



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
CURSO DE AGRONOMIA

MARIA VITÓRIA RICARTE GONÇALVES

FERTILIDADE DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL NA ZONA
LITORÂNEA NORDESTINA

FORTALEZA

2021

MARIA VITÓRIA RICARTE GONÇALVES

FERTILIDADE DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL NA ZONA LITORÂNEA
NORDESTINA

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G626f Gonçalves, Maria Vitória Ricarte.
Fertilidade do Solo em Sistema Agroflorestal na Zona Litorânea Nordestina / Maria Vitória Ricarte
Gonçalves. – 2021.
59 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências
Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2021.
Orientação: Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.

1. Agrofloresta. 2. Fertilidade do Solo. 3. Bananeira. 4. Gliricídia. I. Título.

CDD 630

MARIA VITÓRIA RICARTE GONÇALVES

FERTILIDADE DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL NA ZONA LITORÂNEA
NORDESTINA

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientadora: Prof^a. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa

Aprovada em: 18/01/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Carla Danielle Vasconcelos do Nascimento
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Agrônomo Daniel Lima Rodrigues
Centro de Estudos do Trabalho e de Assessoria ao Trabalhador e à Trabalhadora (CETRA)

A Deus, mãe natureza.

À minha família, em especial minha mãe,

Joana.

A todos os companheiros e companheiras que
lutam a favor do meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar energia para construir esse trabalho em meio à pandemia do novo coronavírus... período de muitas perdas e de tempos sombrios de descrença na ciência.

À minha mãe Joana, por sempre estar ao meu lado, por acreditar em mim e sempre ter me estimulado a seguir e não desistir das lutas.

Ao meu irmão, João e a toda a minha família, que torceu e me incentivou a continuar seguindo em busca dos meus objetivos.

À professora Mirian, por ser uma orientadora brilhante, por toda a paciência e todo o suporte que me foi dado para o desenvolvimento do trabalho.

À Mariana Vieira, grande amiga e companheira de TCC, que me deu a mão nessa caminhada para a conclusão e deixou tudo mais leve e alegre.

Às mulheres maravilhosas que tanto me auxiliaram no decorrer das análises no laboratório de manejo do solo: Rafaela Batista e Deyse Maia.

À Universidade Federal do Ceará, que foi minha segunda casa durante todos esses anos de graduação, com preciosos recursos para que eu conquistasse essa tão importante formação profissional.

À turma 2015.2, a melhor turma da agronomia, que já me deixa tanta saudade e me faz acreditar que essa foi a melhor época da minha vida!

A todos os amigos e amigas que me ajudaram dando suporte nos estudos e/ou em questões emocionais e que participaram dos melhores encontros da agro: Luis Alexandre, Antônio Nascimento, Daniel Rodrigues, Edilene de Melo, Glauber Pontes, Luiza Rayol, Rômulo César, Thiago Cunha, Tainá Cunha, Leonardo Barbosa, Leonardo Saraiva, Egídio Ponte, Laís Gomes, Lua Naama, Laís Cavalcante, Lucas “Fefê”, Aristides Gomes, Ruggeri Mariano, Lucas Lopes, Maria Alice, Mariane Oliveira, Rita, Thays, Samuel “Mclovin”, Pedro Henrique, Rosângela, Bruna, Marcos, Gabriella.

À minha querida companheira e aos meus queridos companheiros: Jessica Correia, Daniel Souza, Nelson Sales, Ícaro Teles, que foram tão essenciais por todo o amparo e carinho que recebi.

Aos companheiros dos "doidim dos matos", Cleomar e Odevandro, por toda a amizade e por ter passado com amor tantos ensinamentos preciosos sobre agrofloresta, agroecologia e permacultura.

À Simone de Camargo, Luciana, Luciano, Namastê Messerschmidt, todos e todas da Fazenda Coringa Agrofloresta, por todo o grande apoio e aprendizado que sempre foi ofertado nos mutirões agroflorestais e agora no meu trabalho de conclusão.

A todos e todas do Grupo Agroecológico da UFC, do Greenpeace Fortaleza e do Fortaleza pelas Dunas.

A todos e todas do Laboratório de Micologia, em especial ao professor Cristiano e ao Israel Andrade, que garantiram um bom ambiente de trabalho, com muito aprendizado e companheirismo.

A todos e todas da ADAGRI, Neiliane, Cartaxo, Janine, Amanda, Larissa, Dimas, sobretudo ao Fábio Costa, por todo o suporte e toda a paciência ao instruir sobre as atividades de estágio.

A todos e todas do Laboratório de Patologia Pós-Colheita da Embrapa, essencialmente à Gina Sena, Ageu, Raphaely, Vitória Cordeiro, Dra. Andreia Hansen, Natália e Caroliny.

A todos e todas do SESC Iparana, em especial ao orientador do estágio, Francisco Cardoso, e ao meu colega de trabalho, Valderjanzen, por todo o apoio.

A todos e todas que fizeram parte dessa trajetória comigo na Empresa Júnior Agrônômica, no Centro Acadêmico Dias da Rocha, nos grupos de dança da UFC, nos grupos de meditação e yoga, no NEPAU e no Orquidário.

“Somos a personificação local de um Cosmos que cresceu pelo autoconhecimento (...). Nossas lealdades são para com a espécie e com o planeta. Nós respondemos pela Terra. Nossa obrigação quanto à sobrevivência é devida não somente a nós mesmos, mas também a esse Cosmos, antigo e vasto, do qual surgimos.” (SAGAN, 1980, p. 345).

RESUMO

As tecnologias desenvolvidas para a agricultura industrial elevaram a produtividade, mas geraram impactos ambientais, como o declínio da fertilidade dos solos. Considerando a necessidade de agroecossistemas de menor impacto ambiental, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) são essenciais por promoverem a recuperação dos solos. Todavia, os SAFs promovem a heterogeneidade dos atributos do solo, sendo importante avaliar esse fator para desenvolver estratégias de manejo. Neste trabalho o objetivo foi avaliar a fertilidade do solo em SAF na Fazenda Coringa Agrofloresta (Trairi-CE). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições e fatorial 2x4, totalizando 32 unidades experimentais. Os fatores de tratamento foram duas espécies (glicírdia - *Gliricidia sepium* e bananeira - *Musa spp.*), e quatro distâncias horizontais em relação à projeção da copa das plantas nas entrelinhas (10, 20, 30 e 40 cm). Foi realizada coleta de solo com sonda amostradora na profundidade de 10 cm. Os parâmetros avaliados no solo foram pH_{H2O}, nitrogênio total (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K); sódio (Na), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn); acidez potencial (H+Al); alumínio (Al); matéria orgânica (MOS); capacidade de troca de cátions (T); saturação por bases (V%); saturação por alumínio (m%); soma de bases (SB) e porcentagem de sódio trocável (PST). Foi feita a análise de variância, teste de Tukey e análise de regressão a 5% de probabilidade. Teores de CO e MOS foram muito bons em relação às condições edafoclimáticas da região semiárida, com maior valor para a *Musa spp.* aos 30 cm. O maior teor de P ocorreu para *Musa spp.* aos 10 cm, enquanto o N foi maior aos 10 cm para *G. sepium*. Teores de Ca variaram de baixo a médio e os de Mg entre médio e alto, sendo os menores e maiores teores aos 40 cm para bananeira e glicírdia, respectivamente. Valores de Na, K, H+Al e m% foram baixos e a SB e V% sugerem teores adequados de bases trocáveis. Valores de t e T corroboram com os resultados de MOS, SB e V%, sendo maiores quanto mais distantes da glicírdia. Teores de Cu foram altos, Fe entre médio e alto e os de Zn foram altos. Maiores teores de Cu e Fe ocorreram associados à bananeira. Os atributos químicos do solo foram adequados para manter a fertilidade, levando em consideração que o sistema agroflorestal é muito jovem. *Musa spp.* parece absorver mais nutrientes quanto maior a distância em relação à projeção da copa, ao contrário da *G. sepium*. Maiores teores de N próximos à glicírdia indicam efeitos da fixação biológica na rizosfera. Posteriores estudos sobre a fertilidade do SAF são essenciais para acompanhar a evolução do sistema e o acúmulo de nutrientes no solo.

Palavras-chave: agrofloresta; fertilidade do solo; bananeira; glicírdia.

ABSTRACT

Technologies developed for industrial agriculture raised productivity, but generated environmental impacts, such as the decline in soil fertility. Need for agroecosystems with less environmental impact, Agroforestry Systems (AFS) are essential to promote soil recovery. However, the AFS promote the heterogeneity of soil attributes, and it is important to assess this factor to develop management strategies. In this work, the objective was to evaluate the soil fertility in AFS at Fazenda Coringa Agrofloresta (Trairi-CE). The experimental design was in randomized blocks, with four replications and a 2x4 factorial, totaling 32 experimental units. The treatment factors were two species (gliricidia - *Gliricidia sepium* and banana - *Musa spp.*), and four horizontal distances in relation to the canopy projection of the plants between the rows (10, 20, 30 and 40 cm). Soil collection was carried out with a sampling probe at a depth of 10 cm. The parameters taken from the soil were pH_{H2O}, total nitrogen (N), phosphorus (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K); sodium (Na), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn), zinc (Zn); acidity potential (H+Al); aluminum (Al); organic matter (SOM); cation exchange capacity (T); base saturation (V%); aluminum saturation (m%); sum of bases (SB) and Exchangeable Sodium Percentage (ESP). An analysis of variance, Tukey test and regression analysis at 5% probability were performed. CO and SOM contents were very good in relation to the edaphoclimatic conditions of the semi-arid region, with a higher value for *Musa spp.* at 30 cm. The highest P content occurred for *Musa spp.* at 10 cm, while N was higher at 10 cm for *G. sepium*. Ca contents varied from low to medium and those of Mg between medium and high, being the smallest and largest contents at 40 cm for banana and gliricidia, respectively. Values of Na, K, H+Al and m% were low and SB and V% suggest adequate levels of exchangeable bases. Values of t and T corroborate the results of SOM, SB and V%, being higher the further away from gliricidia. Cu contents were high, Fe between medium and high and Zn were high. Higher levels of Cu and Fe occurred associated with banana. Soil chemical attributes were adequate to maintain fertility, considering that the agroforestry system is very young. *Musa spp.* seems to absorb more nutrients the greater the distance from the canopy projection, unlike *G. sepium*. Higher N contents close to gliricidia indicate effects of biological fixation on the rhizosphere. Further studies on the fertility of the AFS are essential to follow the evolution of the system and the accumulation of nutrients in the soil.

Keywords: agroforestry; soil fertility; banana tree; gliricidia.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	A importância da fertilidade dos solos para a produção agrícola	13
2.2	Sistemas agroflorestais para a produção sustentável	15
2.2.1	<i>Sistemas agroflorestais</i>	15
2.2.2	<i>Variações na fertilidade do solo em sistemas agroflorestais</i>	17
2.3	Bananeira e gliricídia como componentes de SAFs	19
2.3.1	<i>Bananeira (Musa spp.)</i>	19
2.3.2	<i>Gliricídia (Gliricidia sepium)</i>	21
2.4	Modos para avaliar a fertilidade do solo	22
3	METODOLOGIA	26
3.1	Área de estudo	26
3.2	Delineamento experimental e tratamentos	31
3.3	Coleta de amostras	31
3.4	Avaliação da fertilidade	32
3.5	Estatística	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5	CONCLUSÃO	52
6	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

O uso do solo para a produção de alimentos passou por diversas modificações no decorrer da evolução agrícola. Diferentes formas de manejo foram estudadas visando maior produtividade, tendo em vista a demanda ser cada vez maior pela população mundial crescente. Os sistemas de cultivo que vieram com a agricultura industrial elevaram a produção, mas foi às custas de grande desequilíbrio ambiental, perda de biodiversidade e perda da fertilidade do solo.

Com a fertilidade em declínio, a produtividade também decresce e são necessárias novas formas de praticar a agricultura, visando a regeneração do ambiente e a recuperação nutritiva do solo. A partir desse objetivo, a ciência tem se voltado ao estudo de agroecossistemas mais inteligentes, com menor impacto ambiental, permitindo a conservação do solo e dos recursos naturais.

O sistema agroflorestal (SAF) é um dos agroecossistemas mais eficientes para recuperação de solos empobrecidos. Com o uso de princípios agroecológicos, o sistema abriga diversas espécies vegetais que se associam de forma benéfica e possuem funcionalidades distintas, divididas em espécies comerciais, adubadoras e acumuladoras de matéria orgânica.

O manejo dos SAFs é constituído de práticas conservacionistas como a manutenção da cobertura do solo, o incremento de nitrogênio a partir da associação de rizobactérias e leguminosas, a incorporação de matéria orgânica por meio da poda, entre outras. A biodiversidade favorece a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, regenera a atividade microbiológica, promove a recuperação da fertilidade, diminui a necessidade de insumos externos e auxilia na renda da agricultura familiar.

Contudo, a diversidade de espécies com finalidades distintas nos SAFs leva a heterogeneidade em atributos do solo. A identificação dessa heterogeneidade é importante para direcionar a melhor estratégia de manejo das espécies no sistema. Neste estudo foi testada a hipótese de que o componente adubador (gliricídia) favorece a fertilidade do solo na área de influência do componente semi-perene (bananeira), havendo redução na fertilidade do solo na área de influência do próprio componente adubador. Para ambas as espécies os teores de nutrientes no solo devem ser menores quanto mais próximo da projeção da copa devido a maior absorção pelas raízes. O objetivo do estudo foi avaliar a fertilidade do solo em SAF

localizado na faixa litorânea do nordeste brasileiro, com atenção à interface gliricídia-bananeira em diferentes distâncias da área de projeção da copa das plantas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A importância da fertilidade dos solos para a produção agrícola

A evolução da espécie humana e o desenvolvimento de sociedades tiveram início a partir da agricultura. Com o conhecimento de que era possível o cultivo de vegetais, os humanos deixaram de ser nômades e passaram a fixar-se em um local, produzindo seu próprio alimento e selecionando as melhores sementes com a prática do melhoramento genético.

A agricultura levou ao surgimento e ascensão de grandes civilizações como no Egito e na Mesopotâmia, mas também foi a causa do declínio de muitas dessas civilizações a partir do manejo inadequado do solo. A civilização Maia é exemplo de nação que entrou em decadência, pois para desenvolver a produção agrícola, aumentou o desmatamento de florestas, resultando na redução do índice de chuvas e na erosão do solo. Isso proporcionou a queda da capacidade de suporte dos principais centros urbanos, extinguindo a nação Maia (PÉREZ; BREFIN; POLIDORO, 2016).

No decorrer da história, o conhecimento sobre o solo como ciência foi se desenvolvendo de forma tardia. De acordo com Pérez; Brefin; Polidoro (2016), esse amadurecimento científico precisou antes de progressos em outras áreas como biologia, física e geologia, gerando atraso nos estudos sobre o solo. Esses foram estabelecidos no final do século XIX e a partir de então, novas preocupações surgiram em busca de maior aprofundamento no conhecimento de diversos aspectos do solo, como a fertilidade.

A fertilidade está diretamente atrelada à produtividade agrícola, sendo responsável pelo suprimento dos elementos essenciais absorvidos pelos vegetais. Os nutrientes disponíveis para absorção ocupam a fase aquosa do solo (solução do solo), mas apresentam comportamentos diversos nesse ambiente, podendo seguir rotas distintas e serem perdidos por lixiviação, volatilização, imobilização, erosão e outros (BATISTA *et al.*, 2018). Portanto, é essencial o conhecimento acerca do funcionamento da fertilidade do solo para o adequado funcionamento da produção. Com o aumento populacional, surgiram preocupações sobre a demanda alimentícia e como os solos e sua capacidade fértil iriam suportar essas mudanças.

No século XX, a agricultura foi marcada pela modernização com o desenvolvimento de maquinário pesado e grandes quantidades de insumos, utilizando-se de alto capital e pouca mão de obra. Nos países em desenvolvimento, começou a se instalar durante a década de 1960 a chamada "revolução verde", trazendo novas técnicas de cultivo

baseadas no amplo uso de fertilizantes minerais, agrotóxicos, melhoramento genético e outras. Todavia, essas novas tecnologias trouxeram problemas de ordem ecológica, sanitária e social, como poluição do ambiente, insegurança sanitária de alimentos e degradação do solo (MAZOYER e ROUDART, 2010).

