de picloram +2,4D sobre os tocos das árvores, atingindo média de 80% de eficácia no controle e que mesmo em aplicações diretas, sem a realização de cortes, o picloram +2,4D se mostrou mais eficaz que triclopir e glifosato, atingindo bons resultados de controle até aos 60DAT.

Contudo, mesmo com a retirada completa dos indivíduos adultos na área invadida, já executada sem sucesso na área estudada em anos anteriores, o banco de sementes da leucena tende a permanecer ativo por muitos anos, resultando em novos dispêndios para o controle dos indivíduos regenerantes da espécie invasora, o que torna o plantio de mudas nativas com características sucessionais secundárias e climáx, ainda que apresentem desenvolvimento lento, medida mais viável e com possibilidade de melhor resultado para recuperação da área.

REFERÊNCIAS

- EOS – Earth Observing System. Disponível em <https://eos.com/landviewer> Acesso em 02 jan. 2021.
- FRANCO, A. A.; FARIA, S. M. The contribution of N₂-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 9, n. 516, p. 897-903, 1997.
- IUCN – Internacional Union for Conservation of Nature. Invasive Species Specialist Group. 2020. Disponível em: <http://www.issg.org/> Acesso em 17 dez. 2020
- WAN, J.-Z.; WANG, C.-J. Expansion risk of invasive plants in regions of high plant diversity: A global assessment using 36 species. *Ecological Informatics*, n. 2017, p. #pagerange#, 2018.
- ZILLER, S. R. e GALVÃO, F. A degradação da estepe gramíneo-lenhosa no Paraná por contaminação biológica de *Pinus elliottii* e *P. taeda*. *FLORESTA*, Curitiba, PR, v. 32, n.1, p. 41-47, maio-2002.

Cópia do e-mail contendo a Nota Técnica com sugestões de método mais eficaz no controle à *Leucaena leucocephala* Lam. de Wit e para recomposição de área invadida pela espécie, enviado ao Sr. Alexandre Ferreira, Gerente de Meio Ambiente da Companhia Siderúrgica Nacional – CSN.



Wellerson Eleutério <eleuterio21@gmail.com>

Nota Técnica


Wellerson Eleutério <eleuterio21@gmail.com>
Para: ALEXANDRE FERREIRA <a.ferreira@csn.com.br>

17 de março de 2021 20:05

Boa noite Alexandre.

Encaminho Nota Técnica com sugestões de método mais eficaz no controle à *Leucaena leucocephala* Lam. de Wit e para recomposição de área invadida pela espécie, elaborada como Produto Técnico da Dissertação de Mestrado do Programa de Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologias Ambientais do IFMG - Campus Bambuí/MG. Na oportunidade, agradeço o apoio da empresa na disponibilidade da área para realização dos estudos e demais recursos. Qualquer esclarecimento adicional, permaneço à disposição. Atenciosamente;

Wellerson Eleutério
Biólogo - CRBio 57.313/04-D
Esp. Manejo e Gestão de Sistemas Florestais - UFLA
Mestrandando em Sustentabilidade e Tecnologias Ambientais - IFMG
Celular (37) 9.9936-5606
ID Lattes: 4186789307967182

 **NOTA TÉCNICA_CSN.pdf**
873K

Resultados Análises de Solos – Laboratório IFMG Campus Bambuí



**INSTITUTO FEDERAL
DE MINAS GERAIS**
Campus Bambuí

INSTITUTO FEDERAL - CAMPUS BAMBUÍ
FAZENDA VARGINHA
Estrada Bambuí - Medeiros, Km 05 - Caixa Postal 88
CEP: 38.900-000 - Bambuí-MG
Telefone / Fax - Lab. Solos: (37) 3431-4541
e-mail: solos.bambui@ifmg.edu.br



LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE SOLOS

Lauda Nº: 979/2020
Proprietário: IFMG - CAMPUS BAMBUÍ
Propriedade: FAZENDA VARGINHA
Matrícula:
Município: Bambuí - MG

