

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

JÉSSICA ALVES DE OLIVEIRA

ESTABELECIMENTO DE BANANEIRA (*Musa* sp.) EM SOLO DEGRADADO

Ilha Solteira
2018

JÉSSICA ALVES DE OLIVEIRA

**ESTABELECIMENTO DE BANANEIRA (*Musa* sp.)
EM SOLO DEGRADADO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção.

Prof^a. Dr^a. Ana Maria Rodrigues Cassiolato
Orientadora

Ilha Solteira
2018

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Oliveira, Jéssica Alves de.
O482v Estabelecimento de bananeira (*Musa* sp.) em solo degradado / Jéssica Alves de Oliveira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018
65 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2018

Orientador: Ana Maria Rodrigues Cassiolato
Inclui bibliografia

1. Cinza de biomassa. 2. Micorriza arbuscular. 3. Solubilizador de fosfato.
4. Recuperação.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO:

AUTORA: JÉSSICA ALVES DE OLIVEIRA

ORIENTADORA: ANA MARIA RODRIGUES CASSIOLATO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA,
área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ANA MARIA RODRIGUES CASSIOLATO
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural / UNESP / Câmpus de Ilha Solteira

Profa. Dra. KÁTIA LUCIENE MALTONI
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. LEONARDO LUCAS MADALENO
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza / FATEC - Jaboticabal/SP

Ilha Solteira, 06 de abril de 2018.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, por estar sempre em meu caminho, iluminando e guiando às escolhas certas.

Aos meus pais Luiz e Maria, que me deram toda a estrutura para que me tornasse a pessoa que sou hoje, sendo meu maior exemplo, pela confiança e pelo amor que me fortalece todos os dias.

Aos meus irmãos, cunhados e sobrinhos por estarem ao meu lado sempre, me dando todo o apoio que preciso em todos os momentos.

Ao meu namorado Fábio, que foi meu braço direito nesse mestrado, assim como é na vida, pelos conselhos, carinho, paciência e momentos felizes.

Aos meus sogros pelo encorajamento, e por estarem sempre por perto torcendo por mim.

A todos os meus amigos que, perto ou longe, sempre me ajudam, apoiam e torcem por mim.

A Unesp Ilha Solteira, por proporcionar a realização deste mestrado.

A Profa. Ana Maria por ter me recebido de braços abertos na Unesp, pela orientação, paciência e confiança.

Aos técnicos e amigos Diego, Zé e Adriana por toda a ajuda e pelos valiosos ensinamentos que permitiram a realização deste trabalho.

A todos os professores, que se tornaram amigos, pelo aprendizado que fez com que eu continuasse e chegasse até aqui.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Léo e Profa. Kátia pelo tempo cedido para a avaliação e pelas considerações realizadas, que foram muito bem-vindas, enriquecendo este trabalho.

A Capes, pela concessão da bolsa de estudos para a realização do mestrado.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e minha formação.

Muito Obrigada!

“O limite do homem é o limite de seus sonhos”.

John F. Kennedy

RESUMO

O solo degradado em estudo originou-se pela retirada da sua camada superficial, que compreende a vegetação, a matéria orgânica, os nutrientes e os microrganismos, cujos processos são essenciais para o solo ser considerado produtivo. Sua recuperação é importante para manter o equilíbrio da biodiversidade de flora e fauna e protege-lo contra a erosão, entre outros fatores. O objetivo deste trabalho foi o condicionamento do subsolo pela adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar, da inoculação de fungo micorrízico arbuscular (FMA – *Glomus clarum*) e da inoculação de fungos e de bactéria solubilizadores de fosfato, buscando uma técnica para a recuperação de solos degradados. A bananeira (*Musa* sp. cv. Mysore) foi utilizada como planta indicadora para as modificações que ocorreram no solo. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 3 + 2$, com 4 repetições por tratamento, totalizando 12 tratamentos, com 4 repetições (bloco). O primeiro fator foi com e sem inoculação de FMA, o segundo foi com e sem adição de cinza proveniente da queima do bagaço de cana-de-açúcar, o terceiro foi com e sem inoculação de fungos e de bactéria solubilizadores de fosfato, e dois tratamentos adicionais, área conservada de Cerrado (SCRC) e área degradada sem intervenção (ADSI). Após 67 e 274 dias do plantio foram avaliados os atributos químicos e microbiológicos do solo na camada de 0,0 a 0,10 m, além da altura, do diâmetro, do índice relativo de clorofila e do P total foliar das plantas. A adição de cinza elevou o pH, o teor de bases, o valor do V% e reduziu os teores de Al. Aumentou, ainda, o número de esporos de FMA, a taxa respiratória do solo, o teor de carbono da biomassa microbiana e o quociente microbiano, e diminuiu o quociente metabólico. A bactéria solubilizadora de fosfato melhorou os atributos químicos e microbiológicos do solo, principalmente quando associada à adição de cinza e à inoculação de FMA. A inoculação de FMA aumentou a absorção de P pelas plantas. A adição de cinza juntamente com a inoculação de fungos solubilizadores de fosfato elevou a fertilidade e a atividade microbiológica do solo a longo prazo (274 dias). Em comparação ao solo da ADSI e do SCRC, a adição de cinza juntamente com a inoculação da bactéria solubilizadora de fosfato, mostrou ser o tratamento mais promissor.

Palavras-chave - Cinza de biomassa. Micorriza arbuscular. Solubilizador de fosfato. Recuperação.

ABSTRACT

The degraded soil under study originated by the removal of the superficial layer, which includes vegetation, organic matter, nutrients and microorganisms, whose processes are essential for the soil to be considered productive. Its recovery is important to maintain the balance of biodiversity of flora and fauna and protect it against erosion, among other factors. The objective of this work was the subsoil conditioning by the addition of sugarcane biomass ash, the inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF - *Glomus clarum*) and the inoculation of fungi and bacteria phosphate solubilizers, searching for a technique for recovery of degraded soils. The banana plants (*Musa* sp. cv. Mysore) was used as an indicator plant for the changes that occurred in the soil. The experimental design was a randomized complete block design, with a 2 x 2 x 3 +2 factorial scheme, with 4 replicates per treatment, in a total of 12 treatments, with 4 replicates (block). The first factor was with and without AMF inoculation, the second was with and without ash added from the burning of sugarcane bagasse, the third was with and without inoculation of fungi and bacteria phosphate solubilizers and two controls area, Cerrado conservation area (CCAR) and degraded area without intervention (DAWI). After 67 and 274 days of planting, the soil chemical and microbiological attributes were evaluated in the 0.0 to 0.10 m layer, as well as the height, diameter, relative chlorophyll index, and total leaf P. The addition of ash increased the pH, the bases content, the V% value and reduced the Al levels. Also increased the number of AMF spores, soil respiration rate, carbon content of microbial biomass and the microbial quotient, and decreased the metabolic quotient. Phosphate solubilizer bacteria improved the chemical and microbiological attributes of the soil, especially when associated with the addition of ash and the inoculation of AMF. AMF inoculation increased the uptake of P by plants. The addition of ash along with the inoculation of phosphate solubilizer fungi increases fertility and soil microbiological activity in the long term (274 days). Compared to CCAR and DAWI soil, the addition of ash along with inoculation of the phosphate solubilizer bacteria proved to be the most promising treatment.

Keywords - Biomass ash. Arbuscular mycorrhizal. Phosphate solubilizer. Recovery.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1	ÁREAS DEGRADADAS	10
2.2	ÁREAS DEGRADADAS E AS USINAS HIDRELÉTRICAS	11
2.3	RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.....	12
2.4	MICROORGANISMOS NO SOLO	14
2.4.1	Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA).....	16
2.4.2	Microrganismos Solubilizadores de Fosfato	18
2.5	RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS	19
2.5.1	Cinza de Biomassa de Cana-de-Açúcar.....	21
2.6	REVEGETAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA COM BANANEIRA (<i>Musa</i> sp.)	21
3	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA	23
3.2	HISTÓRICO DA ÁREA	24
3.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	24
3.4	INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	26
3.5	AVALIAÇÕES DO EXPERIMENTO.....	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	ANÁLISE DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS.....	32
4.1.1	Avaliação aos 67 dias após a instalação do experimento	32
4.1.2	Avaliação aos 274 dias após a instalação do experimento	35
4.2	AVALIAÇÃO DE PLANTAS E ANÁLISE DOS ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO	38
4.2.1	Avaliação aos 67 dias após a instalação do experimento	38
4.2.2	Avaliação aos 274 dias após a instalação do experimento	42
4.3	COMPARAÇÃO DOS TRATAMENTOS COM AS TESTEMUNHAS.....	48
4.3.1	Avaliação aos 67 dias após a instalação do experimento	49

4.3.2 Avaliação aos 274 dias após a instalação do experimento	51
5 CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

As áreas degradadas caracterizam-se pela retirada da camada superficial do solo, que compreende a vegetação, a matéria orgânica (MO), os nutrientes e os microrganismos essenciais para que seja produtivo. A retirada dessa camada torna o solo pobre e hidricamente instável, onde as plantas dificilmente conseguem se desenvolver. O Brasil possui cerca de 140 milhões de hectares de áreas em algum estágio de degradação (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2012).

A recuperação de áreas degradadas é de extrema importância para manter o equilíbrio da biodiversidade, pois traz benefícios significativos como a proteção do solo e da água, proporciona abrigo e sustento para a fauna, atua como barreira contra a propagação de pragas e doenças em culturas agrícolas, contribui para a redução dos gases de efeito estufa por meio da fixação de carbono atmosférico pelas plantas, entre outros (TAVARES et al., 2008). Diante disso, ao promover a recuperação de uma área degradada, primeiramente, deve-se o equilíbrio do solo em questão por meio do fornecimento de nutrientes, microrganismos e MO, com intuito de proporcionar um ambiente com condições mínimas para o estabelecimento de uma cultura ou vegetação.

Muitos resíduos agroindustriais apresentam elementos essenciais às plantas em sua composição. A incorporação de resíduos ao solo é uma prática utilizada para reciclar nutrientes, melhorando a fertilidade e as condições físicas do solo para o cultivo, além da economia em fertilizantes e corretivos (BEGA, 2014). A cinza de biomassa de cana-de-açúcar constitui um resíduo da agroindústria sucroalcooleira produzido em grandes quantidades, rica em nutrientes e não contém quantidades consideráveis de metais pesados (SILVEIRA, 2010). Assim, a aplicação desta cinza em áreas degradadas pode constituir importante ferramenta para a recuperação do solo de forma economicamente viável, além de propiciar um destino ambientalmente correto a esse resíduo.

Os microrganismos do solo são responsáveis por ciclos importantes devido ao seu papel fundamental em quase todas as reações que ocorrem (HERNÁNDEZ; GARCIA; GARCÍA, 2015). A interação de processos biológicos pode manter e melhorar a fertilidade do solo e a produtividade das culturas (BIDONDO et al., 2016). Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são microrganismos endófitos que fazem associação mutualista com as raízes das plantas, beneficiando a planta hospedeira com o aumento da absorção de nutrientes e água por meio de

suas hifas, que proporcionam o aumento do volume de solo explorado (PAULÚCIO, 2007). Estudos têm demonstrado que os FMA têm importância especial na absorção de fosfato por meio de um processo especializado, com transportadores de alta afinidade (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O P é macronutriente essencial e limitante para o desenvolvimento e a produtividade das culturas. Os microrganismos solubilizadores de fosfato atuam na mobilização de P (TAKTEK et al., 2015), elevando a fertilidade do solo com a solubilização de fosfatos inorgânicos, por meio da liberação de ácidos orgânicos, e com a mineralização de fosfatos orgânicos, produzindo fosfatases e fitases (DOBBELAERE; VANDERLEYDEN; OKON, 2003).

A condição de solo degradado condiz com a condição de baixa fertilidade que favorece a simbiose entre plantas e FMA, sendo de grande interesse a utilização desses microrganismos na recuperação de áreas degradadas. Além disso, a interação entre os FMA e os solubilizadores de fosfato sugere efeitos benéficos para as plantas.

A adoção de uma espécie frutífera para a recuperação de área degradada pode representar a recuperação produtiva e ecológica de uma área, pois, além de fornecer alimento humano, podendo gerar uma fonte adicional de renda ao produtor, também é fonte de alimento para os animais. Neste contexto, a bananeira (*Musa* sp.) é apresentada como boa alternativa, pois, além de produzir o fruto que pode ser comercializado, é uma fonte de material orgânico para o solo (por meio da queda das folhas e restos culturais pós- colheita), contribuindo para a recuperação. Adicionalmente, a bananeira possui grande acúmulo de água no rizoma e no pseudocaule, possibilitando sua sobrevivência em períodos de estresse hídrico (DONATO et al., 2002).

A Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira - SP é a maior usina do Estado de São Paulo e a terceira maior usina hidrelétrica do Brasil. Para sua construção foram necessários grandes volumes de solo, o que deu origem a áreas com subsolo exposto nas regiões próximas a esta hidrelétrica desde 1969 (ROSA et al., 2014). Kitamura et al. (2008) relataram que foi retirada uma camada de solo de 8,60 metros de espessura de determinadas áreas, dependendo do relevo, eliminando os horizontes A e B e destruindo sua resiliência. Tais áreas são denominadas áreas de empréstimo e caracterizam-se como áreas degradadas.

O objetivo deste trabalho foi promover o condicionamento do subsolo pela adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar, da inoculação de FMA (*Glomus clarum*) e de

microrganismos solubilizadores de fosfato (fungos e bactéria), com o estabelecimento de bananeira (*Musa* sp.), buscando uma técnica para a recuperação de solos degradados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ÁREAS DEGRADADAS

Desde os primórdios da humanidade, as atividades antrópicas têm gerado impactos sobre o meio ambiente. As atividades antrópicas, quando desenvolvidas desordenadamente, sem levar em consideração aspectos conservacionistas, acarretam a degradação dos ecossistemas (VALCARCEL; SILVA, 1997). O aumento da população, o desvio de terras para a construção de barragens e estradas, a retirada indiscriminada de árvores, a expansão da irrigação sem a preocupação adequada com o tratamento da captação e da drenagem e as práticas agrícolas inadequadas causam um nível sério de degradação ambiental (BHAN, 2013).

A degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna são destruídas, removidas ou expulsas, a camada fértil do solo é perdida, removida ou enterrada, e a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico alterado. Ocorre quando há perdas referentes às características químicas, físicas e biológicas da área em questão (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS- IBAMA, 1990). A degradação física do solo refere-se às alterações das características relacionadas ao arranjo das partículas do solo, tendo como principais parâmetros a permeabilidade, a densidade, a estrutura, a aeração e a coesão. A degradação biológica demonstra baixa ou nula atividade da micro, da meso e da macrofauna do solo, como consequência do baixo teor de matéria orgânica presente. A degradação química é reflexo da presença de elementos indesejáveis no solo, ou então, da perda de elementos essenciais para o equilíbrio dele (REINERT, 1998).

As mudanças na cobertura e no uso da terra podem ocorrer tanto como resultado das forças naturais como pelo vento e pela chuva, pelas mudanças na drenagem do solo, pelas inundações e secas, bem como devido às mudanças induzidas pelo ser humano (BHAN, 2013). Os deslizamentos, as enchentes, os processos erosivos acelerados e as áreas de empréstimo são evidências do uso inapropriado dos recursos naturais pelo homem (VALCARCEL; SILVA, 1997).

As áreas degradadas ocupam 24% da área terrestre global, aproximadamente 35 milhões de km²: Erosão, salinização, compactação, acidificação e contaminação estão entre os principais problemas (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS- FAO; INTERGOVERNMENTAL TECHNICAL PANEL ON SOILS - ITPS, 2015; SANTOS,

2015). A adoção de práticas agrícolas inadequadas e o desmatamento são os principais responsáveis pelos processos erosivos, pois tais práticas alteram a estrutura e a superfície do solo deixando-o exposto à ação da água e do vento. Além da erosão, outros processos como a salinização, a acidificação e a compactação do solo são oriundos da má utilização de práticas agrícolas. A contaminação do solo também constitui uma forma de degradação do mesmo. Ocorre quando é feita a deposição ou a transferência de contaminantes ao solo (FAO; ITPS, 2015).

Embora que em menor escala, as queimadas também são responsáveis pela degradação dos solos do mundo, pois causam grande alteração na composição do mesmo. As queimadas provocam o desaparecimento de plantas e de animais, rápida decomposição do material orgânico do solo, com consequente perda de nutrientes e declínio na produtividade, além de afetar diretamente a biota do solo (PIOLLI; CELESTINI; MAGON, 2004; NUNES et al., 2009).

A exploração de recursos naturais é um dos grandes agentes modificadores de paisagens e, quando realizada de forma muito intensa ou inadequada, modificam de forma substancial o local e seu entorno, fazendo com que, muitas vezes, a restauração de áreas exploradas se torne praticamente impossível e/ou muito onerosa (MACHADO; CONFESSOR; RODRIGUES, 2014). Sendo assim, para que se reestabeleça o equilíbrio ao ambiente afetado, é preciso que haja uma série de ações voltadas à recuperação da sua qualidade ambiental.

2.2 ÁREAS DEGRADADAS E AS USINAS HIDRELÉTRICAS

Dentre os motivos que levam uma área a ser desmatada e, consequentemente degradada, destacam-se as obras de engenharia, como a construção de usinas hidrelétricas. A energia elétrica gerada por essas usinas corresponde a 67,1% da matriz energética do Brasil (BRASIL, 2017), e é considerada uma fonte de energia limpa e renovável. A construção das usinas gera, no entanto, um grande impacto ambiental para a região onde é implantada, provocando grandes transformações na paisagem regional, numa degradação ambiental rápida (COELHO, 2008). A fauna e a flora locais são afetadas com a inundação de áreas próximas à construção. Além disso, para a construção de uma barragem hidrelétrica, são necessários grandes volumes de solo, que são retiradas da superfície de regiões próximas à construção. Tais regiões são denominadas “áreas de empréstimo”.

As áreas de empréstimo constituem um ecossistema degradado devido à eliminação da vegetação e de seus meios de regeneração bióticos como o banco de sementes, o banco de plântulas, as chuvas de sementes e a rebrota (ALVES; NASCIMENTO; SOUZA, 2012). A degradação destas áreas expõe, muitas vezes, o horizonte C do solo, que constitui material não consolidado, pouco afetado por processos químicos, físicos e biológicos, causando compactação e perda de matéria orgânica e de nutrientes. Com isso, o substrato resultante não permite a regeneração natural da vegetação; tais modificações resultam em efeitos deletérios sobre os mananciais hídricos e sobre a fauna local (FERREIRA et al., 2007; TAVARES et al., 2008). Os principais problemas edáficos encontrados em áreas remanescentes de construção civil são a compactação do solo exposto, as baixas taxas de infiltração e de capacidade de armazenamento de água, a deficiência de oxigênio, a alta resistência à penetração das raízes, o aumento da densidade do solo e a falta de matéria orgânica no mesmo (CORRÊA; LEITE; BASTOS, 1998).

