

ASPECTOS FÍSICOS DA QUALIDADE DO SOLO SOB SISTEMAS AGROFLORESTAIS E PASTAGEM NO SUL DA BAHIA

Cesar O. Arevalo-Hernandez¹, Arlicelio Queiroz Paiva¹, Takashi Mizuki¹, Alexandre Julio Gomes Almeida¹, Mariella Camardelli Uzêda², Eloina Neri de Matos³

¹ Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, Brasil, 45662-900, cesar.arevaloh@gmail.com; ²Embrapa Agrobiologia, Rodovia BR 465, km 7 - 23891-000 - Seropédica - Rio de Janeiro, Brasil, mariella@cnpab.embrapa.br; ³Rua Aristides Novis, 359, Ed. Casa Bela, Ap. 23, São Lázaro, 40210-630 - Salvador, Bahia; eloinanerimatos@gmail.com

O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade física do solo com três sistemas agroflorestais em comparação aos usos de mata nativa e pastagem. Foram avaliados três sistemas agroflorestais: Guaraná + Piaçava (GP), SAF misto (MIX) e Cabruca de Cupuaçu (CC), uma área de pastagem (PAS) e outra de Mata Atlântica (MA), sendo a última considerada como testemunha. As coletas de solos foram feitas nas profundidades 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m para as análises de granulometria, grau de floculação de argila (GF), densidade de partículas (DP), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Map), microporosidade (Mip), classes de agregados, diâmetro médio ponderado (DMP), índice de estabilidade de agregado (IEA), resistência à penetração (RP), e condutividade hidráulica saturada (Ks). Foram eleitas para a avaliação da qualidade do solo a Ds, Map, DMP, RP, GF e Ks. Dos sistemas avaliados, o sistema agroflorestal de Cupuaçu (CC) foi o que apresentou os maiores valores de qualidade do solo, indicando que pode ser usado no Sul da Bahia sem riscos gerais de degradação das áreas implantadas uma vez que apresenta boas condições de drenagem e maior resistência à erosão.

Palavras-chave: Cabruca, cupuaçu, mata atlântica, resistência à penetração

Physical aspects of soil quality under agroforestry systems and pasture in Southern Bahia. The objective of this study was to evaluate the soil physical quality with three agroforestry systems compared to native forest and pasture system. We evaluated three agroforestry: Guarana + Piaçava (GP), mixed SAF (MIX) and Cabruca Cupuaçu (CC), a grazing area (PAS) and one of Atlantic Forest (MA), the latter being considered as the control. The soil samples were taken at depths from 0.0 to 0.10 and 0.10 to 0.20 m for analysis of particle size analysis, degree of clay flocculation (GF), particle density (DP), bulk density (Ds), total porosity (Pt), macroporosity (Map), microporosity (Mip), aggregate classes, mean weight diameter (DMP), aggregate stability index (IEA), penetration resistance (PR), and saturated hydraulic conductivity (Ks). Ds, Map, DMP, RP, GF and Ks were elected for assessment of soil quality. The agroforestry system of Cupuaçu (CC) was the one that presented higher soil quality levels indicating that could be used in the South of Bahia, Brazil without general risk of degradation in implanted areas, since shows good conditions of drainage and higher erosion resistance.

Key words: Cabruca, cupuassu, Atlantic rainforest, penetration resistance

Introdução

A região do Sul da Bahia é particularmente conhecida como a maior região produtora de cacau no Brasil. No entanto, devido à ocorrência da vassoura de bruxa no final da década de 1990, a produtividade decaiu drasticamente, levando a diversificação de culturas, mas sempre dentro do contexto do manejo agroflorestal, pois o uso da terra nessa região tem uma importante participação de cultivos de Sistemas Agroflorestais (SAFs). Assim, de acordo com o tamanho da propriedade e com o nível econômico dos gerenciadores do sistema, os SAFs podem atender desde agricultores familiares em pequenos hortos caseiros até grandes empresas em plantações florestais. Para Gliessman (2001), o desafio de criar agroecossistemas sustentáveis é produzir e alcançar características semelhantes às de ecossistemas naturais. Os sistemas agroflorestais promovem a conservação e melhoramento dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, dentro de conceitos ecológicos básicos, respeitando ao máximo os ecossistemas naturais (Paiva e Araujo, 2012).

A qualidade de solo é um termo relativamente novo, mas tem sido útil na avaliação da sustentabilidade dos ecossistemas uma vez que, de acordo com Doran & Parkin (1994), define a capacidade do solo para sustentar a produtividade biológica contribuindo para a qualidade dos ecossistemas. Assim, a avaliação dos atributos com maior dinâmica no solo, refletem de maneira mais real as mudanças dos ecossistemas. Por isso, a avaliação dos atributos físicos do solo como a densidade do solo, condutividade hidráulica, macroporosidade e resistência à penetração têm sido importantes na avaliação da qualidade do solo (Doran & Parkin, 1994; Dexter, 2004; Pezarico et al., 2013). Dentre estes atributos, a macroporosidade e densidade de solo são fortemente afetadas por o manejo do solo, ressaltando de forma geral, os benefícios dos sistemas agroflorestais em comparação a zonas com um manejo mais intensivo (Carvalho et al., 2004; Pezarico et al., 2013). Além da maior acumulação de matéria orgânica que promove uma redução de erosão, melhorando a estrutura do solo e a conservação da umidade do solo (Hillel & Rozewig, 2011).