O alastramento da agricultura intensiva para a produção de *commodities* está ligado ao desmatamento de áreas extensas. Dessa forma, desintegra o equilíbrio ecossistêmico no local em que é implantado, por retirar a diversidade de espécies nativas para implantar uma só espécie, geralmente exótica. Segundo Kuzyakov (2010), a monocultura provoca consequências como a redução da fertilidade, mudança na dinâmica da rizosfera, diminuição do carbono estocado e outros.

A diversidade vegetal de áreas nativas proporciona associações benéficas entre as plantas e microrganismos presentes no solo, formando a rizosfera: zona de interações entre solo-planta-microrganismos. Quando há a retirada dessa vegetação diversa, a interação rizosférica não mais existirá, provocando a perda microbiológica local. Processos químicos e biológicos na rizosfera são determinantes na mobilização de nutrientes no solo e na absorção destes pelas plantas, realizando o controle de eficiência no uso dos nutrientes pelas culturas (ZHANG *et al.*, 2004; ZHANG *et al.*, 2010). O microbioma do solo deve ser preservado, pois garante benefícios ecossistêmicos e melhora na produtividade.

Quando processos biológicos relacionados à nutrição do solo não são levados em conta, há crescente uso de fertilizantes minerais nas lavouras. Porém, o aumento da utilização desses produtos não gerou aumento do rendimento das safras, como aconteceu nos sistemas agrícolas chineses nos últimos 20 anos, resultando em baixa eficiência do uso dos nutrientes e consequentes problemas ambientais (ZHANG *et al.*, 2010).

Tendo em vista a previsão de que em 2050 a terra será ocupada por mais de 9 bilhões de pessoas (ONU, 2019), a baixa fertilidade dos solos e sua degradação são temas de extrema importância e emergência, para que sejam adotados, em nível mundial, novos métodos de produção de alimentos visando mitigar as consequências dessa problemática.

2.2 Sistemas agroflorestais para a produção sustentável

2.2.1 Sistemas agroflorestais

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) ganharam maior aceitação como um sistema de gestão da terra agrícola na década de 1970 devido a fatores como a reavaliação de políticas de desenvolvimento pelo Banco Mundial, análise de políticas florestais pela FAO e a crise alimentar em muitas áreas em desenvolvimento do mundo. Por muito tempo persistiram discussões sobre qual seria a definição para “Agrofloresta” e após muitos debates internos no ICRAF (International Centre for Research in Agroforestry), a descrição mais aceita a define como sistema que envolve duas ou mais espécies de plantas (ou plantas e animais), no qual ao menos uma é lenhosa perene, constituindo uma interação econômica e, ou, ecológica entre tais componentes (NAIR, 1993).

Os tipos de SAFs são variados e admitem desde sistemas simples, com uso de poucas espécies e baixo índice de manejo, até sistemas altamente complexos, com elevado nível de biodiversidade e maior intensidade de manejo. Dentre as classificações, pode-se dizer que os SAFs são divididos em três: sistemas silvipastoris, os quais são voltados para a criação animal, com associação entre pastagens e árvores; agrossilvipastoris, quando há consórcio de espécies agrícolas e florestais em conjunto ou sequência à criação de animais; e agrossilviculturais, que constituem o uso de culturas agrícolas anuais e espécies florestais. (MICCOLIS *et al.*, 2016).

Outras denominações surgem a partir das classificações mencionadas anteriormente. Quando é atribuída ao sistema alta biodiversidade e intensidade de manejo, tem-se os “Sistemas Agroflorestais Agroecológicos”, com uso de diferentes espécies que possuem vocações ecológicas complementares (NETO *et al.*, 2016) e “Agricultura Sintrópica”, idealizada por Ernst Götsch, em que os SAFs priorizam a sucessão ecológica promovendo melhoria no nível de organização do sistema (BALEEIRO e JÚNIOR, 2018).

Apesar da recente expansão da utilização de SAFs como modelo agrícola, as técnicas utilizadas nesses sistemas trazem consigo um resgate do conhecimento de povos antigos e povos indígenas, que com o entendimento da dinâmica de ciclos naturais e da sucessão de espécies, pôde desenvolver uma agricultura regenerativa (NETO *et al.*, 2016), respeitando os princípios da natureza que regem o equilíbrio ecossistêmico e a conservação dos recursos naturais.

O uso das florestas no decorrer da história confere uma formação de mosaicos com o plantio de espécies de interesse, introdução de espécies novas, eliminação de plantas competidoras, uso do fogo, abertura de clareiras, entre outras técnicas. Não há uma receita pronta para a produção e manejo de uma agrofloresta, pois a dinâmica ecológica exige a percepção e compreensão do espaço, sendo necessário o constante diálogo com o ambiente e suas características para que se possa intervir de forma sustentável (STEENBOCK *et al.*, 2013; STEENBOCK e VEZZANI, 2013).

Os SAFs são excelentes sistemas para serem implantados em regiões semiáridas pois proporcionam recuperação ecológica e econômica de ecossistemas degradados e também possuem valioso papel na proteção de recursos hídricos. O uso de espécies arbóreas no sistema garante a circulação ativa dos nutrientes no solo e mantém o aporte de matéria orgânica. Além disso, as árvores também influenciam na velocidade e na qualidade da água das chuvas ao chegar aos corpos hídricos, pois ao interceptar a água, diminui o escoamento superficial, levando ao controle da erosão do solo e de enxurradas (ARAÚJO FILHO, 2013).

As agroflorestas, portanto, possuem a capacidade de conciliar agricultura e proteção ambiental, realizando o importante papel de promover serviços ecossistêmicos, como controle da erosão do solo (FRANCO *et al.*, 2002), incremento da atividade biológica do solo (ARAÚJO FILHO, 2013), recuperação e conservação da fertilidade do solo (RAMALHO *et al.*, 2015), regulação do ciclo hidrológico (MICCOLIS *et al.*, 2016), além de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas e fornecer segurança alimentar, em especial aos agricultores familiares (MBOW *et al.*, 2013).

De acordo com Wezel *et al.* (2020), os sistemas agroflorestais podem ser uma ferramenta importante para a transição agroecológica a partir do redesenho dos sistemas agrícolas, visando aumento da diversidade biológica, ciclagem de nutrientes e redução de insumos. A agroecologia fornece metodologias de trabalho que levam a uma compreensão mais profunda do funcionamento de agroecossistemas. Ela traz uma abordagem nova, integrando princípios ecológicos, sociais, econômicos e agronômicos para que haja a compreensão mais profunda do efeito de tecnologias sobre os sistemas agrícolas e a sociedade (ALTIERI, 2004).

Experiências agroecológicas como da *Cooperafloresta* demonstram que a introdução da agrofloresta pode trazer maior autonomia às famílias de agricultores, como o aumento da renda e independência na comercialização de seus produtos. Ademais, incrementa a diversidade da produção para autoconsumo, melhorando o valor nutritivo das espécies

alimentícias (FONINI, 2014). A diversificação dos cultivos nos SAFs tende a gerar agroecossistemas mais estáveis, aproveitando mais eficientemente os recursos locais e reduzindo a necessidade de insumos externos (OLIVEIRA; SAMBUICHI; SILVA, 2013).

Os SAFs auxiliam no controle da liberação de gases de efeito estufa (GEE), contribuindo como ação de mitigação das mudanças climáticas. A floresta atua no aumento do sequestro de carbono, enquanto mudanças opostas, como o desmatamento, resultam em emissões de CO₂ (CARVAJAL-AGUDELO e ANDRADE, 2020). As atividades agropecuárias contribuem significativamente para a liberação desses gases na atmosfera. Em 2016, o setor agropecuário no Brasil representou 33,6% do total de emissões de GEE e possuiu a fermentação entérica como maior contribuinte (BRASIL, 2020). Tendo em vista o aumento crescente dos impactos resultantes das mudanças no clima, torna-se extremamente importante a utilização de pastagens associadas a sistemas agroflorestais.

Dessa forma, podem ser construídas diferentes combinações, como os sistemas silvipastoris, que combinam árvores, gado e pastagem na mesma área, ou o sistema ILPF (Integração Lavoura Pecuária Floresta), que é composto por pastagem e cultivo de espécies agrícolas e florestais. Além de auxiliar na redução de GEE, essas combinações levam ao bem-estar animal a partir do fornecimento de sombra parcial, gerando melhoria na atividade fisiológica e maior ganho de peso dos animais (FALESI e BALENA, 1999).

Nesses sistemas, outro fator importante é a proteção contra a compactação do solo por pisoteamento, pois as pastagens em agroflorestas aumentam a porcentagem de macroagregados do solo (SILVA *et al.*, 2018), e a incorporação de matéria orgânica, promovendo melhorias nos atributos do solo e na sua fertilidade.

2.2.2 Variações na fertilidade do solo em sistemas agroflorestais

Os solos possuem alta variação nos atributos químicos, físicos e biológicos devido a ligação destes com a diversidade climática, características geomórficas, geológicas, material de origem, entre outros. Segundo Amado *et al.* (2009), a variabilidade espacial dos atributos químicos e do rendimento de culturas é importante para garantir adequado manejo da área produtiva.

Em solos característicos de regiões semiáridas, a quantidade de matéria orgânica (MO) é naturalmente baixa (DE FARIAS *et al.*, 2017), sendo necessárias diferentes técnicas de manejo que auxiliem na melhoria desse fator. Uma dessas técnicas é a adição de matéria

orgânica a partir da adubação verde, fortemente utilizada em manejos agroecológicos e agroflorestais, por meio do cultivo de espécies vegetais “adubadoras” como gliricídia, feijão-guandu, mucuna (SILVA *et al.*, 2016), entre outras.

Silva *et al.* (2017) demonstraram valores semelhantes entre o conteúdo de MO em SAF no Rio de Janeiro e solos de floresta atlântica nativa. Modificações na fertilidade do solo pelo aumento da MO geram novos sítios de troca de cátions e aumentam a fixação de carbono orgânico, demonstrando que a gestão agroecológica em solos ácidos e arenosos é eficiente (OJEDA e LÓPEZ, 2019).

A matéria orgânica, ao ser decomposta por microrganismos, é mineralizada e os nutrientes passam a ser disponíveis na solução do solo para absorção pelas espécies cultivadas. Chen *et al.* (2017) demonstraram que o uso de Sistema Agroflorestal para cultivo de seringueira em comparação ao monocultivo, gerou melhores resultados promovendo o aumento do carbono total do solo e do nitrogênio, além de gerar melhorias na formação de macroagregados na estrutura do solo.

O nível de fertilidade em sistemas agroflorestais varia de acordo com fatores como o tipo de solo da área de implantação; as espécies utilizadas; o cultivo em ordens de tempo e espaço; a deposição de matéria orgânica no solo advinda da poda de diferentes espécies vegetais e em quantidades variadas; os diferentes níveis de decomposição da matéria orgânica, entre outros.

O conhecimento a respeito das interações ecológicas entre as espécies cultivadas e o ambiente em que estão inseridas é fundamental para que haja o equilíbrio entre produção e conservação dos recursos. O cultivo de espécies arbóreas exóticas pode reduzir o teor de nutrientes no solo em comparação ao campo nativo (KLUG *et al.*, 2020). Portanto, as cultivares escolhidas para composição do SAF devem apresentar associações positivas com as espécies nativas para a manutenção da fertilidade.

O tipo de manejo também se relaciona com a fertilidade do sistema. Ribeiro *et al.* (2019) avaliaram a fertilidade em três diferentes SAFs e demonstraram que no SAF cujo manejo foi baseado em desrama e manutenção da diversidade florística, os níveis de fertilidade eram semelhantes aos da vegetação nativa do Cerrado Mineiro; no SAF em que fora realizado cultivo anual de feijão (*Phaseolus vulgaris*) houve incremento nos teores de nitrogênio no solo; e o SAF implantado com supressão vegetal expressou redução da qualidade do solo.

Em manejo utilizando crotalária (*Crotalaria juncea*) como cobertura para safras subsequentes, Collier *et al.* (2018) evidenciaram aumento na disponibilidade de fósforo e elevação da produtividade de milho em SAF, quando comparada à área controle em que a vegetação espontânea foi deixada como cobertura. Em pesquisa realizada por Jaramillo-Botero *et al.* (2008), o aporte de nutrientes por deposição de serapilheira ficou dividido em maior aporte de nitrogênio por cutieira (*Joannesia princep* Vell.), e cálcio e potássio pela capixingui (*Croton floribundus* Spreng.).

A área em que o resíduo de podas é aplicado tende a apresentar maiores teores de nutrientes do que a área de influência da espécie adubadora. Isso foi demonstrado por Nascimento *et al.* (2018) que, em estudo realizado em SAF no semiárido, constataram que o solo da área de leucena (*Leucaena leucocephala*) apresentou redução dos valores de fósforo em comparação às áreas em que a poda da leguminosa fora depositada. Tendo em vista a probabilidade de que a deficiência de P seja intensificada a longo prazo, foi recomendada a adubação da leguminosa com fósforo para garantir a sustentabilidade produtiva.

Tendo em vista os diversos fatores que podem enriquecer a fertilidade do solo, considerando a variabilidade dos atributos devido ao uso de material orgânico para adubação, a gliricídia e a bananeira são espécies que se mostram muito eficientes no aporte de grande quantidade de matéria orgânica, pois apresentam alta produção de biomassa.

2.3 Bananeira e gliricídia como componentes de SAFs

2.3.1 Bananeira (*Musa spp.*)

A banana, pertencente à família Musaceae, tem como centro de origem o sudeste e o sul da Ásia, sendo a África Oriental e as ilhas do Pacífico seus centros secundários de origem (DIAS, 2011). É uma das frutas tropicais mais consumidas no mundo e o Brasil se encontra entre os maiores produtores. Somente nos meses de janeiro a abril de 2021, a produção média da fruta foi de 6.937.819 toneladas, cultivada em área média de 473.605,8 hectares (IBGE, 2021).

Na agricultura familiar, o cultivo de diversas variedades de banana tem importância para a proteção genética da espécie e pode ser considerado um meio de sustentação, em especial nas regiões semiáridas, garantindo renda às famílias (FELIX *et al.*, 2019). A proteção das cultivares crioulas é fundamental para a resistência e adaptação das

espécies em condições variadas de temperatura, mudanças climáticas, ataque de pragas e doenças. Além do fruto in natura, os produtores podem fazer bolos, artesanato, compotas e doces para venda em feiras, demonstrando a diversidade de produtos que podem surgir a partir da bananeira (BARROS *et al.*, 2016).

O uso da bananeira em agroflorestas de abundância e biodiversidade é muito presente. A planta é comumente chamada de “Musa dos SAFs” pelos produtores, devido seu importante papel dentro do sistema, que vai além da produção dos frutos. Para um sistema biodiverso, a bananeira é fornecedora de grande quantidade de matéria orgânica e nutrientes que podem ser adicionados ao solo, nas linhas de cultivo, a partir do corte de folhas e pseudocaule.

Como a colheita dos cachos promove a exportação de nutrientes do solo, a deposição dos resíduos da bananeira é de suma importância para a ciclagem desses. Soares *et al.* (2008), em avaliação dos nutrientes exportados e restituídos ao solo pelas cultivares Prata Anã e Grand Naine em região semiárida, constataram ótimos índices de restituição. Em relação ao fósforo, por exemplo, houve exportação de 3,2 e 7,9 kg ha⁻¹ para Prata Anã e Grand Naine, respectivamente. Quanto à restituição, foram atingidos os índices de 72,2% e 63,3% do total absorvido pelas cultivares.

A cobertura morta de origem orgânica promove a melhoria física, química e biológica do solo. Ademais, seu uso garante acúmulo de umidade, tornando-se uma prática muito importante, principalmente em regiões com baixa ou irregular incidência de chuvas. Em experimento realizado por Costa *et al.* (2021), foi mostrado que a produção da banana (variedade BRS Platina) não irrigada, com uso da cobertura morta advinda da própria cultura, foi maior que a produtividade no cultivo com uso de cobertura inorgânica (filme plástico) e sem cobertura.

