

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRICULTURA ORGÂNICA

DISSERTAÇÃO

**Avaliação das propriedades física e química do solo
em sistema agroflorestal no centro-sul fluminense**

Fernando Moura Antunes

2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA ORGÂNICA**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO
EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO CENTRO-SUL FLUMINENSE**

FERNANDO MOURA ANTUNES

Sob a Orientação do Professor

Robert de Oliveira Macedo

Dissertação submetida como requisito
parcial para obtenção do grau de
Mestre no Programa de Pós-Graduação
em Agricultura Orgânica

Seropédica, RJ
Setembro de 2017

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M627a Moura Antunes, Fernando, 1989-
Avaliação das propriedades física e química do solo
em sistema agroflorestal no centro-sul fluminense /
Fernando Moura Antunes. - 2017.
52 f.

Orientador: Robert de Oliveira Macedo.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, Agricultura Orgânica, 2017.

1. Agrofloresta. 2. Densidade do Solo. 3. Carbono
Orgânico do Solo. I. de Oliveira Macedo, Robert , 1968
, orient. II Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Agricultura Orgânica III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA ORGÂNICA

FERNANDO MOURA ANTUNES

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica - PPGA.O.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM

Dr. Robert de Oliveira Macedo - UFRRJ
(orientador)

Dr. Ricardo Martinez Tarré - UVA

M. Bernardo Milward de Azevedo Spinelli

Dedicado aos trabalhadores camponeses espalhados sobre a face da terra, que cultivam a vida no árduo e sagrado ofício de semear o alimento. Por sina, por amor ou ambos. Trabalhadores destemidos e guerreiros, persistindo de sol a sol, de domingo a domingo, que oprimidos e quase invisíveis, no suor e na labuta são pilar fundamental de uma sociedade de estômagos que não tiram férias. À vocês que provavelmente nunca lerão este documento dedico todos os meus esforços, minha admiração.

Dedico aos que sofrem, que choram, oprimidos, injustiçados, aos que tem fome, àqueles sem esperança, sem oportunidades, às crianças, aos invisíveis, aos não abraçados, aos não amados.

Ao meu vô Antônio Antunes, agricultor da floresta, caçador, bioconstrutor, homem forte do Vale do Ribeira que um dia se viu sem condições de continuar a viver de seu amado ofício...

AGRADECIMENTOS

É de *praxi* agradecer a Deus logo no primeiro parágrafo, não faço diferente.....mas faço com alegria e profunda certeza, num sentimento que me toma e me faz pulsar, desde o despertar, enchendo meus pulmões com vigorosa força de renovo. Sou grato pela saúde, pelas oportunidades, pelos queridos, pelos adversários, pelos aprendizados, pelos sonhos, pela vontade de viver, pela determinação que num estado de contemplação me move e me faz lutar pra que muitos outros sejam cheios de um verdadeiro estado de espírito em gratidão. Mas acima de tudo por ter nesta vida conhecido meu mestre supremo, um rústico, pobre e humilde carpinteiro, que com sua simplicidade e amor sacudiu todas as estruturas desse mundo injusto, enxugando as lágrimas dos oprimidos, provando que vida é ser como criança, que o verdadeiro caminho é amar, perdoar e ser grato. Àquele que me inspira, me transforma, me ensina, através de uma experiência viva, ao verdadeiro revolucionário, Yeshua, o nazareno.

Não caberia num livro se eu tentasse agradecer a todos que me ajudaram a chegar até aqui, por isso, destaque aos que participaram deste novo nível acadêmico. Se existe alguém sem o qual seria impossível são eles três: Marilza (mãe), Silas (pai-drasto) e Robert Macedo (orientador, mestre e amigo). Mãe você é incomparável, a melhor amiga dessa vida, Deus não poderia ter me dado alguém melhor. Silas sua vida me inspira, seu amor por mim, nunca serei capaz de expressar a gratidão. Robert, acho que poucos pais fariam o que você fez por mim....seu zelo, sua persistência, sua firmeza, sua paciência, seu carinho, seu investimento e principalmente seus ensinamentos. Me sinto honrado de ter te conhecido, ter caminhado esse pouco tempo contigo e fazer parte de algumas de suas conquistas enquanto admirável profissional. Obrigado pelas oportunidades, por acreditar tanto em mim e nunca ter desistido. Sei que sou uma pessoa melhor depois de ter convivido contigo.

Aos verdadeiros amigos que são poucos mas são muitos (desculpem os que faltarem): Raoni e Tomaz (talvez os melhores e mais completos profissionais que conheci nessa vida, irmãos, tutores, exemplo, admiração, agroecologia), Cássio, Hugo Jr., Daniel's e Gabriel Green (fora as melhores prosas, companherismo insondável), Irmã Dulce (amiga, mãe na fé e dos maiores exemplo de vida que tive oportunidade de conhecer), e outros, “fechamentos” que não de menor importância, da Comunidade Evangélica de Seropédica, da Rural, da vida, do Brasil de norte à sul...

Ao MST e o assentamento Terra Prometida pela gigantesca oportunidade de aprendizado e por mostrar um caminho de vida e de luta que deu profundo sentido à minha profissão.

Aos companheiros de equipe liderados pelo prof. Robert (Agropec rootaria, alunos, funcionários, professores, pesquisadores e parceiros) por compartilhar dessa jornada de muita “ralação”, muito sol, sofrimento, agricultura, madeira, cerca e tereré que hoje caminha à conclusão.

Ao professor Carlos Varella pelo apoio (épico e divertidíssimo) na estatística e professor Zonta por ceder o laboratório e material para análises. À Ambiente Brasil pelo apoio e oportunidade nesse projeto. Pelos sinceros companheiro do Alojamento da Embrapa pela paciência, companheirismo e suporte com o Office. Á minha amada turma turma V de Mestrado, que com amizade forte e verdadeira restaurou meus ânimos trazendo mais brilho nessa jornada agroecológica.

À minha amada instituição UFRuralRJ e ao povo brasileiro pela oportunidade.

Aos amados amigos Agrofloresteiros Victor (Caqui) e Valentine, agricultores deste estudo, por me receberem com tanto carinho e oferecerem uma amizade que guardarei até meus últimos dias.

RESUMO

ANTUNES, Fernando Moura. **Avaliação das Propriedades Física e Química do Solo em Sistema Agroflorestal no Centro-Sul Fluminense**. 2017. p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica). Programa de Pós-graduação em Agricultura Orgânica PPGAO, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

Os Sistemas Agroflorestais (SAF) são uma alternativa conservacionista de uso dos solos tropicais, reproduzindo analogamente diversas características de ecossistemas florestais restabelecendo e potencializando funções ecológicas que contribuem para a produtividade destes ambientes. Nesta categoria de cultivos os sistemas com elevado aporte de material orgânico tendem a melhorar significativamente propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. SAF com podas frequentes tem como efeito secundário a incorporação subterrânea de matéria orgânica possibilitando alterações físico-químicas num ambiente restrito a intervenções. A densidade global (Ds) é utilizada na mensuração de teores de elementos, permeabilidade de raízes, entre outras características, sendo um forte indicador da qualidade física da pedosfera. O carbono orgânico do solo (COS) é majoritariamente proveniente de resíduos vegetais e está intimamente relacionado aos níveis de matéria orgânica dos solos, seus teores permitem estimar seu estoque em grandes áreas. Esse estudo foi realizado em julho de 2016 num Sistema Agroflorestal, implantado em três etapas definindo uma cronosequência de idades 6 (A1), 5 (A2) e 4 (A3) anos, para fins de avaliação dos níveis de Ds e o teor de COS em comparação com uma área de pastagem (A4-controle) nas mesmas condições antecedentes à implantação em seis diferentes profundidades (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm). Foi aplicado uma análise de componentes principais (PCA) que indicou um correlação pouco significativa (máx. 64%) para as características de Carbono Orgânico, Densidade Global na caracterização do fenômeno de efeito do tempo de manejo. Aplicou-se um teste de médias para verificar a significância dos tratamentos sobre o teor de COS e de Ds. A1 apresentou diferença significativa para Ds em relação a todos tratamentos nas profundidade 0-5 e 5-10, apresentando A4 o maior valor. Também observou-se uma redução $-0,14 \text{ g.cm}^{-3}$ na Ds em todos os tratamentos agroflorestais (A1, A2 e A3), enquanto a pastagem (A4) não apresentou redução. O tratamento A1 apresentou valores significativamente menores do que todos os outros tratamentos na profundidade de 40-50 cm. A4 acumulou significativamente mais COS do que os outros tratamentos. Espera-se através deste contribuir nas discussões sobre o potencial dos SAF na melhora das propriedades do solo e consequente acúmulo para o estoque de Carbono. No período amostrado na profundidade de 0 a 20 cm acumularam para o estoque de C no solo 0,29, 1,85, 2,00, 1,49 mg.ha^{-1} os tratamentos A1, A2, A3 e A4.

Palavras-chave: Agrofloresta; Densidade do Solo; Carbono Orgânico.

ABSTRACT

ANTUNES, Fernando Moura. **Evaluation of the Fisical and Chemical Properties of Soil an Agroforestry System in Fluminense South Center.** 2017. p. Dissertation (Master of Organic Agriculture). Postgraduate Program in Organic Agriculture, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

Agroforestry Systems (SAF) are a conservationist alternative for the use of tropical soils, analogously reproducing several characteristics of forest ecosystems, restoring and enhancing ecological functions that contribute to the productivity of these environments. In this category of crops systems with high organic material supply tend to significantly improve soil physical, chemical and biological properties. SAF with frequent pruning has as a secondary effect the underground incorporation of organic matter allowing physical-chemical changes in an environment restricted to interventions. The overall density (Ds) is used in the measurement of element contents, root permeability, among other characteristics, being a strong indicator of the physical quality of the pedosphere. Soil organic carbon (COS) is mostly derived from plant residues and is closely related to organic matter levels of soils, its contents allow to estimate its stock in large areas. This study was carried out in July 2016 in an Agroforestry System, implemented in three stages, defining a chrono-sequence of ages 6 (A1), 5 (A2) and 4 (A3) years, for the purpose of assessing Ds levels and the content of COS as compared to a pasture area (A4-control) under the same pre-implantation conditions at six different depths (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm) . A main component analysis (PCA) was applied, which indicated a very significant correlation (max 64%) for the characteristics of Organic Carbon, Global Density in the characterization of the phenomenon of effect of the management time. A test of means was applied to verify the significance of the treatments on the content of COS and Ds. A1 presented a significant difference for Ds in relation to all treatments at depth 0-5 and 5-10, with A4 having the highest value. A -0.14 g.cm^{-3} reduction in Ds was also observed in all agroforestry treatments (A1, A2 and A3), while pasture (A4) showed no reduction. Treatment A1 presented significantly lower values than all other treatments at depth of 40-50 cm. A4 accumulated significantly more COS than the other treatments. It is expected through this contribution in the discussions about the potential of the SAF in the improvement of the soil properties and consequent accumulation to the carbon stock. In the sampled period in the depth of 0 to 20 cm accumulated to the soil C stock 0.29, 1.85, 2.00, 1.49 mg.ha^{-1} treatments A1, A2, A3 and A4.

Keywords: Agroforestry; Bulk Density; Organic Carbon.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Análise química do solo antes da implantação do SAF no ano de 2010 e de monitoramento em 2014 na profundidade de 0 – 20 cm.....	13
Tabela 2:	Espécies nativas plantadas no Sistema Agroflorestal, Fazenda Arca de Noé, Sapucaia - RJ.....	15
Tabela 3:	Espécies frutíferas plantadas no Sistema Agroflorestal, Fazenda Arca de Noé, Sapucaia - RJ.....	16
Tabela 4:	Porcentagem obtida a partir da Matriz de Correlação para Carbono Orgânico e Densidade de acordo com profundidade.....	24
Tabela 5:	Teste de médias (tukey; $P < 0,05$) para Densidade Global, Teor de Carbono Orgânico e Estoque de Carbono.....	26
Tabela 6:	Estoque de COS ($Mg \cdot ha^{-1}$), mostrando o total (até 50 cm) e até 20 cm de profundidade	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Mapa do estado do Rio de Janeiro: A) Teresópolis e B) Sapucaia (Fonte: Wikimedia Commons).....	10
Figura 2:	Imagem de satélite da localidade. Destaque em amarelo delineando o perímetro da área cercada (Fonte: Google Earth 2017).....	11
Figura 3:	Imagem de satélite da localidade. Destaque em vermelho para área cultivada até março/2017 (Fonte: Google Earth, 2017).....	12
Figura 4:	Imagem de satélite do SAF com áreas delimitadas e pastagens. (Fonte: Google Earth, 2017).....	20
Figura 5:	Imagem de satélite com posição das parcelas (Fonte: Google Earth, 2017).....	20
Figura 6:	Gráficos de Componentes Principais para Densidade e Carbono Orgânico.....	24
Figura 7:	Gráfico para Densidade Global do solo comparando áreas de tratamento por profundidade de acordo com Teste de médias.....	27
Figura 8:	Gráfico para Carbono Orgânico do solo comparando áreas de tratamento por profundidade de acordo com Teste de médias.....	29
Figura 9:	Estoques de Carbono Orgânico, na profundidade de 0 a 20 cm, submetido, durante 6 anos, a manejo agroflorestal (A1, A2 e A3) e uma pastagem (A4). T0 – 2010; T1 – 2014; T2- 2016.....	30
Figura 10:	Gráfico para Estoque de Carbono Orgânico ($Mg \cdot ha^{-1}$) comparando áreas de tratamento por profundidade de acordo com Teste de médias.....	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1 Sistemas Agroflorestais	03
2.2 Densidade Global como indicador da qualidade física do solo	04
2.3 Sequestro de Carbono, Matéria Orgânica e Carbono Orgânico do Solo	07
3 MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 Caracterização do Local de Estudo	10
3.1.1 Implantação	12
3.1.2 Manejo	18
3.2 Caracterização da Amostragem Realizada	19
3.3 Cálculos e Análises	21
3.3.1 Densidade Global	21
3.3.2 Caracterização de Carbono Orgânico e Estoque	21
3.3.3 Análise Estatística	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 Estatística	23
4.1.1 Análise de componentes principais	23
4.1.2 Teste de médias	25
4.2 Observações Acerca da Densidade Global dos Solos	26
4.2 Observações Acerca do Carbono Orgânico e Estoque	28
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	36

1 INTRODUÇÃO

A lógica de produção vigente baseada na máxima otimização do uso e a exploração dos recursos naturais, frequente submete os ecossistemas além de sua capacidade de suporte, gerando prejuízos inestimáveis e irreversíveis no equilíbrio dinâmico da vida. No relativamente curto período histórico do Brasil, o processo de exploração da Mata Atlântica e extensão de sua devastação é um bom exemplo disso. Visto que os processos de regeneração natural tendem a ser lentos, intervenções que acelerem este processo devem ser priorizados em projetos de recuperação dos ambientes degradados. Estratégias estas que garantam a manutenção das funções ecológicas do ambiente, sua permanência, de forma parcimoniosa e rentável, frente a complexidade do ofício rural de base familiar são fundamentais.