Para determinar a qualidade de solo e promover uma melhor visão integral dos ecossistemas, foram

desenvolvidos os índices de qualidade de solo (IQS), que são importantes na avaliação das mudanças dos ecossistemas e sua sustentabilidade (Dexter, 2004; Rahmaniour, 2014).

A grande diversidade de culturas e tipo de manejo nos sistemas agroflorestais na região do sul de Bahia indica a necessidade de explorar as consequências desse tipo de manejo sob a qualidade do solo e produção de alimentos. Portanto, essa diversidade de espécies nativas e cultivadas pode conferir ao solo o restabelecimento das suas qualidades físico-hídricas. Assim, esse trabalho teve o objetivo de avaliar a qualidade física de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com três sistemas agroflorestais em comparação com os usos de pastagem e mata nativa que é tomada como testemunha, na região do Baixo-Sul da Bahia.

Material e Métodos

Localização e Amostragem

O presente trabalho foi realizado no município de Taperoá, localizado na região do Baixo-Sul da Bahia, em propriedades de pequenos agricultores do Projeto Onça. Utilizaram-se cinco tratamentos, sendo três sistemas agroflorestais: Guaraná + Piaçava (GP), SAF misto (MIX) e Cabruca de Cupuaçu (CC), uma área de pastagem (PAS) e outra de mata atlântica (MA), sendo a última considerada como testemunha. O SAF Misto é cultivado com Caju (*Anacardium occidentale* L.), Jaca (*Artocarpus heterophyllus* L.), Limão (*Citrus* spp.), Banana (*Musa* spp.), Coco (*Cocos nucifera* L.), Abacate (*Persea americana*), Mamão (*Carica papaya*), Pupunha (*Bactris gasipaes*), Graviola (*Annona muricata*), Laranja (*Citrus* spp.), Urucum (*Bixa orellana*), Pimenta-do-Reino (*Piper nigrum*), Guaraná (*Paullinia cupana*), Seringueira (*Hevea brasiliensis*), Piaçava (*Attalea funifera*), Dendê (*Elaeis guineensis*), Cacau (*Theobroma cacao* L.), Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* L.) e Café (*Coffea* spp.) e com uma densidade total de 1702 plantas/ha. O SAF Cabruca de Cupuaçu é composto por arbóreas restantes do raleamento realizado para consolidação do sistema, onde além do Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) são encontradas as seguintes espécies: Aderno-branco (*Casearia arborea*), Amesca-folha-graúda (*Protium*

warmingianum Marchand), Amora (*Mabea piriri* Aubl.), Amora-de-espinho (*Clarisia ilicifolia*), Angelim (*Andira* spp.), Baba-de-boi (*Cordia* spp.), Cocão (*Pogonophora schomburgkiana*), Falso-bálsamo (*Ouratea* sp), Farinha-seca (*Guapira* sp.), Fruto-de-paca (*Carpotroche brasiliensis*), Gindiba (*Sloanea obtusifolia*), Janaúba/Agoniada (*Himatanthus bracteatus*), Louro (*Ocotea* sp.), Manga-brava (*Thyrsodium spruceanum*), Muanza (*Stryphnodendron pulcherrimum*), Murici (*Byrsonima sericea*), Murta (*Myrcia* sp.), Pau-pombo (*Tapirira guianensis*), Pau-solteiro/Mundururu (*Miconia minutiflora*), Pequi-de-capoeira/Quaresmeira (*Tibouchina elegans*), Pequi-doce (*Terminalia actinophylla*), Pequi-mirindiba (*Lamanonia cuneata*), Pindaíba-verdadeira (*Guatteria blanchetiana*), Setecouros/Óleo-branco (*Pera glabrata*), Sucupiruçu/Sucupira-preta (*Diplostropis purpurea*), Taipoca (*Coccoloba* sp.). Esses sistemas foram eleitos em virtude da sua representividade na região. Esses SAFs possuem diferentes graus de antropização e composição. Não foram avaliadas as espécies individualmente, mas a composição das comunidades

em cada um dos sistemas avaliados. Foram coletadas amostras de um Argissolo Vermelho-Amarelo (Santana et al., 2002) nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m. Em cada um dos tratamentos foram estabelecidos 3 transectos que cruzavam diagonalmente as áreas cultivadas, bem como a área de mata, sendo obtidas 3 subamostras em cada um dos transectos amostrados. As subamostras foram mescladas e obtida uma única amostra a cada transecto. As amostras deformadas foram secas ao ar e passadas por peneira com abertura de malha de 2,0 mm, formando a terra fina seca ao ar (TFSA) para análises posteriores; as indeformadas foram mantidas com a umidade de campo e processadas na medida em que forem sendo analisadas. O Croqui de amostragem é apresentado na Figura 1.