Ao iniciar uma nova lavoura com cultivares anuais em SAFs, geralmente realiza-se a prática da retirada de touceiras das bananeiras, deixando cerca de três dos melhores filhos. Como o pseudocaule é rico em nitrogênio, água e minerais, ao ser cortado ao meio e posto sobre o solo, terá seus nutrientes reciclados pelo processo de decomposição. A realização do corte ao meio é fundamental para impedir a disseminação da praga conhecida como moleque da bananeira (*Cosmopolites sordidus*), pois dessa forma haverá a decomposição mais rápida do material, impossibilitando o desenvolvimento da larva (NETO *et al.*, 2016).

A produção de banana pode aumentar a partir da associação positiva da planta com organismos presentes no microbioma do solo, os quais encontram ambiente favorecido

para seu desenvolvimento pelo consórcio de espécies arbóreas nos SAFs. Em estudo realizado por Köberl *et al.* (2015), foi demonstrado que o cultivo de bananeira em agrofloresta na Nicarágua e na Costa Rica, utilizando leguminosas para adubação verde, promoveu aumento significativo de bactérias de potencial benéfico para as plantas e diminuição de *Erwinia spp.*, bactéria causadora da podridão-mole da bananeira.

Porém, o planejamento do sistema agroflorestal que abriga diferentes estratos arbóreos é crucial para que a produtividade da bananeira não seja afetada de forma negativa. As folhas largas da planta são muito eficientes na realização do processo fotossintético, mas este é prejudicado se houver sombreamento em excesso, como mostrado em estudo feito por Salazar-Díaz e Tixier (2019), no qual houve aumento da produtividade de espécies de estrato alto, enquanto a produção da bananeira foi diminuída no sistema devido competição por luminosidade, tendo em vista estar ocupando estrato inferior.

2.3.2 *Gliricídia (Gliricidia sepium)*

A Gliricídia é uma árvore pertencente à família Fabaceae, de origem na América Central (SANTOS *et al.*, 2018), muito conhecida em países tropicais pela sua utilização como forragem, cerca viva, adubo verde e outros. Por ser adaptada a regiões secas e produzir grande quantidade de biomassa, é uma espécie de importante uso em regiões semiáridas.

Silva *et al.* (2020), mostraram em estudo que o consórcio de café conilon e a leguminosa contribuiu significativamente para o maior aporte de massa seca e carbono no solo, nos valores de 12,62 Mg ha⁻¹ e 5,93 Mg ha⁻¹, respectivamente, além de contribuir para a redução da temperatura do solo e aumento da umidade. A quantidade de biomassa produzida varia de acordo com o manejo aplicado e com as condições edafoclimáticas. A longo prazo, o aporte desse material no solo viabiliza o aumento da fertilidade, auxiliando o desenvolvimento de culturas intercalares (PAULA *et al.*, 2015).

Dentro de um agroecossistema, a gliricídia é uma fonte de elevada qualidade de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio a partir da sua biomassa aérea, que tem alta taxa de liberação dos nutrientes no meio (ROJAS; CAICEDO; JAIMES, 2017). Sistemas de cultivo com uso da *G. sepium* são beneficiados também pelo fortalecimento da composição microbiológica da rizosfera. A formação de nódulos radiculares pela simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* promovem a fixação de nitrogênio no solo. No interior do nódulo, essas bactérias transformam o nitrogênio atmosférico (N₂) em amônia

(NH₃), forma que pode ser aproveitada pelas plantas, suprimindo suas necessidades de forma parcial ou total (COELHO *et al.*, 2018).

Tendo em vista suas características morfofisiológicas e funções ecossistêmicas, *G. sepium* é uma espécie muito usada em reflorestamento, recuperação de áreas degradadas e sistemas agroflorestais. A árvore pertence ao estrato alto, ou seja, em seu ecossistema de origem, ela ocupa o andar alto do clímax florestal e necessita de mais luminosidade para se desenvolver. No SAF, se a gliricídia for plantada por estaca, pode ter sua copa totalmente podada a partir de um ano de idade (NETO *et al.*, 2016), para renovação e adição de matéria orgânica nas linhas cultivadas.

Em sistema silvipastoril, a forragem fornecida por gliricídia é uma alternativa importante para alimentação animal em regiões semiáridas, tendo em vista ser produtiva mesmo em épocas secas. Pela sua qualidade nutricional, serve como banco de proteínas para ruminantes, apresentando em feno, o valor de 18,64% de proteína bruta e 91,24% de matéria seca em estudo realizado por Bayão *et al.* (2016).

Segundo Hernández *et al.* (2005), o uso de leguminosas em área de pastagem favorece a fertilidade do solo, o melhor rendimento de pasto e o aumento do peso animal. O consórcio entre as espécies leguminosas e forrageiras em sistemas agroflorestais confere maior sustentabilidade do sistema e incrementa a produção. Canul-Solis *et al.* (2018) mostraram que a produção forrageira das espécies *Gliricidia sepium*, *Tithonia diversifolia* e *Cynodon lemfuensis* foi maior em área de SAF que em área de monocultivo, sem que houvesse mudanças na qualidade nutritiva do pasto.

2.4 Modos para avaliar a fertilidade do solo

Considerando os potenciais distintos de exportação e ciclagem de nutrientes pelos componentes dos SAFs, é importante avaliar os impactos que isso causa na disponibilidade de nutrientes no solo. Para tanto, é necessário avaliar a fertilidade do solo na área de influência das espécies vegetais estabelecidas no sistema. Diversas metodologias foram descritas ao longo do tempo para avaliar a disponibilidade de nutrientes no solo, pois somente dessa forma é possível planejar, de maneira eficiente, a aplicação na quantidade necessária de fertilizantes e corretivos em áreas produtivas, racionalizando os custos, evitando desperdícios e déficits.

Dentre os métodos de avaliação da fertilidade mais empregados, podem ser destacados, de acordo com Miranda (1982):

-Sintomas visuais de deficiência: Método mais utilizado em culturas perenes para detecção de regiões que apresentam deficiência de um determinado nutriente. Geralmente os sintomas são bem característicos, mas pode haver dificuldade na identificação, pois cada espécie manifesta esses sintomas de forma específica, além de existir a probabilidade de serem confundidos com toxidez ou doença.

-Experimentos de campo: São aplicadas diferentes doses de nutrientes para avaliação do efeito isolado de cada um desses e suas interações, considerando as condições climáticas e de manejo. Geralmente esse método é aplicado para calibrar a metodologia da análise foliar e análise química do solo, por meio da determinação de ações e interações específicas dos nutrientes em determinado tipo ou grupo de solo.

-Pesquisas em casas de vegetação: Tem uso para determinação de problemas em solos de áreas desconhecidas ou com poucas informações e para realização de programas de adubação. A metodologia é preparada por meio do cultivo dos vegetais em vasos, com o controle de fatores ambientais (temperatura, umidade do solo, ar e luz). Esse método exige menor tempo para as análises e devido ao controle ambiental, pode ser realizado em qualquer época do ano. Como aspectos negativos, tem-se a necessidade de grandes quantidades de tratamentos, a alteração das propriedades do solo pela remoção das amostras e a interferência no desenvolvimento de raízes pelo menor volume de solo.

-Análises microbiológicas: Nessa metodologia são aplicados os mesmos princípios dos estudos feitos em casa de vegetação. Porém, utiliza-se da análise da absorção de nutrientes por microrganismos produzidos em meio de cultura, como *Azotobacter* (para fósforo e potássio) e *Aspergillus niger* (para P, K, S e micronutrientes). Todavia, o meio de cultura apresenta limitações pela probabilidade de sofrer modificações em seu pH, dificultando a análise mais precisa dos resultados.

-Análises de tecido: O método determina o teor total dos nutrientes no tecido vegetal. É preciso cautela na interpretação dos resultados e calibração para cada cultura avaliada, devido a variação desses estar relacionada com a espécie, idade da planta, parte analisada e estágio de crescimento. A análise geralmente é utilizada para plantas perenes, que poderão ter as deficiências identificadas e corrigidas em tempo adequado, diferentemente das culturas anuais, que têm grande probabilidade de não alcançar a recuperação antes de completar seu ciclo.

-Análises químicas de solo: É a metodologia mais empregada para avaliação da fertilidade do solo, determinação da necessidade nutritiva das plantas e recomendação de adubação. Possui como vantagens o rápido processamento de grande quantidade de amostras, a possibilidade de que as análises sejam feitas em qualquer época do ano, preço acessível e resultados precisos.

No Brasil, a análise de solo teve emprego limitado até o começo da década de 1960 e passou a progredir depois da criação de um programa de análise de solo pelo Ministério da Agricultura, em conjunto com a Universidade da Carolina do Norte. Após esse período, definiram-se métodos de análise química, critérios de interpretação de dados e outros, promovendo a expansão do número de laboratórios no país (RAIJ *et al.*, 2001).

Sem as análises de solo, a fertilidade pode se tornar fator que proporciona a queda da produtividade, representando manejo inadequado de áreas produtivas pela escassez de nutrientes para as culturas. A má gestão do solo pode deteriorar grandes quantidades de terras e ameaçar a subsistência rural em países desenvolvidos e em desenvolvimento (GONZÁLEZ *et al.*, 2014). Assim como a deficiência de nutrientes, o incremento excessivo também causa distúrbios ao meio, levando à contaminação de recursos hídricos e do solo por metais pesados tóxicos (RAIJ *et al.*, 2001).

As etapas das análises constituem: amostragem; análise química; interpretação dos resultados e recomendação. Dessas, a amostragem é a etapa fundamental para as avaliações e a mais crítica. A maioria dos erros em recomendações de fertilizantes e corretivos ocorre devido erros no processo de amostragem (MOREIRA; ARAÚJO; SILVA, 2020).

Para evitar falhas, alguns procedimentos devem ser seguidos, como a escolha do local a ser amostrado, o qual deve ser o mais homogêneo possível para melhor representatividade. De acordo com Guarçoni; Alvarez; Sobreira (2017), coletas feitas em maiores distâncias entre si demonstrarão variabilidades dos atributos ocasionadas por fatores de formação do solo, como clima e materiais de origem. Em relação a amostragem feita em distâncias menores, a variabilidade é causada por fatores como manejo e classes de solo, em processos mais localizados de adição, remoção e transformação do solo. Em áreas de SAF, a heterogeneidade dos atributos é maior do que em áreas de sistema convencional. Isso se deve à diversidade de espécies implantadas e suas interações específicas com a rizosfera, o que pode dificultar a amostragem e interpretação dos resultados.

No momento da coleta, o terreno deve ser dividido em talhões, levando em consideração aspectos como vegetação, topografia, textura do solo e histórico de uso. Esses fatores auxiliarão na composição de amostras representativas do espaço total (VILLAR, 2007).

Os instrumentos para amostragem mais usados no país são os trados de rosca, calador e holandês, e a pá-de-corte (SALET; NICOLODI; BISSO, 2005). Segundo Rozane *et al.* (2011), a quantidade de unidades amostrais necessárias para avaliar os atributos químicos do solo variam de acordo com o uso e manejo do solo e o erro aceitável para estimar a média. Geralmente, em cada talhão são coletadas entre 20 e 30 amostras simples, feitas “zig-zague”, em profundidade de 0 a 20 centímetros. Posteriormente, o material é misturado em recipiente para compor cerca de 1 quilo de amostra composta, a qual terá uma parte retirada e acondicionada em saco plástico limpo e identificado adequadamente (SOUZA; FRANDBSEN; HOLANDA, 2008). Durante todo o procedimento os instrumentos e recipientes utilizados devem estar devidamente higienizados.

A análise consiste no uso de extratores, denominação para as substâncias químicas utilizadas para retirar da amostra os elementos disponíveis no solo. Esse conjunto de elementos são encontrados na fase sólida e podem ser transferidos para a solução do solo, constituindo a reserva lábil absorvível pelas plantas. O valor de um determinado elemento, como o caso do fósforo (P), pode ser estimado por mais de um extrator. No Brasil são utilizados dois: resina aniônica e Mehlich 1, mas cada um interage com o solo de forma diferente e, portanto, apresenta teores diferentes (BATISTA *et al.*, 2018).

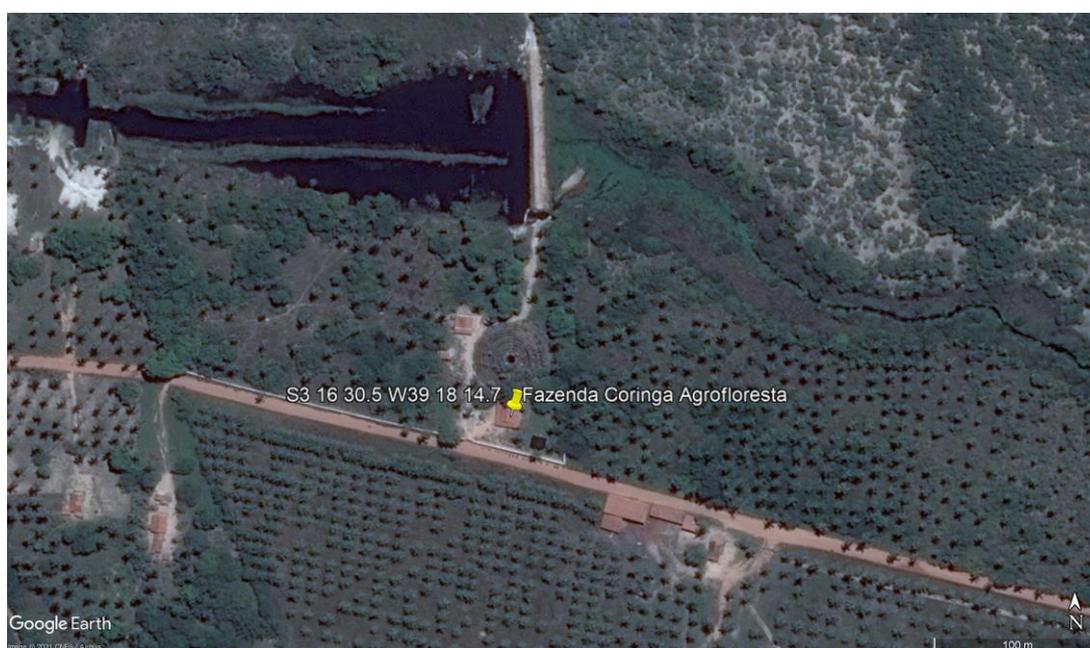
Os atributos químicos mais comumente determinados em análises de fertilidade são os cátions trocáveis cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), sódio (Na^+) e alumínio (Al^{3+}); pH; acidez potencial; fósforo (P) e carbono orgânico (CO). Esses atributos são indicativos do potencial produtivo do solo, avaliam a capacidade de troca de cátions (CTC), a toxidez por alumínio, a capacidade de adsorção de fósforo e outros fatores (MOREIRA; ARAÚJO; SILVA, 2020).

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em um sistema agroflorestal na Fazenda Coringa Agrofloresta. A fazenda está situada em Latitude 3° 16' 30.5" (S) e Longitude 39° 18' 14.7" (W) (Figura 1), no município de Trairi, norte do Ceará. O município fica a 137 km da capital Fortaleza, está a 18 metros de altitude (IPECE, 2012) e possui 928.725 km² de área territorial (IBGE 2020).

Figura 1 – Imagem de Satélite da Localização da Fazenda Coringa Agrofloresta.



Fonte: Google Earth 2017.

O SAF estudado foi implantado em agosto de 2019 e está em uma área de 2.964 m². Para a instalação do sistema, o solo foi arado e recebeu aplicação de calcário (100 g/m) e pó de rocha (200 g/m). Posteriormente, nas linhas de cultivo, foi feita adubação a lanço com esterco de galinha (2 kg/m). Vários grupos vegetais funcionais foram implantados no SAF, como as espécies para adubação, formação de biomassa para cobertura do solo e matéria orgânica, formando um sistema de abundância.