Considerando-se o impacto ambiental causado pela construção das usinas hidrelétricas, a intervenção antrópica faz-se necessária para mitigar os fatores restritivos à recuperação de áreas que, mesmo após longo período sem intervenções, apresentam insignificante regeneração natural.

2.3 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Em decorrência dos inúmeros processos e fenômenos biológicos, físicos e químicos envolvidos, a degradação e a recuperação de áreas degradadas são atividades de grande complexidade. Nesse contexto, a recuperação de áreas degradadas pode ser conceituada como sendo um conjunto de ações que visam restabelecer as condições de equilíbrio e de sustentabilidade em um sistema natural (DIAS; GRIFFITH, 1998).

A definição do termo “recuperação de uma área degradada” é descrita na legislação brasileira pela Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000, do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), que em seu Art. 2º institui recuperação como a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a condição não degradada, que pode ser diferente da condição original, enquanto que restauração é definida como a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre a uma condição não degradada o mais próximo possível da sua condição original. Assim, a recuperação se estabelece como o objetivo primário para uma restauração ecologicamente eficaz, sendo essa última o resultado de um longo processo com o retorno das interações existentes entre os vários organismos locais (SILVA, 2007).

As estratégias a serem utilizadas para a recuperação de áreas degradadas devem ser divididas em estratégias de longo, de médio e de curto prazo. A estratégia de recuperação de longo prazo consiste no abandono da área para que haja a recomposição natural da vegetação, conduzindo ao desenvolvimento de arbustos e árvores que, com o passar dos anos, podem formar uma vegetação com característica de floresta secundária. Essa estratégia, porém, deve levar em conta o grau de degradação que a área sofreu (WADT, 2003). Existem solos que, após um processo menos severo de degradação, podem apresentar alguma estruturação e recurso hídrico, sendo capazes de recuperar espontaneamente parte da vegetação. Em solos em que há maior decaimento, a perturbação é tão grande a ponto de não haver nenhuma recuperação espontânea (ZANDONADI; PAYOLLA; CAÍRES, 2007), situação frequentemente encontrada nas áreas de empréstimo.

As estratégias de recuperação de médio prazo consistem na introdução de sistemas de integração lavoura-pecuária e silvipastoris para os ecossistemas de pastagens. Para os demais ecossistemas agrícolas, consistem na introdução de sistemas agroflorestais. As estratégias de recuperação de curto prazo consistem na adoção de tecnologias visando uma recuperação mais rápida, normalmente envolvendo o uso de corretivos de acidez para eliminar os efeitos tóxicos do Al e fornecer cálcio (Ca) e magnésio (Mg) às plantas, além da utilização de leguminosas como fonte de nitrogênio (N) e material orgânico, e da adubação química para a recomposição dos teores de nutrientes do solo (WADT, 2003).

A introdução de plantas nessas áreas é importante pois são responsáveis pela ciclagem de nutrientes e pelo fornecimento de material orgânico, além da estruturação do solo, por meio de seu sistema radicular, pois, quanto mais profundo no solo estiver o sistema radicular, maior será a produção de biomassa e mais descompactado ficará o solo (ROSA et al., 2014). A presença de plantas no processo de recuperação de áreas degradadas contribui para a incorporação de C-CO₂ via fotossíntese ao solo, favorecendo a atividade microbiana e a agregação do solo e permitindo a formação de simbioses radiculares que resultam em melhoria e tolerância da planta hospedeira a diversos estresses (SIQUEIRA et al., 1994). Adicionalmente, os exsudatos radiculares influenciam o crescimento de bactérias e de fungos que colonizam a rizosfera, que atua como substrato para crescimento seletivo de microrganismos do solo (FREITAS, 2007).

Dentre os microrganismos, os inóculos bacterianos e fúngicos têm potencial para reestabelecer a fertilidade das terras degradadas por meio de vários processos. Esses

microrganismos aumentam a biodisponibilidade dos nutrientes com a fixação biológica do nitrogênio atmosférico (FBN) e com a mobilização de nutrientes pela capacidade de produção de ácidos orgânicos, sideróforos e proteínas, enquanto contribui com a estrutura do solo, melhorando sua agregação e estabilidade. A coinoculação de bactérias e fungos, com ou sem adição de adubo orgânico, tem-se mostrado benéfica para restabelecer a fertilidade do solo e o teor de matéria orgânica, mais do que o inóculo único (RASHID et al., 2016). Para isto, as condições físicas e químicas do solo devem ser ajustadas por meio de práticas específicas, como preparo do solo e uso de corretivos e fertilizantes, pois os solos degradados, geralmente, apresentam elevada compactação, baixa retenção de umidade, elevada temperatura, baixo teor de matéria orgânica e nutrientes, pH inadequado e presença de elementos tóxicos (SIQUEIRA et al., 1994).

A matéria orgânica é um dos principais agentes na formação de agregados e na estabilização do solo. Portanto, aumentar a quantidade de material orgânico e, conseqüentemente, de matéria orgânica, é muito importante para a reabilitação de solos degradados. A introdução de resíduos como esterco animal, resíduos de compostagem e restos vegetais podem desempenhar um papel importante no aprimoramento da fertilidade do solo degradado (RASHID et al., 2016). A introdução de material orgânico pode ser feita por meio da utilização de resíduos de diversas naturezas e, de acordo com as características, podem atuar como corretivos e beneficiar a reciclagem de nutrientes no solo (SOUZA, 2004).

Sendo assim, a recuperação de áreas degradadas é processo que requer, primariamente, o condicionamento do solo local, com o fornecimento de nutrientes, microrganismos e material orgânico, a fim de recuperar o equilíbrio dos recursos naturais.

2.4 MICRORGANISMOS NO SOLO

Os microrganismos têm sido cada vez mais associados à qualidade ambiental, tanto pelo papel fundamental na manutenção dos ecossistemas, como pela sensibilidade a variações nos muitos fatores que compõem os ambientes (SILVEIRA; FREITAS, 2007). A fração biológica é um dos principais componentes do solo, visto que muitas das propriedades do solo são decorrentes da atividade biológica. Os microrganismos participam ativamente da decomposição de material orgânico, dos ciclos de reciclagem do N, do fósforo (P) e do enxofre (S), interferindo na disponibilidade de nutrientes para as plantas, e na decomposição de poluentes. Esses

componentes desempenham papel vital na construção do solo como suporte físico para as culturas agrícolas. (ARAÚJO; HUNGRIA, 1994).

A existência de um microrganismo em determinado tempo e local resulta da evolução, da existência de fatores abióticos favoráveis ao seu desenvolvimento e de relações biológicas diversas com competidores, antagonistas e predadores. Os microrganismos ocorrem predominantemente adsorvidos às partículas individuais do solo, na superfície ou dentro de agregados e na rizosfera (SIQUEIRA et al., 1994; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Dessa forma, qualquer alteração edáfica influencia a sobrevivência microbiana e os processos biológicos responsáveis por inúmeras transformações no solo.

As mudanças nos padrões de uso da terra, segundo Chau, Bagtzoglou e Willig (2011), influenciam significativamente a diversidade das comunidades microbianas nos solos. A atividade humana pode causar modificações significativas nos fatores químicos e físicos do solo, seja pela adição ou remoção de elementos, seja pelas práticas de cultivo, levando-o a condições extremas de pH, de temperatura, de salinidade, de disponibilidade de água, de nutrientes e de matéria orgânica, e de toxicidade de elementos, que podem ter efeito deletério sobre a comunidade biológica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A degradação biológica do solo consiste em intensa redução da diversidade e densidade microbiana, com consequente redução da biomassa e da atividade microbiana, sendo a principal responsável pela perda da capacidade produtiva dos solos (SIQUEIRA et al., 1994; WADT, 2003; NUNES et al., 2012).

A biomassa microbiana do solo é definida como a massa microbiana viva total do solo e pode ser estimada por meio da análise do carbono da biomassa microbiana (CBM), que parece mais sensível às mudanças no conteúdo de matéria orgânica do solo do que a determinação de carbono orgânico total (COT) (JENKINSON; RAYNER, 1977; POWLSON; BROOQUES; CHRISTENSEN, 1987; DE-POLLI; GUERRA, 1997). A relação entre CBM e COT é definida como quociente microbiano (q_{Mic}), um parâmetro útil para descrever alterações em ecossistemas com interferência antrópica, pois indica a quantidade de carbono orgânico que está imobilizado na biomassa microbiana (INSAM; DOMSCH, 1988; SILVA et al., 2010).

A atividade microbiana do solo pode ser estimada por meio da análise da respiração basal do solo, que mede a quantidade de carbono liberado pela atividade dos microrganismos (C-CO₂) (DE-POLLI; GUERRA, 1997; SILVA; AZEVEDO; DE-POLLI, 2007). A relação entre CBM e

C-CO₂ liberado, definida como quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), indica o quanto a biomassa microbiana do solo está ativa (MENDES et al., 2009).

Os microrganismos e suas funções contribuem para reduzir a degradação e são essenciais na reabilitação de solos degradados e no reestabelecimento da vegetação de cobertura (SIQUEIRA et al., 1994). Assim, microrganismos como os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e as bactérias e fungos solubilizadores de fosfato podem ser empregados como indicadores biológicos da qualidade e do equilíbrio de um sistema (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

2.4.1 Fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Os fungos micorrízicos são microrganismos simbiotes, biotróficos obrigatórios, que fazem associação mutualista com raízes de plantas. Nessa associação os fungos micorrízicos absorvem e transferem água e nutrientes do solo para a planta, e a planta fornece carbono, oriundo da fotossíntese, para a manutenção dos fungos micorrízicos (LAMBAIS, 2007).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são encontrados na maioria das plantas superiores (cerca de 80%), sendo naturalmente encontrados na rizosfera. Esses microrganismos colonizam as células do córtex das raízes inter e intracelularmente, de modo muito característico, formando arbúsculos, estruturas intracelulares altamente ramificadas,—consideradas o sítio de troca da simbiose. Na troca, os nutrientes absorvidos do solo, especialmente o fosfato, são disponibilizados às plantas, enquanto o carbono fotoassimilado pela planta é transferido aos fungos. Algumas espécies de fungos produzem ainda vesículas, que são estruturas ricas em lipídios, as quais, presumidamente, servem como órgão de reserva (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O resultado da colonização radicular pelos FMA é a ampliação da interface de conexão entre a planta e o solo, promovida pelo micélio formado externamente às raízes após o estabelecimento da simbiose (COLOZZI FILHO; NOGUEIRA, 2007). Moreira e Siqueira (2006) afirmam que as hifas dos FMA se desenvolvem de modo extensivo no solo, formando uma rede (micélio) que faz conexão entre o solo e o interior da planta, cujas funções incluem atuar na absorção de nutrientes e de água do solo, translocando-os para a planta, e diferenciar-se para gerar esporos, a principal forma de propágulos de FMA. Ainda de acordo com os autores, a

quantidade de micélio extra-radicular é variável de acordo com a espécie fúngica, tendo sido relatado até 26 metros de hifa por grama de solo.

A associação entre os FMA e as raízes das plantas facilita, especialmente, a absorção pela planta de P e alguns metais como o zinco (Zn) e o cobre (Cu), além de água. Por se estender além da zona de esgotamento ao redor das raízes, o micélio externo melhora a absorção de nutrientes, especialmente o P (TAIZ; ZEIGER, 2013). Os FMA apresentam processo especializado, com transportadores de alta afinidade que operam na membrana da célula e garantem efluxo suficiente de fosfato da interface arbuscular para a planta, onde as atividades de fosfatases e ATPases são muito intensas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os FMA são conhecidos por melhorar o desempenho das plantas sob condições de estresse, proporcionando maior adaptabilidade ao ecossistema (RUÍZ- SANCHEZ et al., 2011; JEFWA et al., 2012). As plantas micorrizadas apresentam maior atividade fotossintética, maior atividade enzimática e maior produção de substâncias reguladoras de crescimento. Essas alterações metabólicas conferem às plantas maior resistência aos efeitos provocados por estresses de natureza biótica (pragas e doenças) ou abiótica (déficits hídricos e nutricionais ou estresses térmicos) (COLOZZI FILHO; NOGUEIRA, 2007).

As plantas micorrizadas apresentam maior eficiência no uso da água e requerem maior tempo de seca para o declínio do potencial hídrico da folha, e menor tempo para a recuperação do potencial hídrico após o término do período de seca (HOFFMANN; LUCENA, 2006). Uma deficiência moderada de nutrientes tende a promover associações micorrízicas, enquanto plantas com nutrientes em abundância tendem a tratá-los como patógenos, já que não se beneficiam mais da absorção de nutrientes (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Caproni et al. (2005) afirmam que, tendo em vista as alterações metabólicas provocadas pelos FMA, a inoculação em mudas utilizadas para revegetação de solos degradados é importante para auxiliar e acelerar os processos de recuperação. Essa associação reflete-se em benefícios no desenvolvimento das plantas, com maior resistência a patogenias e melhoria na estruturação do solo por meio da rede de micélio e da produção de proteínas, as glomalinas. Além disso, como componentes essenciais da biota, os FMA merecem atenção quanto ao seu potencial como indicadores dos processos dinâmicos do solo, como o estoque de carbono e a agregação (PURIN, 2005).

Diante do exposto, a utilização de FMA em recuperação de áreas degradadas apresenta boa expectativa, uma vez que nessas áreas as plantas são constantemente submetidas a condições de estresse, nas quais os FMA podem atuar, contribuindo para o aumento da resistência.

2.4.2 Microrganismos solubilizadores de fosfato

O P é macronutriente essencial para o desenvolvimento e a produtividade das culturas (TAKTEK et al., 2015). Sua deficiência promove restrição ao crescimento das plantas em todo o mundo, decorrente da sua baixa disponibilidade no solo (WEI et al., 2018). A baixa disponibilidade de P ocorre devido à grande reatividade e à alta taxa de retenção de seus íons nos constituintes sólidos do solo, principalmente óxidos de ferro (Fe) e Al, o que contribui para o baixo nível de eficiência (10 a 25%) dos adubos fosfatados aplicados ao solo, diminuindo os níveis desse elemento na solução (MENDES; REIS JÚNIOR, 2003). Assim, faz-se necessária a aplicação frequente de grande quantidade de P ao solo para suprir a demanda desse elemento pelas plantas. Porém, o uso indiscriminado de fertilizantes é indesejável para o meio ambiente, já que pode causar, por meio da lixiviação, a eutrofização de rios e lagos. Ademais, sabe-se que as reservas de P existentes no planeta são finitas e estão diminuindo (LÓPEZ-ARREDONDO et al., 2014).

Os microrganismos da rizosfera conhecidos como promotores de crescimento de plantas, exibem vários efeitos benéficos sobre muitas culturas, incluindo a solubilização de P (SAXENA; MINAXI; JHA, 2014). Os solubilizadores de fosfato, como fungos e bactérias, desempenham, de forma sustentável, importante papel no suprimento de P para as plantas, como forma de promover melhor utilização desse elemento existente ou adicionado, por meio de fertilizantes ou resíduos, ao solo, e dos compostos de baixa solubilidade formados após a adição de fosfatos solúveis (SILVA FILHO; VIDOR, 2001; ALVES; MENDOZA; SILVA FILHO, 2002). Esses microrganismos aumentam a fertilidade do solo através da solubilização de fosfatos inorgânicos por meio da liberação de ácidos orgânicos, por quelação, por reações de troca e pela formação de substâncias poliméricas, além da mineralização de fosfatos orgânicos por meio da produção de fosfatases e fitases (DOBBELAERE; VANDERLEYDEN; OKON, 2003; WEI et al., 2018).

Além da ação direta na solubilização de P, os microrganismos solubilizadores são capazes de afetar a habilidade das plantas na aquisição de P do solo por meio de diversos mecanismos. Dentre esses estão o incremento da área superficial das raízes por meio da extensão do sistema

radicular, a promoção do crescimento de raízes laterais e de pelos radiculares por meio da produção de fito-hormônios e a produção estímulos de processos metabólicos que são efetivos na solubilização e na mineralização do P a partir de formas pouco disponíveis de P inorgânico e orgânico (MENDES; REIS JUNIOR, 2003). Esses microrganismos podem, também, contribuir para a agregação do solo, uma vez que células fúngicas são capazes de liberar exsudatos mucilaginosos, enquanto que células bacterianas podem liberar exopolissacarídeos que formam complexos que ajudam a unir as partículas do solo (RASHID et al., 2016).

Embora vários microrganismos tenham demonstrado capacidade de solubilizar fosfato inorgânico, muitas vezes esse P solúvel não é capaz de atingir a superfície radicular devido à difusão limitada. Assim, a associação entre microrganismos solubilizadores de P e FMA é extremamente interessante, pois desta forma o P solubilizado poderia ser absorvido pelo micélio extrarradicular de FMA, resultando em um melhor fornecimento de P às plantas (SAXENA; MINAXI; JHA, 2014). Singh (2015), afirma que a utilização de coinoculação com microrganismos promotores de crescimento e FMA pode ser considerada a nova ferramenta para a recuperação de terras degradadas, constituindo um fator chave na restauração dos ecossistemas. Para Ruíz-Sanches et al. (2011), Saxena, Minaxi e Jha (2014), e Taktek et al. (2015) é aceito que microrganismos promotores de crescimento e FMA são muito eficazes para aumentar a capacidade de as plantas estabelecerem-se e lidarem com situações de estresse como a seca e a limitação de nutrientes. As dinâmicas nutricionais de microrganismos solubilizadores de fosfato e FMA podem ser ecologicamente importantes, já que os solubilizadores atuam na disponibilidade de P e FMA atuam na absorção deste elemento (TAKTEK et al., 2015).

Assim, a interação entre os FMA e os microrganismos solubilizadores de fosfato sugere efeitos benéficos para a recuperação de áreas degradadas.

2.5 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Existem problemas relacionados ao meio ambiente que requerem soluções rápidas, como a recuperação das áreas degradadas, o desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis e um destino ambiental e economicamente correto para os inúmeros resíduos gerados pelas diferentes atividades antrópicas (MELO, 2007; HERNÁNDEZ; GARCIA; GARCÍA, 2015).

O crescimento exponencial de empresas e indústrias, dos mais diversos setores, tem provocado, principalmente nas últimas décadas, a geração desordenada de resíduos sólidos,

líquidos e gasosos. Existem resíduos que são altamente perigosos ao meio ambiente, com presença de substâncias nocivas em sua composição, o que torna sua neutralização mais complexa. Por outro lado, muitos resíduos não apresentam potencial prejudicial ao meio ambiente, necessitando apenas de transporte e de depósito adequados (BORSZOWSKI; ANHAIA, 2012). De forma geral, os resíduos da agroindústria de processamento de produtos de origem vegetal e animal apresentam em suas composições constituintes que agregam valor com sua utilização (ROSA et al., 2011).