Análises físicas de solo

A análise granulométrica foi realizada com três repetições, pelo método do hidrômetro de Bouyoucos, utilizando-se 50 g de TFSA e 25 mL de NaOH 1 mol L⁻¹ para a dispersão química, com agitação em coqueteleira durante 15 minutos, a 12.000 rpm. Para a argila dispersa em água foram utilizadas 50 g de TFSA

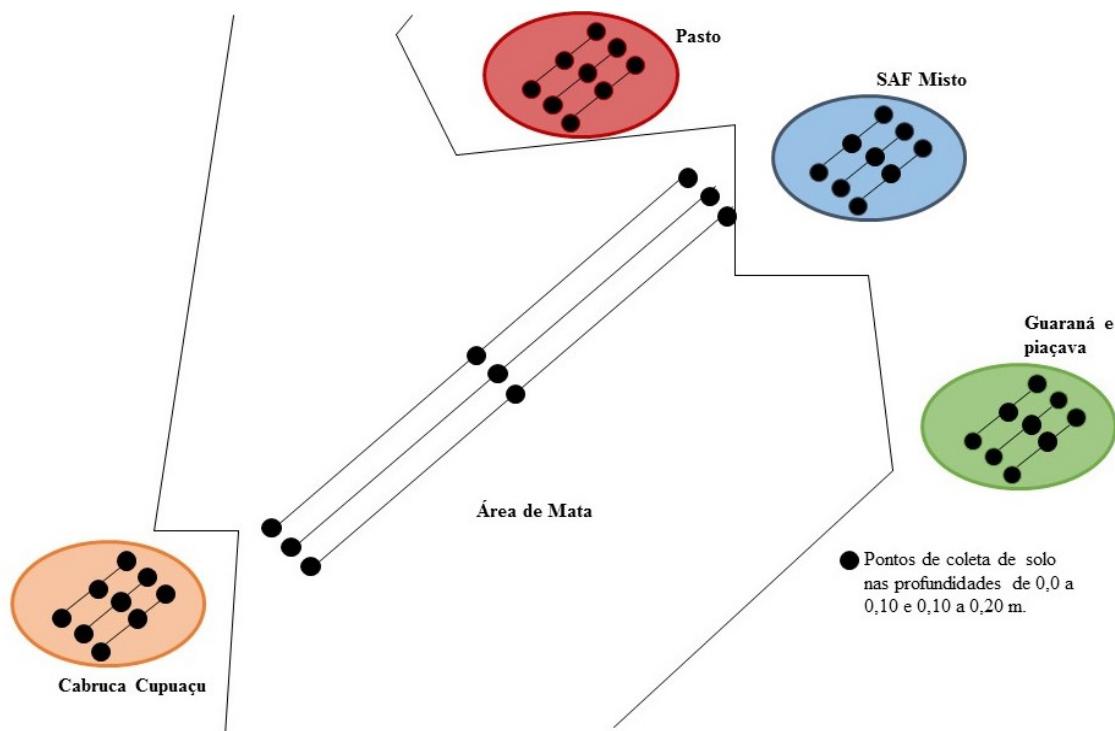


Figura 1. Croqui de amostragem nos sistemas avaliados de Cabruba de Cupuaçu (CC), Pastagem (PAS), SAF misto (MIX), Guaraná e piaçava (GP) e a Área de Mata (MA) nas profundidades de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

e 125 mL de água destilada, empregando-se o hidrômetro de Bouyoucos, com três repetições (Embrapa, 2011). Para a densidade do solo (Ds), o material foi coletado em cilindro de volume conhecido que foi seco em estufa a 105°C por um período de 48 horas. Na análise da densidade de partículas (Dp) foi empregado o álcool etílico como líquido penetrante. Ambas as análises foram feitas com três repetições (Embrapa, 2011). A porosidade total (Pt), macroporosidade (Map) e microporosidade (Mip) foram estimadas com três repetições e obtidas pelo método da mesa de tensão, conforme preconizado por Oliveira (1968).

Para a análise de agregados, as amostras de solos foram coletadas na forma de torrões que foram colocados para secar ao ar e destorreados cuidadosamente com as mãos para quebrar os agregados maiores. Essas amostras foram passadas em peneira com abertura de malha de 4,76 cm e retidas em peneira de 2,0 mm de diâmetro, com três repetições. Na distribuição de classes de agregados (DCA) foi utilizada a agitação em água da amostra de material dos solos em um conjunto de peneiras que permitiu separar as frações de macroagregados (4,76 a 1,00 mm), mesoagregados (1,00 a 0,50 mm) e microagregados (<0,50). Calculou-se também o índice de estabilidade de agregados em água (IEA), conforme Embrapa (2011). O diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) foi calculado com base em Youker & Mcguinness (1957).

A condutividade hidráulica saturada (Ks) foi determinada em laboratório com cinco repetições, usando amostras com estrutura indeformada, coletadas em cilindros de Uhland, de acordo com Embrapa (2011). O cálculo foi efetuado com base na equação de Darcy. Finalmente, para determinação da resistência do solo à penetração (RP) foi utilizado o penetrômetro de Impacto modelo IAA/Planalsucar/ Stolf (Stolf et al., 1983), nas profundidades de 0–0,10 e 0,10–0,20 m, com 15 repetições e a estimativa da RP foi feita conforme a fórmula de Stolf (1991), multiplicou-se o resultado obtido pela constante 0,098 e foi finalmente convertido para MPa.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise da variância, em delineamento experimental inteiramente casualizado, onde foi utilizada a profundidade como

subfator. A comparação entre as médias dos atributos e áreas estudadas foi feita pelo teste de Skott Knott a 5 %. As análises foram realizadas no software estatístico R (R Core Team, 2015).