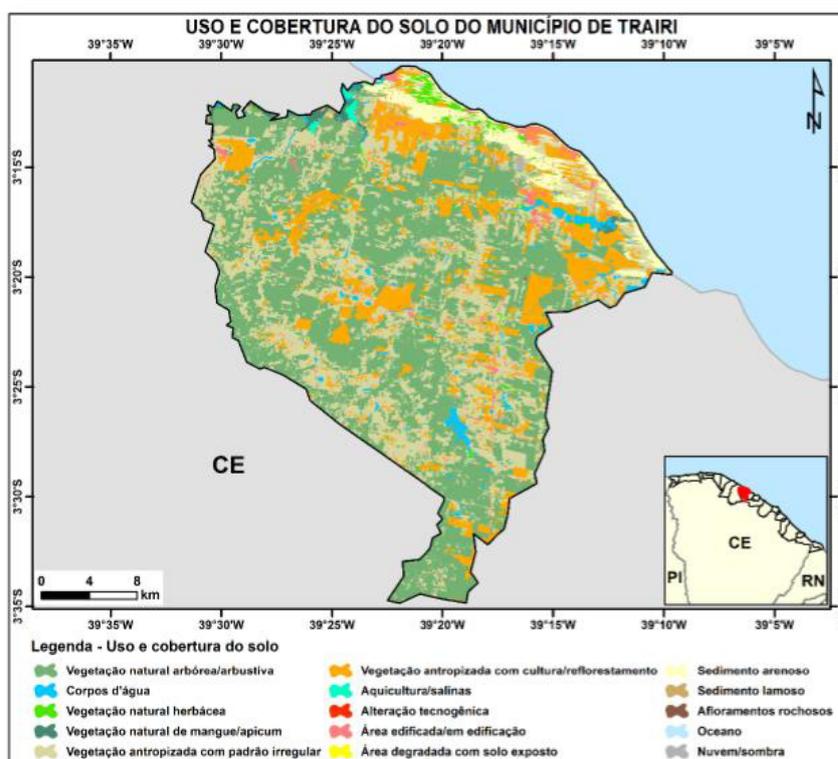
A área abriga mais de vinte espécies, dentre essas mogno, banana, gliricídia, goiaba, acerola, abacate e graviola, e as entrelinhas são cultivadas com capim tanzânia, cacau,

moringa e açaí. O manejo do sistema é realizado por meio de podas a cada dois meses e aplicação dos resíduos nas linhas de cultivo, com exceção do capim, que tem seu manejo realizado a cada 45 dias, com corte rente a solo e aplicação da poda nas linhas de cultivo.

O clima que caracteriza a área de estudo é do tipo tropical quente semiárido brando, com pluviosidade anual média de 1.588,8 mm, com período chuvoso de janeiro a abril, e temperatura média de 26° a 28°C. O relevo é composto por tabuleiros pré-litorâneos e planície litorânea com complexo vegetacional da zona litorânea e floresta perenifólia paludosa marítima (IPECE, 2012).

Os solos predominantes da região são: Neossolo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo, Gleissolo e Planossolo (IPECE, 2015). O município apresenta sedimento arenoso (duna) por toda a faixa litorânea e tem como principais atividades agropecuárias a carcinicultura, a avicultura, a bovinocultura, a tilapicultura e a ovinocultura. O uso e cobertura do solo são representados mais fortemente pela vegetação natural arbórea/arbustiva e pela vegetação antropizada com padrão irregular (Figura 2), ocupando, respectivamente, 43,79% e 30,81% de todo o território (SEMACE, 2016).

Figura 2 – Uso e Cobertura do solo - Trairi



Fonte: SEMACE, 2016.

Todas as amostragens de solo foram realizadas em junho de 2021. Para caracterização química e granulométrica do solo da área estudada, foram coletadas amostras simples deformadas em cinco pontos aleatórios, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm dentro da projeção da copa, de maneira generalizada para as espécies do SAF. Foi utilizado um trado holandês para as coletas (Figura 3).

Figura 3 – Coleta de amostras simples deformadas utilizando trado holandês (A), seguida pelo acondicionamento do material em baldes identificados com as camadas de 0-20 e 20-40 cm (B) visando constituição de amostra composta para fins de caracterização química e granulométrica do solo da área de estudo.



Fonte: a própria autora.

Amostras indeformadas foram coletadas em dois pontos aleatórios na projeção da copa de espécie estudada (bananeira e gliricídia). Para a coleta houve remoção dos restos vegetais na camada superficial do solo até que os anéis pudessem ser inseridos em profundidade representativa da camada de 0-10 cm. Foram usados anéis volumétricos com as dimensões de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura (Figura 4).

Figura 4 – Coleta de amostras indeformadas, utilizando anéis volumétricos, em área representativa da camada de 0-10 cm na área de influência das espécies bananeira e gliricídia.



Fonte: a própria autora.

Os resultados das análises de caracterização química e granulométrica nas camadas de 0-20 e 20-40 cm estão apresentados na Tabela 1. Os resultados da caracterização realizada nas amostras indeformadas para a camada de 0-10 cm para as espécies bananeira e gliricídia estão na Tabela 2.

Tabela 1 – Atributos químicos¹² e análise granulométrica para caracterização das camadas de 0-20 e 20-40 cm do solo na área de influência das copas de bananeira e gliricídia.

Profundidade	Na	K	Mg	Ca	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	PST
cm	cmol _c dm ⁻³									%		
0-20	0,08	0,09	0,51	0,85	0,05	1,90	1,53	1,55	3,43	44,61	1,61	2,26
20-40	0,05	0,05	0,24	0,41	0,05	1,07	0,75	0,77	1,82	41,09	3,23	2,58
Profundidade	pH _{H2O}	N	P	Zn	Cu	Fe	Mn	MO	CO	Argila	Areia	Silte
cm	-	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³				dag kg ⁻¹		%			
0-20	5,75	0,59	16,06	10,10	0,82	40,32	22,74	1,57	0,91	0,97	93,6	5,44
20-40	6,02	0,30	10,09	55,82	0,47	28,45	37,84	0,70	0,41	1,56	93,65	4,80

¹Extratores utilizados: P, Na, K e micronutrientes - Mehlich 1; Al, Ca e Mg - KCl 1 mol L⁻¹; N - H₂SO₄; CO - K₂Cr₂O₇ e H₂SO₄; H+Al - C₄H₆CaO₄.

²As análises foram realizadas com base em volume, utilizando cachimbo de 5 cm³ para Ca, Mg, P, K, Na, H+Al, Al e Micronutrientes, e cachimbo de 10 cm³ para pH.

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 2 – Atributos físicos do solo na área de influência das copas de bananeira e gliricídia na profundidade 0-10 cm.

Amostra	Densidade	CC	PMP	Ucc	Upmp	AD
-	kg dm ⁻³	g		cm cm ⁻³		
Bananeira	1,038	0,212	0,157	0,218	0,161	0,057
Gliricídia	1,028	0,283	0,196	0,278	0,191	0,087

Fonte: elaborada pela autora.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos aleatorizados com quatro repetições, em fatorial 2 x 4. O primeiro fator de tratamento foi constituído por duas espécies no SAF (gliricídia e bananeira), enquanto o segundo fator de tratamento foi composto por quatro distâncias horizontais (10, 20, 30 e 40 cm) para a coleta de solo em relação à projeção da copa das espécies informadas. No total foram feitas 32 unidades experimentais constituídas pela área de influência das espécies estudadas na parte central das linhas de plantio.

3.3 Coleta de amostras

As amostras foram coletadas em junho de 2021. Antes de cada coleta foi feita a roçagem superficial e retirada de restos vegetais dos locais amostrados. As amostras simples foram coletadas em relação à projeção da copa das espécies bananeira e gliricídia, no sentido das entrelinhas, com uso de sonda para amostragem de solo em profundidade de 10 cm e uso de régua para medição das distâncias horizontais (Figura 5).

A sonda utilizada na amostragem apresentou 1 metro de comprimento, 5 cm de diâmetro interno e graduação de 10 cm de profundidade, facilitando a coleta de amostras na camada desejada. A régua foi utilizada para orientar o posicionamento da sonda em relação à área de projeção da copa das plantas.

Após coleta, as amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e levadas ao Laboratório de Manejo do Solo da Universidade Federal do Ceará para realização de análises químicas.

Figura 5- Roçagem da camada superficial do solo e remoção de resíduos orgânicos grosseiros antes da coleta (A) e inserção da sonda de amostragem até a profundidade de 10 cm para coleta da amostra de solo (B).



Fonte: a própria autora.

3.4 Avaliação da fertilidade

As amostras de solo trazidas do campo foram secas ao ar e passadas em peneira com abertura de malha de 2mm. Os parâmetros de fertilidade do solo avaliados foram pH_{H_2O} ; macronutrientes: nitrogênio total (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K); sódio (Na); micronutrientes: cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn); acidez potencial (H+Al); alumínio (Al); matéria orgânica do solo (MOS); capacidade de troca de cátions (T); saturação por bases (V%); saturação por alumínio (m%); soma de bases trocáveis (SB) e porcentagem de sódio trocável (PST).

A determinação de P, Na e K foi feita por meio do extrator Mehlich 1, com leitura das concentrações de fósforo por espectrofotômetro (em comprimento de onda a 660 nm), e sódio e potássio por leitura em fotômetro de chama (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Para os cátions trocáveis Al, Ca e Mg, foi usado KCl 1 mol L⁻¹ como extrator, seguido pela determinação do alumínio trocável por solução diluída de NaOH 0,025 mol L⁻¹, enquanto cálcio e magnésio trocáveis foram determinados por espectrometria de absorção atômica (TEIXEIRA *et al.*, 2017). A extração dos micronutrientes foi feita usando Mehlich 1 como extrator e a

determinação foi realizada por espectrometria de absorção atômica com chama (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

O nitrogênio total foi obtido com base no método de digestão Kjeldahl. Para a digestão do N orgânico foi usado ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄) e a solução obtida foi alcalinizada com hidróxido de sódio concentrado (NaOH). Por fim, a amônia produzida foi destilada e captada por solução de ácido bórico, finalizando com titulação com ácido padronizado (RAIJ *et al.*, 2001).

O carbono orgânico foi analisado pelo método Walkley-Black. A oxidação do C foi feita por meio do dicromato de potássio e ácido sulfúrico, no bloco digestor, e a quantificação foi realizada pela titulação do dicromato com sulfato ferroso amoniacal, utilizando ferroin como indicador (MENDONÇA e MATOS, 2005).

A acidez potencial foi indicada por extração com acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e titulação com solução de NaOH com o indicador fenolftaleína 1%. O potencial hidrogeniônico do solo foi mensurado por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão de solo e água, na proporção 1:2,5 (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Os cálculos para verificação de CTC total e efetiva, SB, V%, m% e PST foram realizados a partir dos resultados encontrados nas análises químicas, conforme especificado em Teixeira *et al.* (2017).

3.5 Estatística

A análise estatística foi realizada no programa SAS (Statistical Analysis System, 1995). Inicialmente foi feita a análise de normalidade. Os atributos fósforo, potássio, cobre, alumínio, carbono orgânico e matéria orgânica não apresentaram distribuição normal e foram submetidos à transformação Box-Cox por meio do SAS, utilizando as seguintes equações: $P = P^{-0,6}$; $K = K^{-0,3}$; $Cu = Cu^{0,2}$; $Al = (Al + 0,5)^3$; $CO = CO^{0,5}$ e $MO = MO^{0,5}$, respectivamente. Foi realizada a análise de variância (ANOVA), o teste de Tukey para comparação de médias para o fator de tratamento qualitativo (bananeira e gliricídia) e o teste de regressão para o fator de tratamento quantitativo (distâncias). Na comparação de médias e na análise de regressão foi considerado o nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os atributos do solo diferiram em resposta à interação entre os fatores de tratamento espécies e distâncias foram: fósforo, carbono orgânico, matéria orgânica, nitrogênio, cálcio, magnésio, acidez potencial, zinco, soma de bases, CTC efetiva e potencial, porcentagem de saturação por bases e porcentagem de saturação por alumínio. Os atributos que diferiram de forma isolada para um ou ambos os fatores de tratamento foram: potássio, sódio, cobre e ferro (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise da variância (ANOVA)¹ para atributos de fertilidade do solo em resposta às distâncias da projeção da copa de dois componentes (bananeira e gliricídia) de sistema agroflorestal na faixa litorânea nordestina.

Fonte de variação	pH	MO	P	N	Ca	Mg	K	Na	PST	Al
-----Valor F-----										
Blocos	0,86 ^{ns}	3,75*	3,13*	6,79**	7,30**	5,52**	3,21*	7,32**	6,58**	2,33 ^{ns}
Espécies (E)	0,81 ^{ns}	0,77 ^{ns}	61,72**	0,34 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,69 ^{ns}	8,61**	0,77 ^{ns}	1,02 ^{ns}	1,17 ^{ns}
Distâncias (D)	0,29 ^{ns}	4,67*	43,62**	5,16**	1,43 ^{ns}	1,56 ^{ns}	3,86*	3,30*	2,74 ^{ns}	0,00 ^{ns}
E x D	1,53 ^{ns}	5,27**	66,20**	4,39**	9,93**	8,23**	1,89 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,62 ^{ns}	1,17 ^{ns}
CV% ¹	5,50	15,59	10,90	25,72	37,59	55,04	9,40	32,21	31,83	5,35
	H+Al	m%	V%	SB	T	T	Cu	Fe	Zn	Mn
-----Valor F-----										
Blocos	2,65 ^{ns}	6,05**	2,60 ^{ns}	8,21**	8,17**	12,39**	6,47**	1,00 ^{ns}	1,01 ^{ns}	5,61**
Espécies (E)	0,52 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,07 ^{ns}	50,77**	16,26**	2,44 ^{ns}	0,97 ^{ns}
Distâncias (D)	0,17 ^{ns}	4,15*	3,74*	1,33 ^{ns}	1,33 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,79 ^{ns}	2,14 ^{ns}	6,80**	1,17 ^{ns}
E x D	5,34**	11,01**	24,90**	12,05**	12,02**	5,84**	1,91 ^{ns}	2,20 ^{ns}	9,49**	2,19 ^{ns}
CV% ²	26,36	41,36	15,79	35,84	35,30	22,24	7,87	36,73	43,59	32,51

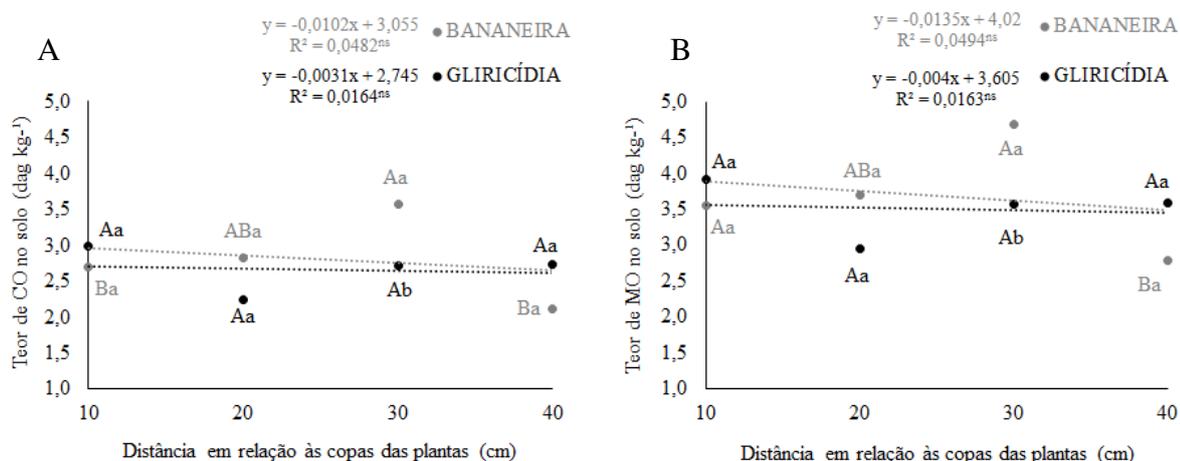
¹Os atributos MO, P, K, Al, e Cu não apresentaram distribuição normal e foram submetidos à transformação Box-Cox.

²CV = coeficiente de variação; ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Fonte: elaborada pela autora.

Os teores de carbono orgânico no solo não diferiram entre as espécies nas distâncias 10, 20 e 40 cm, mas diferiram aos 30 cm para a bananeira (Figura 6 A). Essa espécie esteve associada ao maior teor de CO que foi 3,57 dag kg⁻¹ para o dado transformado e 12,73 dag kg⁻¹ para o dado não transformado. Não houve significância para as regressões linear e quadrática para ambas as espécies.

Figura 6 – Teores de carbono orgânico¹ (A) e matéria orgânica¹ (B) no solo em diferentes distâncias em relação às copas de bananeira e gliricídia.