Vasto é o referencial literário sobre potencial conservacionista dos Sistemas Agroflorestais (SAF) no uso dos solos tropicais. Reproduzindo analogamente diversas características de ecossistemas florestais, possibilitando regeneração e restabelecimento das funções ecológicas, de maneira a incrementar a produtividade destes ambientes. A presença do elemento arbóreo estruturado em dossel, sistemas radiculares de maior amplitude e os volumes elevados de deposição de resíduos orgânicos acima e abaixo do solo, são as principais características neste aspecto. Estas determinam e influenciam a regulação do microclima e a umidade, potencializam a ciclagem de nutrientes com sensíveis transformações dos atributos químicos e físicos do solo, simultaneamente, multiplicando interações e nichos ecológicos.

A densidade global (densidade aparente, *bulk density*, densidade do solo) é uma propriedade mensurável dos solos baseada no peso seco de terra num determinado volume, utilizada na mensuração de teores de elementos, caracterização de propriedades físicas, permeabilidade de raízes, etc. Acréscimos nos níveis de densidade valores invariavelmente estão relacionados ao depauperamento da capacidade produtiva do solo, onde reduzem-se macro e mesoporos, níveis de infiltração, pH, saturação de bases, entre outras propriedade.

O carbono orgânico do solo (COS) é proveniente majoritariamente de resíduos vegetais – folhas, raízes, material lignificado, etc. – e nos agroecossistemas. Os seus teores estão intimamente relacionados aos níveis de matéria orgânica dos solos, componente fundamental na sustentabilidade dos solos agrícolas tropicais. Também é através deste indicador que torna-se possível estimar seu estoque nos solos, uma importante informação para as estimativas e cálculos globais dos gases de efeito estufa (GEE) e o armazenamento de carbono na pedosfera. Sendo diverso o referencial teórico sustenta o potencial de sequestro do carbono atmosférico nos SAF, baseado na premissa de que diversas espécies integradas intensificam o usos dos recursos (luz, água e nutrientes), no espaço (estratificação das partes aéreas e subterrâneas) e no tempo (sucessão ecológica) elevando o aporte de Matéria Orgânica que representa ganho líquido de carbono sequestrado no solo.

Esse estudo foi realizado em um Sistema Agroflorestal no município de Sapucaia – RJ, em três áreas adjacentes com diferentes idades formando uma cronosequência

implantadas com diferentes idades (6, 5 e 4 anos) no período amostrado. Para aferir os níveis da Densidade Global e o teor de COS foi realizada amostragem para fins comparativos dessas com uma área de pastagem adjacente, que apresenta condição similar ao estágio anterior à implantação dos SAF.

Para tal pretensão, estão documentados aqui diversos aspectos históricos, informações sobre o manejo e algumas possíveis perspectivas. Estabelecer com isso um arcabouço para que futuros trabalhos acerca do sequestro e estoque de C, entre outros, sejam realizados na localidade, contribuindo para discussões do potencial dos SAF enquanto prática transformadora, explorando uma imensa gama de serviços ecossistêmicos, melhorando propriedades do solo, a produtividade agrícola e a qualidade de vida dos produtores rurais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistemas Agroflorestais

Observado que a maioria das áreas ambientais encontram-se em zonas rurais ou entornos, a compreensão da dinâmica da paisagem nestas localidades e a permeabilidade de sua matriz são questões chaves na tomada de decisões acerca das estratégias produtivas locais (DEVICTOR & JIGUET, 2007), pois estas serão determinantes na conservação dos recursos naturais e na permanência das populações campesinas.

A versão mais recente da legislação acerca da *Proteção da Vegetação Nativa*, a *Lei N° 12.651, de 25 de Maio de 2012*, (BRASIL, 2012), prevê o uso sistemas agroflorestais em Areas de Preservação Permanente (APP) e de Reserva Legal (RL) em pequenas propriedades rurais sob condições de estarem submetidas à um plano de manejo sustentável outorgado pelo órgão ambiental do estado. Ademais, ampliando possibilidades de uso da terra à pequenos produtores dentro de sua áreas “verdes” protegidas garantindo a manutenção, conservação e recomposição dos passivos ambientais na propriedade associado a ganhos socioeconômicos.

Não há consenso em uma definição universal para Sistemas Agroflorestais (SAF), mas partindo da perspectiva legal, a instrução normativa n° 5 de 8 de setembro de 2009 do Ministério do Meio Ambiente caracteriza que são:

“Sistemas de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas, forrageiras em uma mesma unidade de manejo, de acordo com arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações entre estes componentes (MMA, 2009)”

As primeiras definições buscavam definir principalmente o conjunto da aplicação destas práticas facilitando o entendimento daquilo que seria a “agroflorestaria” (conceito), do que, diferencia-la de outras linhas de pesquisa e disciplinas (definição). Sistematizando o conjunto de técnicas, perícias e ações deste modo de cultivo, resgate de práticas ancestrais, sob a ótica de princípios agrônômicos atuais (NAIR, 1989). Mas é possível, entretanto, encontrar um ponto de convergência nas literaturas a compreensão de que este é um sistema de consórcios e associações, simultâneos ou seriados, entre cultivos agrícolas e espécies lenhosas, podendo haver ou não a integração do elemento animal (SANCHEZ, 2000; ROSHETKO et al., 2002; PALM et al., 2004; KIRBY & POTVIN, 2007; RAMACHANDRAN et al., 2009).

Isto possibilitaria a obtenção de produtos diversificados explorando espaço e tempo, obtendo-se colheitas dos cultivos anuais desde o início da implantação até a colheita de madeira em estágios mais avançados. Observando o comportamento das espécies no seu ambiente de origem, os componentes são dispostos em espaçamentos a partir da combinação

dos diferentes estratos – posição vertical ocupada num dossel em relação à demanda de luz – e seu estágio sucessional ecológico – pioneira, secundária, clímax, etc. Englobando numa única lógica de manejo aspectos do trato cultural individual, observando diferenças pedológicas e as micro-condições ambientais do terreno – encharcamento ou tendência ao ressecamento, exposição às intempéries climáticas, etc. (ARMANDO et al. 2002; GLIESSMAN, 1998; VIVAN, 1998).

A presença do elemento arbóreo estruturado em dossel, formando uma cobertura vegetal, reproduz características dos ecossistemas florestais, numa diversidade de relações intra e inter específicas, bióticas e abióticas que possibilitam a regeneração das funções ecológicas destes ambientes. O *input* de matéria orgânica, além da cobertura do solo, potencializa a ciclagem de nutrientes, gerando alterações físicas, químicas e biológicas, fatores fundamentais na manutenção da qualidade das funções da pedosfera (YOUNG, 1994; GLIESSMAN, 1998; ROSHETKO et al., 2002; RAMACHANDRAN et al., 2009; LANZA, 2014).

A maioria das espécies vegetais realizam algum tipo de associação com fungos micorrízicos e, sua diversificação amplifica o espectro da captação de nutrientes (principalmente Nitrogênio e Fósforo). Além disso, nos ecossistemas tropicais a presença de leguminosas (Fabaceae) capazes de realizar associações com bactérias simbiotes podem proporcionar relevantes *inputs* de nitrogênio no sistema (ALTIERI, 2002; GLIESSMAN, 1998; LANZA, 2014).

O Sistema Agroflorestal Regenerativo Análogo (SAFRA) é uma modalidade muito eficiente de cultivo que faz uso do potencial regenerativo natural e espontâneo do ambiente, em similaridade aos ecossistemas originais, com estratégias de manejo que intensificam ou aceleram o efeito da biodiversidade no sistema, elevando o aporte de material orgânico e potencializando as relações bióticas e abióticas. Na prática, trata-se de uma interação dinâmica entre o homem e o ambiente que otimiza processos. Tem seus fundamentos em práticas tradicionais, como as lavouras de cabruca e brocado (slash-and-burn) cacauceiras, cupuaqueiras, dos seringais, etc. (muito comuns no norte e nordeste brasileiro, e no mundo), com derruba, poda e desrama das árvores nativas favorecendo as espécies de interesse (VIVAN, 1998; TORNQUIST, 1999; ALTIERI, 2002; ARMANDO et al. 2002; SCHROTH et al., 2002; SEOBI et al., 2005; LANZA, 2014).

2.2 Densidade Global como indicador da qualidade física do solo

A determinação da densidade global (Ds) dos horizontes de um perfil, da superfície até camadas inferiores – com limite na rocha –, possibilita a avaliação e mensuração de determinadas propriedades fundamentais ao estudo de hidráulica e mecânica dos solos, desempenhando importante papel às ciências agrícolas (KIEHL, 1979), à arquitetura e à construção civil.

Baseado na relação da massa de solo seco por unidade de volume a partir de amostras de terra em condições de campo, ou seja, tal como se encontra no estado natural num horizonte do solo na natureza, incluindo os espaços porosos ocupados pelas frações líquidas e gasosas. Esta característica podem variar em um mesmo horizonte de um determinado tipo solo, dependendo da estrutura, sendo a compactação é um dos fatores mais influentes (DA COSTA, 1985; KIEHL, 1979; LEPSCH, 2011).

A partir da D_s são extraídas diversas informações diagnósticas como a porosidade, a permeabilidade ao ar e à água, a drenagem, a condutividade hidráulica e a capacidade máxima do mesmo para retenção de água (capacidade de saturação), servindo inclusive, para obtenção do volume de sedimentação e a compreensão da erodibilidade eólica. Também é utilizado na determinação do coeficiente de extensão linear (COLE ou CEL), causado pela contração volumétrica das amostras de solo e que é utilizado na classificação de solos como característica diagnóstica em descrições morfológicas (KIEHL, 1979).

É possível estimar o peso de material seco numa determinada área como, por exemplo, quantas toneladas de solo existem em uma determinada espessura. Que, através de análises de fertilidade do solo permite calcular proporções de nutrientes presentes numa localidade, possibilitando recomendações de manejo e adubação e o monitoramento da fertilidade no sistema (LEPSCH, 2011).

Primavesi (2002) afirma que recomendações de plantio que não consideram a influência da D_s são totalmente questionáveis e perigosas à persistência dos agroecossistemas. Valores elevados podem causar a inibição da emergência de sementes, e acima de determinados níveis ($>1,7 \text{ g/cm}^3$) observa-se resistência à penetração de raízes ($1,2 \text{ g/cm}^3$ no cacaueteiro, $1,4 \text{ g/cm}^3$ no café), e em alguns casos ($1,97 \text{ g/cm}^3$) até a ausência destas. Fator determinante no uso da terra para culturas produtoras de raízes e tubérculos (KIEHL, 1979; DA COSTA, 1985; PRIMAVESI, 2002).

Quando os valores da densidade global aumentam diversos fatores são alterados, e é generalizada a deterioração das condições do solo. Reduzem-se os macroporos, a infiltração, o pH, a saturação de bases, aumentando inclusive os níveis de alumínio disponível (PRIMAVESI, 2002).

O uso inadequado de certas práticas agrícolas levam a alterações na estrutura física do solo (p.ex. compactação) podendo conduzir a sua degradação. O adensamento e diminuição do volume do solo é resultado da compressão mecânica durante o tráfego de maquinário agrícola, onde o peso das rodas é distribuído na superfície do terreno e a camada logo abaixo do ponto de revolvimento, podendo ainda ser comprimida pela força do peso e arraste de um implemento (LEPSCH, 2011).

O conhecimento de que solos férteis são sinônimos de “terra fofa” – repleta de poros e agregados – remontam períodos milenares. Os coloides, concentrados na camada de 0-20 cm de profundidade, sob um estado floculado tendem a formar estruturas de grânulos estáveis sob ação (também dito estado grumoso). Sua predominância nos solos invariavelmente retrata

sistemas permeáveis e “fofos”, com uma maior quantidade de cargas disponíveis (PRIMAVESI, 2002; LEPSCH, 2011).

Agregados de origem química ditos “primários”, podem ser transformados pela ação de microrganismos do solo em “grumos”, e em “agregados secundários”, da qual a presença da matéria orgânica é imprescindível para sua estabilidade estrutural. O fenômeno de agregação ligado ao húmus aumenta a porosidade dos solos, favorecendo a infiltração e diminuindo o escoamento superficial (PRIMAVESI, 2002; PUIG, 2008).

De maneira que, a redução dos valores da densidade global de um solo está intimamente ligada a adição de matéria orgânica. Compreendido que esta se perfaz e é transitória, torna-se imprescindível a manutenção de taxas constantes de aporte e renovação (KIEHL, 1979; PRIMAVESI, 2002).

A fauna do solo é o principal componente de aeração nos solos tropicais – bioturbação – e, sua sucessão ecológica possui correlação positiva com os níveis de material orgânico disponível (PUIG, 2008). Bactérias que digerem material celulósico produzem ácido poliurônico (presente em agregados argilo-húmicos) que age como “cola” formando estruturas maiores e mais complexas. Este carboidrato é fonte de alimento para fungos e actinomicetos (bactérias gram-positivas filamentosas e aeróbias), que com suas hifas cingem os grumos conectando-os, conferindo uma maior estabilidade à ação da água. As proporções deste ácido no solo está ligado ao estado nutritivo destas bactérias, cessando sua disponibilidade todo o conjunto de microrganismos dependentes morrem e suas estruturas se decompõe (PRIMAVESI, 2002).

Os poros representam os espaços entre e dentro dos agregados. Sua medida, a porosidade, engloba a totalidade das dimensões macro e micro, incluso níveis capilares. Em condições ideais, um horizonte mineral de solo com boa porosidade possui em média 50% de seu volume ocupado por poros (KIEHL, 1979).

Suas diferentes estruturas e dimensões implicam na dinâmica e proporções das substâncias neles contidas, correlacionando-se diretamente com diferentes funções e propriedades ecológicas do solo. O movimento e deslocamento dos fluidos nos poros determina um balanço no fornecimento de água e oxigênio disponível para as raízes e outros organismos, e a diminuição quantitativa ou dimensional ocasiona redução na disponibilidade destes. Modificações do regime hídrico e de oxigênio causam redução dos níveis de decomposição da matéria orgânica e o depauperamento das condições às populações de organismos (KIEHL, 1979; LEPSCH, 2011). Para os vegetais, isto prejudica sua capacidade de penetração, expansão e o estabelecimento do sistema radicular, seu corolário são metabolismos pouco eficientes e desenvolvidos, maior susceptibilidade às intempéries climáticas, menor eficiência no aproveitamento de adubos e invariavelmente alta susceptibilidade à doenças (CHABOUSSOU, 1987; PRIMAVESI, 2002; LEPSCH, 2011).

A infiltração da água no solo é determinada pela força da gravidade e depende dos macroporos para mover-se, os mesmos responsáveis pelo arejamento. Poros médios e finos são aqueles que conservam a água disponível às plantas, fortemente ligados às cargas das

partículas do solo com certa tensão e baixa mobilidade. Havendo poucas cargas no sistema rompe-se o equilíbrio das forças de adesão e coesão com a gravidade, circulando em altas velocidades e afetando a disponibilidade hídrica na pedosfera e até no abastecimento de reservatórios subterrâneos. Determinado pela correlação inversa entre infiltração e perda de solo por escoamento de água (LEPSCH, 2011; PRIMAVESI, 2002).