Determinação do índice de qualidade de solo

Foram estabelecidos indicadores e índices de qualidade do solo para cada sistema de manejo das culturas, utilizando-se a Mata Atlântica para efeito de comparação. A determinação dos indicadores foi feita conforme experiência dos pesquisadores envolvidos. A designação de escores para cada indicador foi determinada de acordo com Andrews et al., (2002), Qi et al. (2009) e Rahmaniour et al. (2014), utilizando funções padrão de escores (“Mais é melhor”, “Menor é melhor” e “Ótimo”), a depender do atributo eleito, variando de 0 a 1. A determinação dos pesos de cada indicador foi feita conforme Rahmaniour et al. (2014); onde os pesos resultaram da relação do valor de comunalidade, derivado do analise de fatores, de cada indicador com a soma de todos os indicadores. Finalmente, o índice de qualidade de solo foi calculado de acordo com a fórmula proposta por Doran & Parkin (1994):

$$\sum_{i=1}^n = W_i N_i$$

Onde: W_i = peso de cada indicador e N_i = escore de cada indicador.

O índice de qualidade de solo variou de 0 a 1, onde menores valores estão relacionados com uma baixa qualidade do solo e o valor próximo de 1 representa o máximo valor possível de qualidade de solo.

Resultados e Discussão

Atributos físicos do solo

Na Tabela 1 estão listados os valores da análise granulométrica, argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação de argila (GF). Observa-se que todos os solos avaliados no neste estudo foram classificados como argilosos segundo Santos et al. (2013).

O grau de floculação de argila foi semelhante em todos os sistemas de manejo nos 0,0–0,10 m e quando foram avaliadas as diferenças entre profundidades. Já nos 0,10–0,20 m foram observadas diferenças significativas, sendo a MA e o MIX os que

Tabela 1. Análise de comparação de médias de Areia, Silte, Argila, Argila Dispersa em água (ADA) e Grau de floculação (GF) por profundidade, sob diferentes sistemas de manejo de culturas no Baixo Sul da Bahia

Atributo* / Uso	Areia	Silte	Argila	ADA	GF %	Classificação Textural
0,00 - 0,10 m						
GP	281,3 ^a	115,5 ^a	603,2 ^a	349,8 ^a	41,74 ^a	Argilosa
MIX	341,1 ^a	137,0 ^a	522,0 ^a	224,7 ^a	56,94 ^a	Argilosa
CC	274,0 ^a	135,9 ^a	590,2 ^a	304,7 ^a	48,25 ^a	Argilosa
PAS	312,5 ^a	146,7 ^a	540,9 ^a	271,6 ^a	49,62 ^a	Argilosa
MA	418,6 ^a	67,4 ^a	514,0 ^a	178,1 ^a	65,58 ^a	Argilosa
0,10 - 0,20 m						
GP	240,8 ^a	117,8 ^a	641,5 ^a	354,9 ^a	44,33 ^b	Argilosa
MIX	324,6 ^a	105,1 ^a	570,3 ^a	273,6 ^a	51,85 ^a	Argilosa
CC	227,4 ^a	130,1 ^a	642,4 ^a	343,9 ^a	46,51 ^b	Argilosa
PAS	301,3 ^a	147,2 ^a	551,6 ^a	334,5 ^a	39,35 ^b	Argilosa
MA	385,6 ^a	94,2 ^a	520,2 ^a	211,8 ^a	59,26 ^a	Argilosa

OBS.: GP=Guaraná + Piaçava, MIX=SAF Misto, CC=Cabruca de Cupuaçu, PAS = pastagem e MA=Mata Atlântica. *Letras minúsculas e maiúsculas diferentes na mesma coluna e entre colunas indicam diferenças significativas dentre e entre profundidades, respectivamente, pelo teste de Skott-Knott ($p \leq 0,05$).

apresentaram valores significativamente superiores em comparação aos demais tratamentos. No entanto, Carvalho Filho et al. (2009), trabalhando em um Latossolo Vermelho com atributos físicos do solo e diferentes sistemas de uso em comparação a vegetação nativa do Cerrado, indicou a presença de diferenças significativas, apresentando a vegetação do cerrado com maiores valores de GF, sendo menos expressiva com a maior profundidade. Não obstante, de forma geral, com exceção dos sistemas mencionados, esses valores estão abaixo do ótimo de 50% recomendado por Goedert (2005), indicando que existe uma maior suscetibilidade à erosão destes solos. Além da deposição de argila nas paredes dos poros e sobre os grãos de quartzo que gera um arranjo mais compacto da superfície (Silva et al., 2005), indicando que solos com menor GF tendem a apresentar maior compacidade. A dispersão de partículas no solo está relacionada com as cargas elétricas na superfície, porém fatores que influenciam a dupla camada difusa afetaram o grau de floculação ou dispersão de argila no solo. Assim, a intensa decomposição e adição de matéria orgânica destes sistemas (MA e MIX) e alta pluviosidade das zonas de estudo, podem ter atuado decisivamente na maior floculação da argila na segunda camada amostrada (0,10 - 0,20 m), conseguindo maiores valores nestes sistemas.