Data Entrada: 06/10/2020
Data Saída: 15/10/2020
Telefone: () -
Convênio: IFMG

Cod. Lab.	Descrição Amostra	pH	P(melil)	K	Ca	Mg	Al	H + Al
		H ₂ O	mg / dm ³	cmolcdm ⁻²	cmolcdm ⁻²	cmolcdm ⁻²	cmolcdm ⁻²	cmolcdm ⁻²
1762	B1P1	8,3	0,0	27,0	16,33	1,57	0,00	0,67
1763	B1P2	8,3	0,0	26,0	13,66	0,93	0,00	0,61
1764	B1P3	8,3	0,1	23,0	13,60	1,39	0,00	0,64
1766	B1P4	8,3	0,0	20,0	13,69	1,30	0,00	0,60
1766	B2P1	8,3	0,0	43,0	20,23	1,68	0,00	0,66
1767	B2P2	8,3	0,0	44,0	16,01	1,26	0,00	0,66
1768	B2P3	8,1	0,0	62,0	19,07	2,25	0,00	0,68
1769	B2P4	8,2	0,0	56,0	16,37	1,40	0,00	0,64

Cod. Lab.	SS				%		d ₄₉ /Kg		Relações Entre Bases (T) %				Relações Entre Bases			
	SB	S	T	V	m	M.O.	C.O.	Ca/T	Mg/T	K/T	H+Al/T	Ca/Mg/T	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	
1762	18,0	18,0	18,6	96,4	0,0	3,70	2,15	96	8	0	4	96	10	233	22	295,70
1763	14,7	14,7	15,3	96,0	0,0	2,28	1,30	90	6	0	4	96	15	195	13	208,40
1764	15,1	15,1	15,7	95,9	0,0	3,11	1,80	87	9	0	4	96	10	227	23	249,80
1766	15,0	15,0	15,6	96,2	0,0	4,98	2,69	88	8	0	4	96	10	274	26	299,80
1766	22,0	22,0	22,7	97,1	0,0	6,82	3,96	89	7	0	3	97	12	164	16	180,20
1767	17,4	17,4	18,0	96,3	0,0	4,06	2,36	89	7	1	4	96	13	146	12	167,00
1768	21,5	21,5	22,2	96,9	0,0	6,13	3,56	86	10	1	3	96	6	119	14	133,20
1769	17,9	17,9	18,5	96,5	0,0	4,64	2,69	86	8	1	4	96	12	117	10	126,90

Cod. Lab.	P(melil)	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S	Areia	Argila	Silte	Tipo Solo	Classificação
	mg/L	mg / dm ³							dag/Kg = %			
1762	20,4	0,18	0,20	1,80	10,50	0,40	11,09	na	na	na	na	na
1763	16,3	0,10	0,20	1,50	6,00	0,30	9,00	na	na	na	na	na
1764	16,6	0,14	0,20	1,50	6,20	0,30	12,51	na	na	na	na	na
1766	33,4	0,36	0,20	1,40	4,90	0,40	13,81	na	na	na	na	na
1766	26,7	0,40	0,20	2,90	14,40	0,80	13,81	na	na	na	na	na
1767	19,6	0,14	0,20	5,70	16,30	1,30	9,92	na	na	na	na	na
1768	26,9	0,67	0,30	3,00	17,00	1,00	23,20	na	na	na	na	na
1769	36,5	0,26	0,30	6,20	41,20	2,70	16,39	na	na	na	na	na

na = não detectado
P - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich
Ca - Mg - Al - Extrator KCl 1 mol/L
H+Al - Extrator NH4F
B - Extrator água quente
S - Extrator - método gravimétrico em forno elétrico
SS = Soma de bases Trovantes

COC (C) - Capacidade de Troca Catiônica (Método)
COC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0
T% = Índice de Saturação de Bases
c.e. = Índice de Saturação de Alumínio
Mat. Org. (M.O.) - Carbono (C), Nitrogênio (N), H₂O₂, 10%
P (melil) = Método Mehlich-1

COM:
Consulte IFMG Agrônomo para recomendação de adubação e calagem.
A interpretação de solo está à disposição da biblioteca.
Este laudo não tem fins jurídicos.
Após a emissão dos dados as amostras serão descartadas.