Uma das alternativas para o destino de resíduos agroindustriais pode ser a incorporação ao solo que, servindo como meio depurador, poderia elevar a produtividade de culturas agrícolas por meio da melhoria da fertilidade (MODESTO et al., 2009). Grande parte dos resíduos agroindustriais apresentam material orgânico e elementos essenciais às plantas em sua composição, de forma que a aplicação ao solo pode constituir prática para reciclar nutrientes para as plantas, ajudando na melhoria da fertilidade do solo e proporcionando boas condições físicas para o cultivo, além de gerar economia de fertilizantes e corretivos (BEGA, 2014).

A aplicação de resíduos com boa quantidade de material orgânico ao solo, de acordo com Hernández, Garcia e García (2015), melhora as propriedades físicas por meio do aumento da estabilidade estrutural e da capacidade de retenção de água, com redução da densidade aparente. Ainda, melhora as características químicas e microbiológicas, enriquecendo o solo com macro e micronutrientes e compostos semelhantes a substâncias húmicas. Melo (2007) afirma que resíduos com elevado conteúdo de material orgânico e nutrientes de plantas, pobres em componentes tóxicos e agentes transmissores ou causadores de doenças, podem ser utilizados em áreas agrícolas, substituindo parcial ou totalmente os fertilizantes minerais.

Outra importante forma de utilização dos resíduos agroindustriais é na recuperação de solos degradados, geralmente pobres em matéria orgânica e nutrientes em geral e/ou com elevados níveis de elementos tóxicos. A incorporação de resíduos nessas áreas é uma grande oportunidade de convertê-los da condição de passivo para a de benefício ambiental (SILVEIRA, 2010). Para Hernández, Garcia e García (2015), a utilização de resíduos em solos degradados é extremamente benéfica, pois pode promover melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além de eliminar os resíduos de forma racional, economicamente viável e ambientalmente correta. É evidente que deve se levar em conta o tipo de resíduo, sua composição

e sua procedência, bem como as quantidades e as dosagens a serem incorporadas ao solo, uma vez que a aplicação indiscriminada pode acarretar em efeito poluidor, ao invés de benéfico.

2.5.1 Cinza de biomassa de cana-de-açúcar

As indústrias sucroenergéticas têm como um de seus principais resíduos a cinza de biomassa de cana-de-açúcar, gerada por meio da queima do bagaço—de cana-de-açúcar em caldeiras para a produção de energia elétrica e vapor (BRUNELLI; PISANI JUNIOR, 2006). A cinza aplicada ao solo melhora as propriedades físico-químicas e aumenta o desenvolvimento e a produtividade das culturas, fornecendo, também, uma ferramenta econômica e ambientalmente correta para reciclar tais resíduos (SELEIMAN; KHEIR, 2018). A utilização de cinzas como insumo no processo produtivo agrícola é viável, pois possibilita alta capacidade de retenção de água no solo, melhorando o desenvolvimento da cultura, além de ser, também, fonte de macro e de micronutrientes e, conseqüentemente, capaz de corrigir a acidez do solo, onde uma tonelada de cinza equivale a 0,5 toneladas de calcário (BRUNELLI; PISANI JÚNIOR, 2006). A cinza de biomassa de cana-de-açúcar pode proporcionar afeitos benéficos sobre o aspecto nutricional do solo, com o fornecimento de nutrientes como P, K, Mg e Ca, e redução do Al disponível (MAEDA; SILVA; CARDOSO, 2008; SILVEIRA, 2010; BEGA 2014). Seleiman e Kheir (2018) ressaltam que a cinza de biomassa de cana-de-açúcar pode conter boas quantidades de micronutrientes como Fe, manganês (Mn), Zn e Cu. Além disso, a atividade biológica também pode ser favorecida pelo aumento do pH e a manutenção da umidade que a adição de cinza oferece ao solo (ARRUDA et al., 2016; SELEIMAN; KHEIR, 2018).

2.6 REVEGETAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA COM BANANEIRA (*Musa* sp.)

A revegetação é uma prática de grande importância para a recuperação de áreas degradadas, pois, além de promover a agregação e a alteração do microclima do solo, contribui para o aumento da atividade biológica e o restabelecimento da funcionalidade da comunidade rizosférica, que possui papel fundamental na sobrevivência das espécies (SIQUEIRA et al., 1994).

As plantas, por meio dos exsudatos radiculares, influenciam o crescimento de bactérias e de fungos que colonizam a rizosfera pela alteração do ambiente do solo circundante, servindo como substrato para crescimento seletivo de microrganismos. Por sua vez, estes influenciam a

composição e a quantidade de vários componentes dos exsudatos radiculares por seus efeitos no metabolismo das células da raiz, bem como no estado nutricional das plantas (CARDOSO; NOGUEIRA, 2007).

A presença de plantas no processo de recuperação de áreas degradadas contribui, também, para a incorporação de carbono, via fotossíntese, ao solo, favorecendo a atividade microbiana, a agregação do solo e permitindo a formação de simbioses radiculares, que resultam em melhoria nutricional e tolerância da planta hospedeira a estresses diversos. Dentre as simbioses radiculares com potencialidade na recuperação de áreas degradadas estão os FMA e as bactérias promotoras de crescimento (SIQUEIRA et al., 1994).

O plantio de uma espécie frutífera pode representar a recuperação produtiva e ecológica de uma área, pois, além de fornecer alimento humano, também é fonte de alimento para os animais. Entre os benefícios que esse plantio pode trazer está o aumento da biodiversidade e da sustentabilidade, a colaboração com a segurança alimentar e a geração de uma fonte adicional de renda ao produtor (GUIMARÃES; MANESCHY, 2009). Existe, ainda, o benefício para a economia local, uma vez que o Brasil possui condições climáticas ideais para o cultivo de frutíferas tropicais, estando entre os principais países produtores mundiais de frutos *in natura* e de sucos (SILVEIRA; GOMES, 2007).

Nesse contexto, a bananeira (*Musa* sp.) é apresentada como uma boa alternativa, pois, além de produzir o fruto, que pode ser comercializado, é fonte de material orgânico para o solo, por meio da queda de suas folhas e restos culturais pós-colheita, contribuindo para a recuperação do mesmo. Além disso, possui grande acúmulo de água no rizoma e no pseudocaule, possibilitando sua sobrevivência em períodos de estresse hídrico e a conservação da microbiota do solo em sua rizosfera (DONATO et al., 2002).

Ademais, a bananeira é uma planta que responde à inoculação de microrganismos. Além do efeito benéfico na promoção do crescimento, tem sido constatada maior tolerância da bananeira micorrizada a condições de estresse, como toxicidade de Al e estresse salino, maior tolerância aos estresses climáticos e edáficos, aumento da resistência a patógenos e da sobrevivência das mudas ao transplantio, além de minimizar o uso e gastos com fertilizantes (SILVEIRA; GOMES, 2007).

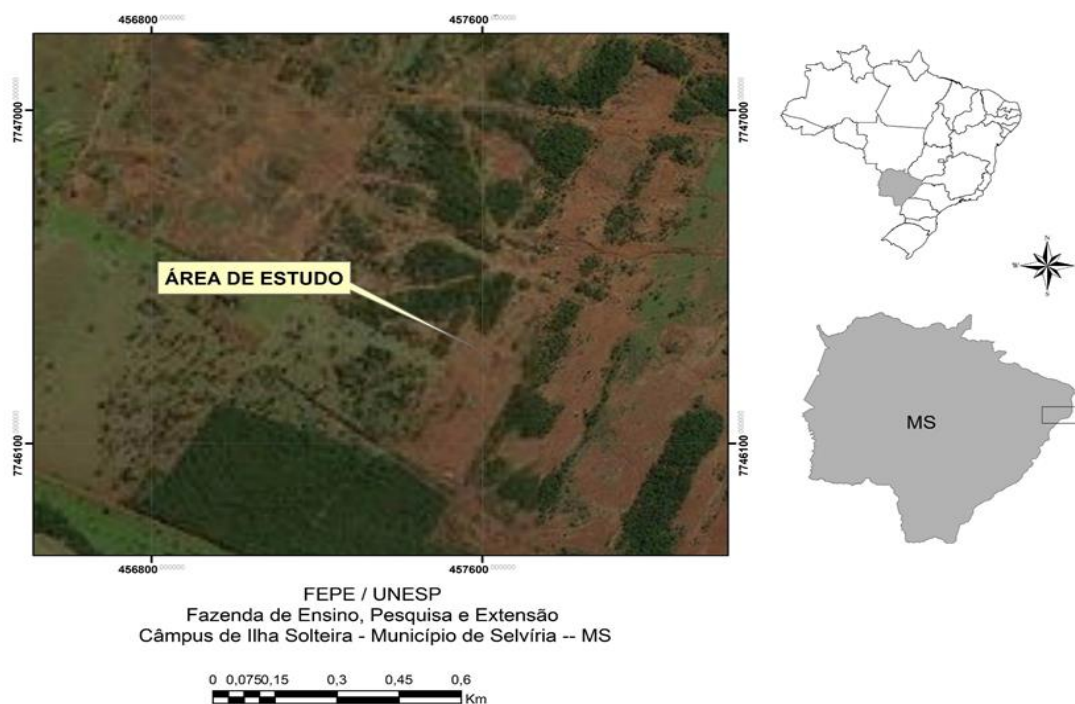
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

O experimento foi instalado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP-Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira – SP, localizada no município de Selvíria- MS (Figura 1). A área se situa à margem direita do Rio Paraná, entre as coordenadas geográficas 20° 22' 49.7" S e 51° 24' 23.9" W, à jusante da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira. A altitude média na região é de 335 m.

O tipo climático da região é Aw, tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, classificado de acordo com o sistema internacional de Köppen. Possui médias anuais de precipitação de 1370 mm, temperatura de 23 °C e umidade relativa do ar entre 70 e 80 %. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico, textura franco-argilo-arenosa (302, 172 e 526 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente), muito profundo, rico em sesquióxidos (DEMATTÊ, 1980). Pela nomenclatura atual é um Latossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 2013).

Figura 1- Mapa de localização da área experimental.



Fonte: Google Maps (2018).

3.2 HISTÓRICO DA ÁREA

O local do experimento exibiu como cobertura vegetal o Cerrado *stricto sensu* quando, na década de 1960, em consequência da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, foi desmatado e utilizado como “área de empréstimo”, de onde foram removidas camadas de solo de 8 a 12 m de profundidade, levando à sua degradação.

No ano de 2010, visando a revegetação dessa área, foi instalado um experimento onde procedeu-se ao plantio de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). Os tratamentos utilizados envolveram a adição do resíduo cinza de biomassa de cana-de-açúcar e também a adição de solo oriundo de área conservada de Cerrado como fonte de microrganismos (solo-inóculo) para a reintrodução da microbiota no solo degradado. A área foi escarificada e gradeada a 0,4 m de profundidade e, com auxílio de broca hidráulica, foram abertas covas de 0,3 m de largura por 0,9 m de profundidade. A metade inferior do volume de solo retirado para a abertura das covas foi devolvido às mesmas. No volume de solo equivalente a 0,45 m de profundidade foram feitas correções com calcário e nutrientes N, P e K. Para os tratamentos com resíduo, este também foi adicionado ao solo antes de ser devolvido às covas. O transplante das mudas de pinhão-manso às covas ocorreu logo após a adição de 50 g solo-inóculo, incluindo esporos de FMA. Dezoito meses após o plantio foi feita uma poda não drástica nas plantas, recomendada para a cultura, porém as plantas não resistiram e morreram 2 semanas depois.

A área permaneceu com o subsolo exposto, com a presença de poucas gramíneas típicas de Cerrado, porém, em sua maior extensão, sem indícios de regeneração natural até a instalação do presente experimento (Figura 2).

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental para este trabalho em blocos casualizados, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 3 + 2$, com 4 repetições por tratamento, totalizando 12 tratamentos (Quadro 1), com 4 repetições (bloco). O primeiro fator foi com e sem inoculação de FMA (*Glomus clarum*); o segundo fator foi com e sem adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar; o terceiro fator foi com e sem inoculação de fungos e de bactéria solubilizadores de fosfato. Os tratamentos adicionais são compostos por solo de área preservada de Cerrado (APRC) e por solo de área degradada sem intervenção (ADSI).

Figura 2- Área experimental antes da instalação do experimento.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Os blocos foram compostos por 8 linhas com 6 plantas, com espaçamento de 3 m entre linhas e 2 m entre plantas, em um total de 48 plantas, sendo 4 plantas para cada tratamento por bloco. A bananeira (*Musa* sp. cv. Mysore) foi utilizada como planta indicadora mediante às transformações que poderiam ocorrer no solo como efeito dos tratamentos utilizados.

Quadro 1- Descrição dos tratamentos utilizados no experimento. Inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar (Cinza) e inoculação de bactéria ou fungos solubilizadores de fosfato (Solub.).

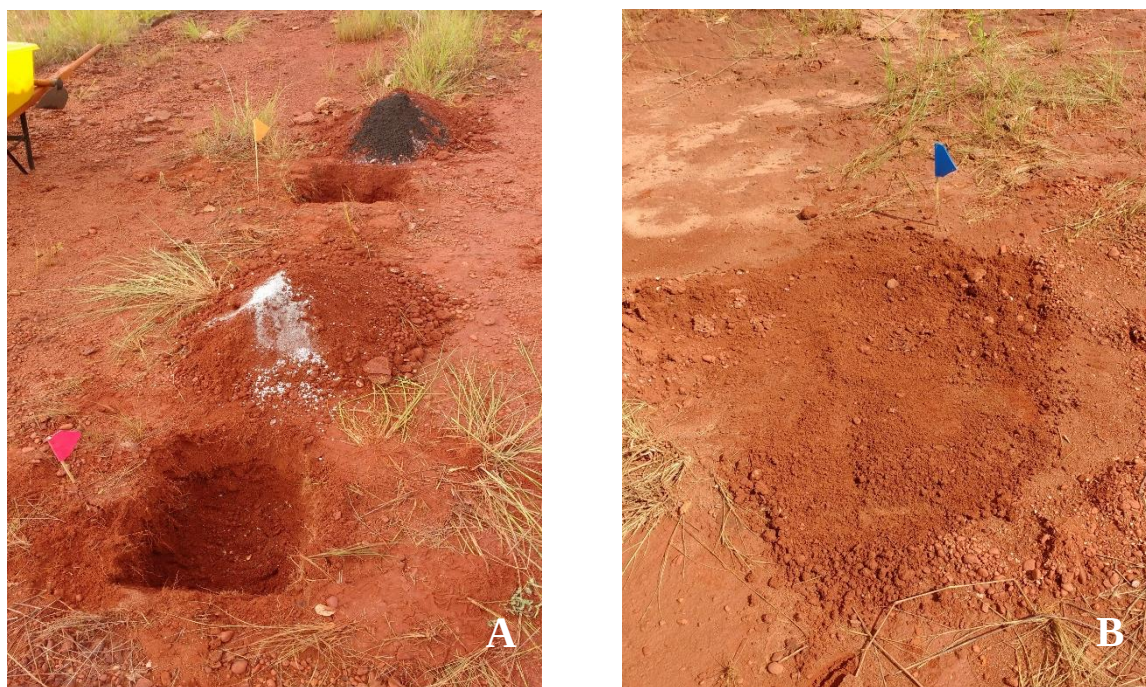
Tratamentos	FMA	Cinza	Solub.	Tratamentos	FMA	Cinza	Solub.
SSS	Sem	Sem	Sem	MSS	Com	Sem	Sem
SSF	Sem	Sem	Fungos	MSF	Com	Sem	Fungos
SSB	Sem	Sem	Bactéria	MSB	Com	Sem	Bactéria
SCS	Sem	Com	Sem	MCS	Com	Com	Sem
SCF	Sem	Com	Fungos	MCF	Com	Com	Fungos
SCB	Sem	Com	Bactéria	MCB	Com	Com	Bactéria

Fonte: Elaboração da própria autora.

3.4 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

A instalação do experimento ocorreu em março de 2017, utilizando as covas existentes na área, remanescentes do plantio anterior de pinhão-manso. As covas foram reabertas a 0,45 m de profundidade e 0,3 m de largura e, no solo retirado, foram feitas correções com calcário e fertilizantes em quantidades para não interferir nos tratamentos com inoculação: (calcário dolomítico PRNT 85%: 4 t ha⁻¹; sulfato de amônio: 2,7 t ha⁻¹; superfosfato simples: 1,6 t ha⁻¹; cloreto de potássio: 155 kg ha⁻¹). Os valores foram calculados de acordo com avaliação da fertilidade do solo (RAIJ et al., 2001) realizada em abril de 2016 (pH = 4,4; P mg dm⁻³ = 2,8; Al mmol_c dm⁻³ = 5,5; MO g dm⁻³ = 10,4; SB mmol_c dm⁻³ = 8,1; V% = 26,2). Além disso, também foram adicionadas 30 t ha⁻¹ de cinza de biomassa de cana-de-açúcar (cinza), de acordo com os tratamentos, e todo o material foi então misturado e devolvido às covas, fechando-as (Figura 3).

Figura 3- Abertura das covas, adição de calcário e nutrientes, adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar (A) e fechamento das covas (B).



Fonte: Elaboração da própria autora.

A cinza utilizada foi cedida pela Usina Vale do Paraná, Suzanápolis – SP. A caracterização química da mesma foi realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo da UNESP-Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira – SP, pela metodologia de Raij et al. (2001),

mostrando como resultado: pH = 4,8; P mg dm⁻³ = 54; Al mmol_c dm⁻³ = 2; MO g dm⁻³ = 15; SB mmol_c dm⁻³ = 19,6.

A inoculação com FMA foi feita pela adição de solo-inóculo às covas, em uma nova abertura realizada para o plantio. O *Glomus clarum* foi cedido pela Universidade Federal de Lavras- MG. A multiplicação foi realizada conforme descrito por Santos et al. (2016), em vasos com mistura de solo, previamente coletado da área experimental, e areia esterilizados, na proporção 1:2 (v/v) em condições de cultivo protegido, a *Urochloa decumbens* foi utilizada como planta hospedeira. Transcorridos 75 dias de cultivo, a parte aérea das plantas foi descartada, o substrato e o sistema radicular foram misturados e secos à sombra. O número de esporos de FMA foi quantificado em 100 g de substrato, conforme uma associação dos métodos de decantação e peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) e de centrifugação e flutuação com solução de sacarose (JENKINS, 1964). Foi adicionada às covas a quantidade de 5 g de solo-inóculo, o equivalente a 60 esporos e, em seguida, foi realizado o plantio.