2.3 Sequestro de Carbono, Matéria Orgânica e Carbono Orgânico do Solo

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) apresentou dados alarmantes acerca do aumento crescente nas concentrações dos gases de efeito estufa (GEE – CO₂, CH₄ e N₂O) na atmosfera nos últimos 130 anos (desde o limiar da revolução industrial), com valores muito superiores ao dos últimos 200.000 anos. Incremento extremamente significativo (aproximadamente 30%) atribuído principalmente à queima de combustíveis fósseis, desflorestamento e queimadas. Isto causou um despertar de toda comunidade científica, governos e sociedade civil para importância de reduzir as emissões de gases poluentes e a adoção de medidas mitigadoras. Das atividades humanas com maior contribuição para os GEE está o setor agropecuário representando 25% desse total (IPCC, 2001).

O solo é o terceiro principal sítio de armazenamento de carbono (C) do planeta e o principal em ambientes terrestres (BATJES, 1996; BAYER et al., 2000; URQUIAGA, et al., 2016), com aproximadamente $1,5 \times 10^{12}$ toneladas de carbono (orgânico e inorgânico) (SHELUKINDO et al., 2014). O metabolismo fotossintético e respiratório dos vegetais são as principais vias de troca de CO₂ entre atmosfera e litosfera, sendo a decomposição de tecidos de raízes a principal via de entrada do C no solo terra (BATJES, 1996; VAN NOORDWIJK et al., 1997; BAYER et al., 2000; STOCKMANN et al., 2013; BATJES, 2014).

O solo está intensamente sujeito à pressão antrópica, sendo, portanto, notável a importância e contribuição da pesquisa agrícola na consolidação de práticas e estratégias que aliem produtividade e mitigação dos GEE's nos agroecossistemas. No cerne das discussões de sequestro de C (observada a dinâmica da matéria orgânica nos solos [MOS] e o ciclo do C), enquanto elemento de subsistência do modo de vida humano, a agricultura – que engloba silvicultura, pecuária, bioenergética, etc. – é sem dúvidas a atividade com maior potencial mitigador existente nos ambientes terrestres (BATJES, 1996; BODDEY et al., 1996; IPCC, 2001; STOCKMANN et al., 2013; BATJES, 2014; URQUIAGA, et al., 2016).

A matéria orgânica dos solos (MOS) é um imenso reservatório de C (M. BERNOUX et al., 1998) e componente chave na persistência e sustentabilidade dos agroecossistemas tropicais. Através da decomposição dos tecidos vegetais, sendo as raízes a principal via de entrada do C na pedosfera, por este motivo, seus teores quase invariavelmente são estimados através de métodos de quantificação dos teores de carbono orgânico dos solos (COS)

(BATJES, 1996; BODDEY et al., 1996; VAN NOORDWIJK et al., 1997; C. BAYER et al., 2000)

Adendum, há também a forma carbonática (CO_3) que é das formas mais recalcitrantes existentes no solo. Uma parcela representativa do C solo encontra-se protegida através de processos físicos e químicos da degradação por microrganismos, sendo pouco ou nada sensível a mudanças no uso da terra, sendo, portanto, muito importantes para pesquisas de sequestro e redução de GEE (BATJES, 1996; VAN NOORDWIJK et al., 1997; BAYER et al., 2000; BATJES, 2014; STOCKMANN et al., 2013).

Estudos realizados em Sumatra (Indonésia) acerca do uso da terra para estimar a influência do manejo nos níveis de C dos solos – território com diferentes tipificações pedológicas com significativos estoques de carbono – demonstram que práticas inadequadas, sob uma extensa gama de formações regionais, resultam na liberação de grandes quantidades de C para a atmosfera (VAN NOORDWIJK et al., 1997). Tal como demonstrado no Centro-Oeste brasileiro em que sistemas convencionais de cultivo com aração, gradagem e calagem, com altas taxas de perda e degradação acelerada da MOS, a partir de simulações de estimativa através de ajustes em modelos exponenciais simples de primeira ordem (VAN NOORDWIJK et al., 1997).

Sistemas de manejo mínimo ou sem revolvimento do solo, e com elevado aporte de resíduos, apresentam efeito positivo na mitigação das emissões de CO_2 (VAN NOORDWIJK et al., 1997; C. BAYER et al., 2000). Comparativamente ao preparo convencional, sistemas de cultivo em plantio direto apresentaram uma redução de $2,50 \text{ Mg.CO}_2 \text{ ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (FORTIN, et al., 1996), em especial quando há associação de culturas em sucessão ou rotação com leguminosas, sob elevada deposição de resíduos culturais, possibilitando um incremento representativo nos teores de MO e diminuição das emissões de GEE (C. BAYER et al., 2000).

Apesar de um declínio inicial na conversão de florestas em sistemas agrícolas, é conhecido que sistemas de pastagens, p.ex., quando bem manejados podem fixar no solo volumes superiores de C do que florestas em profundidades de até 30 cm (TARRÉ et al., 2001; VINHAS COSTA et al., 2009). Estes podem conduzir à incrementos nos níveis de C armazenado no solo (VAN NOORDWIJK et al., 1997), ocorrendo incremento amplificado no estoque de carbono e níveis de COS acrescido o elemento arbóreo na composição (; PAULINO & TEIXEIRA, 2009; CARRON et al., 2016;).

No entanto, apesar da existência de diversos estudos em solos florestais, o enorme potencial e baixíssima susceptibilidade à perdas dos estoques em profundidades (>40cm) são ainda muito pouco contabilizadas pelo orçamentos globais de C (RAMACHANDRAN et al., 2009; BATJES, 2014).

Existem vastas citações em literatura sobre o potencial sequestro de carbono atmosférico dos SAF (IPCC, 2001; MONTAGNINI & NAIR, 2004; JOSE, 2009; UPSON et al., 2016). A premissa de um maior sequestro líquido de C baseia-se numa maior eficiência no uso dos recursos (luz, água e nutrientes), no espaço e tempo, através da integração de diversas espécies ao invés de uma única (RAMACHANDRAN et al., 2009).

Uma das formas mais representativas de sequestro líquido de CO₂ da atmosfera, e seu armazenamento no solo, caracterizado na forma de C de longa duração (*pools*), inclui a biomassa acima do solo com materiais de durabilidade (p.ex. madeira), biomassa subterrânea (raízes, microorganismos e formas estáveis de C_{org} e inorgânico nos solos) e aqueles em camadas subterrâneas profundas (SANCHEZ, 2000; RAMACHANDRAN et al., 2009). Motivo que permite afirmar que os SAF tenham potencial maior para sequestrar C do que as pastagens ou culturas, onde a integração do elemento arbóreo em sistemas de cultivo propicia maiores redes de sequestro subterrâneo (SANCHEZ, 2000; ROSHETKO et al., 2002; PALM et al., 2004; KIRBY & POTVIN, 2007; RAMACHANDRAN et al., 2009).

O processos de crescimento e expansão celular nos vegetais são mediados por balanços hormonais, calibrados em proporções equivalentes de acordo com o volume/massa do indivíduo abaixo e acima do solo. De maneira que, a morte dos tecidos superiores – em proporções limitadas as necessidades da planta – resultam em compensação nas porções inferiores, e vice versa (KERBAUY, 2004). Assim como um galho ou tronco quebrado gera morte de raízes, podas intencionais nos SAF proporcionam um aporte considerável de resíduos orgânicos em profundidade no solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi conduzido em uma propriedade rural localizada no município de Sapucaia, RJ, Brasil, com adjacências aos municípios de Teresópolis e São José do Vale do Rio Preto, RJ (Figura 1). Região serrana do estado com altitudes superiores à 650 m, predominantemente caracterizada por relevo montanhoso e escarpado com vales encaixados. Os solos predominantes são Cambissolos e Latossolos vermelho-Amarelos nos interflúvios, enquanto nas várzeas predominam os Gleissolos e solos aluviais (UEJ/IBGE, 1999).

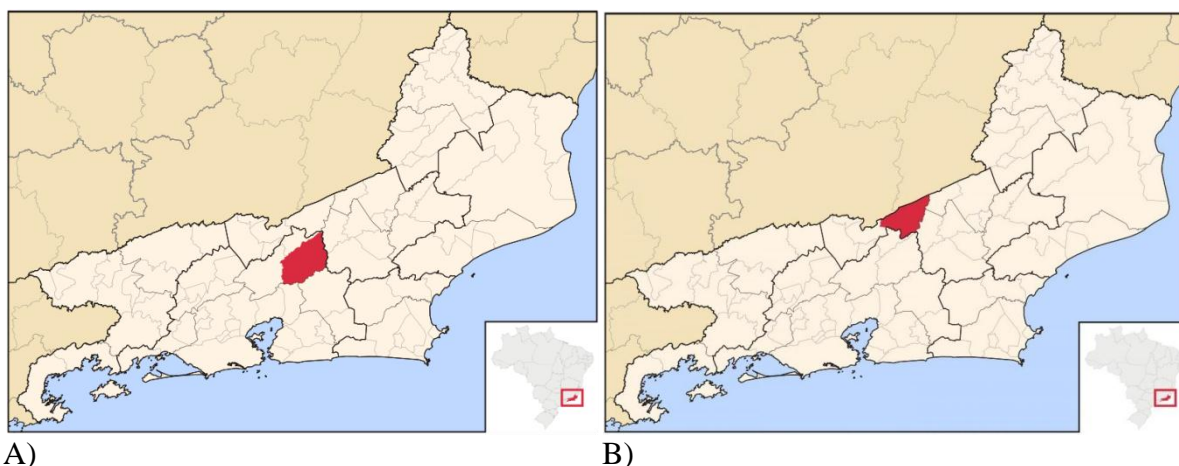


Figura 1 – Mapa do estado do Rio de Janeiro: A) Teresópolis e B) Sapucaia (Fonte: Wikimedia Commons)

Apesar de compor o município de Sapucaia, a distância e a elevação da localidade referida pode ser caracterizada nos padrões climáticos de Teresópolis e São José do Vale do Rio Preto. Baseado na classificação de Köppen-Geiger (KOTTEK et al., 2006) o clima é classificado como tropical, inserido na zona climática Aw/Cfb com chuvas predominando no verão. A temperatura média em Teresópolis é 18.2 °C de pluviosidade média anual de 1721 mm, sendo 1.500 mm (a jusante da bacia) a 2.500 mm (nas cabeceiras); em Sapucaia é de 22.3 °C e pluviosidade média anual de 1451 mm.

De acordo com o relatório do Comitê de Bacias do Piabanha (2004) atualmente a cobertura vegetal predominante compõe campos e pastagens cobrindo aproximadamente 37,3% da região. A vegetação secundária (ditas “capoeiras”) ocupam 36,4%, ocorrendo em todos os municípios, porém, na região que margeia o Rio Paraíba do Sul, dos municípios de Paraíba do Sul, Sapucaia e Carmo, sua ocorrência é maior. A cobertura florestal representa 17,1% do total estando em Teresópolis e Petrópolis a maior contribuição possuindo juntos áreas verdes superiores à 20.000 ha, e em torno de 4.000 ha no entorno de Sapucaia, São José do Vale do Rio Preto. A porção territorial de uso agrícola ocupa apenas 0,7%, estando no município de Teresópolis a maior contribuição com 44,1%.

A Fazenda Arca de Noé sedia uma área de produção agroflorestal implantada através de diversas iniciativas e parceiros, públicos e privados, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ/DNAP-IZ), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA),

Fundação BioRio, Universidade Severino Sombra, Ambiente Brasil – Engenharia Tecnologia e Desenvolvimento de Soluções Limpas – e cooperativa FLOREAL – assistência técnica e prestação de serviços em Agroecologia – entre outros. Fomentado com recursos do SEBRAE/RJ, em projeto intitulado “Sistemas Agroflorestais Energéticos (SAFE’s): capacitando e difundindo energia sustentável ao pequeno produtor rural”, contextualizado na discussão de sistemas de policultivo orgânico, tendo o Pinhão Manso como cultura principal. Essa demanda surge a partir da suposta implantação de uma fábrica de Biocombustíveis no entorno dos municípios que, entretanto, não chegou a ocorrer. Este fato posteriormente determinou as tendências de manejo no SAF, onde foram priorizadas culturas alimentícias, em uma unidade demonstrativas de produção agroecológica vegetal e animal para pequenos produtores (MACHADO et al., 2016)

A área experimental em agrofloresta situa-se nas coordenadas geográficas 22° 5'59.36"S e 42°47'41.50"O, a 718 m de altitude (Figura 2; detalhe em amarelo). Na área há predominância de Argissolo Amarelo (EMBRAPA, 2013), relevo em declive ondulado à forte ondulado. O perímetro delimitado por cerca possui 329 metros, sendo um total 4.490 m² cultivados (Figura 3).

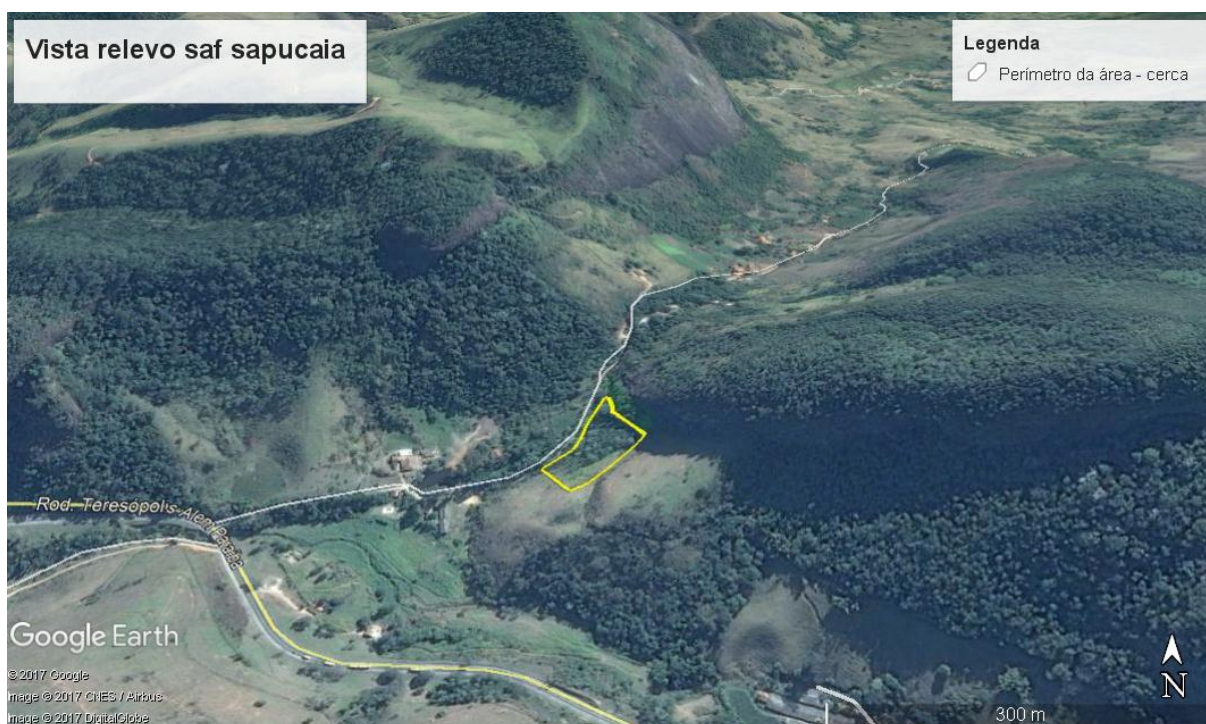


Figura 2 – Imagem de satélite da localidade. Destaque em amarelo delineando o perímetro da área cercada (Fonte: Google Earth, 2017).