Tanto a Ds, como Pt e Mip (Tabela 2) não apresentaram diferenças significativas entre os sistemas

de manejo nem entre profundidade. No entanto, todos os valores de Ds em média, oscilaram entre 1,05 e 1,26 kg dm^{-3} , encontrando-se abaixo do valor de limite crítico de 1,55 kg dm^{-3} , proposto por Reinert & Reichert (1999). Ressalta-se também que os valores de Pt em todas as profundidades dos sistemas estudados, encontram-se acima de 0,50 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, sendo considerada como ideal por Kiehl (1979). Os valores de Ds e Pt encontrados no presente estudo, indicam boas condições de aeração e, consequentemente trocas gasosas e demonstram que os sistemas avaliados afetaram esses atributos de forma semelhante, apesar de que o solo manejado com pastagem (PA) apresentou uma tendência a maiores valores de Ds e menores valores de Pt, em comparação aos outros usos.

Observa-se que a Macroporosidade (Map) apresentou diferenças significativas entre profundidades (GP e PAS), mas não entre as zonas estudadas. No entanto Pezarico et al. (2013) no Mato Grosso do Sul, observaram diferenças significativas para a macroporosidade indicando que não houve diferenças significativas entre os tratamentos com SAF e a mata nativa. Isto é esperado, pois com a maior profundidade aumenta o teor de argila (Tabela 1) e consequentemente diminui a Map. No entanto, isto pode ser atribuída à variabilidade espacial dos solos. Apesar disso, todos os valores médios de macroporosidade, com exceção para a segunda camada (0,10-0,20 m)

Tabela 2. Análise de comparação de médias de Densidade de Partículas (Dp), Densidade do Solo (Ds), Porosidade Total (Pt), Macroporosidade (Map), Microporosidade (Mip), Conduvidade hidráulica saturada (Ks), Resistencia á Penetração de Raízes (RP), por profundidade, sob diferentes sistemas de manejo de culturas no Baixo Sul da Bahia

Atributo* / Uso	Dp kg dm ⁻³	Ds	Pt	Map m ³ m ⁻³	Mip	Ks cm h ⁻¹	RP MPa
0,00 - 0,10 m							
GP	2,57 ^{aA}	1,12 ^{aA}	0,56 ^{aA}	0,23 ^{aA}	0,33 ^{aA}	11,31 ^{bA**}	2,39 ^b
MIX	2,62 ^{aA}	1,13 ^{aA}	0,57 ^{aA}	0,17 ^{aA}	0,40 ^{aA}	12,26 ^{bA}	2,47 ^b
CC	2,51 ^{aA}	1,05 ^{aA}	0,58 ^{aA}	0,24 ^{aA}	0,34 ^{aA}	10,86 ^{bA}	1,67 ^{cB}
PAS	2,51 ^{aA}	1,16 ^{aA}	0,54 ^{aA}	0,18 ^{aA}	0,36 ^{aA}	5,24 ^{cA}	3,45 ^{aB}
MA	2,43 ^{aA}	1,07 ^{aA}	0,58 ^{aA}	0,23 ^{aA}	0,35 ^{aA}	18,73 ^{aA}	1,63 ^{cB}
0,10 - 0,20 m							
GP	2,62 ^{aA}	1,17 ^{aA}	0,55 ^{aA}	0,21 ^{aB}	0,34 ^{aA}	6,47 ^{aB}	3,05 ^b
MIX	2,65 ^{aA}	1,18 ^{aA}	0,56 ^{aA}	0,15 ^{aA}	0,41 ^{aA}	11,07 ^{aA}	3,78 ^b
CC	2,67 ^{aA}	1,13 ^{aA}	0,59 ^{aA}	0,23 ^{aA}	0,35 ^{aA}	9,25 ^{aA}	2,97 ^{bA}
PAS	2,53 ^{aA}	1,26 ^{aA}	0,50 ^{aA}	0,08 ^{aB}	0,42 ^{aA}	5,11 ^{aA}	5,12 ^{aA}
MA	2,49 ^{aA}	1,14 ^{aA}	0,56 ^{aA}	0,21 ^{aA}	0,35 ^{aA}	13,47 ^{aA}	2,97 ^{bA}

OBS.: GP=Guaraná + Piaçava, MIX=SAF Misto, CC=Cabruca de Cupuaçu, PAS=pastagem e MA=Mata Atlântica. **Letras minúsculas e maiúsculas diferentes na mesma coluna e entre colunas indicam diferenças significativas dentre e entre profundidades, respectivamente, pelo teste de Skott-Knott ($p \leq 0,05$).

da Pastagem (PAS), encontraram-se acima do limite critico de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ proposto por Tormena et al. (1998). O resultado apesar de não apresentar diferenças significativas, indica que a zona sob pastagem degradada pode apresentar problemas na Map, com possível impedimento ao desenvolvimento radicular nesse tipo de sistema.