A introdução de bananeira na área foi realizada por meio do plantio de rizomas do cultivar Mysore, cedidos pela Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP- Faculdade de Engenharia Campus de Ilha Solteira - SP. Os rizomas foram retirados integralmente do solo com a utilização de máquina retroescavadeira, com a remoção das raízes e de partes necrosadas manualmente com facão e, imediatamente, lavados com jato de água para remoção das impurezas. Como não houveram rizomas suficientes, os maiores foram cortados ao meio e distribuídos nas covas existentes na área experimental (Figura 4), sem prejuízo ao seu brotamento.

Os microrganismos solubilizadores de fosfato foram inoculados no solo, ao redor dos rizomas, por meio de pequenos orifícios feitos com espetos de madeira. Os microrganismos utilizados (um isolado bacteriano e 3 isolados fúngicos – enviados para identificação) pertencem à coleção do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde – GO. A bactéria foi multiplicada em meio de cultura GL (glicose: 10 g L⁻¹, extrato de levedura: 2 g L⁻¹) sob incubação a 28 °C, em agitação a 180 RPM, por 48 horas. Foi adicionada às covas em quantidade equivalente a 3,5 x 10⁹ UFC. Os fungos foram multiplicados individualmente em arroz integral parboilizado cozido e esterilizado, sob incubação a 28 °C por 6 dias. De cada isolado foram adicionados às covas 10 grãos de arroz-inóculo.

Após o plantio, a área foi irrigada com caminhão-pipa, uma a duas vezes por semana, de acordo com a incidência de chuva, até a primeira avaliação (67 dias).

Figura 4- Covas abertas durante o plantio dos rizomas de bananeira, utilizando rizoma inteiro (A) e rizoma cortado ao meio (B).



Fonte: Elaboração da própria autora.

3.5 AVALIAÇÕES DO EXPERIMENTO

O experimento foi avaliado aos 67 dias e aos 274 dias após sua instalação (Figura 5). Os dados referentes a temperatura e precipitação médias mensais, durante o período experimental, estão apresentados na Figura 6.

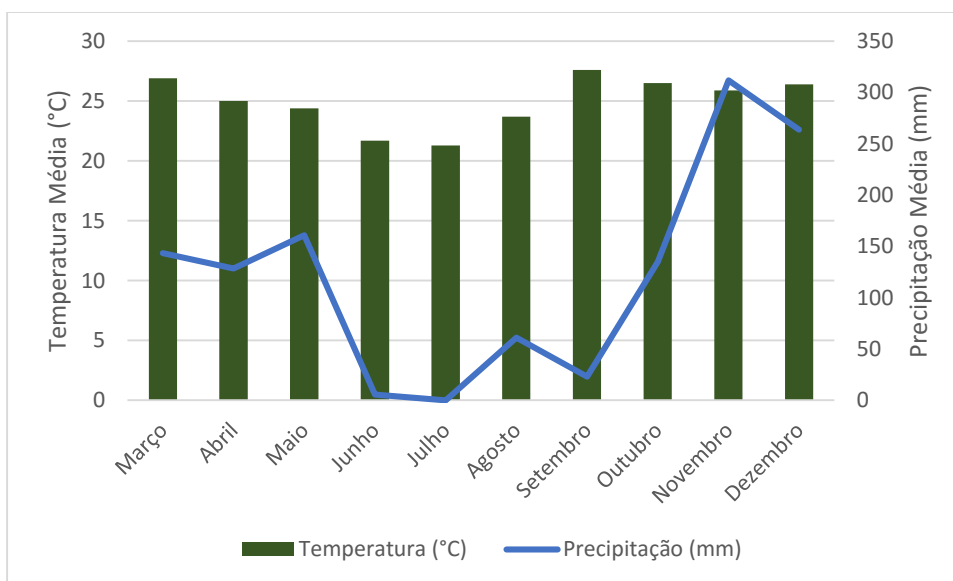
Para as plantas foram avaliados a altura, da base até a inserção da primeira folha, o diâmetro do pseudocaule, medido na base, e o índice relativo de clorofila. Na determinação do índice relativo de clorofila foi utilizado o aparelho portátil ClorofiLOG1030®. Esse aparelho determina quantitativamente a intensidade do verde da folha, gerando um número SPAD, que é altamente correlacionado com o teor de clorofila (GIL et al., 2002). As leituras foram realizadas no período da manhã, em duas folhas por planta, sendo as duas últimas folhas completamente abertas, e em dois pontos por folha.

Figura 5- Desenvolvimento das bananeiras na área experimental aos 67 dias (A) e 274 dias (B) após o plantio.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 6- Temperatura e precipitação médias mensais – Março a Dezembro de 2017.



Fonte: Canal Clima – Unesp Ilha Solteira (2018).

Os teores totais de P total foliar das plantas foram determinados (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Foi coletada amostra de aproximadamente 15 cm da parte central da última folha completamente aberta de cada planta, que foi levada para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 72 h. As amostras secas foram moídas em moinho do tipo Willey com facas e peneiradas em malha de 1 mm. A seguir, 500 mg de matéria seca foi submetida a digestão nítrico-perclórica seguida pela determinação analítica do P via colorimetria do metavanadato, com leitura de absorvância em espectrofotômetro em comprimento de onda de 420 nm.

As avaliações dos atributos químicos e microbiológicos do solo foram realizadas em amostras compostas de 4 amostras simples, por tratamento e por bloco. O solo foi amostrado nas covas, próximo às plantas, na profundidade de 0,0 a 0,10 m, foi homogeneizado e peneirado em malha de 2 mm. Além da amostragem na área experimental, foram coletadas amostras de solo em área preservada de cerrado (APRC) e de solo em área degradada sem intervenção (ADSI), para posterior comparação com os tratamentos.

Parte das amostras de solo foi encaminhada ao Laboratório de Fertilidade do Solo da UNESP- Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira – SP, para caracterização da fertilidade do solo, segundo Raij et al. (2001).

Para as avaliações microbiológicas foram determinados o número de esporos de FMA, o carbono liberado pela respiração microbiana (C-CO₂ liberado), o carbono da biomassa microbiana (CBM), o quociente microbiano (q_{Mic}) e o quociente metabólico (q_{CO_2}). O número de esporos de FMA foi determinado em amostras de 100 g de solo, como anteriormente descrito.

A quantificação do C-CO₂ liberado seguiu a metodologia de Anderson e Domsch (1989), em que 100 g de solo fresco foram colocadas em frasco de vidro juntamente com um pequeno recipiente contendo 10 mL de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol L⁻¹. O frasco foi fechado hermeticamente e o tempo de incubação foi determinado por meio de uma curva de calibração. Imediatamente após a abertura dos frascos, foi adicionado 2 mL de cloreto de bário (BaCl₂) 10% ao recipiente contendo NaOH, para a precipitação do CO₂. A seguir, a titulação foi realizada com ácido clorídrico (HCl) 0,1 mol L⁻¹, tendo fenolftaleína 1% como indicador. A titulação da base livre permite calcular, por subtração, a quantidade de CO₂ que reage com NaOH (ANDERSON; DOMSCH, 1989).

A determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM) foi realizada pelo método de fumigação-extração (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987), com leitura em espectrofotômetro (SILVA et al., 2016). Utilizaram-se duas amostras de 10 g de solo, uma delas foi fumigada com clorofórmio, permanecendo sob vácuo por 48 h para a morte dos microrganismos. Foi realizada a extração do carbono de ambas as amostras, adicionando 40 mL de sulfato de potássio (K_2SO_4) $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, submetendo-as à agitação por 30 minutos. Após a agitação, o material sobrenadante foi então filtrado. Deste extrato filtrado, 2 mL foram combinados com 3 mL de água deionizada, 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) e 2,5 mL de solução de trabalho contendo pirofosfato de sódio ($Na_2P_2O_7$), H_2SO_4 , permanganato de potássio ($KMnO_4$) e sulfato de manganês monohidratado ($MnSO_4 \cdot H_2O$), permanecendo em repouso por 2 h para que ocorresse a reação. O carbono foi determinado por leitura de absorbância em espectrofotômetro, em comprimento de onda de 495 nm, sendo feita a comparação entre as amostras fumigadas e não fumigadas.

A partir dos dados obtidos, calcularam-se o quociente microbiano (q_{Mic}), expresso em porcentagem, calculado pela equação: $(CBM / C\text{-Orgânico}) \times 100$; e o quociente metabólico (qCO_2) estimado pela relação entre a respiração basal e o CBM: $(C\text{-}CO_2 / CBM)$.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos a análise de variância e os tratamentos foram comparados entre si pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade. A comparação dos tratamentos aos dados do solo conservado de cerrado (SCRC) e do solo degradado sem intervenção (SDSI) foi realizada pelo teste de Dunnett com 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS

4.1.1 Avaliação aos 67 dias após a instalação do experimento

Os atributos químicos do solo, pH, P, MO, Al, Ca, K, Mg e V% apresentaram diferença significativa em função de pelo menos um tratamento, da mesma forma que o P foliar (Tabela 1).

Tabela 1- Análise de variância para os atributos químicos do solo pH (CaCl₂), fósforo (P), matéria orgânica (MO), alumínio (Al), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), saturação por bases (V%) e fósforo foliar (P foliar), para os tratamentos inoculação de FMA, adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar e inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato, aos 67 dias após a instalação do experimento.

Fonte de Variação	pH CaCl ₂	P (resina) mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	Al ----- mmol _c dm ⁻³	Ca ----- mmol _c dm ⁻³	K ----- mmol _c dm ⁻³	Mg ----- mmol _c dm ⁻³	V %	P foliar g kg ⁻¹
FMA (M)									
Sem M	4,78	15,17	10,79	1,75	11,67	1,77	6,46	42,42	1,94
Com M	4,84	9,75	11,13	2,00	10,42	1,71	6,54	41,58	2,10
Cinza (C)									
Sem C	4,55b	3,97	10,46b	2,80a	6,54b	1,59b	5,29b	33,58b	1,80
Com C	5,08a	20,96	11,46a	0,96b	15,54a	1,89a	7,71a	50,42a	2,24
Solubilizador (S)									
Sem S	4,79b	13,19	11,38	1,94	11,31ab	1,79a	6,88	42,63ab	1,84
Fungos	4,64b	9,19	10,63	2,44	8,13b	1,42b	5,25	35,56b	2,13
Bactéria	5,00a	15,00	10,88	1,25	13,69a	1,78a	7,38	47,81a	2,09
Valores de F									
M	0,664 ^{ns}	5,310*	1,187 ^{ns}	0,420 ^{ns}	0,740 ^{ns}	0,199 ^{ns}	0,011 ^{ns}	0,075 ^{ns}	6,381*
C	63,356**	52,30**	10,679**	22,591**	38,342**	4,454*	9,111**	30,420**	45,99**
S	9,973**	2,134 ^{ns}	2,076 ^{ns}	3,186 ^{ns}	4,917*	6,196**	2,568 ^{ns}	5,412*	8,085**
MxC	1,135 ^{ns}	4,831*	0,074 ^{ns}	0,747 ^{ns}	2,577 ^{ns}	0,467 ^{ns}	0,390 ^{ns}	0,671 ^{ns}	10,52**
MxS	0,004 ^{ns}	1,022 ^{ns}	1,409 ^{ns}	0,035 ^{ns}	0,343 ^{ns}	2,322 ^{ns}	0,693 ^{ns}	0,125 ^{ns}	0,373 ^{ns}
CxS	0,428 ^{ns}	1,505 ^{ns}	0,222 ^{ns}	0,152 ^{ns}	2,493 ^{ns}	3,079 ^{ns}	0,856 ^{ns}	0,383 ^{ns}	4,477*
Média Geral	4,81	12,46	10,96	1,88	11,04	1,74	6,50	42,00	2,02
CV (%)	2,16	27,63	4,55	28,57	21,31	10,75	19,48	13,18	4,40

Valores seguidos pela mesma letra na coluna, por fonte de variação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. * e ** = significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. ^{ns} = não significativo. Nota: Os resultados para bloco e para a interação tripla não foram significativos.

Fonte: Elaboração da própria autora.

A adição de cinza elevou o pH, e propiciou aumentos nos teores de MO, Ca, K, Mg e nos valores de V%, com redução dos teores de Al. Os benefícios proporcionados aos atributos químicos do solo pela adição de cinza têm sido relatados na literatura. Maeda, Silva e Cardoso (2008) e Silveira (2010) obtiveram resultados semelhantes aos do presente trabalho ao avaliarem o efeito de doses de cinza de biomassa vegetal florestal e de cana-de-açúcar sobre as características químicas de diferentes solos, onde verificaram redução da acidez e dos teores de Al, aumento dos teores de P, K, Ca, Mg e nos valores de V%. Em um estudo realizado por Gómez-Rey et al. (2010), a aplicação de cinza de biomassa florestal em uma plantação de *Pinus pinaster* proporcionou acentuada elevação dos teores de bases trocáveis do solo (K, Ca e Mg). Seleiman e Kheir (2018) concluíram em seu trabalho que a aplicação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar melhorou os atributos do solo devido ao seu conteúdo de MO e de nutrientes necessários para o crescimento da planta. Na composição da cinza de biomassa de cana-de-açúcar predominam K, Ca, Mg e, em menor concentração, o P (MAEDA; SILVA; CARDOSO, 2008; SILVEIRA, 2010; BEGA, 2014), o que justifica os incrementos obtidos para os atributos químicos na presente pesquisa.

Houve interação significativa para P e P foliar por efeito de FMA e cinza de biomassa de cana-de-açúcar (Tabela 2). Embora o tratamento inoculado com FMA e com adição de cinza apresente um adequado teor de P, este foi maior quando não-inoculado, e ambos diferem do tratamento sem cinza, evidenciando que o aumento de fertilidade do solo decorreu da aplicação de cinza. Já a menor concentração de P verificada no solo inoculado com FMA pode ser explicada pela absorção deste elemento pela planta, por meio destes microrganismos, uma vez que os FMA, como simbioses, atuam na absorção de nutrientes, especialmente fósforo.

Tabela 2- Valores médios da interação entre inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e adição de cinza de biomassa da cana-de açúcar para fósforo (P) e fósforo total foliar (P foliar) aos 67 dias após a instalação do experimento.

Fontes de Variação	----- P resina (mg dm ⁻³) -----		----- P foliar (g kg ⁻¹) -----	
	Sem Cinza	Com Cinza	Sem Cinza	Com Cinza
Sem FMA	4,08aB	26,25aA	1,83aB	2,05bA
Com FMA	3,83aB	15,67bA	1,78aB	2,42aA

Valores seguidos por letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, por fonte de variação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Velázquez et al. (2017) não observaram diferença significativa para o teor deste nutriente no substrato de plantas de alface inoculadas com FMA, porém, o teor foi significativamente maior no tecido vegetal dessas plantas. Neste sentido, Santos et al. (2016) também constataram menores teores de P em tratamentos inoculados com FMA e sugerem que a baixa disponibilidade do nutriente no solo está diretamente relacionada com a atividade desses microrganismos. Esta hipótese foi confirmada no presente trabalho, pelos resultados da avaliação de P foliar, onde os tratamentos inoculados com FMA apresentaram os maiores valores, mesmo exibindo os mais baixos teores de P no solo.

O fator solubilizador proporcionou diferenças significativas para pH, K, Ca e V % (Tabela 1). O pH do solo foi mais elevado nos tratamentos com a inoculação da bactéria solubilizadora de fosfato. Moreira e Siqueira (2006) afirmam que, de forma geral, a solubilização de P está relacionada à diminuição de pH e/ou à produção de ácidos orgânicos, mas que pode ocorrer, também, por meio da produção de enzimas, compostos quelantes e complexantes. Dessa forma, o aumento de pH verificado nos tratamentos inoculados com a bactéria solubilizadora de fosfato não implica em inatividade desses microrganismos.

Os teores de K e Ca e os valores de V% não diferiram entre os tratamentos com e sem bactéria solubilizadora de fosfato, enquanto os tratamentos inoculados com os fungos solubilizadores mostraram as menores médias (Tabela 1). Para Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2008), certos microrganismos podem imobilizar os nutrientes do solo durante o processo de multiplicação, os quais serão liberados após sua morte e decomposição, quando se tornarão disponíveis às plantas. Tratando-se de uma avaliação inicial, aos 67 dias após a instalação do experimento, é provável que estes fungos se encontrem em processo de multiplicação, o que explicaria as baixas médias obtidas para K, Ca e V%.

Para P foliar houve interação significativa entre os fatores cinza de biomassa de cana-de-açúcar e microrganismos solubilizadores de fosfato (Tabela 3). Nos tratamentos com adição de cinza e inoculados com fungos e com bactéria solubilizadora, as médias foram maiores que nos tratamentos sem cinza e sem inoculação, atestando a capacidade destes microrganismos solubilizarem o P fornecido pela cinza de biomassa de cana-de-açúcar. Este resultado demonstra ainda que, da mesma forma que a bactéria, os fungos estão atuando na solubilização de P e que, embora tenham mostrado os menores teores de bases e menores valores de V%, estes microrganismos permanecem ativos atuando especificamente sobre o P.

Tabela 3- Valores médios da interação entre adição de cinza de biomassa da cana-de açúcar e inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato para fósforo total foliar (P foliar) aos 67 dias após a instalação do experimento.

Fontes de Variação	----- P foliar (g kg ⁻¹) -----		
	Sem S	Fungos	Bactéria
Sem Cinza	1,72bA	1,79bA	1,90bA
Com Cinza	1,95aB	2,48aA	2,28aA

Valores seguidos por letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Elaboração da própria autora.

4.1.2 Avaliação aos 274 dias após a instalação do experimento

Os atributos químicos do solo, pH, P, Al, Ca, K Mg e V% apresentaram diferenças significativas em função de pelo menos um tratamento, da mesma forma que o P foliar. Os tratamentos inoculados com FMA exibiram teores maiores para P foliar, da mesma forma que os tratamentos com adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar e os tratamentos inoculados com bactéria e com fungos solubilizadores de P (Tabela 4).

Estes resultados seguem a mesma tendência dos obtidos na avaliação inicial do experimento, aos 67 dias, embora possa se observar menores médias para a avaliação aos 274 dias. Esta redução provavelmente se deve ao efeito de diluição deste nutriente na planta. Sousa et al. (2000) afirmam que, quando a quantidade de P disponível no substrato não acompanha o incremento em altura e produção de massa fresca da muda, ocorre o efeito de diluição do nutriente para toda a planta. Borges et al. (2006) avaliando os teores foliares de nutrientes em 24 genótipos de plantas adultas de bananeira, em dois ciclos, encontraram valores de P foliar entre 1,2 e 1,8 g kg⁻¹. Barroso et al. (2011) relataram teores médios de P foliar de 1,77 g kg⁻¹ em bananeira cv. Pacovan Apodi, em terceiro ciclo, sob lâminas de irrigação e doses de K. Embora no presente experimento os valores tenham variado entre 1,08 e 1,29 g kg⁻¹, considerados baixos para a cultura, era o esperado, levando em conta o estado de degradação da área experimental. No entanto, foi possível verificar os incrementos que os tratamentos utilizados trouxeram às plantas.

