

GABRIELA VILELA

**INFLUÊNCIA DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL EM CONSÓRCIO COM
CAFÉ NA DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO**

Sorocaba

2022

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

*ciências
ambientais*

GABRIELA VILELA

**INFLUÊNCIA DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL EM CONSÓRCIO COM
CAFÉ NA DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" na Área de de Tratamento de Efluentes, Preservação e Recuperação Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Cardoso de
Morais

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a. Viviane Moschini
Carlos

Sorocaba
2022

V699i Vilela, Gabriela
Influência de um sistema agroflorestal em consórcio com café na
determinação da disponibilidade de fósforo no solo / Gabriela Vilela.
-- Sorocaba, 2022
49 f. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba
Orientador: Leandro Cardoso de Moraes
Coorientadora: Viviane Moschini Carlos

1. fósforo. 2. café sombreado. 3. sistemas agroflorestais. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.
Biblioteca do Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos
pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: INFLUÊNCIA DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL EM CONSÓRCIO COM CAFÉ NA DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO SOLO

AUTORA: GABRIELA VILELA

ORIENTADOR: LEANDRO CARDOSO DE MORAIS

COORIENTADORA: VIVIANE MOSCHINI CARLOS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIAS AMBIENTAIS, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. LEANDRO CARDOSO DE MORAIS (Participação por Parecer Circunstanciado)
Departamento de Engenharia Ambiental / Unesp Instituto de Ciencia e Tecnologia Campus de Sorocaba

Prof. Dr. MANUEL ENRIQUE GAMERO GUANDIQUE (Participação por Parecer Circunstanciado)
Engenharia Ambiental / Unesp Instituto de Ciencia e Tecnologia de Sorocaba

Profª. Drª. AMANDA ALVES DOMINGOS MAIA (Participação por Parecer Circunstanciado)
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção / Universidade Federal de São Carlos (UFSCar),
Câmpus de Sorocaba

Sorocaba, 11 de março de 2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial meus pais Mauro e Raquel, irmãs, Rafaela e Mirela e meu companheiro Paulo, por me apoiarem sempre, acreditarem e me fazerem crescer cada dia mais, por tornarem meus dias mais leves e por serem pessoas incríveis em que confio inteiramente meu amor.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pela oportunidade de desenvolver meu projeto de mestrado, e aos docentes que tive o prazer de conhecer durante esse período e pelos conhecimentos compartilhados.

Ao meu orientador Prof. Dr. Leandro Cardoso de Moraes e minha coorientadora Prof^a. Dr^a. Viviane Moschini, pela orientação e dedicação ao meu mestrado.

À Letícia e Suzan, por toda paciência e auxílio nos trabalhos de laboratório.

Aos meus colegas da Pós-Graduação, Regina, Vitória e Christiano que sempre me ouviram e auxiliaram de diversas maneiras.

Agradeço a todos que me ajudaram de certa forma para a elaboração do meu trabalho.

RESUMO

A degradação do solo é um assunto ainda muito recorrente e que deve continuar sendo muito estudado nos dias de hoje, já que a demanda por recursos provenientes do mesmo vem crescendo cada vez mais. Muitos fatores contribuem para a aceleração dessa degradação, dentre os quais podemos citar, o uso excessivo do solo. Dessa forma, o empobrecimento e infertilidade dos solos devido à perda de nutrientes essenciais estão cada vez mais presentes. Dentre os elementos indispensáveis à vida das plantas, encontra-se o fósforo (P), sendo este, um nutriente obtido a partir de recursos não renováveis e finitos, o que acarreta vários danos ao ambiente. Como alternativa para driblar a problemática da escassez nutricional dos solos, cresce a implantação dos Sistemas Agroflorestais (SAFs), promovendo o consórcio de cultivos agrícolas com espécies florestais, como no caso da arborização na produção cafeeira. As espécies florestais são uma alternativa para o suprimento de nutrientes disponíveis no solo, podendo transformar terras a princípio impróprias para cafeeicultura, em favoráveis para a produção. A utilização de espécies arbóreas em consórcio com a agricultura, melhoram a estrutura do solo e permitem uma melhor infiltração de água, atuando na ciclagem de nutrientes, com o aumento da quantidade de raízes e estabilidade da matéria orgânica, sendo assim contribuem, entre outros fatores com a redução da erosão, a perda de água e o aumento de nutrientes no solo. O objetivo do trabalho foi obter, através da análise química do solo, o teor de fósforo, pelo método Mehlich-1, em um sistema agroflorestal composto por espécies florestais consorciado com café, com o intuito de avaliar sua distribuição ao longo do perfil do solo e em períodos de seca e chuva, para obter respostas no que diz respeito a recomendação de adubação, bem como a eficiência das espécies avaliadas em relação à nutrição do solo cafeeiro. A disponibilidade de fósforo apresentou um padrão para todos os tratamentos ao longo do perfil do solo, mostrando teores mais elevados do nutriente nas camadas mais superficiais, tendo uma redução gradativa em profundidade. A espécie que apresentou resultados mais expressivos em relação à sazonalidade, principalmente na camada mais profunda, com uma maior concentração no período chuvoso, foi o pau viola. As espécies cabreúva, ingá e pau viola tiveram um aumento considerável na concentração de P no solo quando comparados com a mamona e o tratamento sem influência de componente arbóreo, corroborando a importância da presença e diversidade dos sistemas radiculares.

Palavras-chave: fósforo, café sombreado, sistemas agroflorestais.

ABSTRACT

Soil degradation is still a very recurrent subject and should continue to be studied a lot today, since the demand for resources from it is growing more and more. Many factors contribute to the acceleration of this degradation, among which we can mention the excessive use of the soil. Thus, the impoverishment and infertility of soils due to the loss of essential nutrients are increasingly present. Phosphorus (P) is one of the essential elements for plant life, which is a nutrient obtained from non-renewable and finite resources, which causes several damages to the environment. As an alternative to circumvent the problem of nutritional scarcity of soils, the implementation of Agroforestry Systems (SAFs) grows, promoting the consortium of agricultural crops with forest species, as in the case of afforestation in coffee production. Forest species are an alternative for the supply of nutrients available in the soil, which can transform lands that are initially unsuitable for coffee growing into favorable ones for production. The use of tree species in consortium with agriculture improves soil structure and allows for better water infiltration, acting on nutrient cycling, increasing the amount of roots and stability of organic matter, thus contributing, among other factors with the reduction of erosion, the loss of water and the increase of nutrients in the soil.

The objective of this work was to obtain, through soil chemical analysis, the phosphorus content, by the Mehlich-1 method, in an agroforestry system composed of forest species intercropped with coffee, in order to evaluate its distribution along the soil profile. and in periods of drought and rain, to obtain answers regarding the fertilization recommendation, as well as the efficiency of the evaluated species in relation to the nutrition of the coffee soil. Phosphorus availability showed a pattern for all treatments along the soil profile, showing higher levels of the nutrient in the more superficial layers, with a gradual reduction in depth. The species that presented the most expressive results in relation to seasonality, mainly in the deepest layer, with a greater concentration in the rainy season, was the pau viola. The species cabreúva, ingá and pau viola had a considerable increase in the concentration of P in the soil when compared to castor oil and the treatment without the influence of arboreal component, corroborating the importance of the presence and diversity of root systems.

Keywords : phosphorus, shaded coffee, agroforestry systems.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 OBJETIVOS	8
2.1 OBJETIVO GERAL	8
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3.1 O SOLO.....	9
3.2 SISTEMAS AGROFLORESTAIS (SAFs).....	10
3.3 ESPÉCIES FLORESTAIS DE SOMBREAMENTO	12
3.3.1 <i>Pau viola (Cytharexylum myrianthum)</i>	12
3.3.2 <i>Ingá (Inga edulis)</i>	13
3.3.3 <i>Cabreúva (Myrocarpus frondosus)</i>	14
3.3.4 <i>Mamona (Ricinus communis)</i>	14
3.4 O FÓSFORO	15
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	18
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	19
4.3 EXTRAÇÃO COM SOLUÇÃO DE MEHLICH 1	22
4.3.1 <i>Determinação do Fósforo Disponível</i>	22
4.3.2 <i>Determinação da Matéria Orgânica (MO)</i>	24
5.1. FÓSFORO.....	25
5.2 MATÉRIA ORGÂNICA (MO)	33
6 CONCLUSÕES.....	39
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

A degradação do solo é um assunto ainda muito recorrente e que deve continuar sendo muito estudado nos dias de hoje, já que a demanda por recursos provenientes do mesmo vem crescendo cada vez mais. Existe um conjunto de fatores que contribuem para o aceleramento dessa degradação, e dentre os mais importantes estão: o uso excessivo do solo, muitas vezes com técnicas agrícolas inadequadas, decorrentes do uso demasiado de agrotóxicos e implantação de monoculturas provenientes em grande parte de desmatamentos florestais. Esses fatores contribuem para o empobrecimento e infertilidade dos solos, ocasionados pela perda de nutrientes essenciais para o desenvolvimento das culturas. Dentre os elementos indispensáveis à vida das plantas, encontra-se o fósforo (P). Segundo Cordell et al., (2015), não há elementos que possam substituir o fósforo em relação às funções vitais dos organismos vivos.

O P participa de vários processos metabólicos das plantas, sendo que o seu principal papel é o de armazenar e transferir energia. É um dos nutrientes que vêm sendo bastante investigado na literatura, já que em muitas regiões é um elemento limitante para a produção de culturas. (MALAVOLTA, 2006).

O P também é muito utilizado em produtos industrializados, como os fertilizantes, entretanto, a sua obtenção é feita através da exploração de rochas fosfáticas, o que tem provocado discussões quanto à escassez do nutriente, já que as rochas são recursos não renováveis e a procura por fertilizantes fosfatados vêm crescendo a cada ano.

Como alternativa para driblar a problemática da escassez nutricional dos solos, cresce a implantação dos Sistemas Agroflorestais (SAFs), promovendo o consórcio de cultivos agrícolas com espécies florestais, trazendo melhoria na qualidade dos solos, aumento da biodiversidade, além de geração de fontes alternativas de renda, como no caso da arborização na produção cafeeira.

As espécies florestais são uma alternativa para o suprimento de nutrientes disponíveis no solo, podendo transformar terras a princípio impróprias para cafeeicultura, em favoráveis para a produção. A utilização de espécies arbóreas em consórcio com a agricultura, melhoram a estrutura do solo e permitem uma melhor infiltração de água, atuando na ciclagem de nutrientes, com o aumento da quantidade de raízes e estabilidade da matéria orgânica (SCHARAMA et. al.; 2018), sendo assim contribuem, entre outros fatores com a redução da erosão; perda de água e aumento de nutrientes no solo (FRANCO,2000).

Neste trabalho, foi analisada, com base no método de consorciação de espécies, a influência de quatro espécies florestais *Cytherexylum myrianthum* (pau viola), *Inga edulis* (ingá), *Myrocarpus frondosus* (cabreúva) e *Ricinus communis* (mamona) no teor de fósforo disponível nos solos de cafezais, a fim de obter um melhor aproveitamento dos nutrientes do solo a longo prazo.

Dada a importância da presença de P nos solos, percebe-se que é necessário avançar em estudos nessa temática, a fim de buscar alternativas para frear essa exploração desordenada pelos recursos naturais, de forma a trazer soluções para a obtenção de um ambiente equilibrado, através da conservação do meio ambiente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Obter a disponibilidade de P no solo, através da análise química em um sistema agroflorestal composto por espécies florestais em consórcio com cultivo de café.

2.2 Objetivos específicos

- Comparar a eficiência das espécies *Cytherexylum myrianthum* (pau viola), *Inga edulis* (ingá), *Myrocarpus frondosus* (cabreúva) e *Ricinus communis* (mamona) em relação ao aspecto nutricional do solo cafeeiro.
- Otimizar o processo de recomendação de adubação, com base nos resultados obtidos para cada espécie florestal.
- Observar a disponibilidade do fósforo e matéria orgânica em diferentes profundidades do solo e em períodos seco e chuvoso.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O solo

O solo representa a camada superficial da crosta terrestre, essencial ao meio ambiente e de suma importância para o desenvolvimento da vida na terra. Atua no armazenamento, escoamento e infiltração da água, tendo grande importância nos ciclos dos nutrientes e no ciclo da água, mostrando-se essencial no desenvolvimento de muitos ecossistemas.

Segundo Santos et al., (2013), o solo é constituído em partes sólidas, líquidas e gasosas, formado por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões dos continentes do nosso planeta, contém matéria viva e pode ser vegetado. Além disso, é imprescindível na produção de alimentos, pois permite o crescimento das plantas, através da acessibilidade de, nutrientes, água e oxigênio para raízes, além de ser o suporte físico para o desenvolvimento vegetal (DORAN; SARRANTONIO; LIEBERG, 1996).

Diante da importância dos solos, é importante frisar que o manejo adequado e preservação tornam-se fundamentais, já que sua exploração desenfreada acarreta muitos danos a ao meio ambiente. A modificação dos sistemas naturais pela atividade humana aliada a processos que levam à perda da produtividade do conjunto, origina o que chamamos de áreas degradadas (ADAMCOVÁ, 2016).