Figura 3 – Imagem de satélite da localidade. Destaque em vermelho para área cultivada até março/2017 (Fonte: Google Earth 2017)

O histórico da área e entorno da propriedade dos últimos 20 anos esteve majoritariamente submetido ao uso para pecuária leiteira, com pastagens cultivadas de *Brachiaria decumbens*, em quase totalidade submetido à manejo inadequado, caracterizado pela presença de cobertura vegetal rasteira, sem vigor, ausente em pequenas manchas, típico de super-pastejo. Em determinadas situações é possível observar os estágios iniciais à medianos de erosão e formação de “voçorocas”. A floresta original foi removida na maioria dessas áreas há pelo menos 40 anos antes da realização deste estudo.

3.1.1 Implantação

O sistema agroflorestal foi implantado em diferentes períodos, estando as intervenções separados por período aproximado de um ano, caracterizando três áreas crono-sequenciais. Ambas receberam praticamente o mesmo tipo de manejo e intervenção, inclusive padrões de uso de espécies havendo diferenças básicas de acordo com decisões de interesse dos agricultores, na época, um casal. Houve planejamento prévio, desenho e sistematização em croqui, e as empreitadas de trabalho foram individuais e em regime de mutirão.

Realizou-se preparo da área com grade aradora, aguardando 15 dias e repetindo. Sequencialmente, foram feitos sulcos horizontais separados verticalmente a cada 4 metros, delimitando o terreno em curva de nível. Não houve aplicação de calcário.

As análises químicas do solo foram realizadas antes da implantação do sistema agroflorestal no ano 2010 na profundidade de 0-20 cm, tendo sido repetidas em 2014 com fins no progressivo monitoramento dos níveis de fertilidade. Discussões prévias sobre estes dados estão disponíveis em Ramalho et al, 2015 (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química do solo antes da implantação do SAF no ano de 2010 (T0) e posterior monitoramento em 2014 (T1) na profundidade de 0 – 20 cm. (RAMALHO et al, 2015 com modificações). **Área 1** – 6 anos de manejo; **Área 2** – 5 anos; **Área 3** – 4 anos.

ID amostra	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Na	C	S	T	V%	% H+Al em T	Aumento ctc
	----- mg.dm ⁻³ -----			-----cmolc.dm ⁻³ -----					%					cmolc.dm ³
Área 1 - T0	5.60	12.00	10.00	3.40	2.10	0.00	6.90	0.01	1.70	15.51	22.41	69.21	30.79	-
Área 1 - T1	5.70	7.00	105.00	2.10	0.70	0.30	6.60	0.02	1.71	107.82	114.42	94.23	5.77	510.62
Área 2 - T0	5.70	5.00	7.00	2.00	1.40	0.00	7.10	0.01	1.10	10.41	17.51	59.45	40.55	-
Área 2 - T1	5.50	6.00	148.00	1.40	0.50	0.50	5.50	0.02	1.53	149.92	155.42	96.46	3.54	887.66
Área 3 - T0	5.70	5.00	7.00	2.00	1.40	0.00	7.10	0.01	1.10	10.41	17.51	59.45	40.55	-
Área 3 - T1	5.60	6.00	74.00	1.80	0.50	0.40	5.00	0.02	1.53	76.32	81.32	93.85	6.15	71.07

O primeiro plantio foi realizado em 2010, sendo os outros dois a cada ano subsequentes, no período das principais chuvas da região (Dezembro-Março). Ambos visando a consolidação de um módulo familiar voltado à produção biocombustíveis com Pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), baseado no modelo SAFRA que busca uma integração do sistema de cultivo à regeneração natural, através do consórcio de espécies agrícolas de interesse, espécies nativas e outras fonte de biomassa para adubação e cobertura. Objetivando o restabelecimento da ciclagem de nutrientes e o equilíbrio dinâmico de maneira análoga à vegetação original e entorno do ecossistema onde este foi implantado (VIVAN, 1998).

Destaca-se que este é um sistema de estratificação diversificada, explorando amplamente o espaço horizontal e vertical da área de plantio, formando adensamentos com o maior número de espécies possíveis simulando a dinâmica biológica estratificada das florestas tropicais (GÖTSCH, 1995). Especificamente nesta área foram feitas adaptações para as condições locais e ao interesse do produtor responsável, como o uso de fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade permitidos na produção orgânica.

Esta proposta teve como objetivo discutir e demonstrar empiricamente a aplicação da tecnologia agroflorestal com a possibilidade de geração de renda diversificada atendendo as demandas reais do pequeno produtor frente as contradições do trabalho campesino. À custos mínimos e com mão de obra majoritariamente familiar o sistema foi implantado fazendo uso do maior volume possível de recursos locais, entre ele propágulos vegetativos disponíveis nas proximidades para consolidação de uma cobertura vegetal capaz de suprimir as gramíneas dominantes.

O sistema que inicialmente priorizou a favorecer o plantio de pinhão manso

e a cultura da banana, espécie de trato cultural relativamente simples e que dentre as frutíferas traz retorno produtivo em curto período de tempo. Além de ser uma das espécies frutíferas mais bem adaptadas e cultivadas nos trópicos úmidos possui características que a tornam peça-chave no sucesso dos sistemas agroflorestais tropicais. Seu rápido desenvolvimento e alto potencial para produção de biomassa possibilitam sombreamento e alto grau de deposição de resíduos resultante do trato, resultando na supressão de gramíneas competidoras assim como cobertura do solo com material orgânico altamente hidrocópico e de fácil decomposição (GÖTSCH, 1995; VIVAN, 1998).

Foram utilizadas diferentes variedades de banana, predominando a vulgarmente conhecida “prata alta” e “nanição”. O manejo foi direcionado ao favorecimento desta cultura, havendo inicialmente, portanto, maior concentração de biomassa no entorno das touceiras explorando os diferentes benefícios da cobertura como a adubação e o controle de adventícias.

As mudas de banana foram plantadas no sulco horizontal de plantio formando uma linha com 3 m de distância entre elas. Foi realizada adubação com termofosfato de nome comercial Yorin[®] na dosagem de 50g/cova. Buscou-se alternar as variedades de banana, intercalando-as, com fins fitossanitários no qual o manejo de corte e colheita não possibilitasse propagação de uma touceira para outra. Entre cada muda de banana foram

plantadas duas mudas de cana de açúcar. Na cova também foram plantadas mudas de palmito Juçara e sementes de abacate, pitanga e de algumas variedades de abóbora.

As juçaras – espécie nativa de interesse que produz polpa semelhante ao açaí – foram distribuídas a cada 6 m. O abacate foi plantado diretamente por semente com objetivo de selecionar entre algumas variedades aquelas com maior aptidão ao local, e o restante servindo como fonte de biomassa.

O milho foi plantado na mesma cova do feijão guandu (*Cajanus cajan*) na entrelinha das bananas, onde após a colheita da gramínea a leguminosa se estabelece com vigor, ocupando um estrato definido e propiciando vigorosa cobertura vegetal. Também foi plantado em toda área e na entrelinha destes dois, o feijão de corda Macassar (*Vigna unguiculata*) para rápida cobertura vegetal, alimentação e comercialização facilitada.

na entrelinha milho com guandu no manejo clássico. Feijão de corda em tudo. Abóbora de diferentes tipos em todas as covas de banana. Onde tbm foi plantado juçara de muda, pitanga de semente

A princípio não houve preocupação em introduzir espécies arbóreas nativas pois, o entorno da localidade é são ricamente composto de florestas de mata nativa e, portanto, altamente sujeito à influência da regeneração. Isto, em uma lógica de manejo favorecendo a resiliência do ecossistema evidente no surgimento das espécies nativas. No entanto, posteriormente o conjunto de espécies selecionadas foi predominante de espécies frutíferas dispostas e distribuídas na área de plantio obedecendo categorias de estratificação e de sucessão ecológica, definindo o intercalamento com a cultura de banana (tabela 2 e 3).

Tabela 2 – Espécies nativas plantadas no Sistema Agroflorestal, Fazenda Arca de Noé, Sapucaia - RJ.

Nome Popular	Grupo Sucessional	Uso / Função ecológica
Embaúba (<i>Cecropia</i> sp.)	Pioneira	Poderoso sistema radicular, poleiro natural, potencial colonizador, biomassa
Candiúva (<i>Trema micrantha</i>)	Pioneira	Poderosa ação radicular, poleiro natural, potencial colonizador, biomassa
Angico vermelho (<i>Anadenathera macrocarpa</i>)	Secundária Inicial	Madeira, sementes, uso medicinal, fixação biológica de N, poleiro natural
Fumeiro (<i>Solanum</i>)	Pioneira	Poderoso sistema radicular, poleiro natural, potencial colonizador, biomassa
Ingá de metro	Pioneira	Lenha, frutos, biomassa, fixação biológica de N,

<i>(Inga edulis)</i>		poleiro natural, poderoso ação radicular
Pau ferro <i>(Caesalpinia leiostachya)</i>	Secundária Inicial	Madeira, sementes, fixação biológica de N, poleiro natural
Pau jacaré <i>(Piptadenia gonoacantha)</i>	Pioneira	Lenha, biomassa, fixação biológica de N, poleiro natural, poderoso sistema radicular
Palmeira Jussara	Secundária Inicial	Frutos para produção de polpa, palmito, atrativo para avifauna
Bignoniaceae Desconhecida	Pioneira	Propagação vegetativa eficiente, poleiro natural, biomassa

Tabela 3 – Espécies perenes plantadas no Sistema Agroflorestal, Fazenda Arca de Noé, Sapucaia - RJ.

Nome Popular	Uso	Função ecológica
Abacate	Frutificação volumosa e prolongada, alto valor de mercado, alimentação	Poderoso sistema radicular, poleiro natural, contibuição para serrapilheira
Pitanga	Produção de geléias, sucos e doces, alimentação, lenha	Espécie nativa da mata atlântica muito atrativo para fauna
Amora	Produção de geléias, sucos e doces, alimentação, fonte de biomassa com alto potencial de rebrote, lenha, propagação vegetativa	Poleiro natural, poderosa ação radicular, contibuição para serrapilheira
Acerola	Produção de geléias, sucos e doces, alimentação	Muito atrativo para fauna
Caqui	Frutos com alto valor de mercado, produção de geléias, sucos e doces, alimentação	Muito atrativo para fauna
Jaca	Frutificação volumosa e prolongada, bom valor de mercado, Madeira, lenha, alimentação, biomassa	Poderoso sistema radicular, poleiro natural, contibuição serrapilheira, muito atrativo para fauna
Goiaba	Frutificação volumosa, lenha, produção de geléias, sucos e doces, alimentação	Poderoso sistema radicular, poleiro natural, muito atrativo para fauna
Limão	Produção de geléias, sucos e doces, alimentação	Poleiro natural, poderosa ação radicular
Pitomba	Produção de geléias, sucos e doces, alimentação, lenha	Poleiro natural
Pessego	Produção de geléias, sucos e doces, alimentação	Poleiro natural
Cajá	Produção de geléias, sucos e doces,	Poleiro natural

	alimentação, propagação vegetativa	
Café	Produção de café artesanal	Contribuição serrapilheira
Pinhão Manso	Produção de biocombustível	Poleiro natural e uso medicinal

Foram introduzidos consórcios de espécies anuais em diversos momentos, desde o início até em estágios posteriores, de acordo com as características destas como o porte, exigência de luz, hábito de crescimento, velocidade de estabelecimento, capacidade de consorciação, etc. As principais culturas utilizadas foram cultivares de milho, feijão e abóbora, girassol, taro (inhame), mandioca, amendoim, cará, abacaxi.

Foi plantado em área total respeitando as linhas e entrelinhas de plantio o margaridão ou girassol mexicano (*Tithonia diversifolia* (HEMSL.) Gray), espécie com elevadas taxas de crescimento vegetativo que produz elevados teores de lignina e proteína bruta, inclusive sobre adensamento, tornando-a interessante para adubação verde para a supressão da braquiária, além do mais esta planta possui elevada predisposição à colonização de fungos endomicorrízicos mobilizando significativas quantidades de fósforo e nitrogênio (GUALBERTO et al, 2011). Possuindo média resistência ao corte da lâmina de facão este foi feito regularmente de acordo com a necessidade de insolação do sistema e a disponibilidade e limitações do produtor. É importante destacar que sua escolha deu-se exclusivamente em função da disponibilidade de fontes de propágulo na localidade.

Além desta foram utilizadas espécies de adubação diversas de acordo com observações pessoais do produtor acerca da eficiência na produção de biomassa e estabelecimento. Foram utilizadas com sucesso as leguminosas feijão guandu, *Flemingia* sp., *Tephrosia* sp., *Mucuna pruriens*, feijão bravo do Ceará (*Canavalia brasiliensis*), houve sucesso também no uso de espécies de *Crotalaria* sps., porém devido a baixa ou ausente capacidade de rebrote foi abandonado. A amora (*Morus nigra*), uma frutífera da família moraceae, foi utilizada com sucesso em diversos pontos como fonte de biomassa, devido sua alta capacidade de rebrote. Das gramíneas (poaceae) foi utilizado como fonte de biomassa e adubação verde o capim-elefante (*Pennisetum purpureum*). Foi semeado a lanço em toda área o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) que possui alta capacidade de descompactação do solo, além de decompôr-se em profundidade e podendo ser utilizado na alimentação de animais, como foi feito posteriormente.

O plantio dos sistemas agroflorestais eventualmente ocorrem a partir do plantio de espécies anuais juntamente aos cultivos perenes. Inicialmente, foram distribuídas na área as mudas de banana de acordo com o espaçamento pretendido. Posteriormente foram plantados as mudas, as estacas de árvores, frutas e de margaridão para adubação. Sequencialmente realizaram-se plantios de espécies anuais em área total sob alto grau de adensamento. Estes foram feitos repetidas vezes de forma intensa e de acordo com atividades de manejo visando obter-se diversas colheitas, garantir ocupação constante do solo evitando o desenvolvimento das gramíneas e ciclagem e deposição de material orgânico. Isto propiciou o desenvolvimento das espécies perenes até que estas atingissem um porte em que não sofressem mais tão intensamente com a competição das gramíneas.

Devido condições adversas dentre elas as ambientais como alta incidência de ventos, baixa pluviosidade nos anos iniciais houve mortalidade total das espécies perenes pera, maçã e pêsego. Houve baixa taxa de sobrevivência de caqui e acerola. Jaca (*Artocarpus heterophyllus*), abacate (*Persea americana*), goiaba (*Psidium guajava*), pitanga (*Eugenia uniflora*) e o pinhão manso foram os mais bem sucedidos. O café e a Jussara (*Euterpe edulis*) foram introduzidos posteriormente com sucesso com o dossel do sistema mais estruturado, propiciando condições de sombreamento, maior aporte natural de matéria orgânica e avanços significativas na estrutura física e química do solo.