Médias seguidas por diferentes letras maiúsculas indicam diferença entre as distâncias para cada espécie, e por letras minúsculas, indicam diferença entre as espécies para cada distância pelo teste de Tukey a 5% de significância.

¹Os dados de CO e MO não apresentaram distribuição normal e foram submetidos à transformação Box-Cox utilizando a equação $CO = CO^{0,5}$ e $MO = MO^{0,5}$.

A análise de regressão não foi significativa para ambas as espécies. Os resultados para matéria orgânica foram semelhantes aos observados para carbono orgânico (Figura 6B) e isso ocorreu devido ao teor de MO ser calculado a partir da multiplicação do teor de CO pelo fator de Van Bemmelen (1,724). A bananeira resultou em maior teor de matéria orgânica em relação à gliricídia na distância de 30 cm, com valor de 21,94 dag kg⁻¹ para o dado não transformado.

As diferentes espécies cultivadas, tipos de solo e clima, geram alterações nas taxas de decomposição, acelerando ou não o processo de mineralização da matéria orgânica do solo resultando em diferentes teores de C orgânico nas áreas de cultivo (LOSS *et al.*, 2010). A taxa de decomposição para gliricídia é alta e ocorre de forma rápida. Rojas; Caicedo; Jaimes (2017) em estudo avaliando a dinâmica da decomposição de espécies em um SAF, comprovaram que

oito dias após o início da decomposição da serapilheira, a *G. sepium* mostrou a maior perda de peso residual, com 31,39%, em comparação a *Gmelina arborea*, *Cedrela odorata* e *Theobroma cacao*. A decomposição alta foi contínua até 113º dia, alcançando 74,80% da taxa de decomposição.

Em outro estudo, avaliando a contribuição em produção de biomassa e liberação de nutrientes de *Gliricidia sepium* e *Acacia angustissima* em SAF, foi constatado que durante a estação seca a decomposição dos resíduos foi mais lenta, mas ainda assim, a gliricídia apresentou menor tempo de meia vida, ou seja, liberou nutrientes no meio mais rapidamente (PAULA *et al.*, 2015).

Os menores teores de MO apresentados para gliricídia estão relacionados, provavelmente, à sua rápida e alta taxa de decomposição e liberação de nutrientes no meio, enquanto a bananeira apresenta decomposição mais lenta, favorecendo a permanência da biomassa acima do solo por mais tempo e promovendo maior acúmulo de carbono e matéria orgânica. Os valores de MO para os dados não transformados demonstram teores maiores do que os que estão apresentados na tabela de caracterização química do solo da área de estudo (Tabela 1). Isso pode estar relacionado à coleta de solo em locais com maior presença de biomassa.

Sistemas de uso da terra que produzem grande quantidade de biomassa promovem o sequestro de C no solo, o que contribui significativamente para a mitigação de efeitos negativos relacionados às mudanças do clima. Os SAFs, dessa forma, promovem a sustentabilidade no uso dos recursos naturais e o bem-estar das comunidades rurais (TITO; LEÓN; PORRO, 2009).

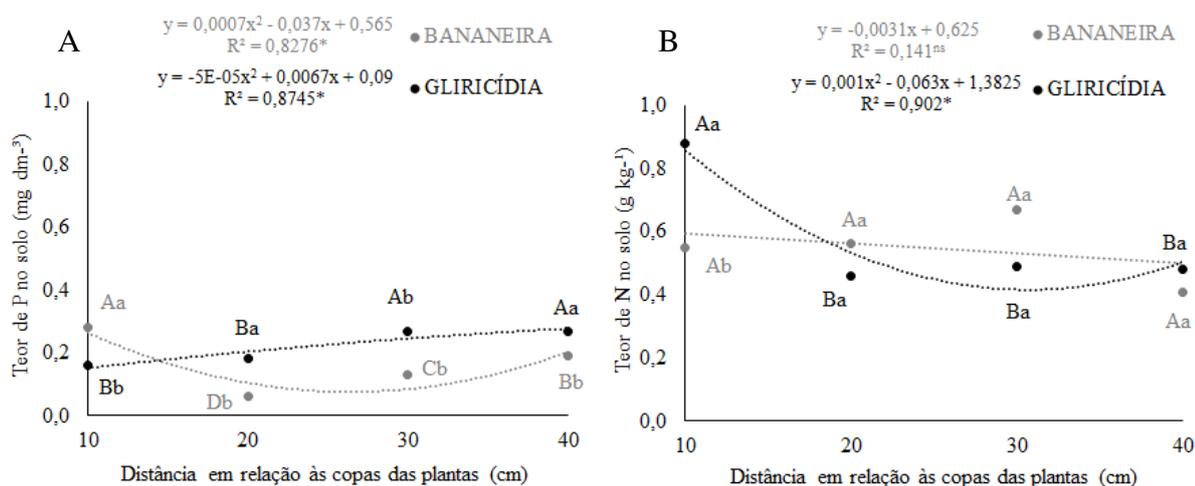
Em termos de interpretação da fertilidade do solo, os teores de MO observadas são considerados altos (SOBRAL *et al.*, 2015), servindo de indicador da qualidade do solo e demonstrando que o cultivo no SAF está garantindo a manutenção da fertilidade. Esses teores comprovam a importância da cobertura do solo para a ciclagem de nutrientes, melhoria da textura e da umidade, especialmente em solos arenosos de região semiárida, como é o caso da área do presente estudo.

Em pesquisa realizada por Menezes *et al.* (2008), os valores de MO, P e K encontrados em sistema agroflorestal e floresta natural não diferiram estatisticamente, indicando que o SAF preserva propriedades químicas do solo com valores semelhantes aos de floresta natural, mesmo sob constante manejo. Em outro estudo em SAF com cultivo de milho, foi demonstrado que a maior produção das plantas, a maior quantidade de nutrientes e os

maiores teores de matéria orgânica do solo se encontraram nas regiões mais próximas a *G. sepium*, reiterando a importância dessa leguminosa como uma componente adubadeira em SAF (MARIN *et al.*, 2006).

Para bananeira, houve diferença significativa entre o teor de fósforo e todas as distâncias em relação à projeção da copa (Figura 7A), mostrando maior teor aos 20 cm, com $132,12 \text{ mg dm}^{-3}$ para o dado não transformado. Para gliricídia, as médias a 10 e 20 cm e a 30 e 40 cm de distância não diferiram entre si. O maior teor de P para gliricídia, em relação aos dados não transformados, apresentou-se aos 10 cm, com $21,84 \text{ mg dm}^{-3}$. As médias entre as espécies apresentaram diferença significativa para todas as distâncias, exceto aos 30 cm.

Figura 7 – Teor de fósforo¹ (A) e nitrogênio (B) no solo em diferentes distâncias em relação às copas de bananeira e gliricídia.



Médias seguidas por diferentes letras maiúsculas indicam diferença entre as distâncias para cada espécie, e por letras minúsculas, indicam diferença entre as espécies para cada distância pelo teste de Tukey a 5% de significância.

¹Os dados de fósforo não apresentaram distribuição normal e foram submetidos à transformação Box-Cox utilizando a equação $P = P^{-0,6}$.

Os teores de fósforo para os dados não transformados apresentaram-se entre baixo, médio, alto e muito alto no solo (FERNANDES *et al.*, 1993). Antes da implantação do SAF em estudo, foi adicionado pó de rocha em toda a área, de modo que este deve ter auxiliado na disposição de P nas regiões que se encontram com alto teor do nutriente. A quantidade de adubo fosfatado (P_2O_5) recomendado, nesse caso, está entre 80 e 200 g/planta na época do plantio e entre 20 e 60 g/planta do segundo ano em diante, o qual deve ser distribuído em

aplicação única, juntamente com a primeira dose de N e K (FERNANDES *et al.*, 1993). O fósforo está relacionado ao desenvolvimento radicular e vegetativo e, por apresentar quase nenhuma mobilidade no solo, deve ser aplicado na cova de plantio (BORGES e SOUZA, 2010).

Marin *et al.* (2006), avaliaram a influência da *G. sepium* para a produção e composição química do milho, produção de folheto e alterações em características do solo e microclima, a diferentes distâncias, e observaram que os teores de P disponível foram significativamente maiores nas regiões mais próximas da gliricídia, com média de 8,6 mg dm⁻³, menor do que o valor encontrado para essa espécie no presente estudo. O local estudado pelos autores citados teve a espécie implantada 7 anos antes da realização das análises, o que provavelmente influenciou no acúmulo de P, sugerindo que no decorrer dos anos, a área do SAF irá adquirir aumento dos teores de fósforo no solo.

A decomposição dos resíduos vegetais tem a velocidade de liberação dos nutrientes a depender da forma e localização que estes se encontram no tecido da planta. Como o fósforo fica em maior parte associado a componentes orgânicos do tecido vegetal, sua liberação torna-se estreitamente relacionada à decomposição pela microbiota do solo (PAULA *et al.*, 2015).

A área de SAF da Fazenda Coringa tem no solo expressiva camada formada por resíduos de podas, favorecendo a manutenção da vida microbiana e a liberação P para as plantas. A absorção desse nutriente certamente ocorre de forma mais eficiente devido a associação das raízes com fungos micorrízicos arbusculares (FMA). A colonização das raízes por FMA pode aumentar de forma muito significativa a absorção de nutrientes como fósforo e nitrogênio, sendo ainda mais eficiente a absorção do primeiro (GEORGE; MARSCHNER; JAKOBSEN, 1995). Essa simbiose provavelmente é a responsável pelas espécies se desenvolverem bem na área, mesmo com o baixo teor do nutriente no solo. Porém, para uma avaliação mais precisa sobre o estado nutricional das espécies quanto ao fósforo, seria necessária a realização de análise foliar das bananeiras.

A distribuição do sistema radicular das espécies pode ter influência na absorção do fósforo. A bananeira possui raízes fasciculadas que se distribuem a maiores distâncias na camada mais superficial do solo, o que pode explicar maior absorção de P em maiores distâncias em relação à copa, quando comparada à gliricídia.

As médias de nitrogênio entre as espécies diferiram aos 10 cm. Para a bananeira, não houve diferença significativa entre o teor de nitrogênio e as distâncias em relação à

projeção da copa (Figura 7B). Já para a gliricídia, aos 10 cm da copa, o teor de nitrogênio foi o maior, reduzindo conforme aumentava a distância, com tendência a elevação novamente a partir dos 40 cm. A maior quantidade de N mais próximo à copa da gliricídia pode estar relacionada à maior concentração de raízes nessa região, mas com um efeito inverso ao observado em relação ao P.

Para explicar o maior teor de N mais próximo à copa da gliricídia, considera-se bactérias fixadoras de nitrogênio (BFN), as quais possuem a capacidade de colonizar raízes de leguminosas formando nódulos, e, dentro destes, as bactérias transformam nitrogênio atmosférico em amônia (NH_3), que pode ser absorvida pelas plantas, suprimindo de forma parcial, ou até mesmo total a demanda por N (COELHO *et al.*, 2018).

Coelho *et al.* (2018) em estudo, avaliando os distintos gêneros de BFN que colonizam *G. sepium* e *Clitoria fairchildiana*, constataram que a gliricídia foi predominantemente colonizada por *Rhizobium*, com cepas de rápido crescimento, o que demonstra a eficiência da simbiose entre o vegetal e a bactéria na fixação de nitrogênio no solo.

Devido a FBN, a gliricídia também auxilia na disponibilidade deste nutriente para as outras culturas que são cultivadas em consórcio, ou que recebem as podas da espécie como adubo verde. Como foi constatado em estudo realizado por Oliveira *et al.* (2018), a adubação verde utilizando *G. sepium* melhorou a fertilidade do solo na disponibilidade de N e favoreceu o crescimento de plantas de milho.

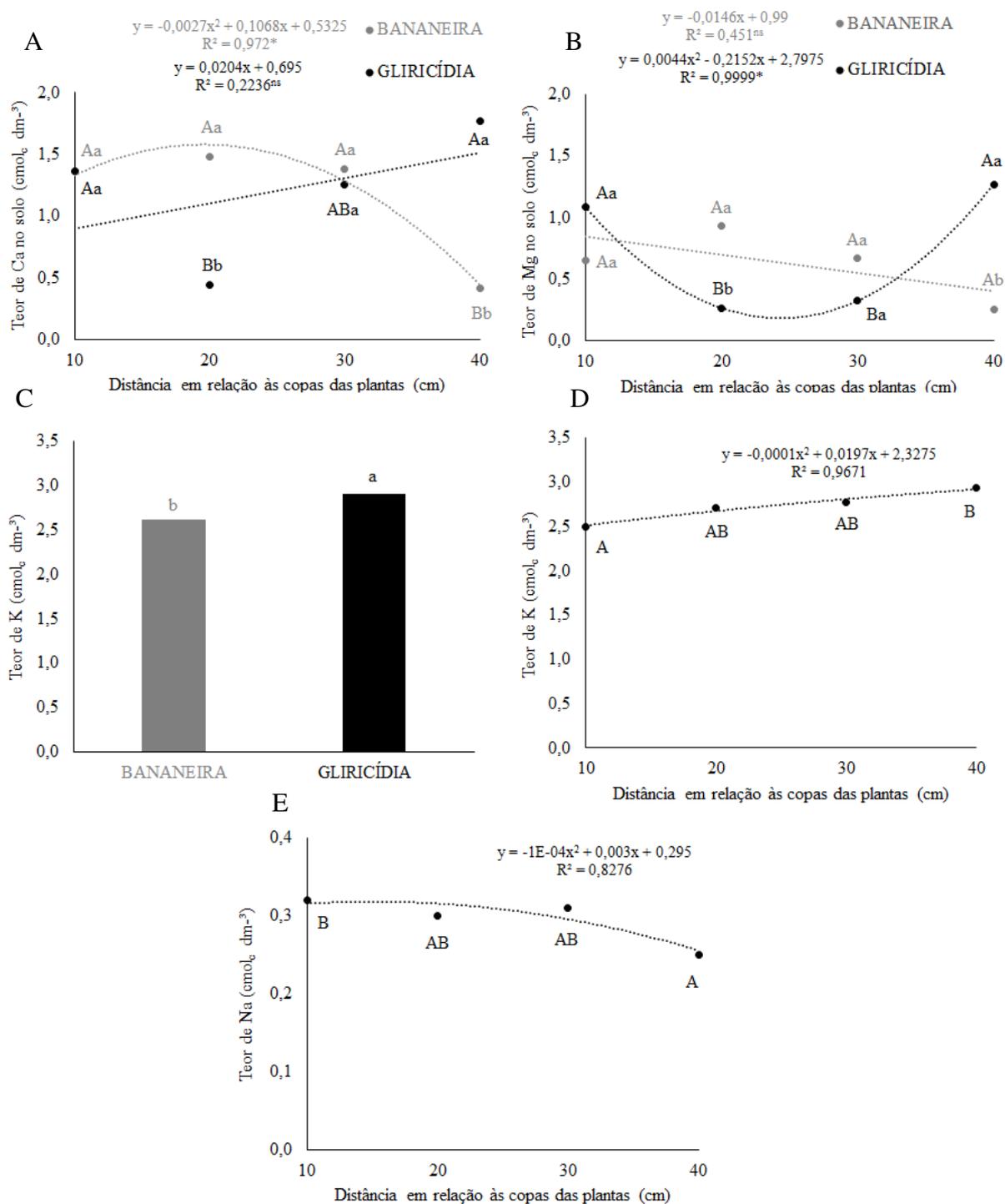
Os teores de cálcio na zona de influência da copa da bananeira não apresentaram diferença significativa entre as distâncias de 10 a 30 cm, apenas diferiram para 40 cm (Figura 8A) e a análise de regressão indicou coeficiente de determinação elevado. Para gliricídia, os teores de Ca aos 10 e 40 cm não diferiram significativamente entre si, mas diferiram do teor apresentado na distância de 30 cm. O maior teor de Ca para bananeira foi aos 20 cm em relação à copa, e para gliricídia, aos 40 cm. As médias entre bananeira e gliricídia diferiram significativamente apenas para as distâncias de 20 e 40 cm.