Com o crescimento populacional, aumentou também o manejo intensivo do solo, a monocultura e o uso de pesticidas e fertilizantes. A utilização dessas práticas têm ocasionado muitos danos, como a perda de nutrientes essenciais para o desenvolvimento da fauna e flora e de matéria orgânica, contribuindo para a degradação do ambiente. Admitindo-se ser o solo, a base para uma agricultura e uma produção florestal sustentável, é necessário buscar outras formas de manejo de produção, que tenham por objetivo conservar ou restaurar sua fertilidade, para assim permitir que continuem sendo produtivos (ALVARENGA, 1996).

Assim, percebe-se a importância do conhecimento relacionado às propriedades físicas e químicas do solo, para que se utilizem de práticas que diminuam o empobrecimento dos solos a níveis aceitáveis, mantendo-se assim, uma exploração de forma racional, visando a preservação do potencial de produção dos solos. (THEODORO, 2001).

A degradação dos solos está se tornando um prejuízo socioeconômico para as gerações atuais e representa um grande risco para o futuro, acarretando vários danos aos cursos d'água, cultivos agrícolas e florestais. Assim, o uso de forma adequada da terra é o primeiro passo para a conservação do solo, sendo necessário ter conhecimento da aptidão e da capacidade de seu uso, de modo que os recursos naturais estejam à disposição do homem para que se utilize da melhor maneira, ao mesmo tempo em que se preze pela preservação para as gerações futuras (LEPSCH et al., 1991).

3.2 Sistemas agroflorestais (SAFs)

Sistemas agroflorestais (SAFs) são formas de cultivo em que espécies vegetais perenes são consorciadas com cultivos agrícolas e/ou animais, através de um manejo que represente o processo natural do ecossistema, em um determinado tempo e espaço. (GAMA-RODRIGUES et. al, 2006; MICCOLIS et al.2016). Scharama et. al.; (2018), em seus estudos, comprovaram que a agricultura orgânica adotada no cultivo agroecológico resultou na melhora da estrutura do solo com maior quantidade de matéria orgânica, bem como na mobilização e disponibilidade dos nutrientes. A eficiência de sistemas agroecológicos foi validada, demonstrando a existência de diferenças expressivas na qualidade química dos solos em relação ao fósforo, nitrogênio e matéria orgânica quando comparados com sistemas tradicionais.

A utilização de espécies arbóreas, permite a cobertura do solo através de suas copas em diferentes estratos, sendo assim, ajudam na redução das gotas da chuva e insolação, e auxiliam na ciclagem de nutrientes e na quantidade de matéria orgânica, permitindo um melhor desenvolvimento de suas raízes, melhorando conseqüentemente a estrutura do solo e infiltração da água, tornando um solo mais fértil (SILVA et al., 2012), sem depender de insumos externos, além de auxiliarem na preservação das florestas nativas.

Os SAFs, em geral, não necessitam de muitos insumos, sendo adequados para qualquer tipo de produtor rural em termos de necessidade de capital (MBOW et al., 2014), são portanto, sistemas integradores, já que buscam utilizar a terra da melhor forma, trazendo os pilares ambiental, social e econômico de forma sustentável (SCHEMBERGUE et. al., 2017).

Os SAFs têm sido implantados mais fortemente no Brasil desde a década de 1980, principalmente por pequenos agricultores. Hoje em dia, o país possui uma grande variedade de sistemas, desde quintais agroflorestais familiares, até consórcios comerciais

(GONÇALVES E VIVAN, 2012). Um exemplo de consórcio comercial que têm se expandido é a produção de café sombreado. Seu aumento se deve à demanda crescente por alternativas que prezem pela qualidade de vida e do meio ambiente com a utilização de métodos de produção menos agressivos ao meio ambiente, aos trabalhadores rurais e aos consumidores. Além disso, os sistemas de café sombreado auxiliam na preservação da alta biodiversidade, com a presença de diversos elementos da fauna e flora (GOBBI, 2000).

O Brasil é o maior exportador de café no mercado mundial e está na segunda posição, entre os países consumidores da bebida. Conforme dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2021), a cafeicultura brasileira é uma das mais exigentes do mundo, tanto em relação às questões sociais quanto ambientais, tendo uma grande preocupação na produção de um café sustentável. O estado de Minas Gerais é o maior produtor do Brasil, responde por cerca de 50% da produção nacional e é uma das principais fontes de cafés especiais do país. Praticamente todas as plantações são de *Coffea arabica*, e a região do Sul de Minas se destaca como uma das produtoras.

O *Coffea arabica* é uma planta que tem origem na Etiópia, portanto, vegeta e produz bem em áreas sombreadas de altitude e em climas úmidos. Entretanto, no Brasil, os cafés foram selecionados para a produção a pleno sol. É possível cultivar o cafeeiro em diferentes ambientes devido a sua flexibilidade fenotípica. A preferência por esse tipo de produção, em grande parte se deve à crença dos produtores de que o sombreamento dos cafezais, por intermédio das árvores, dificultam a passagem de máquinas, intensificam a necessidade de mão de obra e restringem a produção (RICCI et al., 2011). A predominância de sistemas a pleno sol no Brasil, torna a produção de café vulnerável aos impactos das mudanças climáticas, podendo acarretar em danos socioeconômicos consideráveis. Tais alterações representam uma ameaça significativa para a sobrevivência das espécies e para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. As mudanças climáticas reduzem a funcionalidade, estabilidade e adaptabilidade dos ecossistemas (PECL et al. 2017).

Diante desse cenário, o cultivo do café sombreado, vem ressurgindo como uma prática conservacionista. Com base em diversos estudos sobre os benefícios do sombreamento em sistemas agroflorestas, Moreira et. al., (2018) citam o microclima criado pelas árvores resultando na diminuição da temperatura média do ar, bem como o aumento da umidade do solo. Ainda em relação ao solo, por efeito da queda das folhas provenientes pela presença das árvores no sistema, há um aumento de matéria orgânica, que reduz as perdas de nitrogênio, aumenta a infiltração de água no solo, melhora as condições de ciclagem de

nutrientes, contribuindo para uma melhora na fertilidade do solo (JARAMILLO-BOTERO et al., 2010).

Lunz (2006) cita que em função às vantagens citadas anteriormente, tem-se a redução do estresse dos cultivos de café, considerando um dos melhores benefícios ecofisiológicos gerados. Leal (2004) cita ainda o excesso de radiação como um fator de interferência na longevidade dos cafeeiros, isto porque, altas temperaturas exigem que os cultivos tenham uma produção consideravelmente alta, necessitando de grande quantidade de nutrientes para não ocorrer o esgotamento dos mesmos.

Segundo Matiello (1995) entre as vantagens do sombreamento dos cafezais estão: diminuição da desfolha; safras ligeiramente menores, porém, com maior constância na produtividade; diminuição das temperaturas máximas e mínimas do ambiente; produção de internódios mais longos; redução do número de folhas, porém, folhas com maior tamanho; baixo ataque do bicho mineiro; renda adicional pelo aproveitamento da espécie arbórea e redução de plantas daninhas na lavoura. Por estas e outras vantagens, os SAF'S vêm sendo cada vez mais reconhecidos como um importante método no manejo sustentável do solo, reencontrando o equilíbrio dos agroecossistemas e amenizando as adversidades ambientais e econômicas (DUARTE, et. al, 2008).

3.3 Espécies florestais de sombreamento

3.3.1 Pau viola (*Cytharexylum myrianthum*)

A espécie *Cytharexylum myrianthum*, também conhecida como pau viola pertence à família Verbanaceae. É uma espécie nativa do Brasil, característica de florestas pluviais e semidecíduas da Mata Atlântica, pode atingir 20 m de altura e 60 cm de diâmetro (LORENZI et al., 2014)

Por ser uma espécie de rápido crescimento no campo, boa dispersão de grande quantidade de sementes, comum em estágios iniciais da sucessão, com alta regeneração espontânea, é uma nativa que apresenta uma grande contribuição na recomposição de áreas úmidas degradadas. Devido suas características, é uma espécie comentada para plantios consorciados com finalidade de regeneração de áreas ciliares (AMARAL et. al., 2013).

Possui madeira leve, podendo ser aproveitada para tabuado em geral, forros e caixotaria. Seus frutos são muito apreciados por várias espécies de pássaros e suas flores são melíferas. (LORENZI, 2014). É uma planta decídua, que floresce durante os meses de Outubro a

Dezembro, junto com o surgimento das novas folhas, tendo seus frutos maduros nos meses de Janeiro a Março.

3.3.2 Ingá (*Inga edulis*)

O *Inga edulis*, também conhecido como ingá-cipó é uma espécie nativa da América do Sul e Central, é uma leguminosa arbórea da família Fabaceae, frequentemente utilizada como espécie provedora de sombra em plantios de consórcio com café e cacau. Tem sido indicada em sistemas agroflorestais para áreas degradadas por pastagens, porque apresenta alta produtividade de biomassa e se desenvolve muito bem em diversos tipos de solos, sendo largamente utilizada para o sombreamento de culturas perenes, controle de invasoras e para a proteção do solo. (PINHO et al., 2011).

Carrilli, A. L. et., al (2012) em sua pesquisa desenvolvida relatam que foram selecionadas principalmente espécies leguminosas para o manejo da biomassa, por acreditar que as mesmas auxiliam na ciclagem de nutrientes, são de fácil manejo, atuam na descompactação do solo e integram nitrogênio ao sistema. Os resultados obtidos em quatro anos de manejo nos SAFs mostraram que houve uma melhora na suficiência de alguns nutrientes e nos parâmetros químicos do solo.

É uma espécie de germinação e crescimento rápidos, tolerante a solos ácidos, desenvolvendo-se em condições de pH muito baixo, fator restritivo para as leguminosas em geral. As podas e queda natural das folhas de suas copas permitem a atuação do ingá na disponibilidade e absorção de nutrientes, além de conceder melhoria da fertilidade do solo devido à fixação biológica de nitrogênio (ABIB, 2017). Fisher (1995) em seu estudo, registrou melhora no solo com plantio de *Inga edulis* em um período de três anos, em relação ao nitrogênio total, carbono orgânico, e fósforo extraível. Pode atingir 25 m de altura e 60 cm de diâmetro, sua madeira é moderadamente pesada, empregada para caixotaria, lenha e carvão.

É bastante utilizada para adubação verde, devido a alta produção de biomassa e a tolerância a podas anuais, que são essenciais para o fornecimento de nutrientes, além de formarem uma cobertura no solo que protegem contra as mudanças de temperatura, ajudam no controle das ervas daninhas e minimizam o impacto de chuvas fortes. Seu fruto é um legume (vagem) alongado, tomentoso, de 15 a 80 cm de comprimento, com muitas sementes envoltas por arilo flocoso e adocicado (LORENZI, 2014; KINUPP, 2014). É uma planta

semidecídua, heliófita, que floresce durante os meses de Outubro até Janeiro e os frutos amadurecem a partir do mês de Maio (LOJKA et al., 2010).

3.3.3 Cabreúva (*Myrocarpus frondosus*)

Myrocarpus frondosus, também conhecido como cabreúva, pertence à família Fabaceae, sendo uma espécie nativa de interesse madeireiro, ecológico, ornamental e medicinal, é um planta que produz o bálsamo (óleo essencial) que é extraído da casca, folha e frutos e pode ser utilizado nas indústrias farmacêutica e alimentar. (SATNI et al., 2017). É uma espécie que ocorre naturalmente, no Paraguai, Bolívia e Brasil. Pode ser encontrada nos estados da Bahia, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais descendo até o Rio Grande do Sul, principalmente na Florestal Estacional Decidual e Semidecidual, sendo comumente utilizada em restaurações florestais no Brasil (LORENZI, 2014, SILVESTRE et al., 2017).

Foquesatto (2017), analisando atributos físicos e químicos do solo em sistemas agroflorestais com a espécie cabreúva, em mata secundária em estágio de sucessão avançada e lavoura integrada a pecuária, constatou maiores valores de teor de P disponível nos sistemas agroflorestais. Observou também altos teores de nutrientes nos SAF's com cabreúva, além de apresentar baixa densidade e consequente aumento da porosidade do solo nas camadas estudadas, possibilitando boas condições para o desenvolvimento das plantas.

É uma espécies que pode chegar a 30 m de altura e tronco de 90 cm de diâmetro. Sua madeira é pesada (densidade 0,91 g/cm³) e resistente, sendo muito empregada na construção civil, como caibros, ripas e vigas, destaca-se entre as espécies arbóreas nativas do bioma Mata Atlântica de maior produção comercial madeireira, alcançando bons preços no mercado (CARVALHO, 2009).

É uma planta decídua, que floresce durante os mese de Setembro-Outubro e seus frutos amadurecem em Novembro-Dezembro. Suas flores são melíferas.

A cabreúva é recomendada na recuperação de ecossistemas alterados, na mata ciliar, arborização urbana e formação de parques (CARVALHO, 2003).

3.3.4 Mamona (*Ricinus communis*)

A mamona é uma espécie oleaginosa, hefiófita, de origem tropical, bastante resistente à seca, provavelmente devido ao complexo radicular bem desenvolvido. Pertencente à família Euphorbiaceae, adapta-se a vários tipos de solos, exceto nos muito argilosos sujeitos a

encharcamento ou salinos. É uma espécie exótica, que possui registros de sua ocorrência bastante antigos na Ásia e África, contudo, já é cultivada em diversos países, dentre eles, o Brasil (MORAES, P. F. et. al., 2015).