A inoculação de FMA diminui a concentração de K no solo. Taiz e Zeiger (2013) enfatizam que os FMA atuam na absorção de diversos nutrientes do solo, além do P, translocando-os para a planta. Dessa forma, é possível que nos tratamentos inoculados com FMA estes microrganismos tenham atuado na absorção do K, diminuindo sua concentração no solo.

Tabela 4- Análise de variância para os atributos químicos do solo pH (CaCl₂), fósforo (P), matéria orgânica (MO), alumínio (Al), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), saturação por bases (V%) e fósforo foliar (P foliar), para os tratamentos inoculação de FMA, adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar e inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato, aos 274 dias após a instalação do experimento.

Fonte de Variação	pH CaCl ₂	P (resina) mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	Al ----- mmol _c dm ⁻³ -----	K mmol _c dm ⁻³	Ca ----- mmol _c dm ⁻³ -----	Mg ----- mmol _c dm ⁻³ -----	V %	P foliar g kg ⁻¹
FMA (M)									
Sem M	4,67	4,92	10,29	3,13	2,20a	8,79	6,92	38,33	1,05b
Com M	4,42	3,75	10,25	3,83	1,38b	7,42	5,50	34,25	1,29a
Cinza (C)									
Sem C	4,40	2,29	10,21	4,38a	1,84	6,46b	5,29	32,67	1,10b
Com C	4,69	6,38	10,33	2,58b	1,75	9,75a	7,13	39,92	1,25a
Solubilizador (S)									
Sem S	4,56	4,19	10,44	3,81	1,69	8,25	5,81	36,38	1,08b
Fungos	4,56	4,38	10,19	3,44	1,83	7,00	6,06	34,31	1,23a
Bactéria	4,51	4,44	10,19	3,19	1,86	9,06	6,75	38,19	1,23a
Valores de F									
M	6,362*	3,294 ^{ns}	0,010 ^{ns}	1,432 ^{ns}	10,604**	1,313 ^{ns}	1,504 ^{ns}	1,555 ^{ns}	21,207**
C	9,213**	40,353**	0,091 ^{ns}	9,160**	0,120 ^{ns}	7,525**	2,518 ^{ns}	4,903*	7,287**
S	0,148 ^{ns}	0,055 ^{ns}	0,161 ^{ns}	0,377 ^{ns}	0,161 ^{ns}	1,000 ^{ns}	0,235 ^{ns}	0,468 ^{ns}	4,631*
MxC	5,938*	10,504**	0,252 ^{ns}	2,621 ^{ns}	0,007 ^{ns}	6,782*	4,079*	5,603*	0,403 ^{ns}
MxS	0,166 ^{ns}	0,029 ^{ns}	1,394 ^{ns}	0,971 ^{ns}	0,788 ^{ns}	1,848 ^{ns}	0,368 ^{ns}	0,425 ^{ns}	0,479 ^{ns}
CxS	1,098 ^{ns}	0,282 ^{ns}	1,935 ^{ns}	0,495 ^{ns}	2,548 ^{ns}	3,401 ^{ns}	1,976 ^{ns}	2,324 ^{ns}	1,841 ^{ns}
Média Geral	4,54	4,33	10,27	3,50	1,80	8,10	6,21	36,29	1,18
CV (%)	3,24	21,20	6,44	28,93	17,39	21,68	24,82	15,30	5,30

Valores seguidos pela mesma letra na coluna, por fonte de variação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. * e **= significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. ^{ns} = não significativo. Nota: Os resultados para bloco e interação tripla não foram significativos.

Fonte: Elaboração da própria autora.

A adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar propiciou o aumento de Ca e a redução do teor de Al do solo (Tabela 4), da mesma forma que na avaliação aos 67 dias. Campos (2014), ao avaliar os efeitos da aplicação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar sobre os atributos químicos e biológicos do solo, encontrou grande redução da acidez potencial (H+Al) em seus tratamentos, e concluiu que essa redução está possivelmente associada ao aumento de pH promovido pela cinza devido às substâncias alcalinas presentes em sua composição. Este resultado corrobora aos obtidos no presente trabalho, onde os tratamentos com adição de cinza proporcionaram elevações do pH e dos teores de bases.

Houve interação significativa entre FMA e cinza de biomassa de cana-de-açúcar para pH, P, Ca, Mg e V%, em que todos seguiram a mesma tendência (Tabela 5).

Tabela 5- Valores médios da interação entre inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e adição de cinza da biomassa da cana-de açúcar para pH (CaCl_2), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e saturação por bases (V%) aos 274 dias após a instalação do experimento.

Fontes de Variação	----- pH ----- CaCl ₂		---- P resina ---- mg dm ⁻³		----- Ca ----- mmol _c dm ⁻³		----- Mg ----- mmol _c dm ⁻³		----- V ----- %	
	Sem Cinza	Com Cinza	Sem Cinza	Com Cinza	Sem Cinza	Com Cinza	Sem Cinza	Com Cinza	Sem Cinza	Com Cinza
Sem FMA	4,4aB	4,9aA	1,8aB	8,0aA	5,6aB	12,0aA	4,8aB	9,0aA	30,8aB	45,8aA
Com FMA	4,4aA	4,4bA	2,7aB	4,7bA	7,3aA	7,5bA	5,7aA	5,2bA	34,5aA	34,0bA

Valores seguidos por letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, por fonte de variação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Os tratamentos sem inoculação de FMA e com adição de cinza apresentaram os maiores valores (Tabela 5). Este resultado, porém, não significa que a inoculação de FMA tenha sido desvantajosa, sabendo-se que esses microrganismos podem atuar na absorção de diversos nutrientes do solo. Assim, é possível que os FMA tenham atuado na absorção dos nutrientes fornecidos pela cinza de biomassa de cana-de-açúcar, diminuindo sua concentração no solo. Lins, Trindade e Rocha (2003) e Trindade, Lins e Maia (2003), ao compararem os teores de P, K, Cu e Zn da parte aérea de mudas de bananeira inoculadas e não inoculadas com FMA, obtiveram sempre os maiores teores em plantas inoculadas. Da mesma forma, no presente experimento foram obtidos teores maiores de P foliar para os tratamentos inoculados com FMA, tanto na avaliação aos 67 dias (Tabela 2), quanto na avaliação aos 274 dias após a instalação do experimento (Tabela 4), e em ambos os casos o teor de P no solo foi inferior aos tratamentos inoculados.

4.2 AVALIAÇÃO DE PLANTAS E ANÁLISE DOS ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO

4.2.1 Avaliação aos 67 dias após a instalação do experimento

A avaliação de plantas não apresentou resultados significativos para a altura e o diâmetro do pseudocaule e também para o índice relativo de clorofila (IRC), enquanto os atributos relacionados à análise microbiológica mostraram diferença por efeito dos tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6- Análise de variância para altura, diâmetro do pseudocaule e índice relativo de clorofila (IRC) de plantas e para número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (nº esp.), C-CO₂ liberado (C-CO₂), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (*q*CO₂) e quociente microbiano (*q*Mic) do solo, para os tratamentos inoculação de FMA, adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar e inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato, aos 67 dias após a instalação do experimento.

Fonte de Variação	Altura cm	Diâmetro cm	IRC SPAD	nº esp. x 100 g ss	C-CO ₂ mg h ⁻¹ kg ⁻¹ ss	CBM mg kg ⁻¹ ss	<i>q</i> CO ₂ #	<i>q</i> Mic ##
FMA (M)								
Sem M	34,72	4,91	49,53	19,71	0,60b	42,96	0,019	0,69
Com M	32,58	4,58	51,45	28,17	0,82a	58,67	0,024	0,91
Cinza (C)								
Sem C	33,24	4,72	51,20	18,08	0,56b	28,81	0,028	0,43
Com C	34,07	4,77	49,77	29,79	0,86a	72,82	0,015	1,17
Solubilizador (S)								
Sem S	34,07	4,75	51,96	21,75	0,81a	50,74	0,020	0,75
Fungos	31,30	4,54	48,68	24,00	0,60b	43,09	0,019	0,69
Bactéria	35,59	4,93	50,82	26,06	0,72a	58,61	0,026	0,96
Valores de F								
M	0,882 ^{ns}	1,964 ^{ns}	1,351 ^{ns}	20,253 ^{**}	26,709 ^{**}	14,881 ^{**}	2,933 ^{ns}	5,880 [*]
C	0,131 ^{ns}	0,052 ^{ns}	0,742 ^{ns}	38,807 ^{**}	55,286 ^{**}	116,911 ^{**}	20,092 ^{**}	69,954 ^{**}
S	1,215 ^{ns}	0,894 ^{ns}	1,350 ^{ns}	1,756 ^{ns}	9,426 ^{**}	4,844 [*]	2,128 ^{ns}	3,645 [*]
MxC	0,000 ^{ns}	0,136 ^{ns}	0,057 ^{ns}	4,817 [*]	1,763 ^{ns}	24,245 ^{**}	17,262 ^{**}	10,617 ^{**}
MxS	0,302 ^{ns}	0,576 ^{ns}	0,581 ^{ns}	9,534 ^{**}	3,225 ^{ns}	5,103 [*]	2,322 ^{ns}	3,335 [*]
CxS	0,919 ^{ns}	0,938 ^{ns}	1,700 ^{ns}	0,404 ^{ns}	0,550 ^{ns}	37,122 ^{**}	19,798 ^{**}	14,604 ^{**}
Média Geral	33,65	4,74	50,49	23,94	0,71	50,81	0,02	0,80
CV (%)	11,82	7,96	5,66	27,20	19,90	27,75	44,69	38,08

Valores seguidos pela mesma letra na coluna, por fonte de variação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. * e ** = significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. ^{ns} = não significativo. ss = solo seco. # mg C-CO₂ liberado por hora por kg de solo seco / mg CBM por kg de solo seco. ## (%) mg CBM por kg de solo seco / CO mg por kg de solo seco. Nota: Os resultados para bloco e interação tripla não foram significativos.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Houve aumento do C-CO₂ liberado para os tratamentos inoculados com FMA e para os tratamentos com adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar. (Tabela 6). Número de esporos, CBM, $q\text{CO}_2$ e $q\text{Mic}$ apresentaram interações significativas entre FMA e cinza de biomassa de cana-de-açúcar (Tabela 7). O desdobramento da interação para o número de esporos, CBM e $q\text{Mic}$ seguiram a mesma tendência, onde os tratamentos sem adição de cinza de biomassa não apresentam diferença com relação à inoculação de FMA. Os resultados dos tratamentos com adição de cinza diferem daqueles sem o resíduo e mostram a influência da inoculação de FMA. Os maiores valores, em geral, foram encontrados nos tratamentos com inoculação de FMA e com adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar.

Tabela 7- Valores médios da interação entre inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e adição de cinza da biomassa da cana-de açúcar para número de esporos de FMA, carbono da biomassa microbiana (CBM) e os quocientes metabólico ($q\text{CO}_2$) e microbiano ($q\text{Mic}$) aos 67 dias após a instalação do experimento.

Fontes de Variação	----- nº esporos ----- x 100 g ss		----- CBM ----- mg kg ⁻¹ ss		----- $q\text{CO}_2$ ----- #		----- $q\text{Mic}$ ----- ##	
	Sem Cinza	Com Cinza	Sem Cinza	Com Cinza	Sem Cinza	Com Cinza	Sem Cinza	Com Cinza
Sem FMA	15,92aB	23,5bA	30,98aB	54,95bA	0,020bA	0,019aA	0,47aB	0,92bA
Com FMA	20,25aB	36,08aA	26,64aB	90,70aA	0,036aA	0,012aB	0,40aB	1,42aA

Valores seguidos por letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, por fonte de variação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. # mg C-CO₂ liberado por hora por kg de solo seco / mg CBM por kg de solo seco. ss = solo seco. ## (%) mg CBM por kg de solo seco / mg C-Org por kg de solo seco.

Fonte: Elaboração da própria autora.

No que diz respeito aos aumentos nos valores verificados para os parâmetros microbiológicos com relação ao fator FMA, uma das características da associação micorrízica é o fato de que a planta, enquanto absorve água e nutrientes do solo por meio das hifas dos FMA, transfere carbono, oriundo da fotossíntese, a esses microrganismos (LAMBAIS, 2007). Estudos tem estimado que o carbono realocado da planta para os FMA varia de 5 a 20 % dos fotoassimilados (DOUDS; JOHNSON; KOCH, 1988; JAKOBSEN; ROSENDAHL, 1990; PEARSON; ABBOTT; JASPER, 1993). Dessa forma, o aumento de carbono no sistema edáfico certamente beneficiou a multiplicação e, conseqüentemente, a atividade dos microrganismos ali presentes, considerando que o carbono exsudado na rizosfera serve como fonte de energia para o seu desenvolvimento (MAZURANA et al., 2013).

A aplicação de cinza de biomassa de cana-de-açúcar tem mostrado elevar o pH (ARRUDA et al., 2016) e contribuir para a manutenção da umidade do solo (SELEIMAN; KHEIR, 2018), o que estimula a atividade dos microrganismos do solo e também, para a interação (Tabela 7), dos FMA introduzidos na área. Além disso, o incremento nutricional que este resíduo promoveu no solo (Tabela 1) pode ter contribuído para os aumentos verificados nos valores dos parâmetros microbiológicos. Muitas vezes o crescimento microbiano pode ser limitado pela escassez de nutrientes encontrados no solo, mas a adição de fontes de carbono e/ou nitrogênio pode aumentar a biomassa (GRAHAM; HAYNES; MEYER, 2002), que imobiliza esses nutrientes na sua constituição celular (SILVA et al., 2010).

Os valores do qCO_2 para os tratamentos com inoculação de FMA e com adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar foram inferiores ao apresentado pelos demais tratamentos (Tabela 7). Silva et al. (2007) sugerem que, à medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização de recursos do ecossistema, menos C- CO_2 é liberado e maior a quantidade de carbono incorporada aos tecidos microbianos, resultando na diminuição do qCO_2 . O maior valor de $qMic$ para a mesma situação confirma esta hipótese, pois indica a quantidade de carbono orgânico que está imobilizado na biomassa (SILVA et al., 2010).

Os resultados da interação entre FMA e cinza de biomassa de cana-de-açúcar demonstram que houve benefício ao desenvolvimento dos microrganismos do solo: embora a inoculação de FMA favoreça o aumento dos microrganismos existentes, esses mesmos microrganismos têm atividade mais eficiente na presença da cinza, provavelmente pelo aporte de nutrientes e pela manutenção da umidade do solo.

Para o fator solubilizador, o C- CO_2 liberado nos tratamentos inoculados com bactéria solubilizadora de P e nos tratamentos sem inoculação não apresentaram diferença entre si, enquanto os tratamentos inoculados com fungos solubilizadores apresentaram as menores médias (Tabela 6), indicando menor atividade microbiológica. O processo de solubilização do P é um fenômeno complexo, severamente alterado por fatores abióticos como a temperatura, o pH, a concentração de oxigênio e a umidade do solo (WEI et al., 2018). Ferreira, Pupin e Rangel (2017) avaliando a tolerância de comunidades fúngicas ao estresse térmico e à radiação UV, constataram que comunidades não adaptadas, quando submetidas à altas temperaturas e grande incidência de raios UV, apresentam pouquíssima tolerância. As características estudadas por esses autores condizem com as verificadas na área experimental do presente trabalho: tratando-se de uma área

degradada, com solo exposto, há grande incidência de radiação solar diretamente na superfície do solo, aumentando sua temperatura. Assim, os fungos solubilizadores de P podem estar em processo de adaptação ambiental.

Número de esporos de FMA, CBM e $qMic$ apresentaram interações significativas entre os fatores FMA e microrganismos solubilizadores de P (Tabela 8). O número de esporos encontrados nos tratamentos sem FMA e sem solubilizador foi menor que nos demais tratamentos. O CBM foi maior para os tratamentos inoculados com FMA juntamente com bactéria solubilizadora de P. Embora o $qMic$ tenha apresentado maior média para os tratamentos inoculados com FMA e com bactéria solubilizadora de P, não diferiu estatisticamente dos tratamentos com FMA e com fungos, com FMA sem solubilizador e com bactéria e sem FMA. De forma geral, estes resultados mostram que a interação entre FMA e microrganismos solubilizadores de P proporcionaram incrementos significativos na atividade microbiológica da área degradada, principalmente quando inoculados com FMA e bactéria.

Tabela 8- Valores médios da interação entre inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato para número de esporos de FMA, carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente microbiano ($qMic$) aos 67 dias após a instalação do experimento.

Fontes de Variação	---- n° esporos ---- x 100 g ss			---- CBM ---- mg kg ⁻¹ ss			---- $qMic$ ---- ##		
	Sem S	Fungos	Bactéria	Sem S	Fungos	Bactéria	Sem S	Fungos	Bactéria
Sem FMA	11,75bB	22,13aA	25,25aA	51,70aA	28,55bB	48,64bA	0,77aB	0,43bAB	0,87aA
ComFMA	31,75aA	25,88aA	26,88aA	49,78aB	57,63aAB	68,59aA	0,73aA	0,94aA	1,06aA

Valores seguidos por letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, por fonte de variação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ss = solo seco. ## (%) mg CBM por kg de solo seco / mg C-Org por kg de solo seco.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Silveira (1992), ressalta que a rizosfera de plantas inoculadas com FMA difere profundamente da rizosfera de plantas não micorrizadas. Os compostos de rizosfera, exsudados pela planta e pelos próprios microrganismos, constituem uma fonte contínua e diversificada de nutrientes e material orgânico que favorece a manutenção dos microrganismos e contribui para a recuperação do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Houve ainda interação entre os fatores cinza de biomassa de cana-de-açúcar e microrganismos solubilizadores de P para os parâmetros CBM, qCO_2 e $qMic$ (Tabela 9). Esta

interação mostra claramente a interferência positiva da cinza na atividade da bactéria solubilizadora de P. Os tratamentos com adição de cinza juntamente à inoculação de bactéria geraram médias bem melhores que as demais. Houve grande incremento no CBM, baixo qCO_2 e alto $qMic$.