Para gliricídia, os teores nas distâncias de 10 e 40 cm não diferiram entre si, assim como aos 20 e 30 cm. Para esta espécie, o maior teor observado foi aos 40 cm em relação à copa ($1,27 \text{ cmolc dm}^{-3}$). A linha de tendência observada para os teores de Ca, para bananeira, diminui à medida que aumenta a distância da copa. Com relação ao Mg, a gliricídia apresenta tendência à elevação dos teores a partir dos 30 cm. Observa-se que a *Musa spp.* apresenta predisposição a valores reduzidos dos nutrientes com o aumento da distância da copa e, para a

G. sepium, a tendência a teores reduzidos desses nutrientes quanto mais próximo à projeção da copa. Esses resultados novamente devem estar relacionados à diferença na distribuição radicular para cada espécie.

Os níveis observados para cálcio estão entre baixo e médio e, para magnésio, estão entre baixo e alto para ambas as espécies (FERNANDES *et al.*, 1993). Paula *et al.* (2015) observaram que *G. sepium* possui maior teor de Ca em relação a *Acacia angustissima* e, estudando as duas espécies, constataram que a liberação de nutrientes no solo pela decomposição dos resíduos vegetais obedeceu a seguinte ordem: K>P>N>Mg>Ca. Como o Ca constitui a lamela média da parede celular vegetal (TAIZ e ZEIGER, 1991), pode ser devido a esse fator que sua liberação é mais lenta em comparação aos demais macronutrientes.

Figura 8 – Teores de cálcio (A), magnésio (B), potássio¹ (C e D) e sódio (E) no solo em diferentes distâncias em relação às copas de bananeira e gliricídia.



Médias seguidas por diferentes letras maiúsculas indicam diferença entre as distâncias para cada espécie, e por letras minúsculas, indicam diferença entre as espécies para cada distância pelo teste de Tukey a 5% de significância.

¹Os dados de potássio não apresentaram distribuição normal e foram submetidos à transformação Box-Cox utilizando a equação $K = K^{-0,3}$.

A deposição de resíduos de plantas sobre o solo desacelera a decomposição pela microbiota, pois sua ação é dificultada devido ao menor contato com o solo. Com a constante deposição, pode haver a contínua produção de compostos orgânicos, o que promove também efeito contínuo sobre a fertilidade do solo (PAVINATO e ROSOLEM, 2008). A liberação lenta de Ca no meio e a contínua colocação dos resíduos das podas sobre o solo sugerem a deposição lenta e constante do nutriente, de forma a manter a produtividade das espécies no SAF, mas apresentando-se em níveis baixo e médio no solo.

Os teores de potássio responderam aos fatores de tratamento isoladamente (Figura 8C e 8D). Na análise de variância, o nutriente não manifestou distribuição normal e foi necessária a transformação dos dados. As médias de K diferiram significativamente entre as espécies, obtendo maior teor para gliricídia, com $2,90 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para os dados transformados e para bananeira, com $0,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para os dados não transformados. Em relação às distâncias, os maiores teores de potássio se concentraram aos 40 cm, com $2,93 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para os dados sem transformação e aos 10 cm, com $0,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para os dados transformados.

Os dados sem transformação demonstram resultados semelhantes ao teor de K encontrado na profundidade de 20-40 cm na análise de caracterização química do solo. Com esses resultados tem-se a interpretação de teores muito baixos para K no solo, com valores menores que $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Nesse caso, o recomendado para bananeira é a aplicação de 60 g de K_2O por planta em época de plantio e 300 g/planta para adubação de formação e de produção (FERNANDES *et al.*, 1993).

Borges e Souza (2010) recomendam ainda, para valores de K no solo entre 0 a $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, o total de 300 kg ha^{-1} para adubação de formação, quando a bananeira estiver entre 120 a 360 dias após o plantio, e o total de $300 \text{ a } 750 \text{ kg ha}^{-1}$ para adubação de produção, a depender da produtividade esperada. Além da adubação potássica, também é recomendado a aplicação de 20 litros de esterco curtido por touceira em intervalos de quatro meses para solos de textura arenosa, e o uso da biomassa da bananeira para cobertura e incorporação de matéria orgânica no solo.

O potássio compõe os nutrientes primários, juntamente com o nitrogênio e fósforo. Geralmente as plantas cultivadas possuem quantidades semelhantes de N e K, mas em diversas culturas o teor de potássio excede o de nitrogênio (LOPES, 1995). A bananeira é uma dessas culturas de maior absorção de K. Em pesquisa realizada por Brasil *et al.* (2000), a

adubação com esse nutriente, no segundo e terceiro ciclos de produção da banana, promoveu aumento nos pesos de cachos, penca por cacho e peso médio de penca.

O processo de decomposição da biomassa depende da forma dos nutrientes no tecido vegetal e da sua localização neste (PAULA *et al.*, 2015). O potássio encontra-se na forma iônica no vacúolo das células vegetais e em componentes que não fazem parte da estrutura da planta (MARSCHNER, 1995), tendo, portanto, rápida liberação no meio. Com isso, fatores como irrigação, precipitações e manejo de plantas de cobertura, contribuem para a lixiviação do nutriente (PAULA *et al.*, 2015) principalmente em solos arenosos, que facilitam esse processo, como é o caso do presente estudo.

A perda de K no solo é facilitada, mas sua absorção pelas plantas também pode ser facilitada em relação aos outros nutrientes. O potássio não necessita da decomposição e mineralização realizada por microrganismos para ser liberado no meio, pois ele é liberado da matéria orgânica após a morte celular dos vegetais (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007). Como a liberação de K da biomassa para o solo ocorre em velocidade maior que os demais nutrientes, provavelmente é por esse fator que a quantidade de K para a bananeira é menor que para gliricídia, tendo em vista sua necessidade por tal nutriente ser mais elevada.

Para os teores de Na no solo, os resultados diferiram significativamente somente para as distâncias e foram observados baixos teores do elemento (Figura 8E). As médias diferiram significativamente entre 10 e 40 cm e foi demonstrada a tendência de redução dos teores à medida que aumentaram as distâncias em relação às copas das plantas.

Para os teores de Na no solo, os resultados diferiram significativamente somente para as distâncias (Figura 8E). A salinização é um problema comum nos solos das regiões semiáridas brasileiras, que ocorre principalmente pela dinâmica de uso e ocupação da terra com manejo inapropriado, como irrigação inadequada (DE SÁ *et al.*, 2014) e adubação excessiva. Solos com excesso de sódio ficam dispersos, limitando a aeração e a infiltração de água, sendo necessária a recuperação por meio da gessagem (LOPES, 1995).

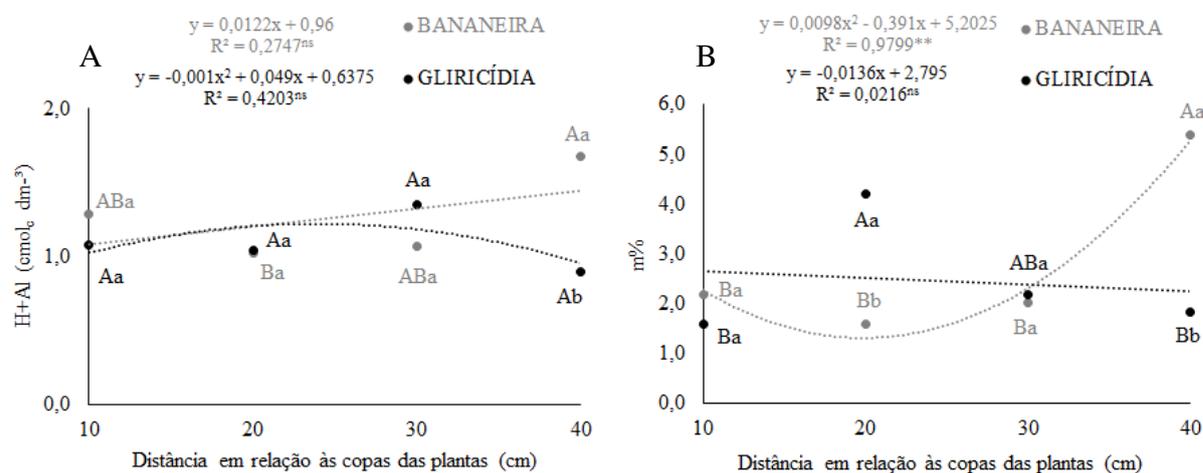
Os resultados encontrados no presente estudo foram semelhantes aos apresentados por Nascimento *et al.* (2018), que avaliaram atributos químicos de um sistema agroflorestal com plantio de milho sob influência de leguminosas em Sobral, Ceará, e foram observados baixos teores de Na, sem que houvesse riscos de sodificação do solo.

O presente trabalho obteve valores de Na ainda menores do que os teores encontrados por Oliveira *et al.* (2018) em pesquisa avaliando o efeito da deposição de partes

de plantas da família fabaceae (*Mimosa caesalpinifolia*, *Mimosa hostilis* e *Gliricidia sepium*) no crescimento e nutrição de plantas de milho.

No que diz respeito à acidez do solo, para a área de influência da bananeira houve diferença significativa entre os valores médios da acidez potencial para as distâncias de 20 e 40 cm, com maior valor nesta última (1,68 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$). Os valores associados à gliricídia não apresentaram diferença significativa com as distâncias. O maior valor de H+Al observado foi aos 30 cm (1,35 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$). Houve diferença significativa para a média entre as espécies somente aos 40 cm.

Figura 9 – Valores de acidez potencial - H+Al (A) e de porcentagem de saturação por alumínio - m% (B) no solo em diferentes distâncias em relação às copas de bananeira e gliricídia.



Médias seguidas por diferentes letras maiúsculas indicam diferença entre as distâncias para cada espécie, e por letras minúsculas, indicam diferença entre as espécies para cada distância pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os valores da acidez potencial observados são similares aos valores encontrados na caracterização e são considerados baixos, tanto na zona de influência da bananeira, quanto da gliricídia, indicando baixa presença de alumínio no solo. Isso indica a qualidade do crescimento radicular das espécies dentro do SAF, pois a presença de Al^{3+} em grande quantidade pode provocar a inibição do crescimento de raízes e influencia negativamente na disponibilidade de nutrientes e mineralização da matéria orgânica (SOBRAL *et al.*, 2015).

O baixo teor de argila e de matéria orgânica em solos arenosos contribui para a limitação da disponibilidade de bases trocáveis, provocando a redução do pH e favorecendo maiores valores da acidez potencial. Portanto, valores mais elevados de H+Al eram esperados

para análise do solo do presente estudo, tendo em vista este possuir mais de 90% de areia em sua composição (Tabela 1). O maior aporte de MO dentro de sistemas agroflorestais está diretamente relacionado à redução da acidez trocável (FÁVERO; LOVO; MENDONÇA, 2008). A deposição da poda das plantas sobre o solo promove a complexação de hidrogênio e alumínio com compostos advindos desses restos vegetais, antes da humificação, liberando nutrientes como Ca e Mg em solução do solo. Essa liberação de nutrientes pode gerar o aumento da CTC e elevação do pH (PAVINATO e ROSOLEM, 2008), fatores considerados contribuintes para os resultados de H+Al do SAF em estudo.

Os valores da acidez potencial encontrados neste trabalho são ainda menores do que os observados por Fávero, Lovo e Mendonça (2008), que ao compararem atributos químicos do solo de SAF, área de pasto e área degradada, obtiveram menores teores de H+Al na área de agrofloresta, além de maior dinâmica de C orgânico e disponibilização de nutrientes no solo.

Para bananeira, foi observada a tendência do aumento da acidez potencial em relação à gliricídia, principalmente em regiões mais distantes da projeção da copa. Esse resultado condiz com o que foi observado para a disponibilidade de nutrientes nas zonas mais distantes da influência da copa da bananeira, sugerindo que esta espécie está absorvendo grande quantidade de bases trocáveis a maiores distâncias, resultando em maior acidez nesses espaços.

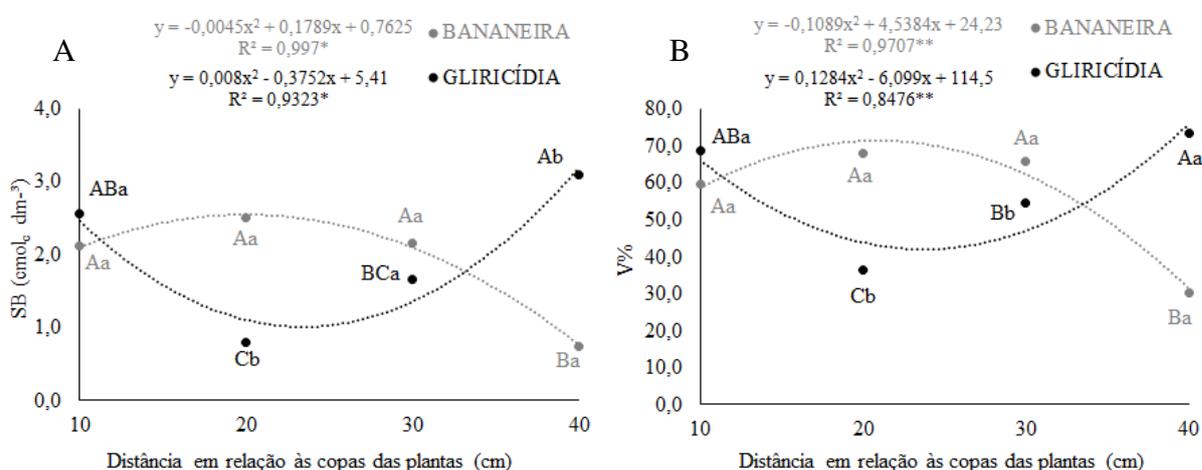
A saturação por alumínio para bananeira não expressou diferença significativa das distâncias de 10 a 30 cm, somente aos 40 cm, no qual indicou maior porcentagem (5,38%). A análise de regressão foi significativa a 5% de probabilidade expressando alto coeficiente de determinação. A maior porcentagem para gliricídia foi observada aos 20 cm com 4,21% de saturação por alumínio. As médias entre as espécies diferiram aos 20 e aos 40 cm.

Os valores apresentados são baixos para ambas as espécies em todas as distâncias. O solo com baixa saturação por alumínio indica que não há impedimento para o desenvolvimento radicular das espécies. O excesso de Al^{3+} provoca uma barreira química no solo, dificultando o desenvolvimento de raízes, trazendo a necessidade da aplicação de gesso para que haja o aprofundamento radicular e a melhor absorção de água pelos vegetais em camadas mais profundas do solo (RAIJ, 2001).

A soma de bases na zona de influência da copa da bananeira expressou significância somente para 40 cm, com coeficiente de determinação elevado para a regressão quadrática (Figura 10A). A soma de bases apresentou valores crescentes até 20 cm,

manifestando maior valor ($2,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e foi decaindo a partir de 30 cm, onde apresentou menor teor ($0,74 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). A média apresentada pela gliricídia aos 10 cm apenas diferiu do menor teor, aos 20 cm ($0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Aos 30 cm de distância, o teor da soma de bases não diferiu da menor média e nem do teor apresentado aos 10 cm. A regressão quadrática para essa espécie também manifestou alto coeficiente de determinação. As médias entre as espécies diferiram em 20 e 40 cm de distância da projeção da copa.

Figura 10 – Soma de bases (A) e saturação por bases (B) no solo em diferentes distâncias em relação às copas de bananeira e gliricídia.



Médias seguidas por diferentes letras maiúsculas indicam diferença entre as distâncias para cada espécie, e por letras minúsculas, indicam diferença entre as espécies para cada distância pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os teores da soma de bases observados estão entre baixo e médio, semelhantes aos valores encontrados em solos de sistema agroflorestal estudados por Fávero, Loro e Mendonça (2008), Oliveira *et al.* (2018) e Bezerra *et al.* (2018). As maiores contribuições para a soma de bases foram de cálcio e magnésio, pois apresentaram maiores teores na análise química. Os valores de Ca, Mg e K trocáveis em sistemas com manejo de adubação verde tendem a aumentar nas camadas superficiais, mas pode ser devido à quantidade presente no resíduo de poda, não necessariamente estando relacionado ao aumento da disponibilidade do nutriente no solo (PAVINATO e ROSOLEM, 2008).