É uma espécie que se desenvolve muito bem em condições climáticas diversas, a planta produz sementes que possuem até 50% de óleo de rícino, sendo bastante utilizado em diversas aplicações industriais, produção de biodiesel, cosméticos e medicinais (FREIRE et. al., 2006).

Carrilli, A. L. et., al (2012) em pesquisas com agricultores, relataram que a mamona é uma planta que possui uma rápida decomposição e age na descompactação e abertura dos poros do solo, sendo de grande importância no aporte de biomassa no sistema. Iwata, B. F. et. al., (2012) em seu estudo constatou uma maior eficiência na ciclagem de nutrientes em solos sob os SAF's com algumas espécies, dentre elas, a mamona, atribuindo esse fato à presença de P nos solos, permitindo a existência dos compostos orgânicos oriundos da atividade de sistemas radiculares diversificados. Nesse mesmo estudo comprova que SAF's consorciados com mamona permitiram melhora na qualidade química do solo e dos teores de nutrientes.

A cultura possui grande variabilidade em várias características botânicas, assim possui variação no hábito de crescimento, cor da folhagem e caules, tamanho da semente e teor de óleo, podendo-se encontrar plantas com porte baixo ou arbóreo, ciclo anual ou semiperene, com folhas e caule verde, vermelho ou rosa, com a presença ou ausência de cera no caule, com frutos com ou sem espinhos, deiscentes ou indeiscentes, com sementes de diversos tamanhos e colorações e diferentes teores de óleo (COSTA et al., 2014).

O principal produto obtido da mamona, é o óleo, através do processamento de suas sementes, e o subproduto, a torta de mamona, que tem a capacidade de restaurar terras esgotadas.

3.4 O fósforo

O fósforo (P) é um elemento essencial e limitante para o desenvolvimento das plantas e está muito presente no metabolismo dos microrganismos em ecossistemas terrestres (AUGUSTO et al., 2017; HOU et al., 2020).

O ciclo do fósforo ocorre primeiramente pela decomposição das plantas e animais, os quais liberam o P que retorna naturalmente para o solo, observa-se, em uma escala de tempo mais curto, que o fluxo se dá em sentido único, tendo seu ciclo completo em períodos

de centenas de milhões de anos. Com a demanda do setor agrícola cada vez maior, com alta disposição e em pequeno espaço de tempo, a reposição natural de P para o solo acaba sendo lenta, o que leva à busca cada vez maior por fertilizantes fosfatados.

Em muitos países, produtores utilizam quantidades demasiadas de fertilizantes fosfatados no solo em busca de melhores resultados (CORDELL. WHITE, 2014), porém, apenas uma fração do fertilizante aplicado é aproveitado para o desenvolvimento dos cultivos diretamente, sendo a grande parte rapidamente fixado e mineralizado (DE WIEL et al., 2016). Ma et al., (2016); Shen et al., (2011) em seus estudos relatam que existem cerca de 50 a 1500 mg/kg de P basicamente em todos os tipos de solo e que não estão disponíveis para as plantas, por possuírem baixa solubilidade, sobretudo em sua forma catiônica. A baixa disponibilidade de P no solo pode limitar o crescimento de microrganismos e plantas, e até mesmo afetar a evolução dos ecossistemas (CUI et al., 2019; 2021)

O P é um elemento pouco móvel na maioria dos solos, permanecendo geralmente onde é posto, seja por intemperismo dos minerais ou adubação. Em solos compactados, a absorção do P pode ficar comprometida, já que dificulta o desenvolvimento e absorção das raízes, devido à resistência mecânica do solo. A maior interação entre os compostos de P ocorrem na rizosfera, que compõe a região do solo influenciada pelas raízes com alta atividade microbiana (RAZAVI, 2019).

O método de classificação mais comum que leva em consideração tanto o fósforo orgânico quanto o inorgânico é o proposto por Hedley et al. (1982).

O P do solo pode ser encontrado em formas inorgânicas e orgânicas, que participam em diferentes proporções para o P disponível. A solução do solo possui as formas aniônicas do P sendo, H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} , variando a forma química em relação ao pH. Em regiões tropicais em que prevalecem os solos ácidos, o P da solução ocorre principalmente na forma H_2PO_4^- (HAVLIN et al., 2005), sendo esta a principal forma de absorção das plantas. O P inorgânico representa o íon fosfato na solução do solo (P-solução), todas as formas precipitadas com Al^{3+} , Fe^{2+} e Ca^{2+} e adsorvidas aos oxi-hidróxidos de Fe e de Al da fração argila e, ainda, as formas estruturais dos minerais fosfatados (GATIBONI et al., 2013). O P orgânico é proveniente dos resíduos vegetais, e se trata do P ligado aos compostos orgânicos (VAN RAIJ, 1991).

As plantas absorvem o P da solução do solo, e enquanto as raízes das plantas absorvem esse fósforo, acontece a reposição a partir do P em formas sólidas que está em equilíbrio com P da fase líquida, o chamado “P lábil”. Um dos fatores limitantes à produção é o fato da quantidade de P na solução ser muito baixo (NOVAIS et al., 2007).

A maior fonte global de P nos ecossistemas naturais, não vem da atividade microbiana. Quase todo P obtido é decorrente do intemperismo de minerais, sendo as apatitas, os minerais primários mais comuns (FROSSARD et al., 1995).

A partir das rochas fosfáticas são obtidos os adubos fosfatados. As rochas passam por um beneficiamento, oferecendo alta quantidade de P solúvel, prontamente disponíveis às plantas (VAN RAIJ et al., 2001). É importante frisar que cada vez mais cresce a demanda de fertilizantes, conseqüentemente a exploração das rochas, sendo estes recursos não renováveis.

O Brasil é o sexto maior produtor mundial de concentrado de rocha fosfática, que é oriundo do ataque com ácido sulfúrico nas rochas fosfáticas, e que dá origem no processo de produção dos fertilizantes.

A atividade agrícola é a responsável pelo consumo de 90% de todo P extraído. Com o crescimento da população e conseqüente aumento da produção de alimentos, há uma estimativa de que a demanda de P duplique no mundo, em 2050, assim, prevê-se também o aumento na produção de fertilizantes fosfatados, o que reflete no esgotamento das reservas fosfáticas próximos 100 anos (CORDELL e WHITE, 2011). Segundo Van Vuuren et al., (2010), o esgotamento das jazidas de rocha fosfática é fato, porém, não há informações concretas desse prazo, pois os dados e estimativas existentes são imprecisos. Diante do cenário atual das jazidas, tem-se estudado sobre a recuperação do P em diversos países, a fim de obtenção de respostas para a melhoria na produção mundial, tentando minimizar os efeitos e danos causados ao ambiente.

É imprescindível que haja uma conscientização da sociedade acerca da importância dos nutrientes, a fim de que, gerações futuras também possam desfrutar dos recursos provenientes do solo, com saúde, qualidade e preservação do ambiente.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área

A área experimental do presente trabalho está instalada no sítio Providência, localizado no município de Poços de Caldas-MG ($21^{\circ}46'19''S$ $46^{\circ}27'9''W$).

Figura 1- Divisão dos Estados do Brasil



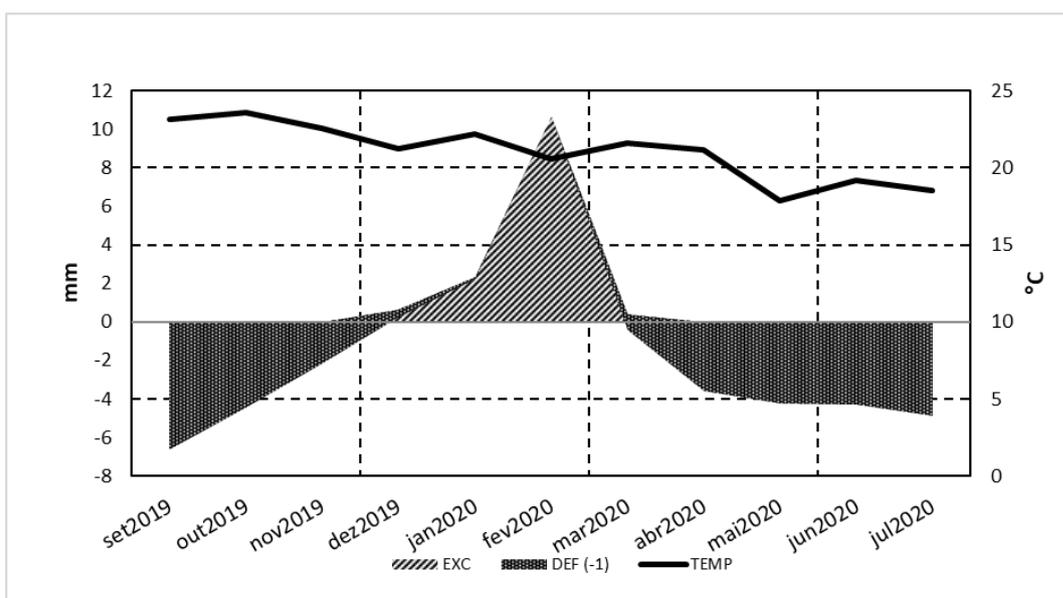
Fonte: Autoria própria (Software Qgis)

Figura 2- Município Poços de Caldas



Fonte: Autoria própria (Software Qgis)

Figura 3 – Médias pluviométrica e de temperatura durante a época de estudo



Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwb, constituindo-se de inverno seco e verão brando. O clima possui duas estações distintas com verão chuvoso, de outubro a março, com precipitação total de 1.430 mm e inverno seco, abrangendo os meses de abril a setembro, caracterizado por baixos índices pluviométricos, com 315 mm de totais de chuvas no período (SÁ, 2009).

De acordo com Moraes e Jiménez-Rueda (2008), a área de estudo está inserida em uma zona denominada planalto médio, onde predominam solos classificados como cambissolos regolíticos cascalhentos, com textura argilosa, sendo solos de formação recentes, neste caso de boa fertilidade natural, porém, com restrições ao uso devido a declividade e a presença de material rochoso superficial.

4.2 Delineamento experimental

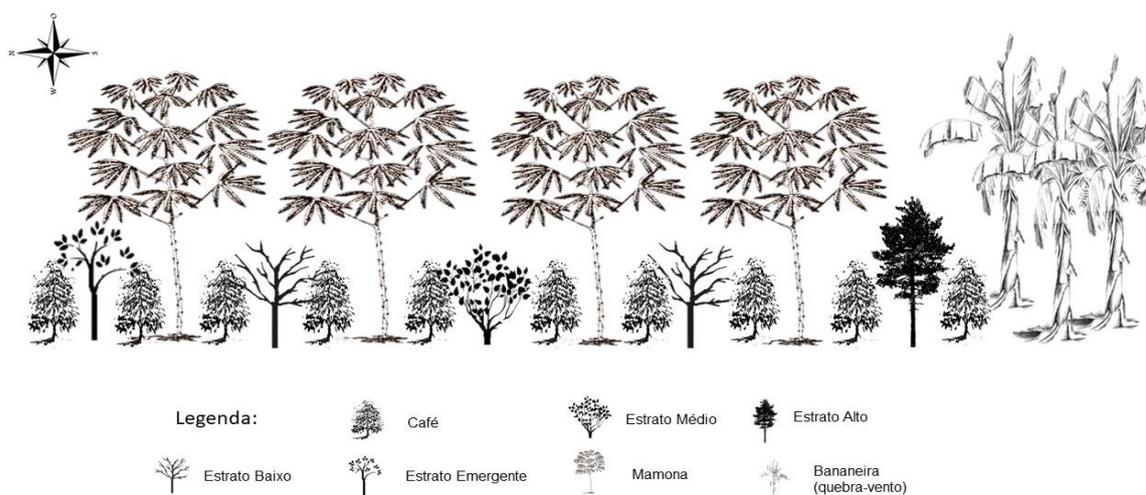
O talhão do experimento é composto por 800 indivíduos de *Coffea arabica*, variedade Bourbon, em arranjo 2,6 x 1,3 metros, consorciado com espécies arbóreas plantadas no verão de 2016, nas entrelinhas do cafeeiro, compondo um arranjo de uma agrofloresta multiestratificada (Figura 4). A área do experimento totaliza 3.000 m².

Figura 4- Imagens da área de experimento



Fonte: Autoria própria.

Figura 5 – Perfil transversal do agroecossistema



Fonte: Autoria própria

As coletas de solo foram realizadas em três períodos distintos, para se avaliar o compartimento das espécies nos períodos seco e chuvoso. A primeira foi realizada em Setembro de 2019, a segunda em Fevereiro de 2020 e a terceira em Julho de 2020, completando assim o ciclo de um ano. As amostras de solo foram coletadas sob a projeção das copas das árvores, em uma distância determinada a partir do tronco de cada árvore até a metade da medida da projeção da copa na linha de plantio, e em solos adjacentes às árvores, em locais sem a interferência da ação das copas e raízes dos indivíduos arbóreos.