Jakelaitis et al. (2008) observaram em seu estudo que o CBM é influenciado diretamente pelo aporte de material orgânico e pela capacidade de retenção de água do solo, características estas oferecidas, no presente trabalho, pela cinza de biomassa de cana-de-açúcar aplicada. O aumento no CBM, acompanhado pela diminuição do qCO_2 , indica que a biomassa microbiana está ativa (MENDES et al., 2009). Jenkinson e Ladd (1981) sugerem que, em condições regulares, o $qMic$ do solo deve estar entre 1 e 4 %. Cunha et al. (2011) estudando sistemas de preparo e culturas de cobertura em solos produtivos, obtiveram valores de $qMic$ entre 1,85 e 4,26 %. Assim, o valor obtido de $qMic$ nos tratamentos com adição de cinza e inoculação de bactéria não está tão aquém dos valores para solos em sistema de produção.

Tabela 9- Valores médios da interação entre adição de cinza da biomassa da cana-de açúcar e inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato para carbono da biomassa microbiana (CBM) e os quocientes metabólico (qCO_2) e microbiano ($qMic$) aos 67 dias após a instalação do experimento.

Fontes de Variação	----- CBM ----- mg kg ⁻¹ ss			----- qCO_2 ----- #			----- $qMic$ ----- ##		
	Sem S	Fungos	Bactéria	Sem S	Fungos	Bactéria	Sem S	Fungos	Bactéria
Sem Cinza	31,17bAB	41,24aA	14,00bB	0,026aB	0,015aB	0,043aA	0,46bA	0,57aA	0,28bA
Com Cinza	70,31aB	44,95aC	103,22aA	0,014bAB	0,024aA	0,009bB	1,04aB	0,81aB	1,65aA

Valores seguidos por letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, por fonte de variação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ss = solo seco. # mg C-CO₂ liberado por hora por kg de solo seco / mg CBM por kg de solo seco. ## (%) mg CBM por kg de solo seco / mg C-Org por kg de solo seco.

Fonte: Elaboração da própria autora.

4.2.2 Avaliação aos 274 dias após a instalação do experimento

A avaliação de plantas não apresentou resultados significativos para o índice relativo de clorofila (IRC), enquanto a altura, o diâmetro do pseudocaule e os parâmetros microbiológicos do solo mostraram diferenças por efeito dos tratamentos (Tabela 10). Para o fator FMA, os atributos CBM, qCO_2 e $qMic$ apresentaram diferença, onde CBM e $qMic$ mostraram os maiores valores para os tratamentos inoculados, e qCO_2 foi menor (Tabela 10). Estes resultados se assemelham aos encontrados para os mesmos parâmetros após 67 dias da instalação do experimento.

Tabela 10- Análise de variância para altura, diâmetro do pseudocaule e índice relativo de clorofila (IRC) de plantas e para número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (nº esp.), C-CO₂ liberado (C-CO₂), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (*q*CO₂) e quociente microbiano (*q*Mic) do solo, , para os tratamentos inoculação de FMA, adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar e inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato, aos 274 dias após a instalação do experimento.

Fonte de Variação	Altura cm	Diâmetro cm	IRC SPAD	nº esp. x 100 g ss	C-CO ₂ mg h ⁻¹ kg ⁻¹ ss	CBM mg kg ⁻¹ ss	<i>q</i> CO ₂ #	<i>q</i> Mic ##
FMA (M)								
Sem M	43,29	5,01	41,16	17,04	0,58	43,70b	0,021a	0,76b
Com M	44,56	4,80	42,30	19,42	0,70	62,36a	0,014b	1,05a
Cinza (C)								
Sem C	39,89b	4,56b	42,23	16,71	0,44	24,99	0,023a	0,43
Com C	47,97a	5,26a	41,23	19,75	0,84	81,07	0,013b	1,38
Solubilizador (S)								
Sem S	44,32	4,93	41,50	19,31	0,48	30,31	0,027a	0,53
Fungos	42,64	4,87	41,18	18,81	0,70	58,89	0,014b	0,98
Bactéria	44,82	4,93	42,51	16,56	0,73	69,89	0,013b	1,20
Valores de F								
M	0,246 ^{ns}	1,002 ^{ns}	1,121 ^{ns}	1,949 ^{ns}	22,722 ^{**}	26,478 ^{**}	6,320 ^{**}	12,462 ^{**}
C	9,968 ^{**}	11,046 ^{**}	0,863 ^{ns}	3,196 ^{ns}	246,922 ^{**}	239,178 ^{**}	11,845 ^{**}	130,876 ^{**}
S	0,264 ^{ns}	0,039 ^{ns}	0,558 ^{ns}	0,988 ^{ns}	40,807 ^{**}	42,347 ^{**}	9,754 ^{**}	22,880 ^{**}
MxC	0,277 ^{ns}	0,045 ^{ns}	1,366 ^{ns}	8,782 ^{**}	3,389 ^{ns}	2,123 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,849 ^{ns}
MxS	0,222 ^{ns}	0,377 ^{ns}	2,075 ^{ns}	1,585 ^{ns}	7,191 ^{**}	1,185 ^{ns}	2,502 ^{ns}	1,780 ^{ns}
CxS	0,365 ^{ns}	0,117 ^{ns}	0,654 ^{ns}	2,579 ^{ns}	39,087 ^{**}	16,044 ^{**}	1,565 ^{ns}	8,740 ^{**}
Média Geral	43,93	4,91	41,73	18,23	0,64	53,03	0,018	0,91
CV (%)	10,26	6,80	4,43	15,76	3,98	14,53	10,92	9,86

Valores seguidos pela mesma letra na coluna, por fonte de variação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. * e ** = significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. ^{ns} = não significativo. ss = solo seco. # mg C-CO₂ liberado por hora por kg de solo seco / mg CBM por kg de solo seco. ## (%) mg CBM por kg de solo seco / CO mg por kg de solo seco. Nota: Os resultados para bloco e interação tripla não foram significativos.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Um importante componente produzido em grande quantidade pelos FMA são as proteínas denominadas coletivamente glomalinas, que atuam especialmente na agregação do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Bons níveis de agregação têm importantes consequências oriundas da proteção física do carbono dentro dos agregados, como o aumento da reserva de carbono do solo e a conservação da MO no sistema edáfico que, por sua vez, influencia a capacidade de estocagem de nutrientes e de retenção de água (PURIN, 2005). Assim, pressupõe-se que as modificações que ocorrem no solo com a inoculação dos FMA, juntamente ao carbono

transferido da planta aos FMA, favoreceram o desenvolvimento dos microrganismos presentes no solo, resultando em melhores valores para os parâmetros microbiológicos nos tratamentos inoculados.

A altura e o diâmetro do pseudocaule das plantas de banana apresentaram médias maiores nos tratamentos com adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar (Tabela 10). Seleiman e Kheir (2018) ao avaliar o efeito da aplicação de cinza de bagaço de cana de açúcar, na dose de 10 t ha⁻¹, sobre plantas de trigo, concluíram que a cinza promove um aumento significativo no crescimento vegetativo das plantas, bem como na produção de matéria seca. Gonzaga et al. (2018) obtiveram aumento médio de 16% na biomassa vegetal de plantas de milho com adição de 20 t ha⁻¹ de cinza de bagaço de laranja. Ambos os autores atribuem os ganhos sobre o crescimento das plantas ao fato de a cinza de biomassa vegetal atuar como um agente de calagem ao solo, além de fornecer nutrientes para as plantas. Essas características também foram observadas neste trabalho e podem explicar os ganhos em altura e diâmetro das plantas de banana.

A adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar proporcionou ainda diminuição do qCO₂, que também apresentou diferenças significativas para o fator solubilizador, onde os tratamentos com inoculação de fungos e com inoculação de bactéria solubilizadora de P apresentaram as menores médias e ambos diferiram nos tratamentos sem inoculação (Tabela 10). Este quociente, obtido pela relação entre CBM e C-CO₂ liberado, indica o quanto a biomassa microbiana do solo está ativa (MENDES et al., 2009). Quando os valores de qCO₂ estão baixos, mais carbono foi utilizado para a produção de biomassa, o que deve refletir em maior porcentagem de carbono microbiano em relação ao carbono orgânico total do solo (ANDERSON, 2003; KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2009). Sendo assim, os tratamentos que apresentaram os menores valores para qCO₂ pressupõem menor perda de carbono para a atmosfera devido a maior atividade dos microrganismos presentes no solo, promovendo benefícios para a recuperação da microbiota.

Houve interação significativa para número de esporos entre os fatores FMA e cinza de biomassa de cana-de-açúcar (Tabela 11). O número de esporos foi menor nos tratamentos sem inoculação e sem adição de cinza. Os demais tratamentos apresentaram um aumento de no mínimo 40% no número de esporos.

Tabela 11- Valores médios da interação entre inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e adição de cinza da biomassa da cana-de açúcar para número de esporos de FMA, e da interação entre inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato para C-CO₂ liberado (C-CO₂), aos 274 dias após a instalação do experimento.

Fontes de Variação	--- nº esporos (x 100 g ss) ---		----- C-CO ₂ (mg h ⁻¹ kg ⁻¹ ss) -----		
	Sem Cinza	Com Cinza	Sem S	Fungos	Bactéria
Sem FMA	13,00bB	21,08aA	0,38bB	0,71aA	0,64bA
Com FMA	20,42aA	18,42aA	0,57aC	0,70aB	0,83aA

Valores seguidos por letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ss = solo seco.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Santos et al. (2016), avaliando a inoculação de FMA e a adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar em solo degradado cultivado por doze meses com pinhão-mansão, obteve número de esporos cerca de 3 vezes maior nos tratamentos com inoculação e com adição de cinza. Caproni et al. (2005) verificaram que *G. clarum* produz alta densidade de esporos em revegetação de solo degradado por mineração, tendo esta densidade aumentado no período de 1 a 5 anos. Sendo assim, os valores obtidos neste trabalho, aos 274 dias, tendem a continuar aumentando com o passar do tempo.

Os resultados obtidos para o número de esporos de FMA, tanto para os parâmetros microbiológicos quanto para os parâmetros químicos do solo, mostram a importância de serem utilizados FMA em recuperação de áreas degradadas de acordo com a sua capacidade de sobreviver e de se multiplicar sob condições adversas. A interação entre os fatores FMA e microrganismos solubilizadores de fosfato foi significativa para C-CO₂ liberado (Tabela 11). Os tratamentos com inoculação de FMA e com inoculação de bactéria solubilizadora de P obtiveram as maiores médias. Os tratamentos sem inoculação de FMA obtiveram as menores médias, exceto para os tratamentos inoculados com fungos solubilizadores de P, que não diferiram estatisticamente dos tratamentos com inoculação de FMA. A inoculação de FMA tem mostrado bons resultados para os atributos avaliados neste trabalho, sobretudo os microbiológicos.

As modificações proporcionadas por esses microrganismos ao solo, como a agregação (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) e o aumento de carbono no sistema edáfico (LAMBAIS, 2007) parecem contribuir substancialmente para a manutenção dos microrganismos, inclusive à bactéria solubilizadora de P inoculada na área experimental. Por outro lado, a bactéria solubilizadora

também parece contribuir para a atividade dos FMA. A promoção do crescimento de raízes laterais e de pelos radiculares por meio da produção de fito-hormônios e outros exsudados pelas bactérias solubilizadoras (MENDES; REIS JUNIOR, 2003), certamente favoreceu a atividade dos FMA. Os valores obtidos para o C-CO₂ liberado, que refletem maior atividade dos microrganismos presentes no solo, retratam os benefícios desta interação.

Com relação aos tratamentos inoculados com fungos solubilizadores de P, que não tiveram boa resposta em relação à inoculação de FMA, porém na ausência de inoculação apresentaram as maiores médias, Jastrow, Amonette e Bailey (2007), afirmam que os recursos imobilizados nos fungos estão menos disponíveis do que nas bactérias devido a sua composição. Dessa forma, uma menor disponibilidade de nutrientes e exsudados nos tratamentos inoculados com fungos solubilizadores de P certamente dificultou a manutenção dos FMA no solo, não havendo, portanto, aumento da atividade microbiana nos tratamentos inoculados com fungos e com FMA. Além disso, pode ter ocorrido também competição entre estes microrganismos e entre estes e a planta, considerando as limitações de nutrientes disponíveis a eles como consequência do estado de degradação da área em estudo. Sala, Silveira e Cardoso (2007) enfatizam que a presença de dois ou mais microrganismos no mesmo habitat pode resultar em competição por nutrientes e espaço e, até mesmo, em relações antagônicas.

Para a avaliação aos 274 dias houve ainda interação significativa entre os fatores cinza de biomassa de cana-de-açúcar e solubilizador para os parâmetros C-CO₂ liberado, CBM e *q*Mic (Tabela 12).

Tabela 12- Desdobramento da interação entre adição de cinza da biomassa da cana-de açúcar e inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato para C-CO₂ liberado (C-CO₂), carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente microbiano (*q*Mic) aos 274 dias após a instalação do experimento.

Fontes de Variação	---- C-CO ₂ ---- mg h ⁻¹ kg ⁻¹ ss			---- CBM ---- mg kg ⁻¹ ss			---- <i>q</i> Mic ---- ##		
	Sem S	Fungos	Bactéria	Sem S	Fungos	Bactéria	Sem S	Fungos	Bactéria
Sem Cinza	0,43bAB	0,39bB	0,50bA	16,08bA	27,83bA	31,06bA	0,28bA	0,49bA	0,53bA
Com Cinza	0,53aB	1,02aA	0,97aA	44,53aC	89,95aB	108,73aA	0,78aC	1,47aB	1,88aA

Valores seguidos por letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, por fonte de variação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. ss = solo seco. ## (%) mg CBM por kg de solo seco / mg C-Org por kg de solo seco.

Fonte: Elaboração da própria autora.

A adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar aumentou os valores de todos os parâmetros, indicando a permanência e disponibilização de nutrientes oriundos deste resíduo durante o período experimental. Para o C-CO₂ liberado, os tratamentos com adição de cinza e com inoculação de fungos e de bactéria solubilizadora de P não diferiram entre si, e os tratamentos com adição de cinza e sem solubilizador obtiveram as menores médias. Ao contrário do resultado obtido para a interação entre FMA e solubilizador (Tabela 11), onde os fungos solubilizadores de P não responderam à inoculação de FMA, a presença de cinza de biomassa de cana-de-açúcar aumentou a atividade desses microrganismos, quando comparado aos tratamentos sem adição de cinza (Tabela 12). O aumento do C-CO₂ liberado, porém, está acompanhado por menores valores de CBM e q_{Mic} , quando comparados aos tratamentos com adição de cinza e com inoculação de bactéria solubilizadora de P. Assim, os fungos solubilizadores de P estão liberando carbono para a atmosfera pela respiração microbiana, deixando de incorporá-lo na biomassa.

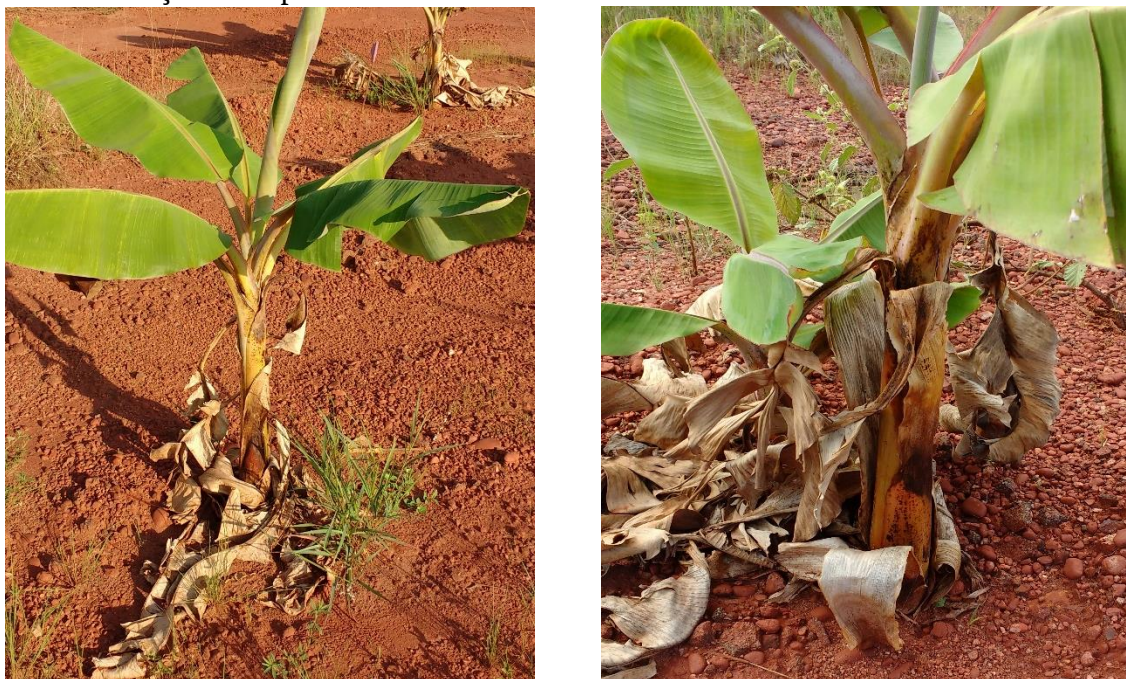
Aos 274 dias após a instalação do experimento, os resultados obtidos para esses microrganismos são notavelmente superiores aos obtidos na avaliação inicial, aos 67 dias, onde os tratamentos inoculados com fungos solubilizadores de P apresentaram as menores médias para a maioria dos parâmetros avaliados. O fato de os fungos solubilizadores de P necessitarem de maior tempo para se adaptarem ao ambiente da área experimental aliado aos resultados obtidos na avaliação aos 274 dias após a instalação do experimento, onde demonstrou-se maior liberação de carbono pela respiração desses microrganismos, indicam que os fungos solubilizadores de P necessitam de mais energia para sua manutenção (NICODEMO, 2009).

Ainda para os parâmetros CBM e q_{Mic} , os tratamentos com adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar e com inoculação de bactéria solubilizadora de proporcionaram os maiores valores. Embora tenham sido verificados aumentos significativos CBM e q_{Mic} neste trabalho, os valores ainda estão distantes dos considerados ideais para sistemas produtivos. Matsuoka, Mendes e Loureiro (2002), ao avaliar a biomassa microbiana em solos de cerrado sob diferentes sistemas agrícolas, obtiveram valores entre 96,8 e 391,6 mg C kg⁻¹ na camada de 0 a 0,05 m, sendo que os menores valores foram encontrados nos sistemas com o menor teor de MO. Cunha et al. (2011) avaliaram os efeitos de diferentes sistemas de preparo e culturas de cobertura sobre os atributos biológicos do solo e encontraram valores de CBM entre 174 e 398 mg C kg⁻¹ na camada de 0 a 0,10 m. Os mesmos autores obtiveram valores para q_{Mic} entre 1,81 e 4,26%.

Assim, fica evidente que a área experimental em estudo se encontra apenas no início do processo de recuperação de sua microbiota, porém, tratando-se de uma área degradada, com pouca resiliência, os ganhos obtidos são de extrema importância.