A conduvidade hidráulica saturada (Ks) apresentou diferenças significativas tanto entre profundidades como sistemas de manejo na camada superficial (0,0-0,10 m), sendo a Mata Atlântica onde foram observados valores significativamente superiores em comparação aos outros tratamentos, já o solo submetido à pastagem foi a que reportou os menores valores para essa variável em comparação aos outros usos. No entanto, na camada subsuperficial (0,10-0,20 m), não foram observadas diferenças significativas. Da mesma forma, Dantas et al. (2012) avaliando a qualidade do solo com um sistema de milho em comparação a uma vegetação nativa, reportou que a vegetação nativa teve maiores valores para Ks, atribuindo esses resultados aos maiores valores de densidade de solo e porosidade total. No entanto, neste trabalho não foram observadas diferenças significativas para essas variáveis, mas foram reportados valores limitantes na macroporosidade o que pode ter

diminuído a Ks. Valores superiores a 15 cm h^{-1} são recomendados por Lepsch (1983) para a maioria das culturas, porém, limitações foram encontradas nas duas profundidades e zonas estudadas, com exceção da Mata Atlântica na primeira camada (0,0-0,10 m). Estes valores comprometem as condições de infiltração nas zonas estudadas, produção e sustentabilidade dos ecossistemas, uma vez que para Reichert et al. (2003), ressaltam que a qualidade física do solo está associada à boa infiltração, retenção e disponibilidade de água para as plantas.

A RP (Tabela 2) apresentou diferenças significativas entre sistemas, mas não entre profundidades. Tanto a Mata Atlântica (MA) quanto o sistema agroflorestal de cabruca de cupuaçu foram os sistemas que apresentaram os melhores valores na camada superficial. Da mesma forma, Carvalho et al. (2004) observaram que o sistema de plantio convencional apresentou níveis de resistência a penetração de raízes, uma vez que a densidade do solo superou os níveis críticos, superiores aos sistemas em SAFs. No entanto, a pastagem apresentou os maiores valores de RP nas duas profundidades, embora na profundidade subsuperficial não tenha ocorrido diferença estatística entre os diferentes usos. De forma geral, os valores de RP foram superiores ao limite critico de 2,0 MPa

estabelecido por Tormena et al. (2002), com exceção da MA e CC na camada superficial (0,0-0,10 m). Estes resultados podem ser atribuídos ao tipo de sistema (MA e CC), pois geralmente apresentam uma grande quantidade de resíduo orgânico produto da produção de biomassa tanto das árvores como da cultura (Müller e Gamma-Rodriguez, 2012), reduzindo o impacto direto na degradação e compactação desses solos.

Não foram encontradas diferenças significativas nem entre profundidade nem entre os tratamentos avaliados para as classes de agregados e DMP (Tabela 3). Apesar disso, os valores de todos os sistemas de manejo estudados apresentaram valores superiores ao mínimo limite crítico de 0,5 mm proposto por Kiehl (1979), indicando que os solos apresentam baixa erodibilidade, o que é corroborado por Paiva e Araujo (2012) que afirmam que os sistemas agrossilvoculturais representam uma eficiente estratégia para evitar erosão.

Já para IEA foram observadas diferenças significativas entre profundidades (PAS) e entre tratamentos. Na primeira camada amostrada (0,00-0,10 m) o sistema que teve menor IEA foi o MIX. O IEA está relacionado com uma maior estabilidade de agregados, com a estrutura do solo e, consequentemente, com a degradação física do solo (Hillel & Rozenwig, 2011). Assim, O sistema MIX

apresenta uma maior antropização em relação aos outros sistemas avaliados. Mota et al. (2014) avaliando os atributos físicos do solo em uma cultura de abacaxi em relação a uma floresta encontrou diferenças significativas, reportando que a floresta teve maior IEA. No entanto, para a profundidade de 0,10 a 0,20 m não foram observadas diferenças significativas entre os sistemas, apesar de que o sistema MIX apresentou menores valores em relação aos outros sistemas.

Índice de qualidade do solo

As variáveis foram selecionadas hierarquicamente, baseadas na experiência dos pesquisadores. Foram selecionadas as variáveis grau de floculação (GF), densidade do solo (Ds), Macroporosidade (Map), Condutividade hidráulica saturada (Ks), diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) e Resistência do Solo à Penetração de Raízes (RP). Os limites críticos para cada variável avaliada são apresentados na Tabela 4.

Os valores médios dos índices são apresentados na Tabela 5. Observa-se que não apresentaram diferenças significativas entre profundidades, mas foram reportadas diferenças estatísticas entre os solos sob diferentes usos, indicando a Mata Atlântica (MA) como o sistema que conservou melhor a qualidade física do solo em comparação aos outros sistemas de

Tabela 3. Análise de comparação de médias de Classes de agregados (macro, meso e micro; mm), Diâmetro médio ponderado de agregado (DMP; mm), Índice de estabilidade de agregado (IEA; %), por profundidade, sob diferentes sistemas de manejo de culturas no Baixo Sul da Bahia

Atributo* / Uso	Macroagregado	Mesoagregado %	Microagregado	DMP mm	IEA %
0,00 - 0,10 m					
GP	55,54 ^{aA}	15,74 ^{aA}	28,73 ^{aA}	1,31 ^{aA}	93,83 ^{aA}
MIX	49,87 ^{aA}	19,41 ^{aA}	30,72 ^{aA}	1,26 ^{aA}	75,85 ^{bA}
CC	54,88 ^{aA}	16,71 ^{aA}	28,41 ^{aA}	1,30 ^{aA}	89,08 ^{aA}
PAS	55,28 ^{aA}	13,12 ^{aA}	31,60 ^{aA}	1,23 ^{aA}	87,37 ^{aA}
MA	60,31 ^{aA}	13,17 ^{aA}	26,53 ^{aA}	1,30 ^{aA}	87,96 ^{aA}
0,10 - 0,20 m					
GP	52,61 ^{aA}	18,74 ^{aA}	28,65 ^{aA}	1,30 ^{aA}	95,14 ^{aA}
MIX	47,07 ^{aA}	17,03 ^{aA}	35,90 ^{aA}	1,05 ^{aA}	75,44 ^{aA}
CC	48,29 ^{aA}	20,49 ^{aA}	31,22 ^{aA}	1,07 ^{aA}	91,83 ^{aA}
PAS	48,58 ^{aA}	18,97 ^{aA}	32,45 ^{aA}	1,10 ^{aA}	83,47 ^{aB}
MA	56,88 ^{aA}	13,69 ^{aA}	29,43 ^{aA}	1,24 ^{aA}	85,95 ^{aA}