Foram amostrados um total de 25 pontos, com o auxílio do trado canaleta, em três profundidades: 0-5, 5-20 e 20-40 cm. As espécies arbóreas foram selecionadas com base na maior frequência das mesmas na área do experimento, sendo estas: *Cyatharexylum myrianthum* (pau viola), *Inga edulis* (ingá), *Myrcarpus frondosus* (cabreúva) e *Ricinus communis* (mamona) e para cada espécie foram amostrados cinco indivíduos, obtendo-se cinco repetições. Os demais pontos, classificados como testemunha, foram alocados fora da influência das copas das árvores. As amostras de terra foram retiradas e transferidas para um saco plástico, e então levadas para análise em laboratório (IAPAR, 1996). Para a realização das análises, as amostras de solos foram secas ao ar, moídas e passadas por peneiras de malha de dois milímetros.

Todas as árvores que tiveram amostras coletadas foram mensurados os diâmetros com auxílio de um paquímetro.

As análises e o processamento do material coletados foram realizados nos laboratórios de Química e de Água e Solos da Universidade Júlio de Mesquita Filho (UNESP).

4.3 Extração com solução de Mehlich 1

Para a extração do fósforo (P), foi utilizada a solução extratora de Mehlich 1, conhecida como solução duplo-ácida ou de Carolina do Norte, a qual é constituída por HCl 0,05M + H_2SO_4 0,0125M. O emprego dessa solução como extratora de fósforo (P) do solo baseia-se na solubilização desses elementos a partir de pH entre 2 e 3, tendo o Cl^- , o papel de restringir o processo de readsorção dos fosfatos recém-extraídos.

Para RAIJ et al. (1984), o método Mehlich 1 é um todos métodos ácidos de extração de P com grande vantagem para uso no dia a dia, pois permite obter extratos de fácil decantação, sem que seja necessário a filtragem de suspensões de solo.

A extração foi realizada colocando-se 10cm^3 de solo em erlenmeyers de 125 ml, depois adicionados 100 ml de solução extratora duplo-ácida (HCl 0,05M + H_2SO_4 0,0125M), seguindo a proporção (relação solo: solução de 1:10), descrito por Tedesco et al. (1995). Foram agitados durante cinco minutos em uma mesa agitadora horizontal Quimis, modelo Q225M e então deixados por 16 horas para decantar. Para a pesagem foi utilizada a balança analítica Shimadzu modelo AW 220.

Figura 6: Materiais utilizados nos laboratórios e preparo das soluções.



Fonte: Autoria própria

4.3.1 Determinação do Fósforo Disponível

O fósforo extraído foi determinado espectroscopicamente através da leitura da intensidade de cor do complexo fosfomolibdico produzido pela redução do molibdato com o ácido ascórbico. A cor da solução aumenta com a concentração de P extraído (TEDESCO et al., 1995). A forma de P determinada por essa técnica é o ortofosfato.

Após a decantação, retirou-se uma alíquota do extrato para a determinação da concentração de P. Depois foi realizada a leitura da densidade ótica no Espectrofotômetro Hach Dr3900, usando filtro vermelho.

Figura 7: Espectrofotômetro Hach Dr3900



Fonte: Autoria própria

Figura 8: Tubos de ensaio com a solução para a determinação e P



Fonte: Autoria própria

Figura 9: Sequência de processos para obtenção do teor de P.



Fonte: Autoria própria

4.3.2 Determinação da Matéria Orgânica (MO)

A fim de obtenção de análises mais completas em relação ao teor de P nas camadas do solo, foi feita a quantificação do teor de matéria orgânica, através do método da mufla (GOLDIN, 1987).

Primeiramente, foi reservada uma porção das amostras de solo coletadas inicialmente, as mesmas foram secas em estufa a 105°C, durante 24 horas, com o intuito de excluir toda a

água presente. Em seguida, foi realizada a pesagem dos cadinhos de cerâmica vazios, os mesmos foram levados por 1 hora ao forno tipo mufla e em seguida levados ao dessecador. Com uma pinça foram retirados e acrescentou-se as amostras de solos para pesagem na balança. Os cadinhos foram levados novamente para a mufla, agora com as amostras de solo, e dessa vez ficaram durante 3 horas a uma temperatura de 500°C. Após esse período, os cadinhos foram novamente pesados para então obtermos a porcentagem de MO obtida nas amostras de solo de cada camada de solo coletado.

O teor de MO foi obtido então, em função da perda de massa do resíduo incinerado, ou seja, da destruição total da MO presente na amostra, permanecendo nas mesma apenas os minerais.

Figura 10: Cadinhos de porcelana no forno de mufla.



Fonte: Autoria própria

Figura 11: Forno de mufla.



Fonte: Autoria própria

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Fósforo

Foram obtidos resultados em relação ao teor de fósforo no solo em três momentos distintos. A primeira coleta de solo foi realizada no mês de Setembro de 2019, compreendendo o período seca intensa na região, a segunda coleta foi realizada em Fevereiro

de 2020, abrangendo o período das chuvas e a terceira foi realizada em Julho de 2020, completando as estações do ano.

Tabela 1 – Teor de P nos períodos de coleta das amostras por profundidade do solo

Período	set/19		fev/20		jul/20	
	Fósforo (P)	mgkg-1	dp	mgkg-1	dp	mgkg-1
M1	12,98	2,28	10,51	0,83	19,76	1,83
M2	4,48	1,56	4,88	0,31	3,76	2,20
M3	0,55	0,46	0,85	0,33	0,97	0,04
C1	37,79	2,40	31,52	6,81	44,68	0,04
C2	15,07	4,09	13,15	1,03	8,93	1,19
C3	1,99	0,25	2,45	1,09	1,22	0,80
I1	26,47	3,79	36,35	2,56	32,63	2,54
I2	9,69	2,63	20,85	1,72	7,99	0,30
I3	1,50	0,42	2,13	0,13	1,82	0,11
PV1	32,77	1,11	30,18	2,89	27,03	4,27
PV2	13,35	3,36	15,77	0,67	10,70	0,91
PV3	3,25	0,05	6,07	0,87	1,97	0,10
T1	25,57	0,79	9,18	1,04	9,27	0,08
T2	7,79	2,47	3,40	0,14	2,64	0,21
T3	1,00	0,32	0,99	0,39	0,65	0,35

M1 Solo mamona profundidade 0-5cm; M2 Solo mamona profundidade 5-20cm; M3 Solo mamona profundidade 20-40 cm;

C1 Solo cabreúva profundidade 0-5cm; C2 Solo cabreúva profundidade 5-20cm; C3 Solo cabreúva profundidade 20-40 cm;

I1 Solo ingá profundidade 0-5cm; I2 Solo ingá profundidade 5-20cm; I3 Solo ingá profundidade 20-40 cm;

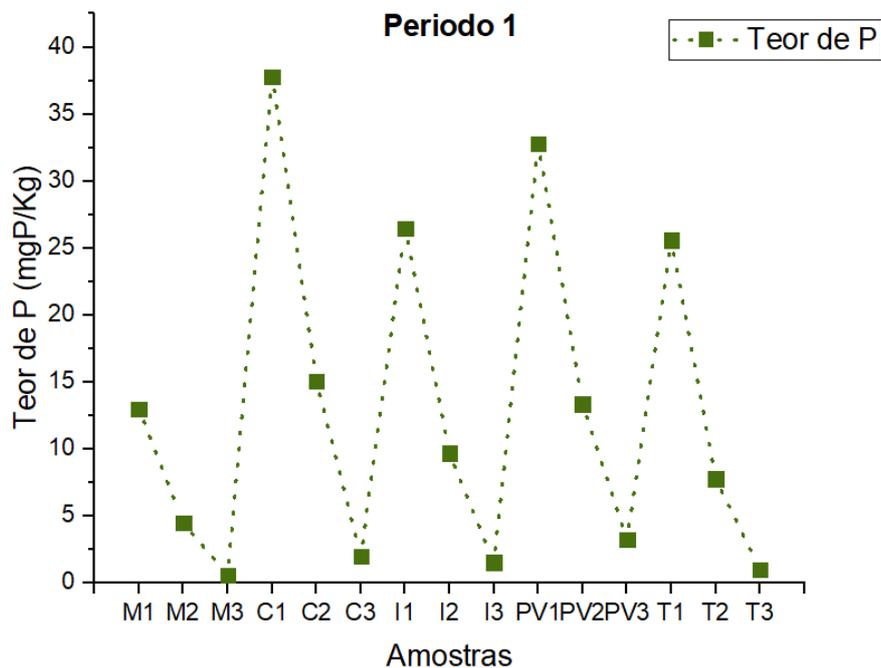
PV1 Solo pau viola profundidade 0-5cm; PV2 Solo pau viola profundidade 5-20cm; PV3 Solo pau viola profundidade 20-40 cm;

T1 Solo testemunha profundidade 0-5cm; T2 Solo testemunha profundidade 5-20cm; T3 Solo testemunha profundidade 20-40 cm.

Fonte: Autoria própria

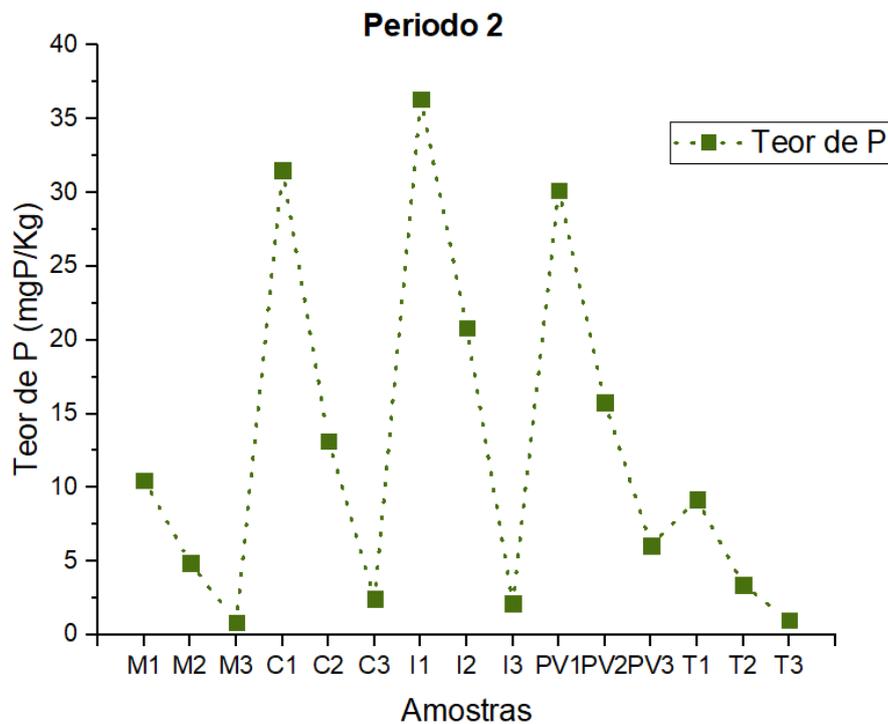
As Figura (12, 13 e 14) mostram o teor de fósforo nos três períodos de coleta em três profundidades do solo: 0 a 5 cm, 5 a 20 cm e 20 a 40 cm. Pode-se observar que os tratamentos com mamona e cabreúva tiveram um comportamento similar ao longo do tempo, ambas apresentaram um padrão semelhante para os meses de Setembro/19 e Fevereiro/20, não possuindo muita alteração nos teores de P entre si, porém, na coleta de Julho/20, período com elevado déficit hídrico no ano estudado, apresentaram um aumento significativo de P na camada mais superficial, sugerindo um acúmulo de nutrientes nas primeiras camadas, podendo ser explicado pelo déficit de chuvas, dificultando a penetração do P nas camadas mais profundas, apresentando quantidades mais baixas nas camadas em questão para essas espécies.

Figura 12 – Teor de P por profundidade no período 1 (Setembro /2019)



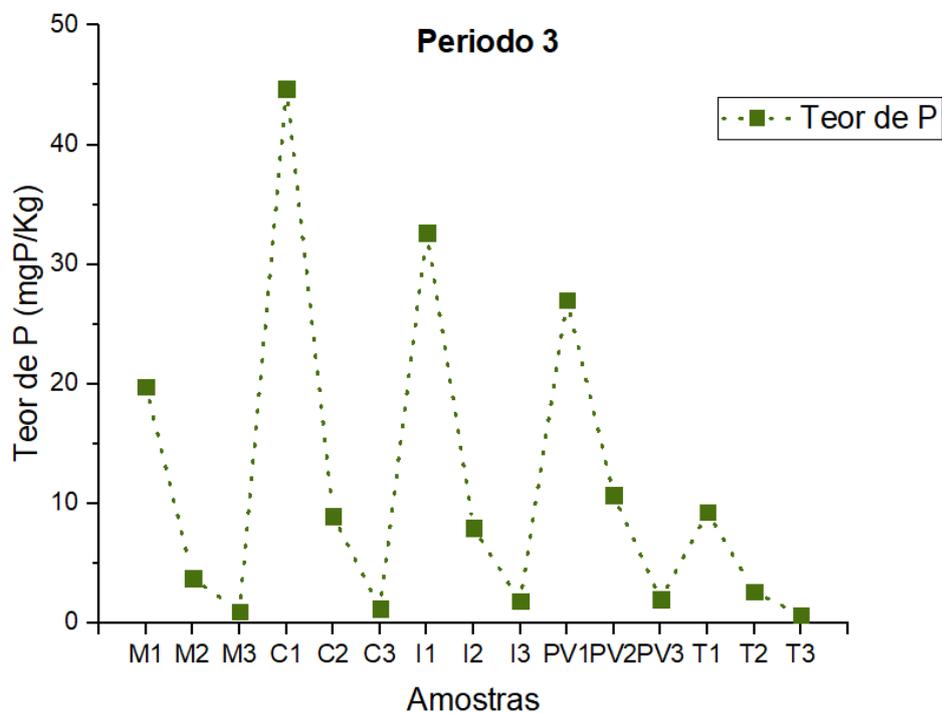
Fonte: Autoria própria

Figura 13 – Teor de P por profundidade no período 2 (Fevereiro/2020)



Fonte: Autoria própria

Figura 14 – Teor de P por profundidade no período 3 (Julho/2020).