É importante reforçar que a justificativa de introdução do sistema foi a produção de biocombustíveis. Não foram atingidos os objetivos iniciais e o sistema passou a ser conduzido de acordo com os interesses do produtor responsável, adquirindo características voltadas à produção de frutos, palmito e madeira, explorando continuamente áreas mais recentes de maior ensolação com cultivo de lavouras anuais.

3.1.2 Manejo

As práticas de manejo do sistema foram diversas e ocorriam dentro da disponibilidade e interesse do produtor e dos coletivos que participaram dos mutirões. Apesar disso, de maneira geral, todas as três áreas foram manejadas dentro de um mesmo padrão, observando os estágios iniciais com 1) capinas e roçados para controle de invasoras, 2) manejo das touceiras de banana, 3) poda das principais plantas “adubadeiras” – margaridão e amora; e em momentos posteriores quando a área atinge um estágio mais avançado 4) realizando-se intervenção de poda seletiva nas árvores que eventualmente bloqueavam a entrada de luz. De maneira geral, observa-se predominância no aporte de material orgânico ao redor das culturas de interesse de diferentes fontes de biomassa em função do avanço sucessional do sistema, em diferentes pontos e concentrações, fruto da interação das especificidades pedológicas e topográficas e das características da espécie “adubadeiras” utilizadas.

Capinas e roçados foram são frequentes nos estágios iniciais dos SAF, com maior gasto energético no controle do desenvolvimento das espécies adventícias evitando competição com as culturas. Sua frequência é reduzida à medida que o sistema avança no estrato superior e as espécies plantadas para adubação verde se consolidam abafando em especial as gramíneas, que em função de possuírem um metabolismo fotossintético com alta demanda de luz acabam enfraquecendo tendo sua incidência reduzida. Boa parte dessas intervenções foram oportunidades de plantio.

As bananas receberam o trato cultural padrão aplicado nos sistemas convencionais, observadas características individuais do clima local, com o diferencial de que o material orgânico resultante é cortado em várias partes e cuidadosamente distribuído sobre o solo ao entorno da touceira. Esta prática além de favorecer a supressão das gramíneas possibilita uma cobertura de rápida decomposição com boa capacidade de retenção de água, devido a estrutura “esponjosa” do pseudocaule da banana, isto permite que superficialmente o solo

fique úmido por mais tempo favorecendo, além das culturas de interesse como as frutíferas, toda biota associada ao solo intensificando suas atividades localmente.

O corte e distribuição do material orgânico feito com uso de facção é uma das práticas mais realizadas ao longo da consolidação de um SAF, com plantas “adubadeiras” selecionadas intencionalmente devido seu alto potencial vegetativo, de rebrote e tolerância ao corte. Estas eventualmente suprimiam as culturas introduzidas e necessitavam de podas, assim foram feitas constantemente e durante todas as épocas do ano, havendo maior concentração durante o período de maior pluviosidade. É importante destacar que das espécies com maior potencial vegetativo o margaridão foi o mais persistente e forneceu a maior parte do material orgânico. Esta prática de manejo possibilitou a incorporação de um volume considerável de matéria verde sendo a maior contribuição para os níveis de matéria orgânica do sistema.

Realizaram-se intervenções de poda seletiva nas árvores no mínimo duas vezes ao ano em cada área. Diz-se seletiva pois o uso destas espécies é exclusivamente para este fim, ocorrendo em áreas de interesse específico para plantio de culturas mais exigente como o cacau, a Jussara e o café, ou mesmo para favorecer a entrada de luz no sistema. Esta prática é fundamental no SAF por fornecer grandes volumes de material com alto teor de lignina além de possibilitar a renovação dos estratos inferiores, analogamente às florestas tropicais.

Neste sistema todo material é cuidadosamente depositado explorando o máximo da interface deste sobre o solo. Outro detalhe fundamental é que os troncos e galhos, assim como a maior parte dos resíduos são depositados horizontalmente ao plano de inclinação do relevo, formando uma espécie de curva de nível que atua como barreira reduzindo intensamente a velocidade de escoamento superficial da água, favorecendo sua infiltração e o acúmulo de resíduos carregados durante as chuvas.

3.2 Caracterização da Amostragem Realizada

Dado a importância de contribuir na discussão acerca da capacidade dos SAF em incrementar os estoques de carbono no solos e retificar sua importância enquanto prática de produção sustentável que beneficie as qualidades químicas e físicas do solo, realizaram-se em Julho de 2016 amostragens aferimento da densidade global e posteriormente o material coletado possível utilizado para estimar os níveis de carbono orgânico.

Com GPS (Global Position System) foram definidos os limites da área de estudo, assim como os pontos de interesse amostral. Destes, procedeu-se a sobreposição com a base de dados de imagens de satélites no *software* Google Earth Pro®. Com o perímetro definido pela cerca e as bordas da área cultivada (Figura 2 e 3), demarcou-se os limites internos entre os tratamentos sob manejo agroflorestal de acordo com a ordem cronológica de implantação (Área 1:A1 – 6 anos; Área 2:A2 – 5 anos; Área 3:A3 – 4 anos), assim como sua Testemunha (Pastagem:A4) (Figura 4).



Figura 4 – Imagem de satélite do SAF com áreas delimitadas e pastagens. Azul-claro:A1; Amarelo:A2; Verde:A3; Azul:Testemunha (Fonte: Google Earth, 2017)

De acordo com Urquiaga, et al. (2016), como testemunha foi selecionada uma área adjacente com condição similar à anterior da implantação do SAF, observadas características pedológicas, de vegetação e de práticas de manejo.

Foram definidos doze pontos em uma distribuição homogênea e aleatória, sendo três em cada tratamento (Figura 5), respeitando-se uma distância mínima de 8 metros das bordas para perfuração de trincheiras (sítios amostrais) de medidas 0,6 x 0,6 x 0,6 m (DOS SANTOS & LEMOS, 2005). Foram coletadas três amostras indeformadas por camada de profundidade (0 à 5, 5 à 10, 10 à 20, 20 à 30, 30 à 40 e 40 à 50 cm), totalizando 18 amostras por trincheira e 216 em todos os tratamentos. Utilizou-se um cilindro de aço inox denominado anel de “Kopeck”, de volume interno 90,32 cm³.

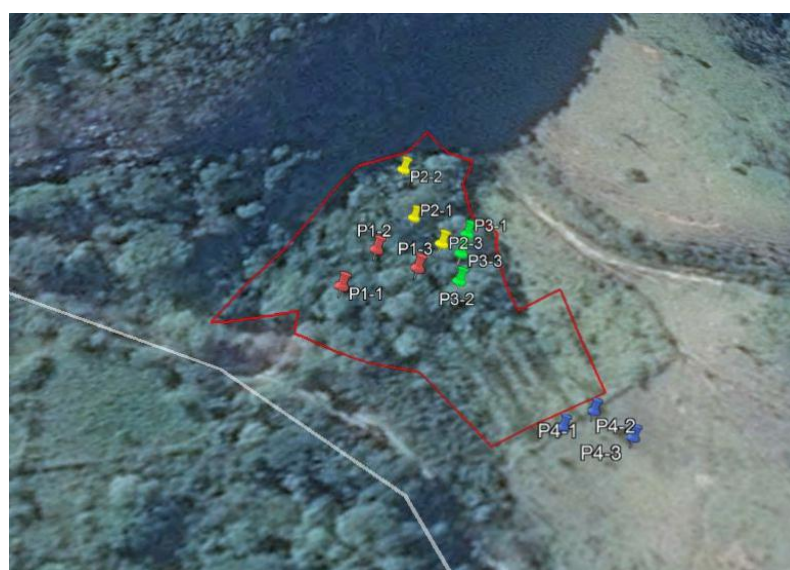


Figura 5 – Imagem de satélite com posição das parcelas. Parcela-Tratamento-Repetição (Fonte: Google Earth, 2017)

3.3 Cálculos e Análises

3.3.1 Densidade global

As 216 amostras coletadas foram deixadas abertas por 5 dias em local sombreado e ventilado para reduzir e estabilizar os níveis de umidade, sendo sequencialmente pesadas em balança com duas casas decimais. Utilizou-se um recipiente de alumínio para deposição de 1 g extraído das amostra de campo, que foram levadas à estufa 105° C por 72 horas, para nova pesagem.

Deste novo valor obtido, subtraído o peso do recipiente, se obteve o equivalente (g) de solo seco e a diferença seu teor de umidade. A partir daí, foi encontrado o peso seco total da amostra, através da multiplicação do valor do peso seco (g; 105° C) da sub amostra pelo peso total da amostra úmida. Observada regra de três onde 1 g do peso total da amostra (úmida) é equivalente a X (g; 105° C) de peso seco total. Disto, aferiu-se a Densidade Global (**Ds**; g.cm⁻³) do solo através da razão entre peso seco total e o volume interno do anel (90,32 cm³), utilizando a fórmula:

$$\mathbf{Ds = peso\ seco\ do\ solo\ (g) / volume\ do\ anel\ (cm^3)}$$

3.3.2 Caracterização de carbono orgânico e estoque

Do total de amostras coletadas, foram elaboradas 72 amostras compostas, a partir das três obtidas em cada profundidade. Os teores (**Corg**; g.kg⁻¹) foram quantificados através do método Walkley e Black (1934), no laboratório de Fertilidade dos Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

De acordo com Fernandes & Fernandes (2008), utilizou-se a fórmula para correção dos estoques de C do solo levando-se em conta diferenças massas de solo, onde:

$$Cs = \sum_{i=1}^{n-1} Cti + \left[Mtn - \left(\sum_{i=1}^n Mti - \sum_{i=1}^n Msi \right) \right] * Ctn$$

Cs = estoque de C corrigido em função da massa de solo de uma área de referência

$\sum_{i=1}^{n-1}$ = somatório dos estoques de C do solo da primeira à penúltima camada amostrada, no tratamento considerado (Mg.ha⁻¹)

Mtn = massa do solo da última camada amostrada no tratamento (Mg.ha⁻¹)

$\sum_{i=1}^n Mti$ = somatório da massa total do solo amostrado sob o tratamento (Mg.ha⁻¹)

$\sum_{i=1}^n Msi$ = somatório da massa total do solo amostrado na área de referência (Mg.ha⁻¹)

C_{tn} = teor de C do solo na última camada amostrada (Mg C. Mg-1 de solo)

Sendo, o estoque em profundidade (**Est C**; Mg.ha⁻¹) foi calculado por camada levando em conta sua espessura (**e**; cm) através da fórmula:

$$\text{Est C} = (\text{Corg} \times \text{Ds} \times \text{e})/10$$

3.3.3 Análise estatística

Foi realizada uma análise de componentes principais centrada e não normalizada (PCA ou ACP) no software SAS[®] Studio pacote University Edition. Este modelo de análise que visa uma redução de dados, eliminando de sobreposições, permitindo a escolha das formas mais representativas dos dados utilizando combinações lineares das variáveis originais, através de uma transformação linear de dados com dimensões distintas, representando uma mudança de bases que seguem a mesma variação de dados. Possibilitando identificar relações entre as características extraídas de dados, com reconhecimento de quais são as principais características de medidas a serem aplicadas para caracterizar um fenômeno (REGAZZI, 2000).

Este método estatístico linear encontra autovalores e autovetores em uma matriz de covariância dos dados, possibilitando uma redução dimensional dos dados analisando os padrões principais de variabilidade. Essa redução só é possível quando as variáveis iniciais não são independentes e possuem coeficientes de correlação não-nulos. Observado variância (quadrado do desvio padrão) enquanto medida indicadora da distância (afastamento) que um determinado dado está em relação a média (REGAZZI, 2000).

Espera-se a partir destes encontrar correlações positivas (>70%) entre as características. Estas por sua vez podem ser visualizadas em gráficos que mostram a distribuição – agrupamento das classes na influência do fenômeno em cada profundidade. Espera-se que observando estes padrões de distribuição e o fator de correlação se possa compreender se há diferença no tempo de manejo sobre as transformações das características avaliadas.

Assim, a metodologia aplicada gerou um vetor de características com as variáveis (dados provenientes da coleta), sendo elas Densidade Global (Ds), Carbono Orgânico (Corg) e Estoque (STOK), agrupadas num mesmo vetor de efeito do tempo de manejo, onde: Área 1=6 anos (1), Área 2=5 anos (2), Área 3=4 anos (3), Controle=tempo zero (4); avaliadas separadamente em cada profundidade (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50).

Também procedeu-se um teste de médias (Tukey, 0,05) para avaliar o grau de significância dos tratamentos em relação ao teor de COS e Densidade

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Estatística

4.1.1 Análise de componentes principais

Utilizada quando as variáveis analisadas tem origem em processos no qual diversas características precisam ser observadas ao mesmo tempo, auxiliando na elaboração de hipóteses gerais. Os dados coletados servem à escolha dos mais representativos, separando uma informação importante de outras redundantes e aleatórias. Uma hipótese era de que o efeito do tempo sobre manejo agroflorestal (fenômeno) implicaria numa redução da densidade e, portanto, aumento do teor de carbono orgânico, sendo estas duas variáveis correlacionadas para caracterizar a efetividade do fenômeno.

As novas variáveis geradas (componentes principais) possuem independência estatística e são não correlacionadas, ou seja, se as variáveis originais não estiverem correlacionadas a PCA não irá oferecer nenhuma vantagem. No entanto, quando as variáveis são dependentes o conhecimento de uma é importante para o conhecimento da outra (SOUZA, 2000).

Sendo a componente principal uma combinação linear de todas as variáveis originais, buscou-se o agrupamento de indivíduos segundo a variação de suas características em classes, que representam o comportamento das variáveis e sua influência no fenômeno. Regazzi (2000) afirma que o número de componentes a ser utilizado costuma ser aquele que acumula em média 70% ou mais de proporção da variância total.

Inicialmente foram avaliadas todas as variáveis (Ds, Corg e STK), porém não foram encontradas correlações positivas em nenhuma das profundidades. Ou seja, as três variáveis não são influenciadas em covariância como resultado do fenômeno. Não havendo, portanto, os agrupamento das classes graficamente visualizáveis, surge pela primeira vez a hipótese, não confirmada, de erros de amostragem (coleta e laboratorial). Para confirmar isso a próxima etapa foi reduzir o número de variáveis.

Ao comparar STK, individualmente, com as variáveis foi encontrada alta correlação (~95%). Isto de maneira geral é uma correlação muito forte, pouco comum, e que frequentemente indica uma combinação linear. Justificando que STK não pode ser utilizado para caracterizar o fenômeno, pois trata-se de um valor matematicamente dependente dos valores de Corg e Ds.

Densidade e Carbono Orgânico foram as únicas variáveis utilizadas e para a profundidade de 0-5. Foi encontrada correlação positiva de 64%, havendo agrupamento gráfico das observações do tratamento 4 (controle) em relação aos demais. Isto, de certa maneira, já pode ser considerado um indicativo de que o manejo agroflorestal influenciou nas propriedades de Ds e Corg, passível de diferenciação das condições do solo em relação à área de pastagem (tabela 4).