Li Chaves Miranda

Li Chaves Miranda
Responsável Técnico
3627700



INSTITUTO FEDERAL
DE MINAS GERAIS
Campus Bambul

INSTITUTO FEDERAL - CAMPUS BAMBUÍ
FAZENDA VARGINHA
Estrada Barbos / Medeiros, Km 05 - Caixa Postal 88
CEP: 38.900-000 - Bambuí-MG
Telefone / Fax - Lab. Solos: (37) 3431-4941
e-mail: solos.bambui@ifmg.edu.br



LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE SOLOS

Laudo Nº: 079/2020 Data Entrada: 06/10/2020
Proprietário: IFMG - CAMPUS BAMBUÍ Data Saída: 15/10/2020
Propriedade: FAZENDA VARGINHA Telefone: () -
Matrícula: Convênio: IFMG
Município: Bambuí - MG

Cod. Lab.	Descrição Amostra	pH	P(melt)	K	Ca	Mg	Al	H + Al
		H ₂ O	mg / dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³
1770	B3P1	8,3	0,0	17,0	12,81	1,10	0,00	0,80
1771	B3P2	7,9	3,0	49,0	22,57	1,70	0,00	0,70
1772	B3P3	8,3	0,3	33,0	17,00	1,47	0,00	0,88
1773	B3P4	8,3	0,2	17,0	14,98	0,94	0,00	0,83
1774	C1P1	8,1	0,2	56,0	21,22	1,31	0,00	0,67
1775	C1P2	8,2	36,6	80,0	21,45	1,28	0,00	0,71
1776	C1P3	8,1	21,2	60,0	22,47	1,37	0,00	0,71
1777	C1P4	8,1	23,2	54,0	20,23	1,18	0,00	0,72

Cod. Lab.	SB			T			V		m		M.O.	C.O.	Ca/T	Mg/T	K/T	H+Al/T	Ca/Mg/T	Ca/K	Mg/K	Ca/Mg/K
	cmol/dm ³			%			dag/Kg		%		Relações Entre Bases (%)									
1770	13,8	13,8	14,4	95,8	0,0	3,73	2,16	88	8	0	4	96	12	315	28	342,80				
1771	24,4	24,4	25,1	97,2	0,0	5,07	3,52	90	7	0	3	97	13	174	13	196,70				
1772	18,5	18,5	19,2	96,5	0,0	4,48	2,80	88	8	0	4	96	12	212	18	230,90				
1773	16,0	16,0	16,6	96,2	0,0	4,19	2,43	90	6	0	4	96	16	374	24	398,00				
1774	22,7	22,7	23,3	97,1	0,0	5,62	3,28	91	6	1	3	96	16	182	9	180,90				
1775	22,9	22,9	23,6	97,0	0,0	5,02	3,49	91	5	1	3	96	17	143	8	151,40				
1776	24,0	24,0	24,7	97,1	0,0	6,43	3,73	91	6	1	3	96	16	190	9	198,90				
1777	21,5	21,5	22,3	96,8	0,0	5,43	3,15	91	5	1	3	96	17	144	8	152,90				

Cod. Lab.	P(mg)	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S	Areia	Argila	Silte	Texto Solo	Classificação
	mg/L	mg / dm ³						dag/Kg = %				
1770	28,6	0,16	0,20	1,30	4,40	0,40	12,27	na	na	na	na	na
1771	34,7	0,83	0,40	3,70	11,10	0,80	28,21	na	na	na	na	na
1772	24,4	0,17	0,20	1,60	6,60	0,40	12,11	na	na	na	na	na
1773	29,9	0,28	0,20	1,40	0,40	0,40	14,30	na	na	na	na	na
1774	29,8	0,41	0,30	2,30	12,00	1,00	19,08	na	na	na	na	na
1775	29,9	0,31	0,40	0,20	89,80	4,20	20,52	na	na	na	na	na
1776	33,2	0,49	0,40	6,10	45,80	3,20	23,11	na	na	na	na	na
1777	32,8	0,31	0,40	19,10	46,20	3,60	17,88	na	na	na	na	na

na = Não analisado.
P - K - Fe - Zn - Mo - Cu - Boro - Selenio
Ca - Mg - Al - Potássio - CEC - P - mola.
H + Al - Sulfato - SMP
K - Sulfato - Água quente
S - Sulfato - Sulfato - molaridade em ácido sulfúrico
SB = Soma de Bases Trocáveis

CTC (2) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva
CTC (1) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0
T = Índice de Saturação de Bases
C = Índice de Saturação de Alumínio
Mat. Org. (M.O.) - Carbono (Na₂CO₃ 80% + H₂O₂ 10%)
P (mg) = Potássio Hexafluorato

ISSO
Concede-se o sigilo administrativo para documentação de caráter estrictamente
A responsabilidade de este relatório é da responsabilidade do laboratório.
Este laudo não tem validade jurídica.
Após a emissão dos dados as amostras serão descartadas.