Fonte: Autoria própria

O tratamento testemunha manteve seus valores semelhantes nos meses de Fevereiro e Julho de 2020 nas primeiras camadas, porém, apresentou uma redução significativa em sua camada mais profunda (20-40 cm), com uma diminuição de 35% em relação aos períodos anteriores. Apesar do mês de Setembro de 2019 ter apresentado o maior déficit hídrico apresentado na Figura 3, vale ressaltar que o período da coleta das amostras no respectivo mês foi realizado em uma época de consecutivos dias chuvosos, enquanto a coleta do mês de Julho de 2020 foi realizado no período de maior seca do mês, de maneira que tenham interferido nos resultados obtidos.

Iwata et. al., (2012) estudando os atributos químicos do solo em sistemas agroflorestais comprovaram maior estabilidade da qualidade do solo com o incremento de nutrientes sob influência da sazonalidade, além de constatarem que através da diversidade de seus sistemas radiculares, houve maior disposição e eficiência na ciclagem dos nutrientes ao longo do perfil do solo.

O tratamento T teve uma redução brusca comparando-se os dois primeiros períodos, com a diminuição de 36% de P no período de maiores chuvas, sugerindo que por ser um tratamento sem a influência de indivíduos arbóreos, possa ter perdido nutrientes, sendo

lixiviados pela ação das chuvas. Apesar da pouca mobilidade no solo, o P da solução do solo pode, embora, dificilmente, ser lixiado por chuvas muito intensas. Estas chuvas podem ocasionar também erosão laminar de solo, que é a maior causa de perda de P do solo (MILLS e JONES, 1997). As árvores minimizam a lixiviação (CLARKE e MACRAE, 1985) pela presença de suas raízes, que ocupam grande volume de solo, retendo e absorvendo o P da solução do solo que poderia ser perdido (JORADN, 1985; PRITCHETT e FISCHER, 1985). A maior presença de folhas das árvores no sistema sombreado, pode ter interferido na perda de P por erosão laminar, pois servem como obstáculo físico, reduzindo o escoamento superficial e aumentando a infiltração (THEODORO, 2001).

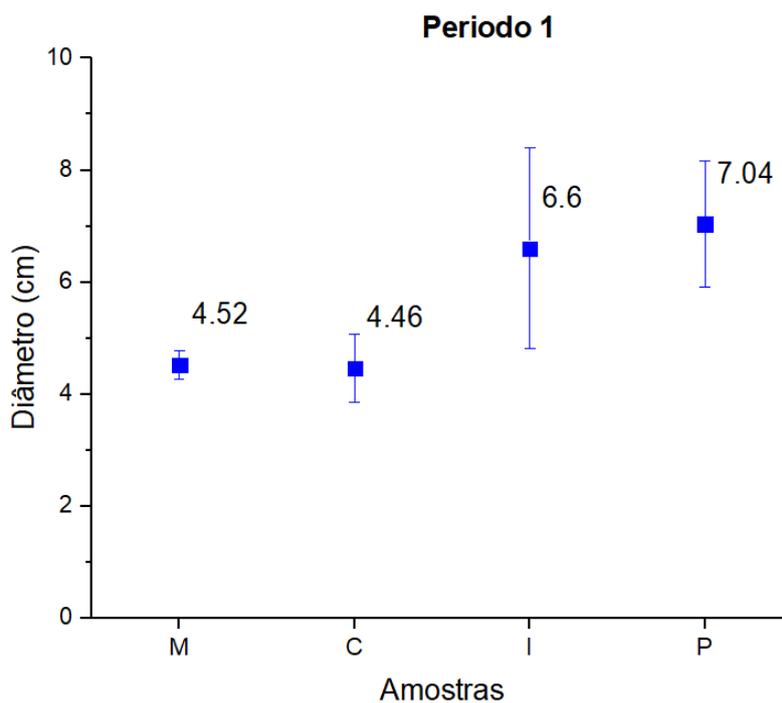
Segundo Beer et al., (1998), as espécies de sombreamento têm como finalidade a contenção da erosão, devido à serapilheira e os resíduos de poda que mantêm uma camada de cobertura do solo durante a estação chuvosa, tornando a decomposição da serapilheira que ocorre lentamente, uma vantagem.

O pau viola apresentou diferença na última camada do solo nos três períodos coletados, sendo Fevereiro, o período com maior teor de P nas camadas mais profundas com 6,07 mg kg⁻¹, representando o mês de maior índice de chuva do ano estudado, e o mês de Julho representando o de maior seca, apresentou os menores teores de P na profundidade 20-40 cm, com 1,97 mgkg⁻¹. Mesmo com a redução de P no período seco, o pau viola foi a espécie com os maiores valores encontrados nas camadas mais profundas comparado com os demais tratamentos. Fato que devemos levar em consideração, é que dentre as espécies do estudo, o pau viola foi o que apresentou maior diâmetro médio nas aferições feitas em campo Figuras (15, 16 e 17), o que possivelmente acarrete em árvores com desenvolvimento radicular mais estabelecido, influenciando de forma direta na disponibilidade de nutrientes nas camadas mais profundas do solo.

Borden et. al., (2016) considera que o sistema radicular dos elementos arbóreos no alcance do nutrientes varia de acordo com a espécie, sendo de grande importância na escolha da composição do SAF.

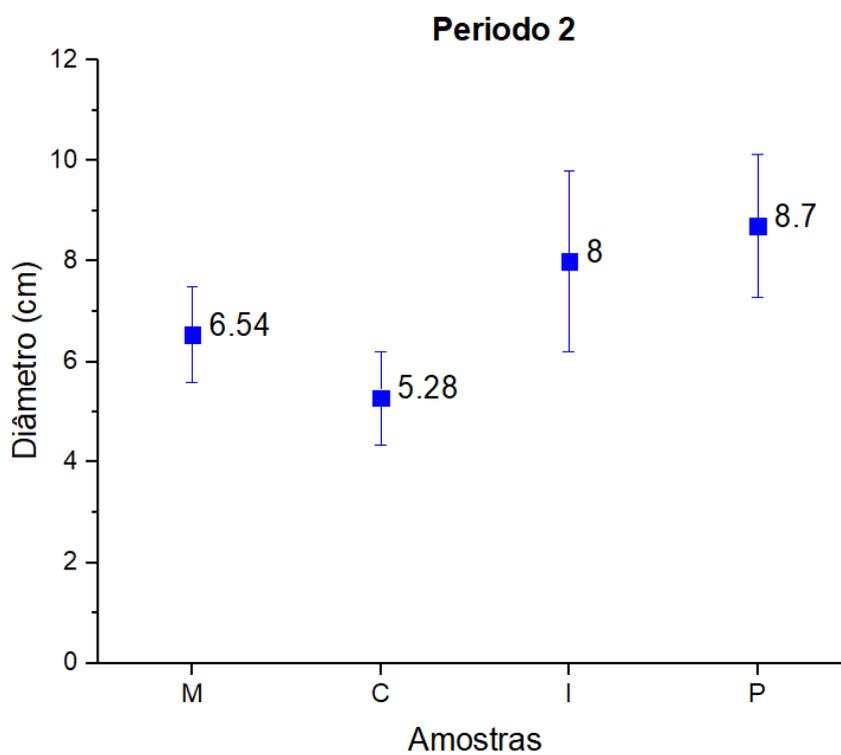
No presente estudo, há uma diversidade de espécies, e com isso uma variedade de sistemas radiculares, e quando temos elementos arbóreos consorciados com culturas agrícolas, tem-se uma maior ocupação das camadas do solo, possibilitando um maior aproveitamento dos nutrientes com o aumento da ciclagem e armazenamento da MO do solo (JUNIOR, et. al., 2021). Alves et. al., (2011); Cardoso et. at., (2017) também relacionam a diversidade de espécies de SAF's com o aumento da biomassa e atributos químicos dos solos.

Figura 15 – Relação de diâmetro por espécie no período 1 (Setembro /2019)



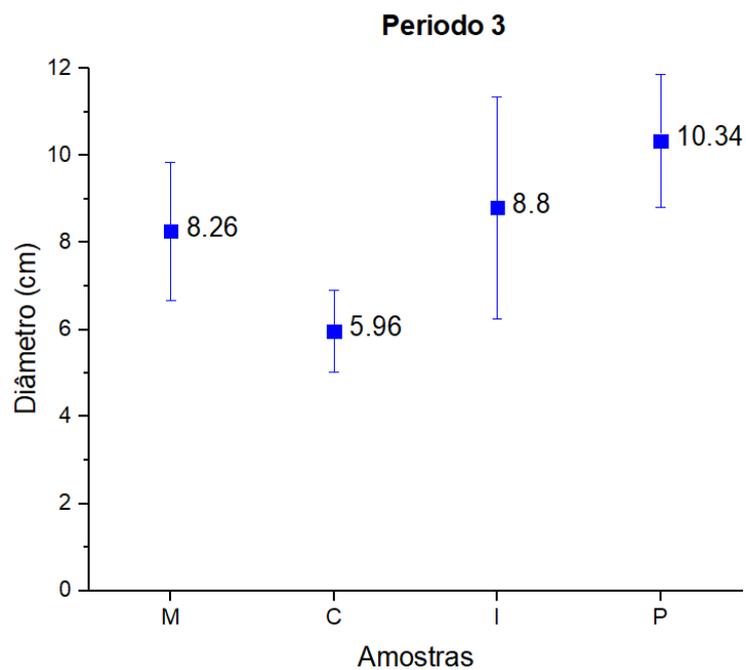
Fonte: Autoria própria

Figura 16 – Relação de diâmetro por espécie no período 2 (Fevereiro/2020)



Fonte: Autoria própria

Figura 17 – Relação de diâmetro por espécie no período 3 (Julho/2020).



Fonte: Autoria própria

Os tratamentos mamona e testemunha apresentaram teores semelhantes de P em todas as camadas. A cabreúva foi a espécie que apresentou a maior quantidade de P na camada de 0-5 cm , com 38 mgkg^{-1} , sendo considerado um padrão alto sugerido por Matiello et al., (2015), considerando a classificação do solos para o plantio de café no Brasil.

Tabela 2– Teor de P de cada tratamento ao longo do perfil do solo

Tratamento	P (mgkg⁻¹)	dp
M1	14,41	4,79
M2	4,37	0,57
M3	0,79	0,22
C1	38,00	6,58
C2	12,38	3,14
C3	1,89	0,62
I1	31,82	4,99
I2	12,84	6,99
I3	1,82	0,32
PV1	29,99	2,88
PV2	13,27	2,54
PV3	3,76	2,10
T1	14,68	9,44
T2	4,61	2,78
T3	0,88	0,20

Fonte: Autoria própria

Em seguida, os tratamentos que tiveram as maiores concentrações de P na camada superficial foram ingá e pau viola, com 31,82 mgkg⁻¹ e 29,99 mgkg⁻¹ respectivamente. Além disso, o pau viola foi a espécie que apresentou a maior quantidade de P na profundidade de 20-40cm de solo, além disso, com excessão da mamona, os demais tratamentos com elemento arbóreo também tiveram resultados melhores em relação às camadas mais profundas quando comparados à testemunha, podendo ser relacionado à presença das raízes capazes de penetrar no solo, contribuindo para aeração e ciclagem de nutrientes.

De acordo com a classificação sugerida por Matiello et al., (2015), na camada de 0 a 5 cm os tratamentos cabreúva, ingá e pau viola tiveram uma concentração de P considerada alta, já para os tratamentos com mamona e testemunha foram classificados como teores médios. A camada 5 a 20 cm teve um comportamento semelhante, com teores médios para os tratamentos C, I e PV e baixos para M e T. Em relação à camada de 20 a 40 cm os teores de todos os tratamentos foram considerados baixos, sendo o M e o T com valores próximos entre eles, e os menores valores comparados com os demais tratamentos.

Esses resultados conferem com os obtidos por Lopes, 1998; Falleiro et. al., (2003), que relatam o aumento da concentração de P em SAFs, principalmente nas camadas mais

superficiais, já que nos solos sob esse manejo, não há revolvimento do mesmo, além disso, os sistemas radiculares das árvores colaboram para a presença do nutriente em profundidade, mesmo sendo de pouca mobilidade no solo.