Comparando-se os resultados para os atributos microbiológicos do solo aos 67 e aos 274 dias após a instalação do experimento, observa-se, de forma geral, médias um pouco maiores para as avaliações aos 274 dias. Após 274 dias do plantio das bananeiras na área, essas plantas já apresentavam acúmulo de restos vegetais na superfície do solo, principalmente folhas secas da própria bananeira (Figura 7).

Figura 7- Acúmulo de restos vegetais da bananeira sobre a superfície do solo aos 274 dias após a instalação do experimento.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Gispert et al. (2018) afirmam que a dinâmica da matéria orgânica do solo é essencial para um processo de recuperação, pois fornece nutrientes para as plantas, favorece a retenção de água e conseqüentemente a porosidade do solo e a profundidade do enraizamento, bem como, todos os processos biológicos do solo. Cortez et al. (2015) enfatizam a importância da cobertura vegetal na manutenção da umidade e na temperatura da superfície do solo, o que, por sua vez, influencia diretamente a atividade e o desenvolvimento dos microrganismos. Dessa forma, é possível que a

fitomassa seca que se acumulou sobre o solo, o sombreamento gerado pela presença das plantas, bem como a alta precipitação verificada nos meses que antecederam a segunda avaliação (Figura 6), tenham contribuído para os aumentos verificados aos 274 dias após a instalação do experimento.

4.3 COMPARAÇÃO DOS TRATAMENTOS COM AS TESTEMUNHAS

Os 12 tratamentos utilizados neste trabalho tiveram seus resultados comparados aos obtidos para solos de área preservada de cerrado (APRC) e de área degradada sem intervenção (ADSI), tanto aos 67 dias quanto aos 274 dias após a instalação do experimento, para verificar a ocorrência de possíveis processos de recuperação na área experimental.

4.3.1 Avaliação aos 67 dias após a instalação do experimento

Na avaliação inicial todos os tratamentos apresentaram maior pH em comparação à testemunha APRC, e apenas os tratamentos SSS, SSF, MSS e MSF não apresentaram diferenças significativas para o pH em relação à testemunha ADSI (Tabela 13). Os tratamentos SCS e SCB demonstraram os maiores teores de P e SB em comparação à testemunha APRC, e os demais tratamentos não diferem estatisticamente do mesmo. Os tratamentos SCS, SCF, SCB e MCB se destacaram em relação a ADSI com teores mais elevados de P. Para SB estes mesmos tratamentos, além do MCS e MCF, se destacaram, sendo que os demais tratamentos ficaram em igualdade de condições à testemunha ADSI.

Todos os tratamentos apresentaram os menores teores de Al, nas duas comparações. Haridasan (2000) também verificou para solos nativos de cerrado uma baixa fertilidade, elevada acidez e saturação por Al. A redução média de Al para os tratamentos em relação à APRC e ADSI foi de 23 e 39%, respectivamente, sendo os teores ainda menores nos tratamentos que receberam cinza, inoculados ou não com bactérias solubilizadoras de fosfato. Também podem ser apontados por, provavelmente, favorecerem a redução de Al, a presença da bananeira e exsudados radiculares, assim como a correção inicial do solo realizada com calcário e fertilizantes, mesmo em doses reduzidas.

Tabela 13- Comparação entre os tratamentos e as testemunhas para os atributos químicos (pH (CaCl₂), fósforo (P), alumínio (Al), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e matéria orgânica (MO)), e microbiológicos (número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (nº esp.), C-CO₂ liberado (C-CO₂), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (qCO₂) e quociente microbiano (qMic)) do solo, aos 67 dias após a instalação do experimento.

Fontes Variação	pH CaCl ₂	P resina mg dm ⁻³	Al ---- mmol _c dm ⁻³ ---	SB	V %	MO g dm ⁻³	n. esp 100 g ss	C-CO ₂ mg h ⁻¹ kg ⁻¹ ss	CBM Mg kg ⁻¹ ss	qCO ₂ #	qMic ##
APRC	3,85b	7,75b	14,00a	11,95b	15,00b	27,50a	77,25a	1,21a	111,57a	0,01b	0,70a
ADSI	4,08B	2,25B	8,25A	2,38B	6,00B	8,75B	0,25B	0,31B	3,62B	0,02B	0,075B
SSS	4,53aB	4,00bB	2,75bB	12,53bB	33,00bA	11,25bB	10,25bB	0,57bB	36,04bA	0,02bB	0,55bB
SSF	4,40aB	4,00bB	3,75bB	12,20bB	31,00bA	10,00bB	19,25bA	0,35bB	41,57bA	0,01bB	0,58bB
SSB	5,53aA	4,25bB	2,75bB	13,00bB	34,25bA	9,75bB	18,25bA	0,52bB	15,32bB	0,03aB	0,27bB
SCS	5,00aA	32,50aA	1,50bB	28,33aA	51,00aA	11,75bA	13,25bB	0,84aA	67,36bA	0,01bB	0,99bA
SCF	4,83aA	18,00bA	1,25bB	16,88bA	41,50aA	11,00bB	25,00bA	0,51bB	15,34bB	0,03aB	0,28bB
SCB	5,43aA	28,25aA	0,00bB	36,45aA	63,75aA	11,00bB	32,25bA	0,84aA	81,95bA	0,01bB	1,47aA
MSS	4,53aB	4,50bB	2,75bB	15,63bB	35,00bA	10,75bB	21,75bA	0,78bA	26,31bB	0,04aB	0,36bB
MSF	4,43aB	2,75bB	3,25bB	10,90bB	26,75bA	10,00bB	19,00bA	0,48bB	40,91bA	0,02bB	0,55bB
MSB	4,88aA	4,25bB	1,50bB	16,30bB	41,50aA	11,00bB	20,00bA	0,65bB	12,69bB	0,05aA	0,28bB
MCS	5,13aA	11,75bB	0,75bB	24,35bA	51,50aA	11,75bA	41,75bA	1,06aA	73,36bA	0,01bB	1,09bA
MCF	4,90aA	12,00bB	1,50bB	19,20bA	43,00aA	11,50bA	32,75bA	1,05aA	74,36bA	0,01bB	1,33aA
MCB	5,18aA	23,15bA	0,75bB	25,63bA	51,75aA	11,75bA	33,75bA	0,87aA	124,5aA	0,01bB	1,83aA
Valor F	14,77**	7,20**	17,67**	6,06**	9,41**	48,84**	25,14**	7,77**	32,44**	7,53**	13,90**
Média Geral	4,70	11,39	3,20	17,55	37,50	11,98	26,05	0,72	51,78	0,021	0,74
CV (%)	2,16	26,96	25,11	18,83	13,45	5,04	13,30	8,61	13,31	9,90	10,95

Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Dunnet a 5%. Valores seguidos por letra minúscula na coluna comparam o tratamento a APRC. Valores seguidos por letra maiúscula na coluna comparam o tratamento a ADSI. * e **= significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. ss= solo seco. # mg C-CO₂ liberado por hora por kg de solo seco / mg CBM por kg de solo seco. ## (%) mg CBM por kg de solo seco / mg C- Org por kg de solo seco. Os tratamentos receberam três letras, sendo a primeira S ou M, ou seja, sem ou com inoculação de FMA; a segunda letra, S ou C, ou seja, sem ou com adição de cinza, e a terceira letra, S, F ou B, ou seja, sem inoculação com solubilizadores de fosfato, com inoculação de fungos solubilizadores e com inoculação de bactérias solubilizadoras.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Para o parâmetro V%, os tratamentos sem cinza de biomassa de cana-de-açúcar, com exceção do tratamento MSB, mostraram menores valores para V% quando comparados a APRC, enquanto que na comparação à ADSI todos os tratamentos foram superiores, sinalizando positivamente para a recuperação da área (Tabela 13). Para MO todos os tratamentos apresentaram teores menores do que os observados para a APRC, ao mesmo tempo em que os tratamentos SCS, MCS, MCF e MCB superaram os teores de MO da ADSI. Este comportamento

indica que nestes tratamentos está havendo processo de recuperação da MO, porém ainda não alcançou os teores encontrados para a testemunha APRC.

Com esses resultados, fica evidente a contribuição da cinza de biomassa de cana-de-açúcar para os ganhos de fertilidade do solo, principalmente quando associado à FMA e à bactéria solubilizadora de P. Embora as médias dos tratamentos não sejam tão altas, longe das consideradas ideais, esse pequeno aumento, após apenas 67 dias do plantio, é considerado muito importante, tratando-se de um subsolo exposto sem as mínimas condições para o desenvolvimento de uma cultura.

O número de esporos de FMA, em todos os tratamentos, com exceção para os tratamentos SSS e SCS, foi superior a ADSI (Tabela 13). Na comparação à APRC, todos exibiram médias bem inferiores, assim como para MO, que influi amplamente na atividade microbiológica. O teor mais elevado de MO no solo conservado se deve à presença de uma quantidade de resíduos orgânicos constante e cumulativa, visto não existirem intervenções na área amostrada (QUEIROZ; GARCIA, 2014).

A respiração microbiana (C-CO₂ liberado) foi maior nos tratamentos SCS, SCB, MCS, MCF e MCB, os quais não diferiram do solo da área preservada, demonstrando atividade da biota do solo nesses tratamentos (Tabela 13), provavelmente em função do aumento de MO com a adição de cinza e inoculação de microrganismos. Para CBM, apenas o tratamento MCB aproximou-se ao solo preservado, demonstrando boa interação entre os FMA, a bactéria solubilizadora e a cinza. Os tratamentos SSB, SCF, MSS e MSB exibiram os menores valores de CBM e os maiores valores de qCO_2 , que indica menor atividade microbiológica nestes casos e a importância da cinza de biomassa de cana-de-açúcar também na atividade dos microrganismos.

Em relação ao $qMic$, os resultados dos tratamentos SCB, MCF e MCB foram semelhantes ao solo da área preservada, demonstrando eficiente atividade microbiológica nesses tratamentos. De forma geral, aos 67 dias, os tratamentos SCB e MCB apresentaram os melhores parâmetros, em comparação às testemunhas APRC e a ADSI, com sinais de recuperação na área degradada.

4.3.2 Avaliação aos 274 dias após a instalação do experimento

Diferentemente do observado aos 67 dias, em que todos os tratamentos proporcionaram aumento no pH do solo em comparação à APRC, na avaliação aos 274 dias após a instalação do

experimento, apenas os tratamentos SCS, SCF e SCB foram superiores, tanto na comparação a APRC quanto na comparação a ADSI (Tabela 14). A diminuição observada provavelmente se deu em função da absorção dos nutrientes fornecidos ao solo, no início do experimento, pelos microrganismos e pela planta, acarretando em aumento de H^+ na CTC do solo, e consequente redução do pH.

Tabela 14- Comparação entre os tratamentos e as testemunhas para os atributos químicos (pH ($CaCl_2$), fósforo (P), alumínio (Al), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e matéria orgânica (MO)), e microbiológicos (número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (n° esp.), C-CO₂ liberado (C-CO₂), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qMic$)) do solo, aos 274 dias após a instalação do experimento.

Fontes Variação	pH CaCl ₂	P resina mg dm ⁻³	Al -- mmol _c dm ⁻³ ---	SB	V %	MO g dm ⁻³	n° esp 100 gss	C-CO ₂ mg h ⁻¹ kg ⁻¹ ss	CBM mgkg ⁻¹ ss	qCO_2 #	$qMic$ ##
APRC	3,98b	5,50a	13,25a	15,85b	19,75b	25,00a	61,75a	1,74a	114,63a	0,01b	0,79b
ADSI	4,05B	1,75B	8,50A	2,23B	6,25B	7,25B	0,25B	0,15B	2,50B	0,07A	0,06B
SSS	4,43bB	2,00aB	5,00bA	13,15bB	35,25bA	11,25bA	11,00bB	0,33bA	11,10bB	0,04aA	0,16bB
SSF	4,35bB	1,75aB	4,00bB	10,88bB	28,25bA	9,00bB	11,50bB	0,37bA	21,68bB	0,02bB	0,41bB
SSB	4,43bB	1,75aB	4,50bA	11,00bB	29,00bA	9,50bB	16,50bA	0,37bA	22,14bB	0,02bB	0,40bB
SCS	4,90aA	7,75aA	2,50bB	15,78bA	37,75bA	10,00bB	18,00bA	0,43bA	22,99bB	0,03bB	0,43bB
SCF	5,10aA	8,00aA	1,00bB	21,30bA	44,75aA	11,25bA	26,75bA	1,06bA	80,88bA	0,01bB	1,25bA
SCB	4,80aA	8,25aA	1,75bB	32,38aA	55,00aA	9,50bB	18,50bA	0,91bA	103,4aA	0,01bB	1,91aA
MSS	4,50bB	2,75aB	4,00bB	15,63bA	39,50bA	9,25bB	16,00bB	0,53bA	21,07bB	0,03bB	0,39bB
MSF	4,28bB	2,25aB	5,50bA	10,05bB	25,25bB	10,25bA	19,75bA	0,41bA	33,99bA	0,01bB	0,57bB
MSB	4,40bB	3,25aB	3,25bB	15,83bA	38,75bA	10,75bA	11,50bB	0,63bA	39,99bA	0,02bB	0,66bB
MCS	4,43bB	4,25aB	3,75bB	13,48bB	33,00bA	10,00bB	18,25bA	0,62bA	66,08bA	0,01bB	1,15bA
MCF	4,53bB	5,50aB	3,25bB	17,35bA	39,00bA	10,25bA	17,25bA	0,98bA	99,03aA	0,01bB	1,85aA
MCB	4,40bB	4,50aB	3,25bB	17,48bA	30,00bA	11,00bA	19,75bA	1,02bA	114,0aA	0,01bB	1,70aA
Valor F	3,37**	5,51**	8,01**	3,07*	5,05**	36,45**	12,523**	95,93**	42,80**	4,79**	22,69**
Média Geral	4,47	4,23	4,54	15,10	32,96	11,11	20,05	0,68	53,82	0,02	0,84
CV (%)	3,19	20,47	26,37	21,60	15,03	5,78	15,95	3,82	13,62	14,90	9,26

Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Dunnet a 5%. Valores seguidos por letra minúscula na coluna comparam o tratamento a APRC. Valores seguidos por letra maiúscula na coluna comparam o tratamento a ADSI. * e **= significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. ss= solo seco. # mg C-CO₂ liberado por hora por kg de solo seco / mg CBM por kg de solo seco. ## (%) mg CBM por kg de solo seco / mg C- Org por kg de solo seco. Os tratamentos receberam três letras, sendo a primeira S ou M, ou seja, sem ou com inoculação de FMA; a segunda letra, S ou C, ou seja, sem ou com adição de cinza, e a terceira letra, S, F ou B, ou seja, sem inoculação com solubilizadores de fosfato, com inoculação de fungos solubilizadores e com inoculação de bactérias solubilizadoras.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Para P, todos os tratamentos exibiram valores muito semelhantes aos da testemunha APRC, e apenas os tratamentos SCS, SCF e SCB apresentaram valores maiores que os encontrados para a testemunha ADSI (Tabela 14), demonstrando o efeito do pH na disponibilidade deste nutriente em solo degradado. Vitti, Luz e Altran (2015) afirmam que solos com pH baixo a disponibilidade de nutrientes é menor, especialmente o P, e o Al se faz presente em sua forma solúvel (Al^{3+}) que é tóxico às plantas. Dessa forma, a disponibilidade de nutrientes aumenta com o aumento do pH do solo, conforme verificado neste trabalho para o P.

Para o parâmetro SB, o tratamento SCB indicou os maiores valores na comparação a APRC, e os tratamentos SSS, SSF, SSB, MSF e MCS não diferiram da ADSI, com as menores médias.

Assim como na avaliação aos 67 dias após a instalação do experimento, todos os tratamentos apresentaram menores teores de Al comparados ao solo conservado. Apenas os tratamentos SSS, SSB e MSF não exibiram diminuição nos teores de Al em comparação à testemunha ADSI (Tabela 14). Esta redução pode ter ocorrido por efeito da adição de cinza de biomassa de cana-de-açúcar, como já observado neste trabalho, uma vez que os tratamentos com os maiores teores de Al não incluem este resíduo.

Os tratamentos SCF e SCB apresentaram as maiores médias para V% na comparação a APRC, mostrando mais uma vez interação positiva entre a cinza e os microrganismos solubilizadores de P (Tabela 14). Apenas o tratamento MSF não diferiu da testemunha ADSI para V%, sendo as médias dos demais tratamentos superiores. Como observado neste trabalho, a interação entre FMA e fungos solubilizadores mostrou ser desvantajosa na recuperação da área degradada, sinalizando competição entre esses microrganismos. Para MO, da mesma forma que na avaliação aos 67 dias após a instalação do experimento, todos os tratamentos diferiram da testemunha APRC com as menores médias, enquanto os tratamentos SSS, SCF, MSF, MSB, MCF e MCB apresentaram médias superiores às do ADSI. Todos os tratamentos demonstraram menor número de esporos do que a APRC, e apenas os tratamentos SSS, SSF, MSS e MSB, que não incluem a adição de cinza, não foram maiores que a ADSI.

Para a respiração microbiana ($C-CO_2$ liberado) todos os tratamentos exibiram teores inferiores à testemunha APRC e superiores à testemunha ADSI (Tabela 14), indicando contribuição para a recuperação da biota do solo em todos os casos. Para o tratamento SSS, onde não houve inoculação de cinza e nem inoculação de microrganismos, o aumento na respiração

microbiana sugere que microrganismos autóctones tenham sido favorecidos com o plantio da bananeira, o sombreamento e os exsudatos da rizosfera por ela proporcionados, além da correção inicialmente realizada na área com calcário e nutrientes, bem como o revolvimento do solo.

Os tratamentos SCB, MCF e MCB apresentaram os maiores valores para CBM, sendo que suas médias não diferiram da testemunha APRC (Tabela 14), indicando desenvolvimento microbiológico nestes casos. Os tratamentos SSS, SSF, SSB, SCS e CSS não diferiram do SDSI, com as menores médias, o que demonstra que a utilização de microrganismos ou de cinza de biomassa de cana-de-açúcar, separadamente, não é tão benéfica para a biota do solo.

Apenas o tratamento SSS diferiu tanto da testemunha APRC quanto da testemunha ADSI para o parâmetro qCO_2 , com o maior valor, indicando que este tratamento apresenta atividade microbiológica pouco eficiente. Para $qMic$, os tratamentos SCB, MCF e MCB apresentaram as maiores médias, comparados a APRC, assim como verificado na avaliação aos 67 dias após a instalação do experimento. Os tratamentos SSS, SSF, SSB, SCS, MSS, MSF e MSB exibiram os menores valores, não diferindo da ADSI, evidenciando mais uma vez os benefícios da aplicação de cinza para a microbiologia do solo.