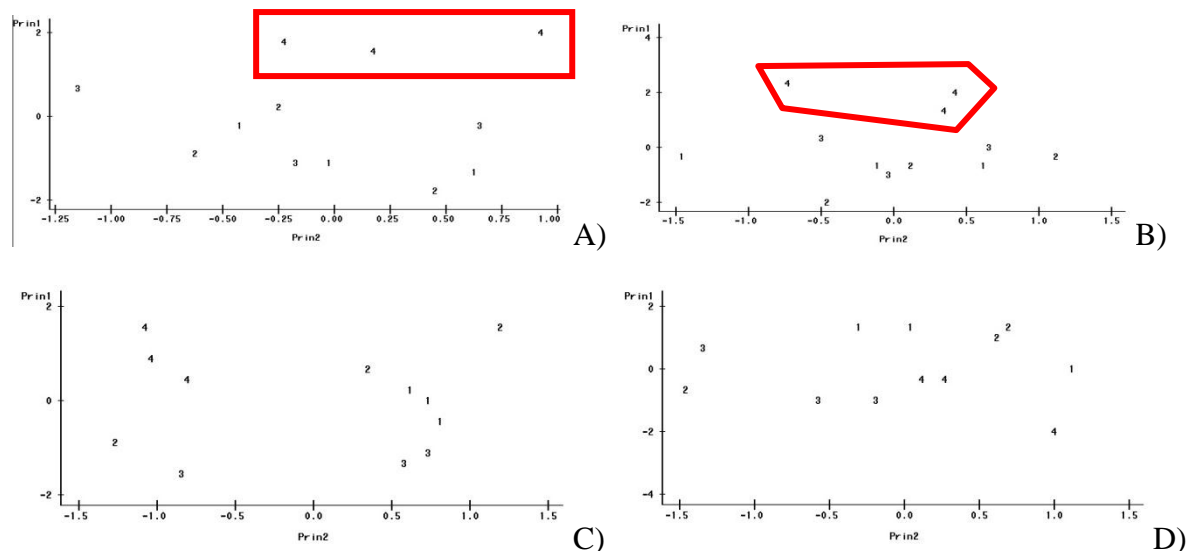
Tabela 4 – Porcentagem obtida a partir da Matriz de Correlação para Carbono Orgânico e Densidade de acordo com profundidade. O sinal de “-“ representa uma correlação negativa, ou que não existe.

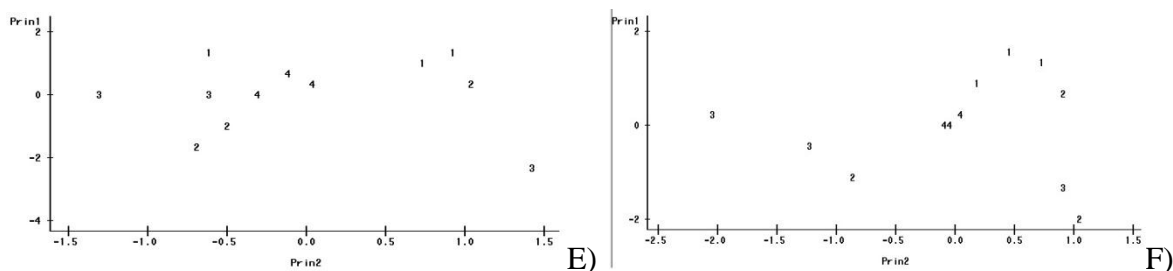
Profundidade (cm)	Correlação para Corg e Ds (%; Matriz)
0-5	64,42
5-10	50,23
10-20	50,23
20-30	50,23
30-40	-
40-50	-

Porém, esta correlação positiva também não foi suficientemente para caracterizar o fenômeno, ou seja, na localidade de estudo as duas variáveis analisadas não são totalmente dependentes entre si. Isto fica nítido no gráfico, pois, não é possível visualizar agrupamentos das variações dos indivíduos de cada população de dados.

A análise dos componentes principais indicou que nas profundidades 0-5 e 5-10 cm o tratamento testemunha (A4; Figura 6: A e B; destaque), o maior teor de carbono esteve associado à uma maior densidade, a classe que apresentou maior correlação foi o com. Lepsch (2011) afirma que de maneira geral solos com maior teor de carbono também estão associados a um maior teor de matéria orgânica e, portanto, tendem a estar associados a menores valores de densidade (menor massa, solos mais leves, com maior numero de poros).

Figura 6 – Gráficos de Componentes Principais para Densidade e Carbono Orgânico. Agrupamento de classes (A1, A2, A3 e A4) por profundidade (A- 0-5; B- 5-10; C- 10-20; D- 20-30; E- 30-40; F- 40-50 cm). Gráfico gerado nos software SAS® University Edition





Porém, o resultado encontrado na análise aparentemente se opõe a este entendimento. É importante lembrar, que pastagens são capazes de acumular maiores volumes de COS (BERNOUX et al, 1998; TARRÉ et al., 2001; VINHAS COSTA et al., 2009; BATJES, 2014) e área controle utilizada em nosso trabalho está submetida a manejo inadequado e sem controle de taxa de lotação animal, o que eventualmente implica em compactação (adensamento). Isto explica correlação dos dados e agrupamento/separação da classe 4 das outras componentes (variáveis).

No entanto, não houve clara separação entre tratamentos agroflorestais permitindo demonstrar a influência do tempo sob manejo entre estes. Isto pode ser explicado pelo período relativamente pequeno (1 ano) entre a implantação de cada um. Devem ser aplicados testes mais precisos para avaliar se de fato não há diferença ou, se de fato, existe a possibilidade de erro amostral.

Facilitando a percepção de erro amostral, procedeu-se reduzir o volume de dados, obtendo uma média de todas as repetições num mesmo tratamento. Ou seja, de três repetições em cada profundidade se obteve a média para todas as variáveis. Este procedimento não tem fins estatísticos mas possibilitou a obtenção de uma correlação positiva entre os componentes indicando que há correlação nas amostras totais, havendo talvez dentre elas algumas que sofreram problemas de amostragem. Para confirmar isto é necessário um teste de médias.

4.1.2 Teste de Médias

Dado o fato da ausência de um delineamento estatístico para estabelecimento de uma Análise de Variância (ANOVA), optou-se somente por fazer um teste de médias para comparar a significância de determinada variável dentro da população de dados em cada tratamento. Assim, foram avaliadas as variáveis Densidade e COS separadamente por profundidade (tabela 5).

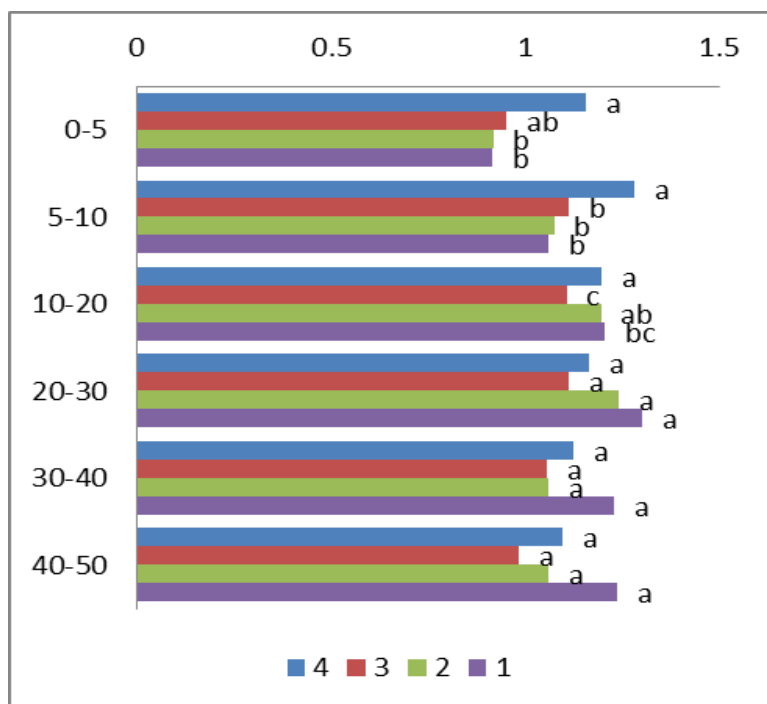
Tabela 5 – Teste de médias (tukey; $P < 0,05$) para Densidade e Teor de Carbono Orgânico. Médias com as mesma letras não são significativamente diferentes entre si; duas letras representam um nível de significância intermediário.

Prof. (cm)	Densidade (g.cm-3)			Carbono Orgânico (g.kg-1)		
	Média	Tratamento	Significância	Média	Tratamento	Significância
0-5	1.16	4	a	34.94	4	a
	0.95	3	b	25.03	3	a
	0.92	2	b	25.59	2	a
	0.92	1	b	22.69	1	a
5-10	1.28	4	a	31.80	4	a
	1.11	3	ab	21.08	1	ab
	1.08	2	ab	18.58	3	ab
	1.06	1	b	18.82	2	b
10-20	1.20	1	a	21.66	4	a
	1.20	2	a	18.62	2	b
	1.20	4	a	16.16	1	bc
	1.11	3	a	11.85	3	c
20-30	1.30	1	a	15.64	1	a
	1.24	2	a	17.61	2	a
	1.16	4	a	16.44	3	a
	1.11	3	a	11.97	4	a
30-40	1.23	1	a	21.32	2	a
	1.12	4	a	21.16	3	a
	1.06	2	a	17.25	4	a
	1.06	3	a	14.79	1	a
40-50	1.24	1	a	22.91	2	a
	1.09	4	ab	11.37	4	a
	1.06	2	ab	24.56	3	a
	0.99	3	b	20.05	1	a

4.2 Densidade Global

A partir dos valores obtidos das médias observou-se uma de redução $0,14 \text{ g.cm}^{-3}$ na Densidade Global para todos os tratamentos agroflorestais (A1, A2 e A3), enquanto a pastagem (A4) não apresentou redução significativa nos valores (Figura 7).

Figura 7 – Gráfico para Densidade Global do solo ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) comparando áreas de tratamento (1, 2, 3 e 4) por profundidade (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm) de acordo com Teste de médias ($P < 0,05$).



Para Densidade as profundidades 0-5 e 5-10 cm foram as que sofreram maior influência do manejo agroflorestral, onde o tratamento A1 apresentou os valores significativamente menores do que o controle. Isto de maneira geral pode ser um indicativo de que a prática de SAF com alto aporte de resíduos orgânicos e cobertura vegetal interferem positivamente nesta propriedade física do solo. Porém, não foram levadas em conta neste trabalho o efeito da compactação resultado do pastejo animal. Apesar do fato de que Tornquist et al. (1999) ao comparar SAF, cultivo anuais e áreas de pastagem com manejo adequado, ter avaliado o efeito da compactação na presença do componente animal e ter constatado não haver influência significativa no período avaliado.

Nestas mesmas profundidades, porém, não houveram diferenças significativas entre os tratamentos A1 A2 e A3. Isto como referido anteriormente pode ser justificado em função do período de um ano, que representa a distância de implantação entre cada sistema, ser um período relativamente pequeno, mesmo ainda entre A1 e A3, que somaria 2 anos. Isto pode ser verificado em outros trabalhos com SAF onde existe uma média de 3 à 6 anos entre os tratamentos, apesar de haverem trabalhos com significância utilizando apenas um ano

O tratamento A1 apareceu com valores maiores que todos os outros tratamentos na profundidade de 40-50 cm. Isto pode ser justificado por diferentes aspectos: por se tratar de uma área de menor inclinação topográfica pode ter sido usada com alguma frequência para cultivos anuais, entre ele milho, cana de açúcar e outros; outro aspecto assemelha-se a topografia porém indicando que o tipo de solo pode ser distinto dos demais, apesar da

distância relativamente pequena. Um estudo de caracterização do tipo de solo é necessário para justificar estas afirmações.

Entretanto, o tratamento 3 aparece com significativa diferença dos demais, o que pode ser um indicativo que o manejo em SAF interferiu em profundidade. Um estudo em solos degradados e estéreis (*sodic soil*) sob plantações de eucalipto na Índia, encontrou influências significativas ($P < 0.05$) para densidade até 0,83 m em relação ao controle, com mudanças menores mas também significativas até 1,50 m, além de outras transformações benéficas nas propriedades físicas que legitimam o efeito potencial de cultivos arbóreos sob o solo (MISHRA et al., 2003).

Para as demais profundidades não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos. Apesar disto, é interessante observar que a testemunha apesar de não diferir significativamente dos outros tratamentos nas outras profundidades manteve-se com médias menores que A2 e A3.

Estudos abordando o efeito dos SAF sobre as propriedades físicas empregaram aferimento da Densidade Global na caracterização de transformações dos solos em regiões tropicais (TORNQUIST et al., 1999; SCHROTH et al., 2002; SEOBI et al., 2005; HERGOUALC'H, 2012). Apesar disso, não existem parâmetros que definam números precisos para comparação entre diferentes amostragens pois estas variam amplamente de acordo com tipo de solo estudado (TORNQUIST et al., 1999).

Em referidas literaturas tratando acerca do efeito tempo sob manejo, o SAF apresentou menores valores para Ds em comparação à áreas de pastagens e cultivos anuais nos primeiros 20 cm de profundidade, sendo a diferença mais representativa em 10-20 cm, não havendo porém diferenças significativas nas camadas subsequentes (20-30, 30-40) (SEOBI et al., 2005). Estes dados também estão em concordância com Messing et al. (1997) que encontrou menor Ds nos primeiros 15 cm em tratamentos silviculturais comparados à culturas de cereais e pastagens em solos com pouca e muita argila.

4.3 Carbono Orgânico e Estoque

Tornquist et al. (1998) não encontraram influência significativa do SAF sobre o COS, afirmando que em seu trabalho estes não pareceram melhorar a condição dos solos em relação ao pasto (adequadamente) manejado sob pastejo. No entanto é conhecido que para SAF o potencial de sequestro de COS é superior nos 20 cm à todas camadas (MUTUO et al., 2005). (Tabela 6; Figura 8, 9 e 10).

Tabela 6 – Estoque de COS (Mg.ha⁻¹), mostrando o total (até 50 cm) e até 20 cm de profundidade

STK	1	2	3	4
até 20 cm	40.03	43.40	36.81	65.34
Total	87.30	103.43	94.30	112.60

Média COS (g.kg ⁻¹)	A1	A2	A3	A4
0-5	22.69	25.5919	25.028	34.9421
5-10	21.078	18.8212	18.579	31.7985
10-20	16.161	18.6196	11.849	21.6625
20-30	15.637	17.6121	16.443	11.9698
30-40	14.791	21.3199	21.159	17.2494
40-50	20.05	22.9118	24.564	11.3652

Figura 8 – Gráfico para Teor de Carbono Orgânico do solo (g.kg⁻¹) comparando áreas de tratamento (1, 2, 3 e 4) por profundidade (cm) de acordo com Teste de médias (tabela 6).