Através do teste de variância (ANOVA), pode-se dizer que houve diferença significativa ($p < 0,05$) nos teores de fósforo obtido em relação às diferentes profundidades, mostrando uma tendência de diminuição do P nas camadas mais profundas. Observa-se que para todos os tratamentos, a camada de 0 a 5 cm foi a que apresentou os maiores teores de P. Oliveira (2006), em seu trabalho com os seguintes tratamentos de gliricídia e cumaru; monocultivo de café; monocultivo de pupunha e mata nativa, observou maiores teores de P nas camadas mais superficiais, de profundidade de 0 a 5 cm para todos os tratamentos, encontrando maior atividade biológica nos primeiros centímetros do solo. Fernandes et al. (1997) encontraram maior quantidade de P nas camadas superficiais do solo, relacionados com maior concentração de matéria orgânica. Ao estudar o fracionamento de P em sistemas agroflorestais, Nogueira et al. (2008) constataram que a presença de matéria orgânica nos sistemas agroflorestais proporcionam uma maior concentração de P no solo, além disso, favorecem a ciclagem desse nutriente através do reservatório de fósforo orgânico no solo.

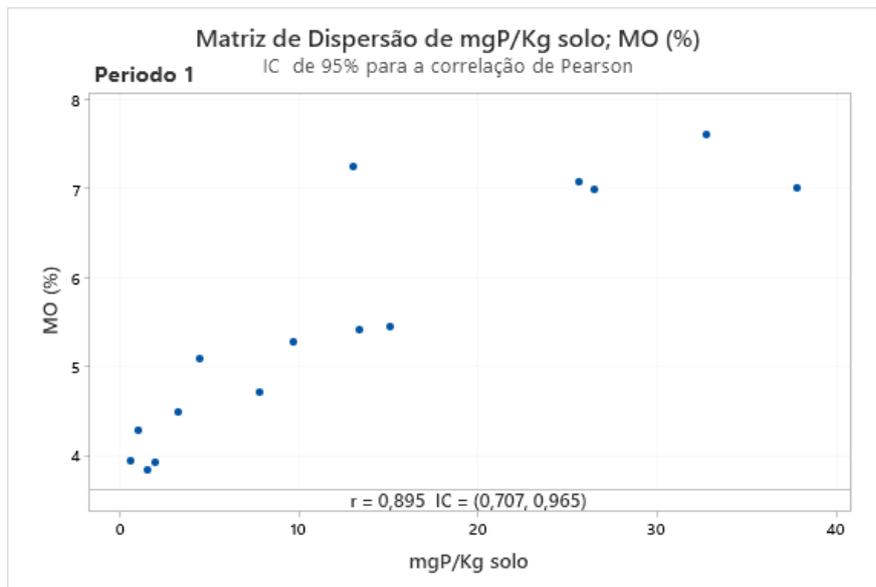
5.2 Matéria Orgânica (MO)

Através da correlação de Pearson entre fósforo e matéria orgânica, constatou-se uma correlação forte no primeiro e segundo períodos de coleta, com $r = 0,895$ e $r = 0,777$ respectivamente, portanto nas camadas mais superficiais do solo para os períodos 1 e 2 observa-se maior quantidade de MO, contribuindo de maneira direta para o aumento de P disponível, bem como nas camadas mais profundas (Figuras 18 e 19).

Já no período 3 de coleta, tivemos uma correlação fraca entre as variáveis, com $r = 0,275$ (Figura 20).

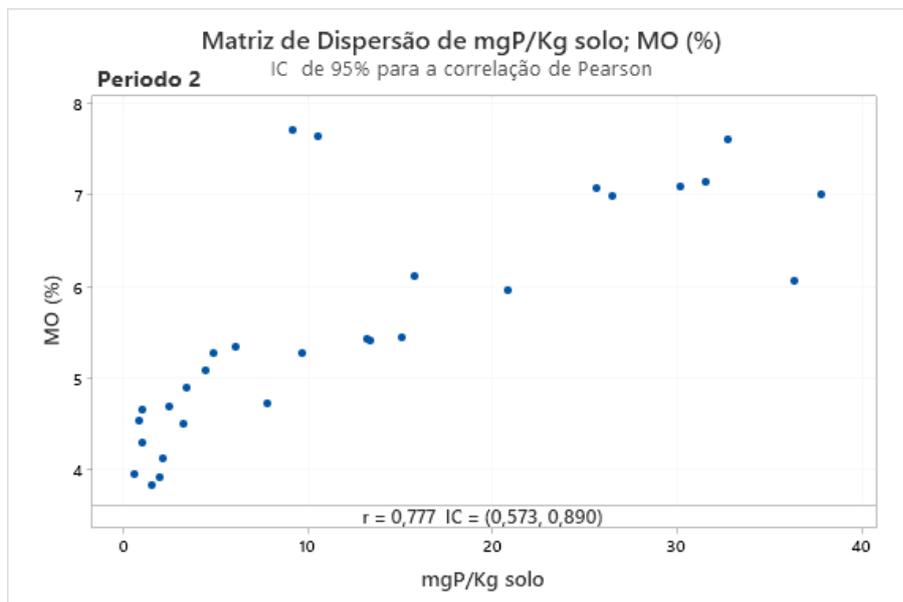
A relação direta da quantidade de matéria orgânica e disponibilidade de fósforo já é um fato bem conhecido e explorado pela pesquisa, assim como, a diminuição de ambos em camadas mais profundas do solo. Pode-se observar esse padrão em todas as espécies e na testemunha, sendo que, possivelmente o único valor em que houve certa incoerência foi a amostragem de 0-5 cm da testemunha, apresentando alto teor de fósforo e matéria orgânica, sugerindo uma maior concentração de resíduos orgânico, seja pela adubação orgânica do talhão ou decomposição de matéria vegetal proveniente da roçada.

Figura 18– Correlação Pearson P_xMO para o período 1



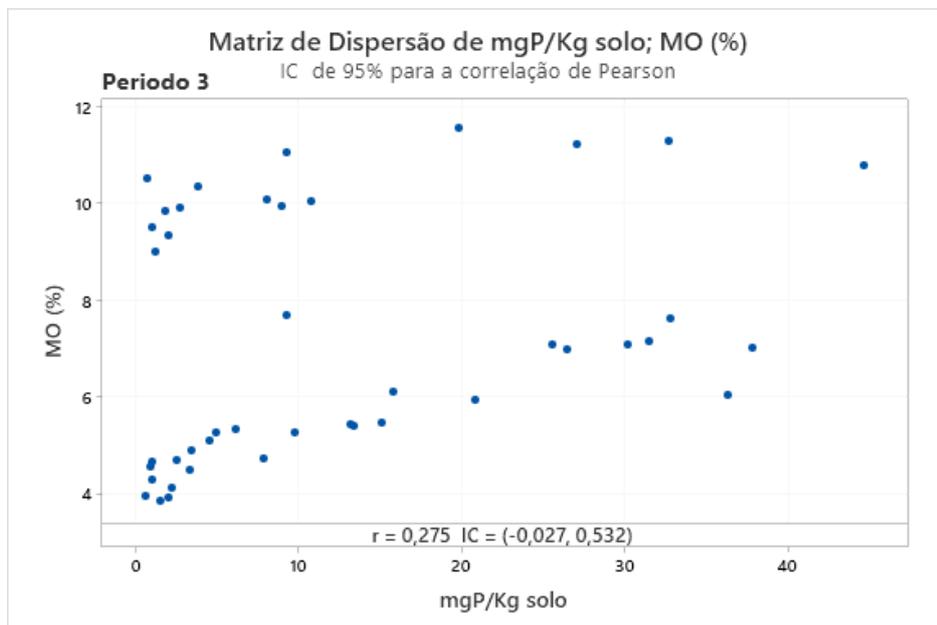
Resultado: Correlação forte

Figura 19– Correlação Pearson P_xMO para o período 2



Resultado: Correlação forte

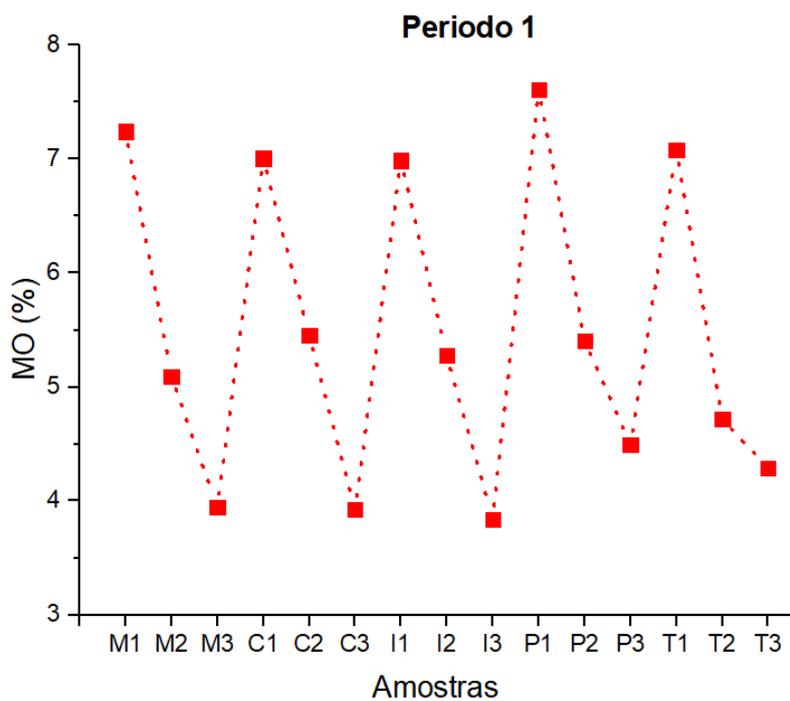
Figura 20– Correlação Pearson PxmO para o período 3



Resultado: Correlação fraca

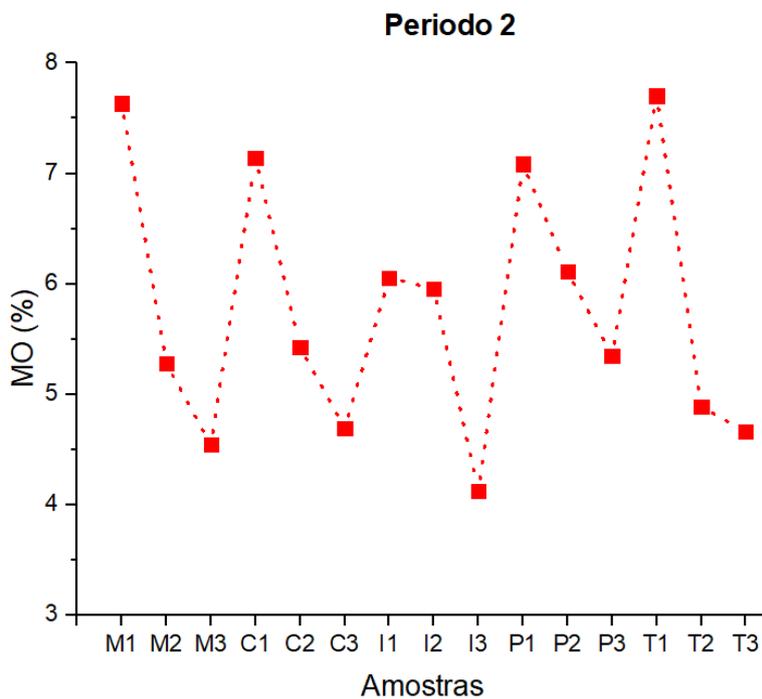
As Figuras (21,22 e 23) apresentam os resultados obtidos do teor de MO nos diferentes períodos de coleta e nas três diferentes profundidades de solo.