OBS.: GP=Guaraná + Piaçava, MIX=SAF Misto, CC=Cabruca de Cupuaçu, PAS=pastagem e MA=Mata Atlântica. *Letras minúsculas e maiúsculas diferentes na mesma coluna e entre colunas indicam diferenças significativas dentre e entre profundidades, respectivamente, pelo teste de Skott-Knott ($p \leq 0,05$).

Tabela 4. Limites críticos de variáveis eleitas para a construção do índice de qualidade do solo sob diferentes sistemas de manejo de culturas no Baixo Sul da Bahia*

Variáveis	Valores		
	Mínimo	Ótimo	Máximo
GF	50		
Ds	1,55		
Map	0,1	0,2	0,3
Ks	15	30	40
DMP	0,5		
RP	2		

OBS.: GF=Grau de Floculação (%), Ds=Densidade do Solo (kg dm⁻³), Map=Macroporos (m³ m⁻³), Ks=Conduatividade Hidráulica Saturada (cm h⁻¹), DMP=Diâmetro Médio Ponderado de Agregados (mm) e RP=Resistência do Solo à Penetração de Raízes (MPa). *Para GF e DMP foi usada a função “Mais é melhor”. Para RP foi usada a função “Menos é melhor” e finalmente para Map e Ks a função de faixa “Ótima”.

Tabela 5. Valores médios de índice de qualidade do solo, por profundidade, sob diferentes sistemas de manejo de culturas no Baixo Sul da Bahia

Uso / Profundidade	IQS (Indice de Qualidade do Solo)	
	0,00-0,10 m	0,10-0,20 m
GP	0,53 ^{c*}	0,47 ^b
MIX	0,47 ^c	0,42 ^b
CC	0,66 ^b	0,65 ^a
PAS	0,46 ^c	0,41 ^b
MA	0,73 ^a	0,71 ^a

OBS.: GP=Guaraná + Piaçava, MIX=SAF Misto, CC=Cabruca de Cupuaçu, PAS=pastagem e MA=Mata Atlântica.

*Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas pelo teste de Skott-Knott (p≤0,05).

manejo de culturas. No entanto, na segunda profundidade estudada (0,10 - 0,20 m), os valores da Cabruca de Cupuaçu (CC) e a Mata Atlântica (MA) não apresentaram diferenças significativas e foram os melhores solos em comparação aos outros solos sob diferentes usos. Observa-se que a pastagem (PA) reportou os menores valores absolutos do índice de qualidade do solo tanto para a profundidade de 0,00 - 0,10 m como de 0,10 - 0,20 m, indicando que apresenta condições físicas do solo problemáticas para a implantação de novas culturas ou para a conservação do sistema imposto.

Estes resultados estão de acordo com o reportado por diferentes autores para o uso da terra em

comparação com os ecossistemas menos afetados antropologicamente (Mata Atlântica) como foi estudado por Mota et al. (2014) que avaliaram a qualidade física dos solos no Brasil, apresentando maiores valores de qualidade de solo para a mata secundária em comparação a cultura de abacaxi no semiárido. Pezarico et al. (2013) em sistemas agroflorestais em Mato Grosso do Sul, observaram que os SAFs avaliados apresentaram uma qualidade do solo próxima a vegetação natural (Mata). No entanto, Silva et al. (2011) em Luvisolos no semiárido, comparando sistemas agroflorestais, vegetação natural e sistemas de manejo convencional de culturas, observaram que os índices de qualidade de solo para os sistemas agroflorestais foram semelhantes a vegetação natural.

No caso da pastagem sob pastejo é relativamente comum observar esse tipo de resultados na avaliação física da qualidade do solo, já que os parâmetros relacionados à aeração do solo como a densidade e porosidade do solo são os atributos mais usados na avaliação de qualidade nesses sistemas, já que é mais impactado nos primeiros 15 cm de profundidade (Greenwood & Mckenzie, 2001; Lanzanova et al., 2007).

Finalmente o uso diferenciado do solo, sistema de manejo e cultura pode afetar a qualidade do solo e consequentemente a sustentabilidade desses ecossistemas, pois a tendência natural de um ecossistema com interesse na agricultura é da perda da qualidade do solo devido, a perdas na matéria orgânica, retirada de vegetação e exposição do solo (Souza et al., 2006). No entanto é importante considerar e ressaltar que este tipo de sistemas como a Cabruca de Cupuaçu consegue conservar a qualidade do solo de forma semelhante aos sistemas sem intervenção antrópica como foi apresentado no presente estudo, podendo ser também indicado para serviços ecológicos.