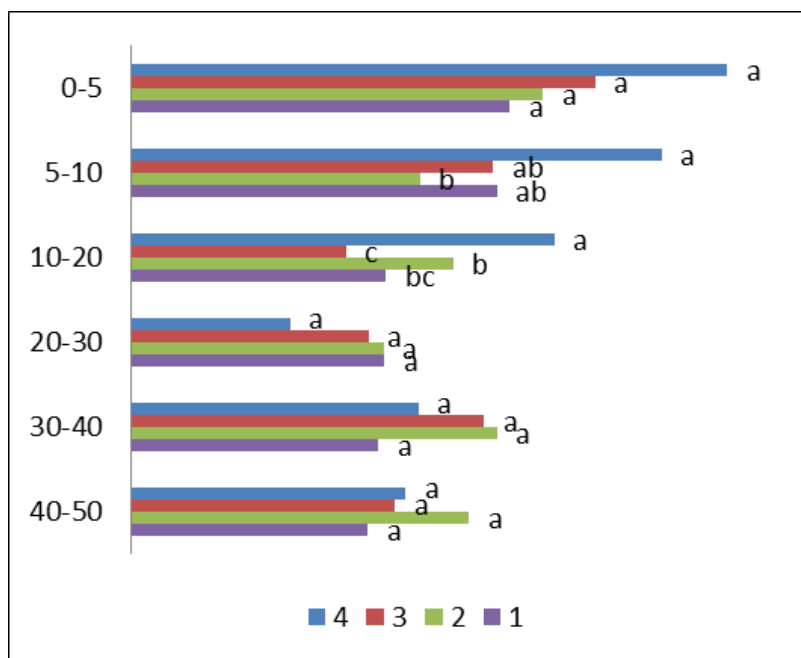


Figura 9 – Estoques de Carbono Orgânico em profundidade 0-20 cm. SAF cronossequenciais (A1, A2 e A3) e pastagem (A4). T0-2010; T1-2014; T2-2016.

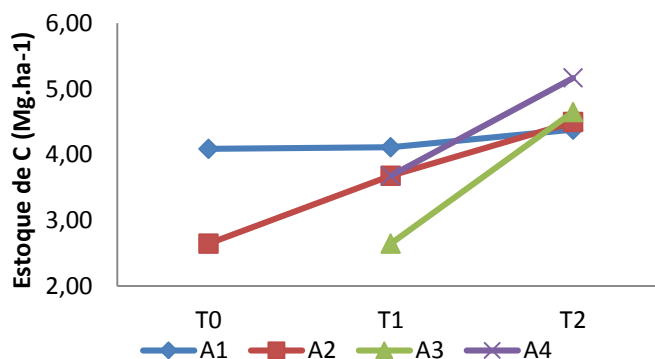
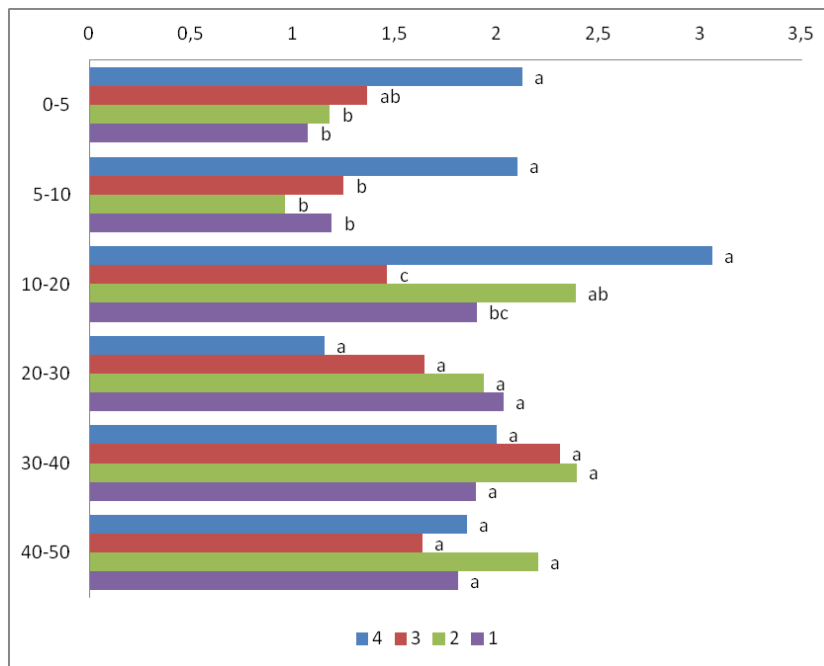


Figura 10 – Gráfico para Estoque de Carbono Orgânico (Mg.ha⁻¹) comparando áreas de tratamento (1, 2, 3 e 4) por profundidade (cm) de acordo com Teste de médias (tabela 6).



Fica evidente a diferença no valor acumulado de C no solo entre os tratamentos A1, A2 com menores valores e A3, A4 superiores. Isto provavelmente se justifica na área 3 em função do período relativamente recente de implantação, portanto, a composição vegetal nesta ainda há predominância de manchas de *Brachiaria* o que permite concluir que os maiores volumes ao teor e estoque de C podem ser produtos da soma dos fatores manejo em SAF e ciclo da gramínea.

Comparando a tabela 5 e 6 e a figura 6 algumas inferências podem ser realizadas. P.ex. na profundidade 5-10 e 10-20 cm houve significativa diferença entre a pastagem e os tratamentos SAF, apresentando os maiores teores de COS. Isto está de acordo Alves et al.

(2006) quando estes afirmam que, dependendo do manejo (que inclui manutenção da fertilidade, razoável forragem excedente, evitar acidez excessiva, controle da lotação), áreas de pastagem de *Brachiaria* podem vir a apresentar uma produtividade primária de biomassa que supere até formações de vegetação nativa.

O COS é proveniente majoritariamente de resíduos de plantas e nos agroecossistemas possui pelo menos duas fontes de origem: residuário da vegetação nativa anterior, e proveniente dos restos culturais e decomposição de seus resíduos. Dadas as diferenças existentes entre vegetais com metabolismos fotossintéticos C3 e C4 o material residuário destes determinam diferenças na abundância natural de matéria orgânica, estas transformações podem portanto ser identificadas em sua procedência através de detecção de isótopos estáveis do carbono ^{13}C (BERNOUX et al, 1998). Portanto, para afirmar com precisão da contribuição dos SAF no acúmulo de COS e no estoque, este tipo de análise é fundamental para triagem de procedência do material orgânico gerador.

A maioria dos trabalhos que avaliam o efeito da matéria orgânica nas propriedades químicas de solos cultivados se concentram até 20 cm de profundidade, como é o exemplo das avaliações de impacto em plantio direto. Isto já foi recorrentemente destacado com um efeito superestimador na superfície e mascarador em profundidade dos conteúdos de C (BAYER et al., 2000; ALVES et al., 2006). Daí a importância de realizar avaliações em profundidade maiores.

Alguns trabalhos científicos trazem informações relevantes acerca da distribuição espacial de diferentes formações pedológicas, os teores de solo, densidade global e porosidade em profundidade específicas em unidades básicas de área, referencias para estudo dos teores de C_{org} e C-carbonato estimando estoques em grandes reservas. Estes se valem da utilização de mapas a partir de bancos de dados georeferenciados desenvolvidos para o projeto World Inventory of Soil Emission Potentials (WISE) (BATJES, 1996; MITRA et al, 2005; BATJES, 2014).

Um exemplo deste tipo de trabalho foi a realização de análises de regressão múltipla para estabelecer variáveis que poderiam prever o conteúdo de COS em florestas do Miombo na Reserva Florestal de Kitonga, Tanzânia. Onde trinta parcelas de solo georreferenciadas localizadas em diferentes elevações em um gradiente topográfico foram amostradas dos horizontes naturais foram coletadas para análises físico-químicas. Os resultados indicaram que o Nitrogênio total ($P < 0,001$, $R^2 = 0,99$) e sua combinação com cálcio (Ca) ($P < 0,001$, $R^2 = 0,99$) foram importantes variáveis preditoras (99%) dos conteúdos de COS na Reserva Florestal de Kitonga, Tanzania (SHELUKINDO et al., 2014).

Este ultimo, é um indicativo de que os resultados obtido em nosso trabalho devem acompanhar uma caracterização mais elaborada e recente de fertilidade dos solos, que apesar de não terem sido possíveis até a presente data, são fundamentais no entendimento da dinâmica do COS. Enquanto fator que interage com muitas variáveis é fundamental para comparações estatísticas, possibilitando afirmações mais precisas.

As quantidades de armazenamento COS em uma paisagem são variável entre tipos de solo, elevação, posição de declive, solo textura, características do local, profundidade do solo, tipos de vegetação e clima. Assim, devido a grandes variações espaciais no teores de COS das paisagens avaliações para grandes extensões de terra são dispendiosas e demoradas (BERNOUX et al, 1998; MITRA et al, 2005). Assim, levantamentos e trabalhos realizados em diferentes localidades numa escala espacial menor fornecem material de suporte para levantamentos são importantes para subsidiar estudos maiores de quantificação.

De acordo com os trabalhos de referência estima-se que os maiores estoques de C carbonato nos solos do mundo estejam concentrados nos 100 centímetros superiores (BATJES, 1996; BERNOUX et al, 1998, MITRA et al, 2005). Num trabalho sobre sistemas silvipastoris com isótopos estáveis de carbono ^{13}C resultados demonstraram que a maioria dos COS nos perfis de solo mais profundos, assim como o C relativamente estável, foram derivados das árvores introduzidas (plantas C3) nos sistemas de pastagem (plantas C4), reforçando que a presença do componente arbóreo potencializa o sequestro de C em comparação com os que estão ausentes (UPSON et al, 2016).

O impacto de qualquer SAF no sequestro de C do solo depende em grande parte da quantidade e qualidade do *turnover* da vegetação presente – árvore, espécies de adubação, culturas, etc. - e de componentes não integrados do sistema, como as propriedades do próprio solo com sua estrutura e estado agregação (RAMACHANDRAN et al., 2009). Isto reforça o entendimento de que sistemas constantemente manejados com podas de renovação tendem a ser mais eficientes.

Mutuo et al. (2005) avaliando o potencial de sequestro de C dos SAF em comparação com cultivos anuais (que inclui manejo de rotação) e pastagens (bem manejadas) nos trópicos úmidos demonstrou que, dependendo da idade de rotação e do sistema de uso da terra, SAF podem sequestrar através da vegetação e aumentar os estoques de C de longa duração em valores superior a 60 Mg C ha^{-1} .

Por fim, apesar do potencial de sequestro dos SAF os estudos aqui referidos encontraram valores inferiores ao da vegetação nativa (TORNQUIST et al., 1999; SCHROTH et al., 2002; MUTUO et al., 2005; SEOBI et al., 2005; HERGOUALC'H et al., 2012) chegando a diferenças de até 25 Mg.C.ha^{-1} (MUTUO et al., 2005). Isto demonstra além da importância da manutenção de áreas inteiramente florestadas, que em nossos próximos estudos sejam realizadas amostragens em fragmentos de vegetação submetidos às mesmas tipologias pedológicas, ou similares, obtendo um padrão referencial da capacidade natural do ecossistema nativo no acúmulo de SOC que torne possível conclusões mais acertivas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo representa uma caracterização parcial de um SAF manejado com mão de obra familiar, em uma unidade agrícola voltada para as necessidades básicas do pequeno agricultor. Representa, portanto, uma ampla referência descritiva como um arcabouço para estudos futuros que pretendam discutir a viabilidade técnica desta modalidade de sistema, enquanto estratégia sustentável de rentabilidade econômica que viabilize a permanência do homem na terra.

A partir das coletas foram obtidas informações para avaliação do estoque de carbono orgânico no solo, averiguar possíveis transformações de determinadas propriedades físicas. Partindo da perspectiva que a pedosfera é um complexo sistema interligado, onde inúmeros elementos interagem entre si, é fundamental o levantamento do maior número de informações possíveis possibilitando mais segurança nas inferências e hipóteses levantadas. Infelizmente para este trabalho não foi possível realizar uma caracterização precisa do sistema como um todo, realizando uma análise de fertilidade de rotina, assim como aspectos da matéria orgânica e principalmente do Nitrogênio, fator fundamental no entendimento do ciclo do C no solo.

Apesar de existir tendência, os resultados estatísticos multivariados aplicados às variáveis selecionadas não foram significativos caracterizando o fenômeno. Ou seja, a representatividade das amostras analisadas não evidenciaram claramente o efeito do tempo manejo agroflorestal. Pois, a correlação encontrada entre as variáveis Carbono Orgânico e Densidade não foram representativas para o fenômeno tempo sob manejo (64%; prof. 0-5 cm), indicando que estas duas variáveis sozinhas não são suficientemente fortes para uma caracterização.

O método utilizado (PCA) separara por ordem de relevância dentro do avaliado, possibilitando escolher as variáveis e suas populações na formulação de hipóteses. Como as variáveis ainda não foram suficientes na caracterização fica claro a importância de unir um maior número delas para que somadas sejam avaliadas coletivamente aumentando as possibilidades de aferir sobre o impacto do manejo agroflorestal nos solos. E, a princípio, sugerindo outra metodologia estatística que melhor caracterize os dados.

No entanto, foi possível observar separação em relação ao tratamento 4 (controle) e o tratamento 1 (5 anos), indicando uma possibilidade de que o manejo agroflorestal utilizado influencie no acúmulo de carbono orgânico e na redução da densidade.

Outro detalhe acerca da metodologia estatística refere-se ao teste de médias aplicado através de Tukey com significância de $P > 0,05$. Este teste apesar de ser muito eficiente para comparação de médias é frequentemente utilizado para um número grande de variáveis e observações, por este motivo a tabela 5 com dados de teor, densidade e estoque apresentam nível de significância estatística com duas letras. Neste caso em que há uma menor quantidade de valores recomenda-se aplicar o Teste de Agrupamento de Scott e Knott (1974) que

possibilitaria diferenciar entre as verossimilhanças das médias. Este teste frequentemente é aplicado pelo software R Statistic® no entanto nosso software não possui este recurso.

Teoricamente, se esperava encontrar uma correlação inversa entre densidade e COS, onde os tratamentos agrofloretais diferissem uns dos outros em relação ao aumento no acúmulo de C e diminuição no estoque. Quanto a pastagem já era esperado o fato de que a maior densidade e o acúmulo de C viriam juntos. Em uma de nossas análises fizemos uma análise de componentes principais somente com os tratamentos de agrofloresta, avaliando a possibilidade que os dados discrepantes do controle em relação aos demais pudesse intervir na análise, mas os resultados foram os mesmos.

A pastagem (controle) apresentou um teor de carbono orgânico (COS) significativamente maior em relação à todos os tratamentos nas profundidades de 5-10 e 10-20.

O tratamento A3 apareceu com valores significativamente menores do que todos os outros tratamentos na profundidade de 40-50 cm, se diferenciando em grande quantidade no acúmulo para o estoque, em relação aos outros tratamentos de SAF e inclusive da pastagem (que a princípio se esperava acumular maior C). Esta discussão é tratada nos resultados afirmando que uma possível justificativa é o fato da presença de manchas de gramíneas na área. Isto traz uma contribuição para discussões acerca do manejo agroflorestral onde a importância do elemento herbáceo da família Poaceae pode ser um interessante componente para elevar os níveis de matéria orgânica e C nos solos.