Figura 21 – Teor de MO por profundidade no período 1 (Setembro /2019)



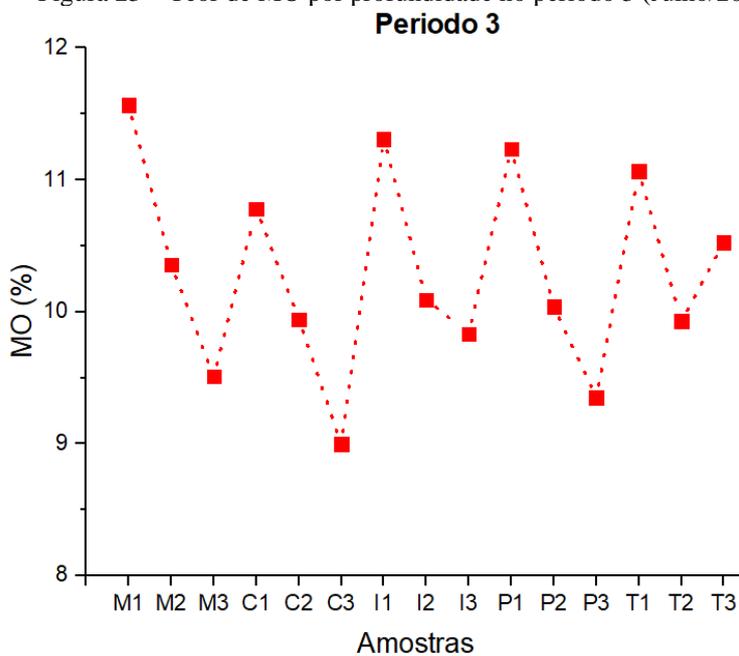
Fonte: Autoria própria

Figura 22 – Teor de MO por profundidade no período 2 (Fevereiro/2020)



Fonte: Autoria própria

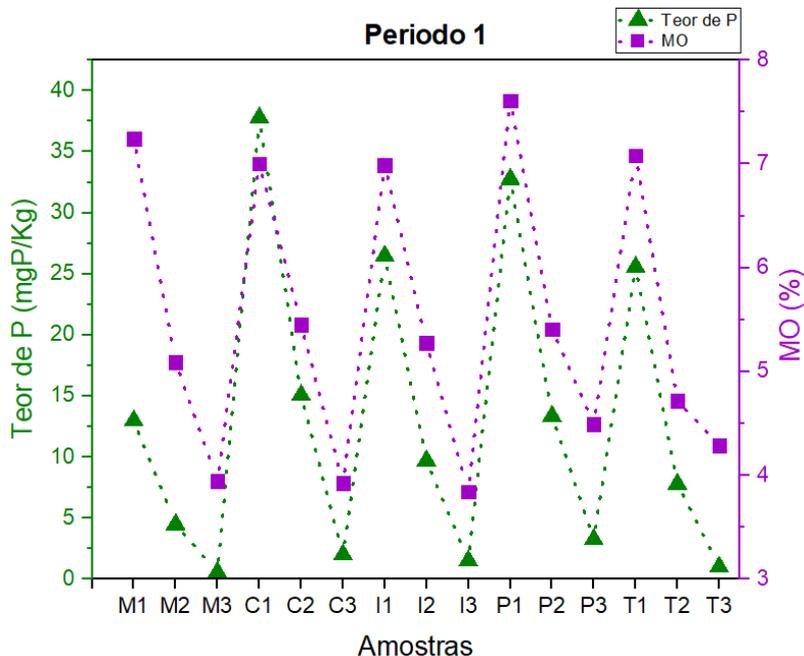
Figura 23 – Teor de MO por profundidade no período 3 (Julho/2020).



Fonte: Autoria própria

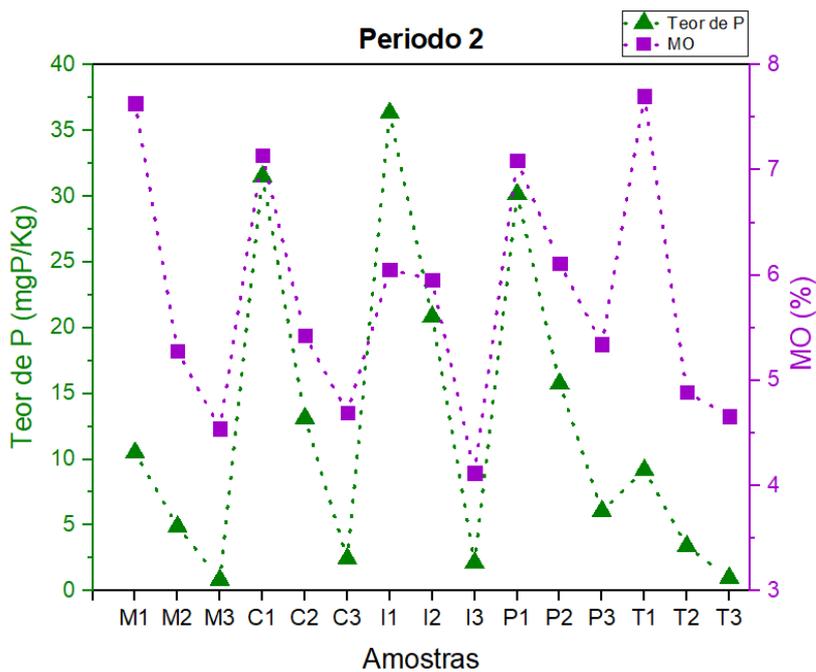
Nogueira et al., (2008) comprovaram a relação direta dos teores de P encontrados em solos agroflorestais com a aumento da matéria orgânica decorrente dos indivíduos arbóreos. Chiodini et. al., (2013) em seu trabalho consideram a possibilidade da presença da matéria orgânica ter aumentado a disponibilidade de nutrientes para o sistema.

Figura 24 – Relação de MO x P no período 1 (Setembro /2019)



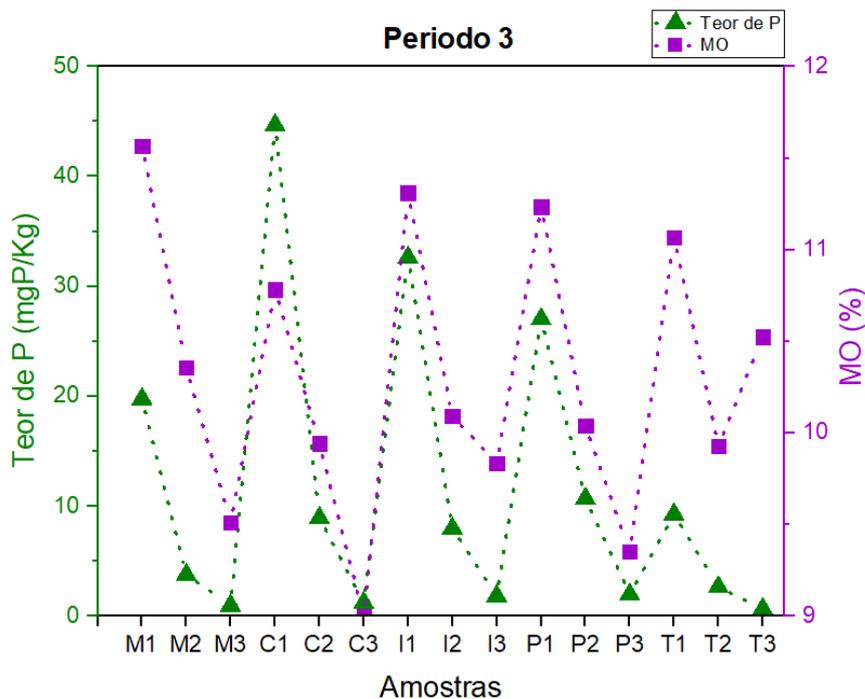
Fonte: Autoria própria

Figura 25 – Relação de MO x P no período 2 (Fevereiro/2020)



Fonte: Autoria própria

Figura 26 – Relação de MO x P no período 3 (Julho/2020).



Fonte: Autoria própria

A MO contribui para a melhora da estrutura do solo, já que possui densidade menor que a matéria mineral do solo, conseqüentemente possibilita o aumento de macroporos que por sua vez permitem um ambiente adequado para o desenvolvimento das raízes que atuam na disponibilidade de nutrientes às plantas. Assim, Shumacher et. al., (2004) constataram a presença de altos teores de matéria orgânica nas camadas mais superiores, em solos florestais, oriunda da presença dos indivíduos arbóreos.

Iwata et al., (2012) relataram o aumento da quantidade de matéria orgânica em sistema agrofloretais, gerando benefícios para o sistema como um todo.

6 CONCLUSÕES

A presente pesquisa buscou contribuir com o aporte de dados sobre o aumento fertilidade do solo em sistemas agroflorestais e a influência pontual de determinadas espécies arbóreas, principalmente sobre a quantidade do macronutriente fósforo e matéria orgânica no solo. A importância, além dos valores obtidos, servindo como base para futuras pesquisas, está na discussão da temática de construção de sistemas produtivos mais sustentáveis.

O uso e pesquisa de tecnologias produtivas de base ecológica, como os sistemas agroflorestais, é uma demanda cada vez maior da sociedade e cabe a ciência contribuir para o desenvolvimento destes conhecimentos. Este ensaio conta com a dificuldade metodológica de estudar uma área de produção em propriedade produtiva, não centro de pesquisa, portanto, com a influência de fatores externos e em sistema diversificado, não homogêneo. Entretanto, foi possível obter dados de boa significância estatística e indicativos da influência isolada de cada espécie nos atributos quantificados.

A disponibilidade de fósforo apresentou um padrão para todos os tratamentos ao longo do perfil do solo, encontrando-se os maiores teores do nutriente nas camadas mais superficiais, tendo uma redução gradativa em profundidade. O pau viola foi a espécie que apresentou resultados mais expressivos em relação à sazonalidade, principalmente na camada mais profunda, com uma maior concentração no período chuvoso. Os tratamentos com sombreamento das espécies cabreúva, ingá e pau viola mostraram um aumento considerável na concentração de P no solo quando comparados com a mamona e o tratamento sem influência de componente arbóreo, corroborando a importância da presença e diversidade dos sistemas radiculares

A matéria orgânica teve uma forte correlação com os teores de P para os meses de Setembro/2019 e Fevereiro/2020, contribuindo para o aporte e ciclagem de nutrientes.

De maneira geral as espécies comportaram de maneira semelhantes, tendo algumas particularidades descritas nos resultados e discussão. Portanto, dificulta-se fazer a recomendação do uso de uma determinada espécie e, de fato, para construção de sistemas agroflorestais, outros fatores devem ser levados em consideração como o porte da árvore, demanda hídrica, associação com micro-organismos benéficos do solo e com a meso e macro fauna.

Especificamente sobre o aumento da fertilidade do solo além do potencial de acúmulo de matéria orgânica e solubilização de fósforo pode ser considerado: o poder de

descompactação do solo, profundidade das raízes, associação do bactérias fixadores de nitrogênio, composição de nutricional e relação C/N (Carbono e Nitrogênio) da serrapilheira. Estes fatores são destacados como possíveis variáveis a serem quantificadas em futuras pesquisas nesta temática, sendo que, em sistema de cultivos perenes e de ciclo longo é interessante que haja um programa de pesquisa de longo prazo avaliando a influência e diferentes fases de crescimentos e intempéries climáticas. Almeja-se ter contribuído com a produção de dados quantitativos sobre sistemas agrofloretais e um norteamento para construção de arranjos produtivos visando a produção de café agroflorestral.

REFERÊNCIAS

- ADAMCOVÁ, D.; VAVERKOVÁ, M. D.; BARTON, S.; HAVLICEK, Z.; BROUSKOVÁ, E. Soil contamination in landfills: a case study of a landfill in Czech Republic. *Solid Earth*, v.7, p. 239-247, 2016.
- ALVARENGA, M. I. N. **Propriedades físicas, químicas e biológicas de um Latossolo Vermelho-Escuro em diferentes ecossistemas**. 1996. 211f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.
- ALVES, T.S.; CAMPOS, L.L; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M.F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejo. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 33, p.341-347, 2011.
- AMARAL W.; ANTIQUEIRA L.; HORBACH M. **Frutificação e ecologia da germinação de *Citharexylum myrianthum* Cham (Verbenaceae)**. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 4, n. 3, p. 207-215, 2013.
- AMER, F.; BOULDIN, C.A.; BLACK, C.A.Q.; DUCKE, F.R. **Characterization of soil phosphorus by anión exchange resin absorbtion and P32 equilibration**. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.6, p.391-407, 1955.
- ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment*, v.88, p.153-160, 2002.
- ASSAD E. D.; PELEGRINO, G. Q.: O clima e a potência Ambiental. **Revista Agroanalysis**, FGV, v. 27, número 04, abril 2007, p. E3-E4.
- BEER, J.W.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*, v 38, n. 1-3 p. 139-164, 1998.
- BORDEN KA, THOMAS SC, ISAAC ME (2016) Interspecific variation of tree root architecture in a temperate agroforestry system characterized using ground-penetrating radar. *Plant and soil*, 410(1- 2):323-334. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3015-x>.
- BRASIL, 2001, Vitória. **Anais Eletrônicos...** Vitória, ES: Embrapa Café, 2001. v. 2, p. 1612-1617.
- BRENA, A.; LONGUI, S.J. **Inventário florestal da Região da Quarta Colônia de Imigração Italiana do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: PRODESUS-PEDPNMA/UFDSM, 1998.213 p.
- BOWMAN, R.A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 53, n.2, p. 362-366, Mar./Apr. 1989.
- CAMPANHA, M. M., SANTOS, R. H. S., FREITAS, G. B. de, MARTINEZ, H. E. P., JARAMILLO-BOTERO, C., & GARCIA, S. L. (2007). Análise comparativa das

características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. *Revista Árvore*, 31(5), 805–812.

CARDOSO, R. R.; SANTOS, A. C.; AGUIAU, J. T.; SILVA, A. A. M.; OLIVEIRA, L. B. T. Atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo sob diferentes tipos de uso. *Tecnologia e Ciência Agropecuária*. João Pessoa, 11 (5): 27-33, 2017. Disponível em: <<https://revistatca.pb.gov.br/edicoes/volume-11-2017/v-11-n-5-dezembro-2017/05-atributos-fisicos-quimicos-e-microbiologicos-do-solo.pdf>>. Acesso em 10/02/2021.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica. Colombo, PR: EMBRAPA Florestas, 2003, v. 1, 1039 p.

CLARKE, R.J. & WALKER, L.J.J. (1985). The interrelationships of potassium contents of green, roasted and instant coffees. In: **Proceedings Of The Seventh International Scientific Colloquium On Coffee**, Hamburg. **Anais ...** Hamburg: ASIC – Association Scientifique Internationale du café, 1975. p. 159-163.