Li Chaves Miranda
Responsável Técnico
382770



INSTITUTO FEDERAL - CAMPUS BAMBUÍ
FAZENDA VARGINHA
Estrada Bambuí / Mochima, Km 05 - Caixa Postal 88
CEP. 78.900-000 - Bambuí/MS
Telefone / Fax - Lab. Solos: (57) 3431-4941
e-mail: solos.bambui@ifmg.edu.br



LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE SOLOS

Laudo Nº: 979/2020
Proprietário: IFMG - CAMPUS BAMBUÍ
Propriedade: FAZENDA VARGINHA
Município: Bambuí - MS

Data Entrada: 06/10/2020
Data Saída: 15/10/2020
Telefone: () -
Convênio: IFMG

Cod. Lab.	Descrição Amostras	pH	P(mol/l)	K	Ca	Mg	Al	Si + Al
		H ₂ O	mg / dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³	cmol/dm ³
1778	C2P1	7,1	40,0	200,0	14,16	3,85	0,00	1,43
1779	C2P2	6,9	21,7	130,0	10,82	2,91	0,00	1,86
1780	C2P3	6,8	15,1	104,0	12,38	3,02	0,00	1,71
1781	C2P4	7,0	21,4	106,0	13,40	2,03	0,00	1,42

Cod. Lab.	SB	T	V	m	M.O.	C.O.	Ca/T	Mg/T	NT	Si+Al/T	Ca+Mg/T	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	
	cmol/dm ³	cmol/dm ³	%	dag/Kg	dag/Kg	Relações Entre Bases (%)	Relações Entre Bases									
1778	18,5	18,5	20,0	92,8	0,0	5,48	3,17	71	19	3	7	90	4	28	8	36,30
1779	14,1	14,1	15,9	86,4	0,0	3,90	2,26	68	18	2	12	86	4	33	9	41,60
1780	15,7	15,7	17,4	90,2	0,0	4,54	2,83	71	17	2	10	89	4	46	11	57,00
1781	15,7	15,7	17,1	91,7	0,0	4,91	2,85	78	12	2	8	90	7	50	8	57,10

Cod. Lab.	P(mol/l)	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S	Amo	Argila	Silte	Tipo Solo	Classificação
	mg/L	mg / dm ³	mg / dm ³	mg / dm ³	mg / dm ³	mg / dm ³	mg / dm ³	dag/Kg	dag/Kg	dag/Kg	dag/Kg	dag/Kg
1778	33,8	0,45	1,40	15,90	207,80	8,40	17,33	na	na	na	na	na
1779	32,6	0,09	2,70	25,20	268,00	4,80	12,83	na	na	na	na	na
1780	35,8	0,23	2,50	18,80	250,00	7,10	23,30	na	na	na	na	na
1781	34,7	0,28	2,10	12,50	251,00	8,80	21,80	na	na	na	na	na

na = Não detectado
P - K - Pa - Zr - Mo - Cu - Estador Metálico
Ca - Mg - Sr - Estador KCl 1:1000
M - Al - Estador SMP
S - Estador Água Oxidada
B - Estador - Método manganês em ácido nítrico
Si - Sílica de bases Trováveis

CIC (I) - Capacidade de Troca Catiônica Estima
CIC (T) - Capacidade de Troca Catiônica (pH 7,5)
T% = Índice de Saturação de Bases
M = Índice de Saturação de Alumínio
Mat. Org. (M.O.) - Carbono Total (C_T) = C_{org} + H₂O₂ TKN
P (na) = Fósforo Não-oxidável

Obs:
Consulte o site Agrovivo para recomendações de adubação e irrigação.
A irrigação de solo não é de responsabilidade do laboratório.
Este laudo não tem validade jurídica.
Após o envio das amostras as análises serão descritas.

Li Chaves Miranda

Responsável Técnico
3627710