5 CONCLUSÕES

1. A cinza de biomassa de cana-de-açúcar melhora a fertilidade do solo, com a elevação do pH, dos teores de P e SB, nos valores de V%, com redução do Al. Melhora também os atributos microbiológicos do solo, com aumento do número dos esporos FMA, da taxa respiratória do solo, do teor de CBM e do q_{MIC} , com redução do q_{CO_2} .

2. A inoculação da bactéria solubilizadora de fosfato interfere na fertilidade e atividade microbiológica do solo, desde que associada à FMA e à cinza de biomassa de cana-de-açúcar.

3. A inoculação de FMA ao solo degradado melhora a absorção de P pelas plantas.

4. A adição de cinza e a inoculação com fungos solubilizadores de fosfato aumentam a fertilidade e a atividade microbiológica do solo a longo prazo (274 dias).

5. A adição de cinza combinada com a inoculação de bactéria solubilizadora de fosfato, independente da inoculação de FMA, em comparação ao solo de área degradada sem intervenção e ao solo de área preservada de Cerrado, apresenta resultados positivos quanto à recuperação da área degradada.

REFERÊNCIAS

- ALVES, L.; MENDOZA, E. A.; SILVA FILHO, G. N. Microrganismos solubilizadores de fosfatos e o crescimento de pinus e eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 939-947, 2002.
- ALVES, M. C.; NASCIMENTO, V.; SOUZA, Z. M. Recuperação em área de empréstimo usada para construção de usina hidrelétrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 887-893, 2012.
- ANDERSON, T. H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 98, n. 1, p. 285-293, 2003.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 21, n. 4, p. 471-479, 1989.
- ARAÚJO, R. S.; HUNGRIA, M. **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: Embrapa, 1994. 236 p.
- ARRUDA, J. A. et al. Uso da cinza de biomassa na agricultura: efeitos sobre atributos do solo e resposta das culturas. **Revista Principia**, João Pessoa, v. 1, n. 30, p. 1-13, set. 2016.
- BARROSO, A. A. F. et al. Teores de macronutrientes em folhas de bananeira cv. Pacovan apodi, sob lâminas de irrigação e doses de potássio. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 529-538, jun. 2011.
- BEGA, R. M. **Aplicação de cinza do bagaço de cana-de-açúcar em latossolo cultivado com cana-de-açúcar**. 2014. 55 f. Tese (Doutorado)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho- UNESP, Jaboticabal, 2014.
- BHAN, S. Land degradation and integrated watershed management in India. **International Soil and Water Conservation Research**, Netherlands, v. 1, n. 1, p. 49-57, jun. 2013.
- BIDONDO, L. F. et al. Cultivable bacteria associated with infective propagules of arbuscular mycorrhizal fungi. Implications for mycorrhizal activity. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 105, n. 1, p. 86-90, set. 2016.
- BORGES, A. L. et al. Teores foliares de nutrientes em genótipos de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 314-318, ago. 2006.
- BORSZOWSKI, P. R.; ANHAIA, S. F. Alternativas ecológicas de utilização de cinza de biomassa vegetal: corretivo para acidez do solo e recuperação de áreas degradadas. In: SEMINÁRIO DE GESTÃO AMBIENTAL NA AGROPECUÁRIA, 3., 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: Fundação Proamb, 2012. p. 1-6.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resenha energética brasileira.** Brasília: Ministério de Minas e Energia, jun. 2017.

BRUNELLI, A. M. M. P.; PISANI JÚNIOR, R. Proposta de disposição de resíduo gerado a partir da queima do bagaço de cana em caldeiras como fonte de nutriente e corretivo do solo. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Punta del Leste. **Anais...** Punta del Leste: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2006. v. 1, p. 1-9.

CAMPOS, L. P. **Aplicação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar nos atributos químicos e biológicos do solo.** 2014. 88 f. Tese (Doutorado)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho- UNESP, Jaboticabal, 2014.

CAPRONI A. L. et al. Fungos micorrízicos arbusculares em estéril revegetado com *Acacia mangium*, após mineração de bauxita. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, p. 373-381, 2005.

CARDOSO, E. J. B. N.; NOGUEIRA, M. A. A rizosfera e seus efeitos na comunidade microbiana e na nutrição de plantas. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. p. 79-98.

CHAU, J. F.; BAGTZOGLOU, A. C.; WILLIG, W. R. The effect of soil texture on richness and diversity of bacterial communities. **Environmental Forensics**, Philadelphia, v. 12, n. 1, p. 333-341, 2011.

COELHO, S. J. **Transformações na paisagem decorrentes da construção da Usina Hidrelétrica do Funil - UHE Funil - e o impacto no município de Ijaci, MG.** 2008. 172 f. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

COLOZZI FILHO, A.; NOGUEIRA, M. A. Micorrizas arbusculares em plantas tropicais: café, mandioca e cana-de-açúcar. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. p. 39-56.

CORRÊA, R. S.; LEITE, L. L.; BASTOS, E. K. Dinâmica da degradação e da regeneração. In: CORRÊA, R. S.; MELO FILHO, B. **Ecologia e recuperação de áreas degradadas no cerrado.** Brasília: Paralelo, 1998. p. 49-63.

CORTEZ, J. W. et al. Umidade e temperatura de Argissolo Amarelo em sistemas de preparo e estádios de desenvolvimento do milho. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 4, p. 699-710, ago. 2015.

CUNHA, E. Q. et al. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II - Atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 603-611, 2011.

- DEMATTE, J. L. I. **Levantamento detalhado dos solos do Campus experimental de Ilha Solteira**. Piracicaba: Departamento de Solos, Geologia e Fertilidade ESALQ/USP, 1980. p. 11-31.
- DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: método da fumigação-extração**. Seropédica: Embrapa, 1997. 10 p. (Documentos, 37).
- DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, 1998, p. 163-176.
- DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant growth promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Philadelphia, v. 22, n. 1, p. 107-149, 2003.
- DONATO S. L. R. et al. Relações hídricas I: Considerações fisiológicas e ecológicas. In: COELHO E. F. **Irrigação da bananeira**. Brasília: Embrapa, 2002. p. 13-82.
- DOUDS, D. D.; JOHNSON, C. R.; KOCH, K. E. Carbon cost of the fungal symbiont relative to net leaf P accumulation in a split-root VA mycorrhizal symbiosis. **Plant Physiology**, Rockville, v. 86, n. 2, p. 491-496, 1988.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA– EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS- FAO; INTERGOVERNMENTAL TECHNICAL PANEL ON SOILS- ITPS. **Status of the world's soil resources: main report**. Roma: FAO, 2015. 608 p.
- FERREIRA, P. C.; PUPIN, B.; RANGEL, D. E. N. Stress tolerance of soil fungal communities from native Atlantic forests, reforestations, and a sand mining degraded area. **Fungal Biology**, Amsterdam, v. 133, n. 6, p. 400-409, 2018.
- FERREIRA, W. C. et al. Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do rio grande, na Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 177-185, 2007.
- FREITAS, S. S. Rizobactérias promotoras do crescimento de plantas. In: SILVEIRA, A. P. D. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. p. 1-20.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A. et al. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópoles, 2008. 654 p.
- GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transaction of British Mycological Society**, Cambridge, v. 46, n. 2, p. 234-244, 1963.

GIL, P. T. et al. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 611-615, dez. 2002.

GISPERT, M. et al. Seasonal evolution of soil organic matter, glomalin and enzymes and potential for C storage after land abandonment and renaturalization processes in soils of NE Spain. **Catena**, Amsterdam, v. 162, n. 1, p. 402-413, mar. 2018.

GÓMEZ-REY, M. X. et al. Efeito da cinza de biomassa na dinâmica do C e N do solo de uma plantação de pinus pinaster. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 33, n. 2, p. 134-146, dez. 2010.

GONZAGA, M. I. S. et al. Positive and negative effects of biochar from coconut husks, orange bagasse and pine wood chips on maize (*Zea mays* L.) growth and nutrition. **Catena**, Amsterdam, v. 162, n. 1, p. 414-420, mar. 2018.

GRAHAM, M. H.; HAYNES, R. J.; MEYER, J. H. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 34, n. 1, p. 93-102, jan. 2002.

GUIMARÃES, T. P.; MANESCHY, R. Q. Sistemas agroflorestais pecuários com ênfase nas espécies frutíferas arbóreas e arbustivas. **Agroecossistemas**, Belém, v. 1, n. 1, p. 23-23, 2009.

HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 54-64, 2000.

HERNÁNDEZ, T.; GARCIA, E.; GARCÍA, C. A strategy for marginal semiarid degraded soil restoration: A sole addition of compost at a high rate. A five- year field experiment. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 89, n. 1, p. 61-71, out. 2015.

HOFFMANN, L. V.; LUCENA, V. S. **Para entender micorrizas arbusculares**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 22 p. (Documentos, 156).

INSAM, H.; DOMSCH, K.H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, New York, v. 15, n. 2, p. 177-188, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. 9. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 350 p.

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

JAKELAITIS, A. et al. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 118-127, jun. 2008.

JAKOBSEN, L.; ROSENDAHL, L. Carbon inflow into soil and external hyphae from roots of mycorrhizal cucumber plants. **New Phytologist**, London, v. 115, n. 1, p. 77-83, 1990.

JASTROW, J. D.; AMONETTE, J. E.; BAILEY, V. L. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. **Climatic Change**, v. 80, n. 1, p. 5-23, 2007.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal- flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, Washington, v. 48, n. 9, p. 692, 1964.

JENKINSON, D. S.; RAYNER, J. H. The turn over of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experimentes. **Soil Science**, Baltimore, v. 123, p. 298-395, 1977.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.M. **Soil Biochemistry**. 5.ed. New York: Marcel Decker, 1981. p. 415-471.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 42, n. 1, p. 1-13, jan. 2009.

KITAMURA, A. E. et al. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 321, n. 1, p. 405-416, 2008.

LAMBAIS, M. R. Biologia molecular do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. p. 117-126.

LINS, G. M. L.; TRINDADE, A. V.; ROCHA, H. S. Utilização de *Gigaspora margarita* em plantas micropropagadas de bananeira em diferentes estádios de enraizamento. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 143-147, abr. 2003.

LÓPEZ-ARREDONDO, D. L. et al. Phosphate nutrition: Improving low- phosphate tolerance in crops. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 65, n. 1, p. 95-123, abr. 2014.

MACHADO, D. F. T.; CONFESSOR, J. G.; RODRIGUES, S. C. Processo inicial de recuperação de área degradada a partir de intervenções físicas e utilização de leguminosas. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 24, n. 1, p. 42-54, jun. 2014.

MAEDA, S.; SILVA, H. D.; CARDOSO, C. Resposta de *Pinus taeda* à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 1, n. 56, p. 43-52, jan. 2008.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308 p.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 425-433, 2003.

MAZURANA, M. et al. Estoque de carbono e atividade microbiana em sistema de plantio direto consolidado no sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 36, n. 3, p. 288-296, jul. 2013.

MELO, W. J. Uso de resíduos na agricultura e qualidade ambiental. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. p. 275-298.

MENDES I.C. et al. **Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. 31 p. (Documentos, 246).

MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B. **Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica**. Planaltina: Embrapa Soja, 2003. 26 p. (Documentos, 85).

MODESTO, P. T. et al. Alterações em algumas propriedades de um Latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1489-1498, 2009.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Edufla, 2006. 729 p.

NICODEMO, M. L. F. **Uso de biomassa microbiana para avaliação de qualidade do solo em sistemas silvipastoris**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2009. 35 p. (Documentos, 93).

NUNES, J. S. et al. Impact of land degradation on soil microbial biomass and activity in Northeast Brazil. **Pedosphere**, Benjing, v. 22, n. 1, p. 88-95, 2012.

NUNES, L. A. P. L. et al. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos biológicos de solo sob caatinga no semiárido nordestino. **Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 1, p. 131-140, mar. 2009.

PAULÚCIO, V. O. **Qualidade química e biológica de área degradada pela extração de argila, revegetada com eucalipto e leguminosas inoculados com micorrizas**. 2007. 106 f. Tese (Doutorado)- Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2007.

PEARSON, N.; ABBOTT, L. K.; JASPER, D. A. Mediation of competition between two colonizing va mycorrhizal fungi by the host plant. **New Phytologist**, London, v. 123, p. 93-98, 1993.

PIOLLI, A. L.; CELESTINI, R. M.; MAGON, R. **Teoria e prática em recuperação de áreas degradadas**: plantando a semente de um mundo melhor. Serra Negra: Governo do Estado de São Paulo, 2004. 55 p.

POWLSON, D. S.; BROOQUES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.19, n. 2, p. 159-164, 1987.

PURIN, S. **Fungos micorrízicos arbusculares**: atividade, diversidade e aspectos funcionais em sistemas de produção de maçã. 2005. 148 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2005.

QUEIROZ, I. R.; GARCIA, A. Características químicas de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), café (*Coffea arabica* L.) e sob mata nativa: estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 40., 2014, Serra Negra. **Anais...** Serra Negra: Fundação Procafé, 2014. p. 1-18.

RAIJ, B. V. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RASHID, M. I. et al. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. **Microbiological Research**, Jena, v. 183, n. 1, p. 26-41, fev. 2016.

REINERT, D. J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, 1998. p. 163-176.

ROSA, M. F. et al. Valorização de resíduos da agroindústria. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAS, 2., 2011, Foz do Iguaçu. **Palestras...** Foz do Iguaçu: Sbera, 2011. v. 1, p. 98-105.

ROSA, P. A. L. et al. Recuperação de um solo de cerrado após 19 anos: Ocorrência espontânea de espécies arbóreas. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 1, n. 1, p. 44-57, jul. 2014.

RUÍZ-SANCHEZ, M. et al. *Azospirillum* and arbuscular mycorrhizal colonization enhance rice growth and physiological traits under well-watered and drought conditions. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 168, n. 10, p. 1031-1037, jul. 2011.

SALA, V. M. R.; SILVEIRA, A. P. D.; CARDOSO, E. J. B. N. Bactérias diazotróficas associadas a plantas não-leguminosas. In: SALA, V. M. R.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. p. 97-116.

SANTOS, A. A. et al. Addition of residues and reintroduction of microorganisms in *Jatropha curcas* cultivated in degraded soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 4, p. 372-377, mar. 2016.

SANTOS, E. **Relatório da FAO com participação da Embrapa revela que 33% dos solos do mundo estão degradados**. Brasília: Brasília, 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/8104410/relatorio-da-fao-com-participacao-da-embrapa-revela-que-33-dos-solos-do-mundo-estao-degradados>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

SAXENA, J.; MINAXI; JHA, A. Impact of a phosphate solubilizing bacterium and an arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus etunicatum*) on growth, yield and P concentration in wheat plants. **Clean: Soil, Air, Water**, Weinheim, v. 42, n. 9, p. 1248-1252, fev. 2014.

SELEIMAN, M. F.; KHEIR, A. M.S. Saline soil properties, quality and productivity of wheat grown with bagasse ash and thiourea in different climatic zones. **Chemosphere**, Oxford, v. 193, n. 1, p. 538-546, 2018.

SILVA A. O.; SILVA W. M.; KURIHARA C. H.; MERCANTE, F. M. Spectrophotometric method for quantification of soil microbial biomass carbon. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 5, n. 1, p. 565-570, 2016.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO_2)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 4 p. Folhetos.

SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. Atividade de microrganismos solubilizadores de fosfatos na presença de nitrogênio, ferro, cálcio e potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 12, p. 1495-1508, dez. 2001.

SILVA, J. C. S. **Desenvolvimento inicial de espécies lenhosas, nativas e de uso múltiplo na recuperação de áreas degradadas de Cerrado sentido restrito no Distrito Federal**. 2007. 120 f. Tese (Doutorado)- Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SILVA, M. B. et al. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 1755-1761, dez. 2007.

SILVA, R. R. et al. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1585-1592, 2010.

SILVEIRA, A. P. D. Micorrizas. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.257-282.

SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. 312 p.

SILVEIRA, A. P. D.; GOMES, V. F. F. Micorrizas arbusculares em plantas frutíferas tropicais. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. p. 57-78.

SILVEIRA, T. **Avaliação de cinza de caldeira de indústria de concentrados de frutas cítricas sobre as propriedades de solo degradado e solo cultivado com cana-de-açúcar.** 2010. 39 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho- UNESP, Jaboticabal, 2010.

SINGH, J. S. Microbes: The chief ecological engineers in reinstating equilibrium in degraded ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 203, n. 1, p. 80-82, maio 2015.

SIQUEIRA, J. O. et al. **Microrganismos e processos biológicos no solo: perspectiva ambiental.** Brasília: Embrapa, 1994. 142 p. (Documentos, 45).

SOUSA, H. U. et al. Nutrição de mudas de bananeira em função de substratos e doses de superfosfato simples. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 1, p. 64-73, dez. 2000.

SOUZA, M. N. **Degradação e recuperação ambiental e desenvolvimento sustentável.** 2004. 371 f. Tese (Doutorado)– Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TAKTEK, S. et al. Trapping of phosphate solubilizing bacteria on hyphae of the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* DAOM 197198. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 90, n. 1, p. 1-9, nov. 2015.

TAVARES, S. R. L. et al. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 228 p. (Documentos, 103).

TRINDADE, A. V.; LINS, G. M. L.; MAIA, I. C. S. Substratos e fungo micorrízico arbuscular em mudas micropropagadas de bananeira na fase de aclimação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 137-142, abr. 2003.

VALCARCEL, R.; SILVA, Z. S. A eficiência conservacionista de medidas de recuperação de áreas degradadas: proposta metodológica. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 1, n. 1, p. 68-80, 1997.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VELÁZQUEZ, M. S. et al. Combination of phosphorus solubilizing and mobilizing fungi with phosphate rocks and volcanic materials to promote plant growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Revista Argentina de Microbiología**, Buenos Aires, v. 49, n. 4, p. 347-355, out. 2017.

VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C.; ALTRAN, W. S. Nutrition and Fertilization. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Sugarcane.** Oxford: Elsevier, 2015. p. 58-88.

WADT, P. G. S. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradada**. Rio Branco: Embrapa, 2003. 29 p. (Documentos, 90).

WEI, Y. et al. Effect of organic acids production and bacterial community on the possible mechanism of phosphorus solubilization during composting with enriched phosphate-solubilizing bacteria inoculation. **Bioresource Technology**, New York, v. 247, n. 1, p. 190-199, jan. 2018.

ZANDONADI, J. E.; PAYOLLA, B. L.; CAÍRES, M. J. B. Recuperação de áreas degradadas na construção da UHE Tucuruí, PA. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 27., 2007, Belém. **Anais...** Belém: Comitê Brasileiro de Barragens, 2007. p. 1-17.