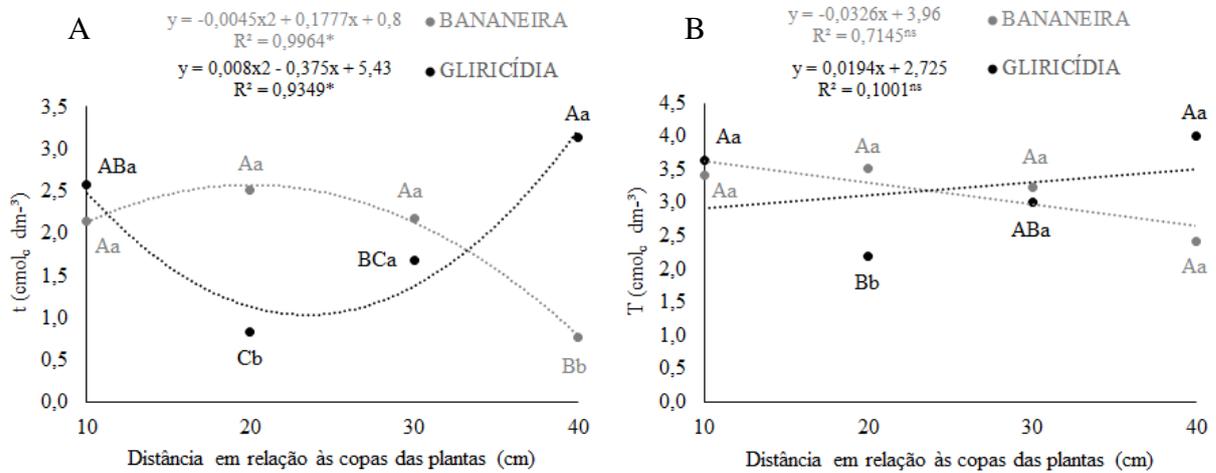
A saturação por bases manifestou a mesma tendência da soma de bases (Figura 10). Para bananeira não houve diferença significativa de 10 a 30 cm, apenas para 40 cm. As porcentagens foram crescentes de 10 cm (59,88%) a 20 cm (67,97%), e decrescentes a partir dos 30 cm. A análise de regressão indicou significância a 1% e indicou alto coeficiente de

determinação. Para gliricídia, V% aos 20 cm expressou o menor valor (36,30%) e diferiu significativamente de todas as outras distâncias. A porcentagem aos 10 cm não diferiu significativamente de 30 e 40 cm. Os valores decresceram aos 20 cm e se tornaram crescentes a partir de 30 cm, apresentando maior porcentagem aos 40 cm (73,49%) de distância em relação à copa. A análise de regressão foi significativa a 1% e indicou bom coeficiente de determinação. As médias entre bananeira e gliricídia somente diferiram aos 20 e aos 30 cm de distância da copa.

A análise de caracterização do solo do SAF apresentou valores menores que 50% para saturação por bases, classificando-o como distrófico (DOS SANTOS *et al.*, 2018). Porém, os valores próximos à bananeira apresentaram-se maiores que 50%, diferentemente da gliricídia, possivelmente devido ao efeito da deposição de resíduos de forma mais intensa na zona de influência da bananeira.

A CTC efetiva (t) apresentou diferença para as espécies entre 20 e 40 cm. Na zona de influência da copa da bananeira não indicou diferença significativa para as distâncias 10, 20 e 30 cm, somente para 40 cm (Figura 11A). O coeficiente de determinação para a regressão quadrática expressou valor elevado. A CTC efetiva foi crescente até 20 cm, onde apresentou a maior teor ($2,52 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), e foi decrescendo em 30 e 40 cm, onde apresentou menor valor ($0,77 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). A t para gliricídia foi decrescente de 10 a 20 cm, com os valores 2,58 e $0,83 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, mas aumentou o teor aos 30 e 40 cm, com 1,68 e $3,13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. Não houve diferença significativa entre o valor aos 10 cm em relação a 30 e 40 cm, nem entre 20 e 30 cm.

Figura 11 – CTC efetiva (A) e CTC total (B) no solo em diferentes distâncias em relação às copas de bananeira e gliricídia.



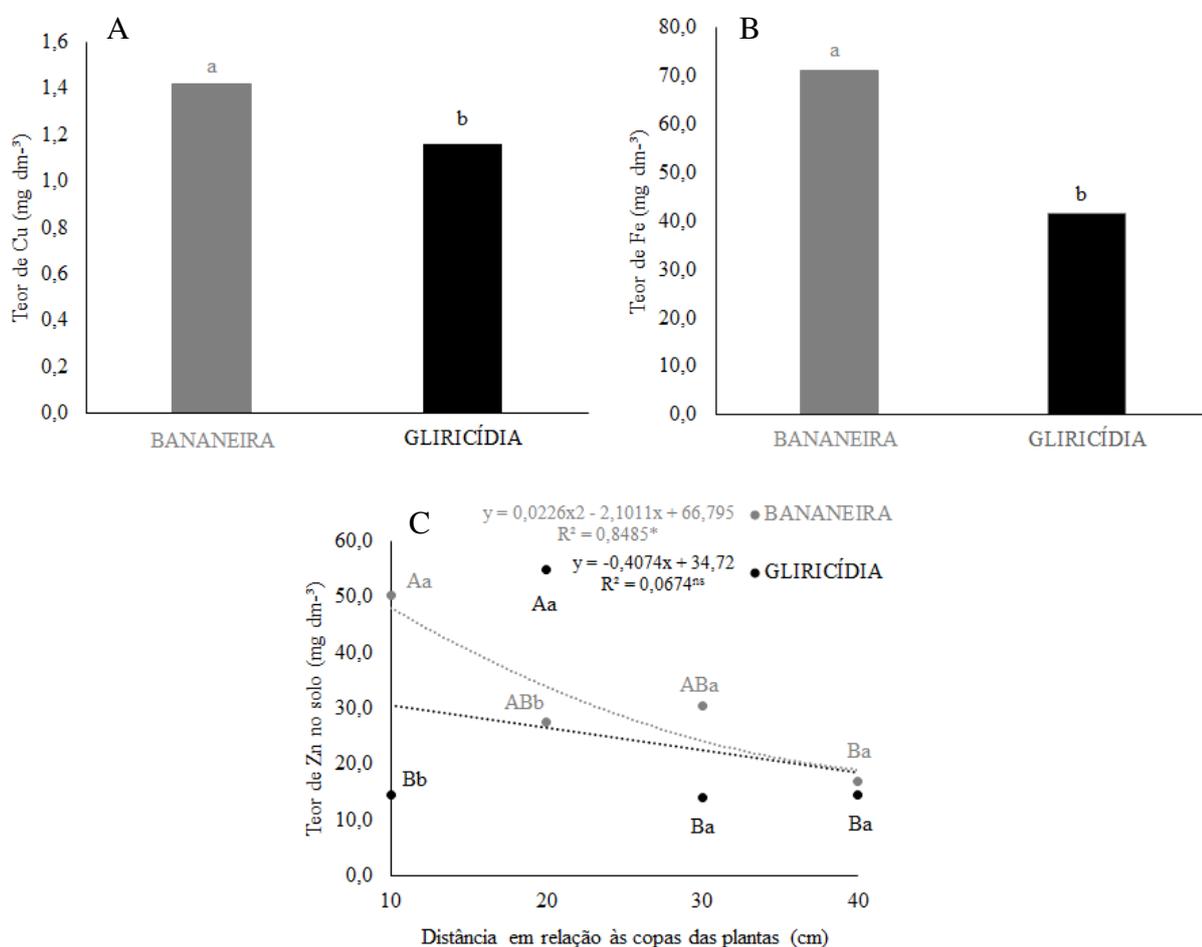
Médias seguidas por diferentes letras maiúsculas indicam diferença entre as distâncias para cada espécie, e por letras minúsculas, indicam diferença entre as espécies para cada distância pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Na CTC total, as regressões linear e quadrática não apresentaram significância tanto para bananeira, quanto para gliricídia (Figura 11B). Entre as espécies, houve diferença significativa somente para 20 cm. Os maiores valores de CTC total e efetiva mais próximo da bananeira em comparação à gliricidia, condiz com os valores encontrados para SB, V% e MO. O acúmulo de matéria orgânica mais próximo à bananeira pode estar contribuindo para a maior quantidade de ânions nessa região e maior capacidade de troca catiônica. Como já mencionado, aparentemente a bananeira absorve maior teor de nutrientes nas regiões mais distantes de sua copa, corroborando com os menores valores de CTC aos 40 cm.

Em pesquisa realizada por Campanha *et al.* (2007), comparando a fertilidade do solo cultivado com cafeeiros em SAF e em monocultura, o parâmetro CTC demonstrou melhores condições na agrofloresta, com valores maiores para CTC total e valores semelhantes à CTC efetiva em relação ao presente estudo. Solos menos argilosos possuem menor CTC, como os valores encontrados na CTC total do presente estudo, abaixo de $5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (SOBRAL *et al.*, 2015), e, portanto, é importante a utilização da adubação verde para que haja adição de matéria orgânica no meio, influenciando o aumento da capacidade de troca de cátions. Em pesquisa realizada por Oliveira *et al.* (2018), a *G. sepium* se mostrou eficiente nesse sentido, pois foi observado o aumento dos teores de CTC após 65 dias de aplicação dos resíduos da espécie sobre o solo.

Em relação aos micronutrientes, o cobre apresentou teores considerados altos para os dados não transformados, enquanto ferro classificou-se entre médio e alto (BRASIL e CRAVO, 2007). Ambos apresentaram significância apenas para o fator de tratamento espécie. Bananeira e gliricídia apresentaram diferença significativa entre si, com o teor de ferro a 70,95 mg dm⁻³ para a primeira espécie e o valor de 41,50 mg dm⁻³ para a segunda (Figura 12). O teor de cobre diferiu significativamente entre as espécies, apresentando maior valor para bananeira, com 1,42 mg dm⁻³ para os dados transformados (Figura 12) e 6,3 mg dm⁻³ para os dados sem transformação.

Figura 12 – Teores de cobre¹ (A), ferro (B) e zinco (C) no solo em relação às espécies bananeira e gliricídia.



Médias seguidas por diferentes letras maiúsculas indicam diferença entre as distâncias para cada espécie, e por letras minúsculas, indicam diferença entre as espécies para cada distância pelo teste de Tukey a 5% de significância.

¹Os dados de Cu não apresentaram distribuição normal e foram submetidos à transformação Box-Cox utilizando a equação $Cu = Cu^{0,2}$.

Os teores de cobre e ferro foram maiores do que os observados na análise de caracterização da área, apresentando teores altos para o Cu e entre médio e alto para Fe (BRASIL e CRAVO, 2017). Ao comparar esses micronutrientes, os teores do primeiro estão muito abaixo dos teores do segundo. Em estudo realizado por Silveira *et al.* (2007) e Toledo; Pereira; Menezes (2002), avaliando atributos químicos do solo advindos da decomposição da serapilheira de sistema agroflorestal e de florestas secundárias em diferentes graus de desenvolvimento, respectivamente, foram encontrados resultados semelhantes aos do presente estudo para cobre e ferro, em relação aos teores mais baixos para o Cu e mais elevados para Fe.

Para zinco, os teores observados são altos (BRASIL e CRAVO, 2007). As médias apresentaram significância para a interação dos fatores de tratamento, com tendência de redução dos teores à medida que houve aumento da distância em relação à copa da bananeira. Os maiores teores observados foram aos 10 cm ($50,14 \text{ mg dm}^{-3}$) e aos 20 cm ($54,91 \text{ mg dm}^{-3}$) para bananeira e gliricídia, respectivamente, e não houve diferença significativa entre ambas as espécies nessas distâncias.

Os maiores teores obtidos foram semelhantes aos observados na camada de 0-40 cm da caracterização da área, enquanto os outros teores foram maiores do que os apresentados na camada de 0-20 cm para a caracterização. Campanha *et al.* (2007), em estudo, demonstraram o teor médio de $4,78 \text{ mg dm}^{-3}$ de Zn em sistema agroflorestal na profundidade de 0-20 cm e $4,11 \text{ mg dm}^{-3}$ na profundidade de 20-40 cm, muito abaixo do que foi observado no presente trabalho. Os solos arenosos geralmente possuem teores mais baixos de Zn, diferentemente do que foi constatado no presente estudo. Porém, os teores totais de zinco no solo não indicam necessariamente a disponibilidade deste micronutriente para as plantas, pois este pode estar fixado na fração orgânica do solo, ou temporariamente imobilizado nos microrganismos, por exemplo (LOPES, 1995).

5 CONCLUSÃO

A agrofloresta do presente estudo, apesar de muito jovem, apresentou melhoria dos atributos do solo, especialmente em relação à matéria orgânica. Devido ao fato de que o SAF possui apenas 2 anos e está situado em área de solo arenoso, a maioria desses atributos apresentaram-se em quantidades relevantes para a manutenção da produtividade das espécies do sistema, porém estas não alcançam seu alto potencial produtivo devido aos baixos teores de K, Ca, Mg e P.

O fósforo apresentou baixo teor em alguns pontos amostrados, mas pode estar presente na forma orgânica a partir do material depositado sobre o solo, favorecendo sua liberação lenta para suprir a demanda das plantas.

Os teores muito baixos de K e baixos para Ca e Mg sugerem que a adubação verde não está suprimindo a demanda das cultivares, sendo necessária a reposição da fertilidade da área por outros meios de adubação.

Contrariando a hipótese de que os teores dos nutrientes do solo seriam menores quanto mais próximo à copa das espécies, a bananeira aparentemente possui maior absorção quanto maior a distância em relação à projeção da copa. A *G. sepium* sugeriu maior absorção de nutrientes quanto mais próximo da sua copa, com exceção do N, que apresentou maior teor aos 10 cm, indicando fixação biológica de nitrogênio nesta região.

A fertilidade do solo demonstrou grande variação para ambas as espécies, não somente aumento de nutrientes para a bananeira em detrimento da gliricídia pela deposição de podas desta. Deve-se também levar em consideração a ampla variedade de espécies que são usadas como adubo verde na área, contribuindo para a heterogeneidade dos atributos.

Com o decorrer do tempo, o SAF tende a acumular nutrientes no solo, sendo considerado um investimento a longo prazo. Portanto, outros estudos de avaliação da fertilidade são essenciais para acompanhar o desenvolvimento do sistema à medida que este for amadurecendo.

REFERÊNCIAS

- ALTIERI, Miguel. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 5. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004. 120 p.
- AMADO, Telmo Jorge Carneiro *et al.* **Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 4, p. 831-843, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rbcs/a/tDMJX9P3tPrf5dPvBM6SBHf/?lang=pt>. Acesso em: 8 mai. 2021.
- ARAÚJO FILHO, João Ambrósio de. **Manejo Pastoril Sustentável da Caatinga**. Recife, PE: Projeto Dom Helder Camara, 2013. 200p.
- BALEEIRO, André Vinícius Freire *et al.* **Bases científicas e epistemológicas para a Agricultura Sintrópica**. Cadernos de Agroecologia, v. 13, n. 1, 2018. Disponível em: <http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/view/1495>. Acesso em: 4 mai. 2021.
- BARROS, Erlaine Cristina da Silva *et al.* **A utilização da banana como fonte de renda para pequenos produtores**. LINKSCIENCEPLACE-Interdisciplinary Scientific Journal, v. 3, n. 2, p. 22-37, abr, 2016.
- BATISTA, Marcelo Augusto *et al.* **Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral**. In: FILHO, José Torres Brandão, FREITAS, Paulo Sérgio Lourenço de, BERIAN, Luís Otávio Saggion, GOTO, Romy (orgs.). Hortaliças-fruto. Maringá: EDUEM, p. 113-161, 2018.
- BAYÃO, Geraldo Fábio Viana *et al.* **Desidratação e composição química do feno de Leucena (*Leucena leucocephala*) e Gliricidia (*Gliricidia sepium*)**. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, Salvador, v. 17, p. 365-373, jul/set, 2016.
- BEZERRA, Delziane *et al.* **Avaliação dos atributos químicos do solo em sistemas agroflorestais e pastagem, no município de Brasil Novo-Pará**. Agrarian Academy, v. 5, n. 09, 2018.
- BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S. **Recomendações de calagem e adubação para bananeira**. Embrapa Mandioca e Fruticultura-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2010.
- SALET, Roberto; NICOLODI, Margarete; BISSO, Fernando. **Eficácia do Trado Holandês na Amostragem de Solo em Lavouras no Sistema Plantio Direto**. Revista Brasileira Agrociência, Pelotas, v. 11, n. 4, p. 487-491, out-dez, 2005.
- BORGES, Ana Lúcia; SOUZA, Luciano da Silva. **Recomendações de Calagem e Adubação para Bananeira**. EMBRAPA CNPMF. Circular técnica n. 137. Cruz das Almas. Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 5p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/28503/1/comunicado-137-1.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2021.