Apesar de no gráfico apresentado ser possível observar clara separação em relação ao tratamento 4 (controle) e o tratamento 1 (5 anos), indicando concordância com outras referências literárias que comprovam o potencial dos SAF na transformação das propriedades do solo, este ainda não foi significativamente forte de acordo com a expectativa.

Acerca da diferença significativamente menor na profundidade 40-50 cm entre o controle (A4) e os tratamentos A2 e A3, atrás somente de A1, é interessante destacar que este é um detalhe que permite inferir sobre a importância de espécies vegetais herbáceas, como as gramíneas na sucessão ecológica dos ecossistemas, estando presente nos estágios iniciais causando impactos na estrutura do solo e no microecossistema local possibilitando a entrada de espécies mais exigentes.

Não houveram diferenças significativas entre os tratamentos A1 A2 e A3 nas demais profundidades. Entretanto, o tratamento de agrofloresta mais antigo (A1) obteve média significativamente menor para Densidade do Solo em relação à pastagem (controle) nas profundidades 0-5, 5-10 e 40-50, não apresentando diferenças significativas entre os outros tratamentos (A2 e A3).

As amostragens de solo e seus testes de média para avaliação da Densidade Global possibilitaram uma experiência interessante de comprovar os efeitos de redução algorítmica dos valores juntamente a comprovação através de minhas observações pessoais do quanto um

solo foi transformado em relação ao tempo submetido ao manejo em SAF. P.ex. durante as coletas nas três áreas de SAF observou-se baixíssima resistência à escavação para perfuração da trincheira, sendo o trabalho facilitado à medida que eram amostradas as áreas mais antigas em relação ao pasto de *Brachiaria* que nítidamente foi o mais dificultoso. Isto permitiu ampliar minha compreensão profissional acerca

Apesar disto fica clara a importância que estudos posteriores nesta mesma área de estudo realizem um maior número de amostragens com maior número de repetições em profundidade mínima de 1 m. Isto é altamente referido em bibliografia para uma ampla caracterização das condições pedológicas, em especial para estudos referentes ao acúmulo de COS para teores, estoques e sequestro. Primeiramente pois frequentemente o impacto da matéria orgânica nos sistemas pode ficar mascarado somente na superfície, não sendo avaliadas perdas e acúmulos em profundidade. Secundariamente porque somente o carbono acumulado em profundidade de fato pode ser afirmado enquanto sequestrado, pois esta menos suscetível e mais estabilizado.

Mais testes precisam ser aplicados para comprovar a influência do SAF mais antigos sobre a densidade do solo em profundidade, pois, baseado em referências de literatura (MISHRA et al., 2003) nossas informações possibilitam inferências de que o sistema radicular consolidado há 6 anos sob manejo com alto índice de renovação radicular resultado das podas poderia estar interferindo na estrutura física. Porém especificidades pedológicas devem ser levadas em conta, assim como uma série de fatores. Inclusive porque um de nossos principais objetivos era discutir o efeito das raízes provenientes das árvores e do estrato arbustivo no acúmulo de material orgânico em profundidade, em especial as primeiras que são muito utilizadas para podas. Indicar a influência do sistema radicular sobre a incorporação de matéria orgânica em comparação a outros sistemas agrícolas é de fundamental importância para fortalecer a discussão do SAF na elevação dos conteúdos de C no solo.

É importante ressaltar para aspectos de discussão do potencial dos SAF que apesar da característica porosidade não ter sido mensurada em nosso presente trabalho, a bibliografia também suplementa correlação positiva de mesoporosidade ao menor valor para D_s , comparando SAF (SEOBI et al., 2005) e sistemas arbóreos (MESSING et al., 1997) com pastagens e cultivos anuais.

Um aspecto importante para metodologia de amostragem para Densidade global que poderia ter sido diferente neste trabalho foi que em nossas coletas foram removidas amostras de três paredes do perfil de uma trincheira, essa metodologia em outros tempos era muito comum, porém a literatura já sustenta que uma única parede é suficiente para caracterizar um perfil.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. **Carbon sequestration in tropical agroforestry systems**. Agriculture, ecosystems & environment, v. 99, n. 1, p. 15-27, 2003.

ALTAFIN, I. **Reflexões sobre o conceito de agricultura familiar**. Brasília, 2007. Disponível em: <portal.mda.gov.br/o/1635683> Acesso em 27 de maio 2015.

AMAZONAS, M.C. **Desenvolvimento Sustentável e teoria econômica: o debate conceitual nas perspectivas neoclássica, institucionalista e da economia ecológica**. In: NOBRE, M.; AMAZONAS, M.C. **Desenvolvimento Sustentável: a institucionalização de um conceito**. Brasília: IBAMA, 2002. p. 107-279.

ALMEIDA, S. G; PETERSEN, P; CORDEIRO. A. **Crise socioambiental e conversão ecológica da agricultura brasileira: subsídios à formulação de diretrizes ambientais para o desenvolvimento agrícola**. 1. ed. Rio de Janeiro: ASPTA, 2001. 122p.

ATLÂNTICA, SOS Mata. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica–período 2008-2010. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011.

BATJES, N. H.. **Total carbon and nitrogen in the soils of the world**. European journal of soil science, v. 47, n. 2, p. 151-163, 1996.

BATJES, N. H.. **Total carbon and nitrogen in the soils of the world**. European Journal of Soil Science, v. 65, n. 1, p. 10-21, 2014.

BERNOUX, M. et al.. **The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates**. Geoderma, v. 82, n. 1, p. 43-58, 1998.

BRASIL, Lei Nº 11.428, DE 22 DE DEZEMBRO DE 2006, **Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências**. Acessado em: 15/12/2013

BODDEY, R. M.. RAO, I. M.. THOMAS, R. J.. **Nutrient cycling and environmental impact of Brachiaria pastures**. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1996.

BOTELHO DA COSTA, F.. **Caracterização e Constituição do Solo**. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 3ª edição. 1985

CARRON, M. P., et al. **Do the impact of organic residues on soil quality extend beyond the deposition area under oil palm?**. European Journal of Soil Biology, v. 75, p. 54-61, 2016.

CARTER, M. R. **Analysis of soil organic matter storage in agroecosystems**. Structure and organic matter storage in agricultural soils, p. 3-14, 1996.

CHABOUSSOU, F.. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: a teoria trofobiótica**. L & PM. Porto Alegre, RS. 1987

<http://comitepiabanha.org.br/caracterizacao-municipal/sapucaia.pdf> acessado: março de 2016.

DEAN, W. **A ferro e Fogo: A História e a devastação da Mata Atlântica brasileira**, Companhia das Letras. São Paulo, Brazil, 1996.

DEVICTOR, V.; JIGUET, F.. **Community richness and stability in agricultural landscapes: the importance of surrounding habitats**. Agriculture, ecosystems & environment, v. 120, n. 2, p. 179-184, 2007.

EGC, 2011. Disponível em: < <http://gripbsul.ana.gov.br/ABacia.html> > Acesso em 25 de ago 2015.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Embrapa Pantanal-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2008.

FORTIN, M.C.; ROCHETTE, P. & PATTEY, E. **Soil carbon dioxide fluxes from conventional and no-tillage small-grain cropping systems**. Soil Science Society. Am. J., 60:1541-1547, 1996.

GLIESSMAN, S. R.; ENGLES, E.; KRIEGER, R.. **Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture**. CRC Press, 1998.

GÖTSCH, E. **O Renascer da Agricultura**. Rio de Janeiro; AS-PTA, 1995. 22 p.

GUALBERTO, R., SOUZA-JUNIOR, O. F., COSTA, N. R., BRACCIALI, C. D., GAION, L. A.. **Influência do espaçamento e do estágio de desenvolvimento da planta na produção de biomassa de *Tithonia diversifolia* HEMSL.) Gray.** Nucleus, v.8, n.1, Abril 2011.

HERGOUALC'H, K. et al. **Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica**. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 148, p. 102-110, 2012.

IBGE. 2015. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. IBGE, Rio de Janeiro, Brasil. 430 p.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climatic Change 2001: scientific basis, summary, for policymakers**. Cambridge: Cambridge University Press. 2001

JOSE, S.. **Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview**. Agroforestry Systems, v. 76 (1), 1–10, Abril, 2009.

KAUR, B.; GUPTA, S. R.; SINGH, G.. **Soil carbon, microbial activity and nitrogen availability in agroforestry systems on moderately alkaline soils in northern India**. Applied Soil Ecology, v. 15, n. 3, p. 283-294, 2000.

KERBAUY, G. B.. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

KIEHL, E. J.. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. Editora Agronômica Ceres. São Paulo. 1979

KIRBY, K. R., POTVIN, C.. **Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project.** Forest Ecology Management. 246, 208–221, 2007.

LAL, R.. **Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security.** Science, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004.

LANZA, T. R.. **Manejo e acompanhamento de um sistema agroflorestal com a função de corredor ecológico em Seropédica, RJ.** 2014, 65p. Trabalho de Conclusão do curso de Agronomia - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Graduação em Engenharia Agrônoma, Instituto de Agronomia, Seropédica, RJ.

LEPSCH, I. F.. **19 lições de pedologia.** Oficina de textos. São Paulo. 2011

MACHADO, C. S., TARRÉ, R. M., BRASIL, F. C.. **Sistema Agroflorestal Como Alternativa Para A Recuperação De Uma Pequena Propriedade Rural Na Região Serrana Do Estado Do Rio De Janeiro.** Revista Científica Fundação Osório, v1, 21-41, 2016

MESSING, I.; ALRIKSSON, A.; JOHANSSON, W. **Soil physical properties of afforested and arable land.** Soil Use and Management, v. 13, n. 4, p. 209-217, 1997.

MITRA, S.; WASSMANN, R.; VLEK, P. LG. **An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock.** Current Science, v. 88, n. 1, p. 25-35, 2005.

MISHRA, A.; SHARMA, S. D.; KHAN, G. H. **Improvement in physical and chemical properties of sodic soil by 3, 6 and 9 years old plantation of Eucalyptus tereticornis: Biorejuvenation of sodic soil.** Forest Ecology and Management, v. 184, n. 1, p. 115-124, 2003.

MONTAGNINI, F., NAIR, P.K.R.. **Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems.** Agroforestry Systems, v. 61, 281–295, 2004

MÜLLER, P.. **Dispersal Centres of Terrestrial Vertebrates in the Neotropic Realm: A Study in the Evolution of the Neotropical Biota and Its Native Landscapes.** Vol. 2. Springer Verlag, 1973.

MUTUO, P. K. et al. **Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics.** Nutrient cycling in Agroecosystems, v. 71, n. 1, p. 43-54, 2005.

NAIR, P. K. R., **Agroforestry Systems in the Tropics.** Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1989

NAIR, P. K. R. et al.. **Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal.** Environmental Science & Policy, v. 12, n. 8, p. 1099-1111, 2009.

NYE, P. H.. **The soil under shifting cultivation.** Commonwealth Agricultural Bureaus; England, 1960.

PALM, C. A., TOMICH, T., VAN NOORDWIJK, M., VOSTI, S., ALEGRE, J., GOCKOWSKI, J., VERCHOT, L.. **Mitigating GHG emissions in the humid tropics: Case studies from the Alternatives to Slash-and- Burn Program (ASB)**. Environmental Development Sustainable. 6, 145–162, 2004.

PAULINO, V. T.; TEIXEIRA, E. M. L. C.. **Sustentabilidade de pastagens–manejo adequado como medida redutora da emissão de gases de efeito estufa**. PUBVET, v. 4, p. Art. 872-878, 2010.

PRIMAVESI, A.. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. Nobel. São Paulo. 2002

RAMACHANDRAN, P. K.; MOHAN KUMAR, B.; NAIR, V. D. **Agroforestry as a strategy for carbon sequestration**. Journal of plant nutrition and soil science, v. 172, n. 1, p. 10-23, 2009.

RAMALHO, I. O.; MENDES-JUNIOR, M. J. M.; VALENTIM, P. P.; SPINELLI B. M. A.; CHERAULT, V.; TARRÉ, R. M.; MACEDO, R. O.. **A busca da construção da fertilidade do solo sob Sistema Agroflorestal na região serrana, no estado do Rio de Janeiro**. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, agosto, 2015.

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

ROSHETKO, M., DELANEY, M., HAIRIAH, K., PURNOMOSIDHI, P.. **Carbon stocks in Indonesian homegarden systems: Can smallholder systems be targeted for increased carbon storage?** Am. J. Alt. Agr. 17, 125–137, 2002.

SANCHEZ, P. A.. **Linking climate change research with food security and poverty reduction in the tropics**. Agricultural Ecosystems Environment. 82, 371–383, 2000.

SCHROTH, G. et al. **Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years**. Forest Ecology and Management, v. 163, n. 1, p. 131-150, 2002.

SCOTT, A. J., KNOTT, M.. **A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance**. Biometrics, 507-512, 1974.

SEOBI, T. et al. **Influence of grass and agroforestry buffer strips on soil hydraulic properties for an Albaqualf**. Soil Science Society of America Journal, v. 69, n. 3, p. 893-901, 2005.

SHELUKINDO, H. B. et al. **Predictor variables for soil organic carbon contents in the Miombo woodlands ecosystem of Kitonga forest reserve, Tanzania**. International Journal of Agricultural Sciences, v.4 (7), p. 222-231, 2014.

SILVA, J.E., LEMAINSKI, J. & RESCK, D.V.S. **Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca cartiônica em solos da região de cerrados do Oeste Baiano**. R. Bras. Ci. Solo, 18:541-547, 1995.

SOUZA, A. M. **Monitoração e ajuste de realimentação em processos produtivos multivariados**. 2000. Tese (Doutorado Engenharia de Produção) – Universidade Federal Santa Catarina, 2000.

TARRÉ, R., MACEDO, R., CANTARUTTI, R. B., De REZENDE, C. P., PEREIRA, J. M., FERREIRA, E., ... & BODDEY, R. M.. **The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under Brachiaria pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil**. Plant and Soil, 234(1), 15-26, 2001.

TORNQUIST, C. G. et al. **Agroforestry system effects on soil characteristics of the Sarapiquí region of Costa Rica**. Agriculture, ecosystems & environment, v. 73, n. 1, p. 19-28, 1999.

UERJ/IBGE. **Estudo ambiental como subsídio à metodologia para o ordenamento territorial através de análise de caso: município de Teresópolis, RJ**. Projeto PADCT, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro:1999. 3v.

UPSON, M. A.; BURGESS, P. J.; MORISON, J. I. L. **Soil carbon changes after establishing woodland and agroforestry trees in a grazed pasture**. Geoderma, v. 283, p. 10-20, 2016.

VAN NOORDWIJK, M. et al. **Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone**. Geoderma, v. 79, n. 1-4, p. 187-225, 1997.

.VIVAN, J. **Agricultura e Florestas: princípios de uma interação vital**, Guaíba, RS. Agropecuária/AS-PTA, 1998.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. Wallingford: CAB International, 276p. 1994.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A.. **An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method**. Soil science, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934.