CARVALHO, F. A.; NASCIMENTO, M. T. (2009). Estrutura diamétrica da comunidade e das principais populações arbóreas de um remanescente de Floresta Atlântica Submontana (Silva Jardim-RJ, Brasil). **R. Árvore**, Viçosa-MG, 33(2): 327-337.

COLLIER, L. S.; ARAÚJO, G.P. Fertilidade do Solo sob Sistemas de Produção de Subsistência, Agrofloresta e Vegetação Remanescente em Esperantina – Tocantins. **Floresta e Ambiente**, v. 17, n.1, p. 12-22, 2010.

CORDELL, D.; WHITE, S.; **Food Secur.** 2015, 7, 337.

CORDELL, D.; WHITE, S.; *Sustainability* **2011**, 3, 2027.

COSTA, A. G. F.; SOARES, D. J.; ALBUQUERQUE, F. A. de; ANDRADE, F. P. de; FERREIRA, G. B.; FREITAS, J. G.; ZONTA, J. H.; SEVERINO, L. S.; MILANI, M.; SILVA, O. R. R. F.; GONDIM, T. M. de S.; SOFIATTI, V.; CARTAXO, W. V. **Cultivo da mamoneira**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2014. 24p. (Circular técnica 136).

CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, Amsterdam, v.64, p.197-214, 1995.

CUENCA, G.; ARANGUREN,; HERRERA, R. Root growth and litter decomposition in a coffee plantation under shade trees. **Plant and Soil**, v.71, p.477-486, 1983.

DUARTE, E. M G.; CARDOSO I. M.; FÁVERO C. Terra Forte. In. **Revista Agriculturas: experiências em agroecologia**. 2008, v. 5 número 3, p. 11-15.

EHRENBERGEROVÁ, L., ŠENFELDR, M., & HABROVÁ, H. (2017). Impact of tree shading on the microclimate of a coffee plantation: A case study from the Peruvian Amazon. *Bois et Forêts Des Tropiques*, 4(334), 13–22.
<https://doi.org/10.19182/bft2017.334.a31488>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. 3ª Ed. Rio de Janeiro. Embrapa Solos. 1998.56p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solo 2ª Ed. Rio de Janeiro. Embrapa Solos. 1997.212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Práticas de Conservação de Solo e Água**. Circular Técnica, n133, Campina Grande, PB, Set. 2012.

FALLEIRO, R. M. SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; Fagundes, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. *Revista Brasileira Ciência do solo*, v27, p.1097-1104,2003.

FRANCO, F.S. **Sistema agroflorestais**: uma contribuição para a conservação dos recursos naturais na zona da mata de Minas Gerais.2000. 148f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 2000.

FREIRE, R. M. M.; SEVERINO, L. S.; MACHADO, O. L. T. **Ricinoquímica e coprodutos**. In: AEVEDO, D. M. P.; BELTRAO, N. E. M.. *O Agronegócio da mamona no Brasil*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, Cap. 13, 2006.

FROSSARD, E. M. BROSSARD, M.J. HEDLEY, AND A. METHERELL. 1995. **Reactions controlling the cycling of P in soils**. p. 107-137. In H. Tiessen (ed.). *Phosphorus cycling in terrestrial and aquatic ecosystems: A global perspective*.

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A. 1996. **Soil health and sustainability**. *Advances in Agronomy*, 56: 2-54.

FRANCO, F.S. **Sistema agroflorestais**: uma contribuição para a conservação dos recursos naturais na zona da mata de Minas Gerais.2000. 148f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 2000.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. de; GAMA-RODRIGUES, E. F. da: **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. Campos de Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006.)

- GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J. Fracionamento químico das formas de fósforo do solo: usos e limitações. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v.8, p.141-187, 2013.
- GOBBI, J.A. Is biodiversity-friendly coffee financially viable? An analysis of five different coffee production systems in western El Salvador. **Ecological Economics**, v.33, p.267-281, 2000.
- GONÇALVES, A. L. R. e VIVAN, J. L. Agroforestry and conservation projects in Brazil: carbon, biodiversity, climate, and people. 2012. Disponível em: <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/cases/case-detail/en/c/320158/>. Acesso em: nov. 2020.
- GORMLEY, L.H.L.; SINCLAIR, F.L. Modelaje participativo del impacto de los árboles en la productividad de las fincas y la biodiversidad regional en paisajes fragmentados en América Central. **Agroforestería en las Américas**, v.10, p.103-108, 2003.
- GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. J.; SANTOS, G. A.; FERNANDES, M. S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 31, p.291-299, 1996.
- HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**. An introduction to nutrient management. 7. ed. New Jersey, Pearson Education, 2005. 515p.
- HEDLEY, M. J.; STEWARD, W. B.; CHAUHAN, B. S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fraction induced by cultivation practices and laboratory incubation. **Soil Science Society of America Journal, Madison**, v. 46, n. 5, p. 970-976, Sept./Oct. 1982.
- IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. **Amostragem de solo para análise química: plantio direto e convencional, culturas perenes, várzeas, pastagens e capineiras**. Londrina: IAPAR, 1996. 28 p. (IAPAR. Circular, 90).
- IPCC, 2019. The intergovernmental panel on climate change. Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems. (Accessed 29 August 2021). <https://www.ipcc.ch/report/srccl/>.
- IWATA, B. R. et al., Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.7, p. 730-738, 2012.
- JARAMILLO-BOTERO, C. et al. Production and vegetative growth of coffee trees under fertilization and shade levels. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, p. 639-645, 2010.
- JUNIOR A. L. DE A.; ABREU, G. M., NETO, S. N. DE O. SOUZA, D. M. S. COBOLARI, A. DE M. M. GUIRARDI, B. D. GUIRARDI, MELO, L. AMARAL.

- Ideótipo arbóreo para Sistemas Agroflorestais. Adv. For. Sci, Cuiabá, v. 8, n.1, p. 1349-1362, 2021.
- LIMA, S. S. et.al., Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em Argissolo vermelho-amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, v.35, n.1, p.51-90, 2011.
- LOPES, A. S. Manual internacional de fertilidade do solo. 2 ed. Piracicaba. Potafos, 1998. 177p.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 6. ed. v. 1. Nova Odessa: **Instituto Plantarum**, 2014. 384p.
- LEITE, P.H.M., DUARTE, M.V.M. **Uso e manejo de árvores nativas para arborização do cafezal como estratégia de melhoria das condições ambientais**. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 43., Poços de Caldas, MG, 2017.
- LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação. Campinas: SBCS, 1991, 175p.
- LOCK, C.G.W. **Coffee: its culture and commerce in all countries**. Londres: E & FN Spon, 1888. 274 p.
- LOSS, A. et. al., Atributos químicos e físicos de um Argissolo vermelho-amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.44, n.1, p. 68-75, 2009.
- LEAL., A. C. **Avaliação de espécies florestais para a arborização de cafeeiros no norte do Paraná**: efeitos na produtividade e a proteção contra geadas e radiação 2004. 115 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- LUNZ., A. M. P. **Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol**. 2006. 94 p . Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2006.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba:. Potafos, 1997. 319p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.
- MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A.B.;
- MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 136-274.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.A.; FERNANDES, D.R. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2010. 542p.

MBOW, C. et al. Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 6, p. 8-14, 2014b.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R., VIEIRA, D.L.M.; ARCO-VERDE, M.F.; HOFFMANN, M.R., REHDER, T.; PPEREIRA, V. B. **Restauração ecológica com Sistemas Agroflorestais: Como conciliar conservação com produção: Opções para Cerrado e Caatinga**. Brasília: Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal – ICRAF, 2016, 266p.

MILLS, H. A.; JONES JUNIOR, J.B. **Plant analysis handbook II**. 2. ed. Athens: Micro-Macro, 1997. 422 p

MORAES, F. T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. (2008). Fisiografia da região do planalto de Poços de Caldas, MG/SP. **Revista Brasileira de Geociências**, 38.

MORAES, L. F. D., RESENDE, A. S. e AMANCIO, C. O. G. **Sistemas agroflorestais para o uso sustentável do solo: considerações agroecológicas e socioeconômicas**. Embrapa Agrobiologia. Documentos, 281. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2011. 28 p.

MOREIRA, S.L.S., PIRES, C.V., MARCATTI, G.E., SANTOS, R.H.S., IMBUZEIRO, H.M.A., FERNANDES, R.B.A., 2018. Intercropping of coffee with the palm tree, macauba, can mitigate climate change effects. *Agric. For. Meteorol.* 256–257, 379–390.

MOREIRA, C. F. **Caracterização de sistemas de café orgânico sombreado e a pleno sol no sul de Minas Gerais**. 2003. 78f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agronomia Luiz Queiroz, Piracicaba, 2003

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analítica Chimica Acta**, Amsterdam, v.27, n.1, p.31-36, 1962.

NESPER, M., KUEFFER, C., KRISHNAN, S., KUSHALAPPA, C. G., & GHAZOUL, J. (2019). Simplification of shade tree diversity reduces nutrient cycling resilience in coffee agroforestry. **Journal of Applied Ecology**, 56(1), 119–131.

NOGUEIRA, R. S; et al. Formas de fósforo em Luvisolo Crômico Órtico sob sistemas agroflorestais no município de Sobral-CE. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 4, p. 494-502, 2008.

NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. Relação Solo-Planta. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p.133-204.

OLIVEIRA, H. M. T. DE, ALVARENGA, M. I. N., MELLONI, R., GESPEDES, J. G., & CUNHA, R. F. da. (2015). Potential of substitution of fertilizers by arboreal legume phytomassa in coffee tree crop. **Coffee Science**, 10(3), 383–391.

PECL, G.T. et al., 2017: Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355, eaai9214, doi:10.1126/science.aai9214.

RAIJ, B. VAN; FEITOSA, C.T.; SILVA, N.M. da. **Comparação de quatro extratores de fósforo de solos**. *Bragantia*, Campinas, v.43, n.1, p.17-29, 1984.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônômico, 2001. 235p

RAIJ, B. van. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos/Anda, 2004. p. 107-116.

RICCI, M. S. F., COCHETO JUNIOR, D. G. C., & ALMEIDA, F. F. D. (2013). Microweather conditions, phenology and external morphology of coffee trees in shaded and full sun systems. *Coffee Science*, 8(3), 379–388.

RODRIGUES, V.G.S. et al. Arborização em Lavouras de Café – Experiências de Agricultores em Rondônia-Brasil. In: II SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2, 2001, Vitória. **Anais Eletrônicos...** Vitória, ES: Embrapa Café, 2001. v. 2, p. 1612-1617.

SÁ, A. S., Jr. (2009). Aplicação da classificação de Koppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SALAZAR, A. A., PALM, C. A. & SZOTT, L. T. 1991. Alley-cropping on alluvial soils. In *TropSoils Technical Report 1988-89*. Raleigh, NC (USA): North Carolina State University, p. 2] 8-20.

SALGADO, B. G., MACEDO, R. L. G., ALVARENGA, M. I. N., & VENTURIN, N. (2006). Avaliação da fertilidade dos solos de sistemas agroflorestais com cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em lavras-MG. **Revista Arvore**, 30(3), 343–349.

SANTI, I. I. et al. Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activity of the Oil and Plant Extract *Myrocarpus frondosus* Allemão. **American Journal of Plant Sciences**, v. 8. 1560-1571, 2017.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed..Brasília, Embrapa, 2013. 353p.

SCHEMBERGUE A.; CUNHA A. D.; CARLOS M. S.; PIRES V. M.; FARIA M. R. Sistemas Agroflorestais como estratégia de adaptação aos desafios das mudanças climáticas no Brasil. **RESR**, Piracicaba-SP, Vol. 55, Nº 01, p.009-030, Jan/Mar.2017.

SILVA JUNIOR, C. A.; BOECHAT, C. L.; CARVALHO, L. A. Atributos químicos do solo sob conversão de floresta amazônica para diferentes sistemas na região norte do Pará, Brasil. **Bioscience Journal**, v. 28, n4, p. 5666-572, 2012.

SILVESTRE, E. A.; SCHWARTZ, K. D.; GRANDO C. C.; BUENO J.; SUJII, P. S.; TAMBARUSSI, E. V.; MACRINI, C. M.; TRINDADE P. J. N.; BRANCALION, P. H. S.; ZUCCHI, M. I., 2017. Sistema de acasalamento e tamanho efetivo populacional da árvore neotropical superexplorada (*Myroxylum peruiferum* Lf) e seu impacto na produção de mudas. J. Hered. Esx096. <http://dx.doi.org/10.1093/jhered/esx096>.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (eds). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004. p.147-168.

TEDESCO HJ, VOLKWEISS SJ & BOHNEN H (1995) Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 50p. (Boletim técnico, 5).

THEODORO, V. C. A. **Caracterização de sistemas de produção de café orgânico, em conversão e convencional**. 1999. 214f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

WEISS, E. A. (2000). Oilseed crops. London: Blackwell Science.

VAN VUUREN, D. P. P.; BOUWMAN, A. F.; Beusen, A. H. W.; Global Environ. Change **2010**, 20, 428.

VOLKWEISS, S.J.; RAIJ, B. van. **Retenção e disponibilidade de fósforo em solos**. In: Simpósio Sobre O Cerrado: Bases Para A Utilização Agropecuária, 4., 1976, Brasília, São Paulo, EDUSP; Belo Horizonte, Ed. Itatiaia, p.317-32, 1977.