BRASIL, Edilson Carvalho *et al.* **Desenvolvimento e produção de frutos de bananeira em resposta à adubação nitrogenada e potássica.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 35, p. 2407-2414, 2000.

BRASIL, Edilson Carvalho; CRAVO, M. da S. **Interpretação dos resultados de análises de solo.** CRAVO, M. da S.; VIÉGAS, I. de JM, p. 43-47, 2007.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI. **Estimativas anuais das emissões de gases de efeito estufa do Brasil.** 5. ed. Brasília: MCTI; 2020. 108 p.

CAMPANHA, Mônica Matoso *et al.* **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, v. 31, p. 805-812, 2007.

CANUL-SOLIS, Jorge R. *et al.* **Rendimiento y calidad forrajera de *Gliricidia sepium*, *Tithonia diversifolia* y *Cynodon nlemfuensis* en monocultivo y sistema agroforestal.** Agrociencia, v. 52, n. 6, p. 853-862, ago/set, 2018.

CHEN, Chunfeng *et al.* **Effects of rubber-based agroforestry systems on soil aggregation and associated soil organic carbon: Implications for land use.** Geoderma, v. 299, p. 13-24, 2017.

COELHO, Katia Pereira *et al.* **Symbiosis of rhizobia with *Gliricidia sepium* and *Clitoria fairchildiana* in an Oxisol in the pre-Amazon region of Maranhão State.** Acta Scientiarum. Agronomy, v. 40, 2018.

COLLIER, Leonardo Santos *et al.* **Atributos químicos do solo e produtividade de milho em residual de leguminosas em sistema agroflorestal.** Revista Caatinga, v. 31, n. 2, 2018, p. 279-289.

COSTA, Bárbara Nogueira Souza *et al.* **Yield and postharvest of ‘BRS Platina’ banana not irrigated under different types of soil mulches.** Bragantia, Campinas, v. 80, 2021.

DE FARIAS, Daniel Tavares *et al.* **Avaliação de atributos químicos e uso de solos da região semiárida.** In: II Congresso Internacional das Ciências Agrárias COINTER - PDVAgro, 2017. Disponível em: <https://cointer-pdvagro.com.br/wp-content/uploads/2018/02/AVALIA%C3%87%C3%83O-DE-ATRIBUTOS-QU%C3%8DMICOS-E-USO-DE-SOLOS-DA-REGI%C3%83O-SEMI%C3%81RIDA.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2021.

DE SÁ, Francielen Paola *et al.* **Desenvolvimento inicial in vitro de gliricídia em diferentes níveis de salinidade.** Scientia Plena, v. 10, n. 4 (a), 2014.

DIAS, Jurema do Socorro Azevedo. **A cultura da bananeira.** In: _____; BARRETO, Milza Costa (Eds). Aspectos agronômicos, fitopatológicos e socioeconômicos da sigatoka-negra na cultura da bananeira no Estado do Amapá. Macapá: Embrapa Amapá, 2011. p. 18-21.

DOS SANTOS, Humberto Gonçalves *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.

ERNANI, Paulo Roberto; ALMEIDA, Jaime Antônio de; SANTOS, Flávia Cristina dos. Potássio. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Eds.). **Fertilidade do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 9, p. 551-594.

FÁVERO, Claudenir; LOVO, Ivana Cristina; MENDONÇA, Eduardo de Sá. **Recuperação de área degradada com sistema agroflorestal no Vale do Rio Doce, Minas Gerais.** Revista *Árvore*, v. 32, p. 861-868, 2008.

FELIX, Evaldo dos Santos *et al.* **Diagnóstico do cultivo da banana em uma região do Brejo Paraibano.** Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 5, n. 12, p. 29616-29632, dec, 2019.

FERNANDES, Vera Lúcia Baíma *et al.* **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará.** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1993. 248p.

FONINI, Regiane. **Agrofloresta: mudanças nas práticas produtivas e hábitos alimentares.** Agriculturas: Experiências em agroecologia, v. 2, n. 3. p. 21-24. Dezembro de 2014.

FRANCO, Fernando Silveira *et al.* **Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na Zona da Mata de Minas Gerais.** Revista *Árvore*, v. 26, n. 6, p. 751-760, 2002.

GEORGE, Eckhard; MARSCHNER, Horst; JAKOBSEN, Iver. **Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil.** Critical reviews in biotechnology, v. 15, n. 3-4, p. 257-270, 1995.

GONZÁLEZ, Antonio Paz *et al.* **Impacts of land use changes on soil properties and processes.** The Scientific World Journal. 2014.

GUARÇONI, André; ALVAREZ V., Víctor Hugo; SOBREIRA, Fabrício Moreira. **Fundamentação teórica dos sistemas de amostragem de solo de acordo com a variabilidade de características químicas.** Terra Latinoamericana, v. 35, n. 4, p. 343-352, 2017.

HERNÁNDEZ, Saúl Rojas *et al.* **Manejo de praderas asociadas de gramíneas y leguminosas para pastoreo en el trópico.** REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, v. 6, n. 5, mai, 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63617216009.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola.** IBGE, 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588#resultado>. Acesso em: 13 mai. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Território e Ambiente**. IBGE, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/trairi/panorama>. Acesso em: 13 mai. 2021.

IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil básico municipal - 2012 - Trairi**. IPECE, 2012. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/2013/01/08/perfil-basico-municipal-2012/>. Acesso em: 20 jun. 2021.

IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil básico municipal - 2015 - Trairi**. IPECE, 2015. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/perfil-municipal-2015/>. Acesso em: 20 jun. 2021.

JARAMILLO-BOTERO, Catalina *et al.* **Produção de serapilheira e aporte de nutrientes de espécies arbóreas nativas em um sistema agroflorestal na Zona da Mata de Minas Gerais**. Revista Árvore, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 869-877, out, 2008.

KLUG, Izabel *et al.* **Atributos químicos do solo em plantios florestais em substituição à vegetação nativa em campos de altitude**. Ciência Florestal, v. 30, n. 2, p. 279-290, 2020.

KÖBERL, Martina *et al.* **Agroforestry leads to shifts within the gammaproteobacterial microbiome of banana plants cultivated in Central America**. Frontiers in microbiology, v. 6, art. 91, p. 1-10, fev, 2015.

KUZYAKOV, Yakov. **Priming effects: interactions between living and dead organic matter**. Soil Biology and Biochemistry, v. 42, n. 9, p. 1363-1371, 2010.

LOPES, Alfredo Scheid. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS. 177 p. 1995.

LOSS, Arcângelo *et al.* **Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação**. Bragantia, Campinas. v. 69, n.4, p. 913-922, 2010.

MARIN, Aldrin Martin Pérez *et al.* **Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no Agreste Paraibano**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, p. 555-564, 2006.

MARSCHNER, H. **Functions of mineral nutrients: macronutrients**. In: Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. San Diego: Academic, 1995. p. 229-312.

MAZOYER, Marcel; ROUDART, Laurence. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. Tradução: Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira. São Paulo: Editora da UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010.

MBOW, Cheikh *et al.* **Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa**. Current Opinion in Environmental Sustainability, v. 6, p. 61-67, 2014.

MENDONÇA, Eduardo de Sá; MATOS, Eduardo da Silva. **Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises**. Minas Gerais: UFC, 2005.

MENEZES, José Maria Thomaz *et al.* **Comparação entre solos sob uso agroflorestral e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 2, p. 893-898, 2008.

MICCOLIS, Andrew *et al.* **Restauração ecológica com sistemas agroflorestrais: como conciliar conservação com produção: opções para Cerrado e Caatinga**. Embrapa Cerrados-Livro técnico (INFOTECA-E), 2016. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1069767>. Acesso em: 02 mai. 2021.

MIRANDA, Leo Nobre de. **Métodos de Avaliação da Fertilidade do Solo**. EMBRAPA-CPAC. Circular técnica n. 10. Planaltina. Embrapa Cerrado, 1982. 15p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/98807/1/cirtec-10.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2021.

MOREIRA, Willian Carlos de Lima; ARAÚJO, Edson Alves de; SILVA, Jessé de França. **Avaliação da Fertilidade do Solo**. In: _____ (Orgs.). Aspectos Relevantes do Sistema de Produção de Culturas Agrícolas Prioritárias para o Município de Cruzeiro do Sul, Acre: Ênfase ao Manejo da Fertilidade dos Solos. Editora Itacaiúnas. 2020. p. 57-73.

NAIR, PK Ramachandran. An introduction to agroforestry. Springer Science & Business Media, 1993.

NASCIMENTO, C. D. V. *et al.* **Plant components of agroforestry system have different contributions to soil fertility**. Journal of Agricultural Science, v. 10, n. 4, p. 381-391, mar, 2018.

NETO, Nelson Eduardo Corrêa *et al.* **Agroflorestando o mundo de facão a trator**. Petrobrás Ambiental. Barra do Turvo, 2016. Disponível em https://13207642-fc58-a931-ebb1-b02fa4c1196a.filesusr.com/ugd/e4b2ec_6f67a1a70da04f54b839e2224c3af5ba.pdf. Acesso em: 03 mai. 2021.

OJEDA FALCÓN, A. D.; LÓPEZ HERNÁNDEZ, D. **Sabanas cultivadas como sumideros de carbono en un suelo ácido-arenoso de baja fertilidad natural**. Fave. Sección ciencias agrarias, v. 18, n. 2, p. 25-44, 2019.

OLIVEIRA, Francisco Ronaldo Alves de; SOUZA, Henrique Antunes de; CARVALHO, Marco Antônio Rosa de; COSTA, Mirian Cristina Gomes. **Green Fertilization with Residues of Leguminous Trees for Cultivating Maize in Degraded Soil**. Revista Caatinga, v. 31, p. 798-807, 2018.

OLIVEIRA, Michel Angelo Constantino de; SAMBUICHI, Regina Helena Rosa; SILVA, Ana Moreira da. **Experiências agroecológicas brasileiras: uma análise à luz do desenvolvimento local**. Revista brasileira de agroecologia, v. 8, n. 2, p. 14-27, 2013. Disponível em: <http://revistas.aba->

agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/13230/8893. Acesso em: 7 mai. 2021.

PAULA, Patrícia Diniz de *et al.* **Decomposição das podas das leguminosas arbóreas *Gliricidia sepium* e *Acacia angustissima* em um sistema agroflorestal.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 791-800, jul/set, 2015.

PAVINATO, Paulo Sérgio; ROSOLEM, Ciro Antonio. **Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 911-920, 2008.

PÉREZ, Daniel Vidal; BREFIN, Maria de Lourdes Mendonça; POLIDORO, José Carlos. **Solo, da origem da vida ao alicerce das civilizações: uso, manejo e gestão.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 51, n. 9, p. 1-4, 2016.

RAIJ, Bernardo van; ANDRADE, João Carlos de; CANTARELLA, Heitor; QUAGGIO, José Antônio. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais.** Instituto Agronômico, Campinas, 285p. 2001.

RAMALHO, Israel Oliveira *et al.* **A busca da construção da fertilidade do solo sob Sistema Agroflorestal na região serrana, no estado do Rio de Janeiro.** XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015, Rio Grande do Norte.

RIBEIRO, Juliana Martins *et al.* **Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio sob sistemas agroflorestais no Cerrado Mineiro.** Ciência Florestal, v. 29, n. 2, p. 913-923, 2019.

ROJAS M, Jairo; CAICEDO, Víctor; JAIMES, Yeirme. **Biomass decomposition dynamic in agroforestry systems with *Theobroma cacao* L. in Rionegro, Santander (Colombia).** Agronomía Colombiana, v. 35, n. 2, p. 182-189, jul, 2017.

ROZANE, Danilo Eduardo *et al.* **Dimensionamento do número de amostras para avaliação da fertilidade do solo.** Semina: Ciências Agrárias, v. 32, n. 1, p. 111-117, 2011.

SALAZAR-DÍAZ, Ricardo; TIXIER, Philippe. **Effect of plant diversity on income generated by agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica.** Agroforestry Systems, v. 93, n. 2, p. 571-580, 2019.

SANTOS, Tamiris Aparecida de Carvalho *et al.* **Microbial interactions in the development of the biomass of *gliricidia*.** Revista Caatinga, Mossoró, v. 31, p. 612-621, jul/set, 2018.

SILVA, Adeildo Fernandes da *et al.* **Agricultura agroflorestal e criação animal no semiárido.** Recife: Centro Sabiá, v. 7, 2 ed. 2016. 40 p.

SILVA, Diego Mathias Natal da *et al.* **Carbon balance in organic conilon coffee intercropped with tree species and banana.** Revista Árvore, v. 44, p. 1-12, mai, 2020.

SILVEIRA, Nina Duarte *et al.* **Aporte de nutrientes e biomassa via serrapilheira em sistemas agroflorestais em Paraty (RJ)**. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 17, n.2, p. 129-136, abr-jun 2007.

SOARES, Frederico Antonio Loureiro *et al.* **Acúmulo, exportação e restituição de nutrientes pelas bananeiras "Prata Anã" e "Grand Naine"**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n 7, p. 2054-2058, out, 2008.

SOBRAL, Lafayette Franco *et al.* **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análise de Solo**. EMBRAPA ISSN. Circular técnica n. 206. Aracaju. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 13p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1042994/1/Doc206.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2021.

SOUZA, Flávio de França; FRANSEN, José Eduardo; HOLANDA FILHO, Zenildo Ferreira. **Correção do solo e adubação**. In: SOUZA, Flávio de França (Ed.). *Cultivo da melancia em Rondônia*. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2008. p. 25-33.

STEENBOCK, Walter *et al.* **Agrofloresta, ecologia e sociedade**. Curitiba: Kairós. 2013. 422 p.

STEENBOCK, Walter; VEZZANI, Fabiana Machado. **Agrofloresta: aprendendo a produzir com a natureza**. Curitiba: Fabiane Machado Vezzani, v. 201, n. 3, 2013.

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - SEMACE. **Reestruturação e Atualização do Mapeamento do Projeto Zoneamento Ecológico-Econômico do Ceará - Zona Costeira e Unidades de Conservação Costeiras**. SEMACE, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Alex-Da-Silva-Sousa/publication/338500066_RELATORIO_FINAL_DE_CHARACTERIZACAO_AMBIENTAL_E_DOS_MAPEAMENTOS/links/5e17ea26a6fdcc2837660b8c/RELATORIO-FINAL-DE-CARACTERIZACAO-AMBIENTAL-E-DOS-MAPEAMENTOS.pdf. Acesso em: 20 jun. 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER. **Plant Physiology**. California: The Benjamim/Cummings Publishing Company, Inc., Redwood City, 1991.

TEIXEIRA, Paulo César *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, 2017.

TITO, Marcos Rüginitz; LEÓN, Mario Chacón; PORRO, Roberto. **Guia para a determinação de carbono em pequenas propriedades rurais**. 1. ed. Belém, Brasil. Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 2009. 81p.

TOLEDO, Luciano de Oliveira; PEREIRA, Marcos Gervasio; MENEZES, Carlos Eduardo Gabriel. **Produção de serrapilheira e transferência de nutrientes em florestas secundárias localizadas na região de Pinheiral, RJ**. *Ciência Florestal*, v. 12, p. 09-16, 2002.

UNITED NATIONS. **World population prospects 2019: highlights**. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019.

VILLAR, M. L. P. **Manual de interpretação de análise de plantas e solos e recomendação de adubação**. EMPAER-MT, Série Documentos, n. 35. 2007.

WEZEL, Alexander *et al.* **Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review**. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 40, n. 6, p. 1-13, 2020.

ZHANG, Fusuo *et al.* **An overview of rhizosphere processes related with plant nutrition in major cropping systems in China**. *Plant and Soil*, v. 260, n. 1, p. 89-99, 2004.

ZHANG, Fusuo *et al.* **Rhizosphere processes and management for improving nutrient use efficiency and crop productivity: implications for China**. *Advances in agronomy*, v. 107, p. 1-32, 2010.