Conclusão

Dos sistemas avaliados, O sistema agroflorestal de Cupuaçu (CC) foi o que apresentou os maiores valores de qualidade do solo indicando que pode ser usado no Sul da Bahia sem riscos gerais de degradação das áreas implantadas uma vez que apresenta boas condições de drenagem e maior resistência à erosão.

Agradecimentos

Ao CEPF - Fundo de Parceria para os Ecossistemas Críticos pelo financiamento do presente estudo.

Literatura Citada

- ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L.; MITCHELL, J. P. 2002. A comparison of soil quality indices methods for vegetable production system in northern California. *Agriculture Ecosystems and Environment* 90:25-45.
- CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. 2004. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39:1153-1155.
- CARVALHO FILHO, A. et al. 2009. Qualidade física de um latossolo vermelho férrico sob sistemas de uso e manejo. *Bioscience journal* 25:43-51.
- DANTAS, J. D. N. et al. 2012. Qualidade de solo sob diferentes usos e manejos no Perímetro Irrigado Jaguaribe/Apodi, CE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 16:18-26.
- DEXTER, A. R. 2004. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120:201-214.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bezdicek, D. F.; Stewart, B. A. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, SSSA. pp.1-20.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 2011. Manual de métodos de análises de solos. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ, EMBRAPA SOLOS. pp.230.
- GLIESSMAN, S. R. 2001. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. 2.ed. Porto Alegre, RS, UFRGS. 653p.
- GOEDERT, W. J. 2005. Qualidade do solo em sistemas de produção agrícola. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30., Recife, 2005. Anais... Recife, PE, SBCS. CD-ROM.
- GREENWOOD, K. L.; MCKENZIE, B. M. 2001. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41:1231-1250.
- HILLEL, D.; ROZENWIG, C. 2011. The role of Soils and Climate change. In: Hillel, D, Rozenwig, C. eds. *Handbook of climate change and agroecosystems: Impacts, adaptation, and mitigation*. pp.9-20.
- KIEHL, E. J. 1979. *Manual de edafologia: Relações solo-planta*. São Paulo, SP, Ceres. 262p.
- LANZANOVA, M. E. et al. 2007. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31: 1131-1140.
- LEPSCH, I. P. 1983. *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4ª aproximação*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 175p.
- MOTA, J. C. A. et al. 2014. Uni and multivariate analysis of soil physical quality indicators of a Cambisol from Apodi Plateu - CE, Brazil. *Soil & Tillage Research* 140:66-73.
- MÜLLER, M.W.; GAMA-RODRIGUES, A.C. 2012. Sistemas Agroflorestais com cacaueiro. In: Valle, R. R. ed. Ciencia, tecnologia e manejo do cacaueiro. 2 ed. Ilhéus, BA, CEPLAC. pp.407-436.
- OLIVEIRA, L. B. 1968. Determinação da macro e microporosidade pela “mesa de tensão” em amostras de solo com estruturas indeformadas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 3:197-200.
- PAIVA, A. Q.; ARAUJO, Q. R. 2012. Fundamentos do manejo e da conservação dos solos na região produtora de cacau da Bahia. In: Valle, R. R. ed. Ciencia, tecnologia e manejo do cacaueiro. 2 ed. Ilhéus, BA, CEPLAC. pp.115-134.
- PEZARICO, C. R. et al. 2013. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. *Revista de Ciências Agrarias* 56:40-47.
- QI, Y. et al. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma* 149:325-334.
- R CORE TEAM. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for

- Statistical Computing, Vienna, Austria. “<http://www.R-project.org/>”.
- RAHMANIPOUR, F. et al. 2014. Assesment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecological indicators* 40:19-26.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. 2003. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência & Ambiente* 27(2):29-48.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. 1999. Modificações físicas em solos manejados sob sistema de plantio direto. In: *Siembra Directa: una herramienta para la Agricultura Conservacionista*. Florianópolis. Anais... Florianópolis, SC, Empasc.CD-ROM.
- SANTANA, S.O. et al. 2002. Solos da Região Sudeste da Bahia - Atualização da legenda de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. *Boletim de Pesquisa e desenvolvimento* n° 16. 93p.
- SANTOS, R. D. et al. 2013. Manual de descrição e coleta do solo no campo. 6 ed. Viçosa, MG, Suprema.100p.
- SILVA, A. J. N; CABEDA, M. S. V.; LIMA, F. W. F. 2005. Efeito dos sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 29:883-842
- SILVA, G. L. et al. 2011. Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. *Geoderma* 167-168:61-70.
- SOUZA, E. D. et al. 2006. Frações de carbono, biomassa e atividade microbiana em um Latosso Vermelho sob Cerrado submetido a diferentes sistemas de manejo e usos do solo. *Acta Scientiarum Agronomy* 28: 323-329.
- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. 1983. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/ Planalsucar - Stolf. *Revista STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos* 1(3):18-23.
- STOLF, R. 1991. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 15:249-252.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBERDADE, P. L. 1998. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 22:573-581.
- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S. 2002. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Sciencia Agricola* 59:795-801.
- YOUKER, R. E.; McGUINNESS, J. L. 1957. A short method of obtaining mean weight-diameter values of aggregate analyses of soils. *Soil Science* 83: 291-294.