



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

LUIZ EDUARDO VIEIRA DE ARRUDA

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO SUBMETIDO A
DIFERENTES USOS AGRÍCOLAS, MARTINS - RN**

MOSSORÓ – RN

2014

LUIZ EDUARDO VIEIRA DE ARRUDA

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO SUBMETIDO A
DIFERENTES USOS AGRÍCOLAS, MARTINS - RN**

Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Orientador: Professora Dra. Jeane Cruz Portela.

MOSSORÓ – RN

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência

A778a Arruda, Luiz Eduardo Vieira de.

Atributos físicos e químicos de um Latossolo submetido a diferentes usos agrícolas, Martins – RN. / Luiz Eduardo Vieira de Arruda -- Mossoró, 2014

54f.: il.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Jeane Cruz Portela

Dissertação (Mestrado em Manejo de solo e água no SemiÁrido) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Graduação.

1. Ciência do solo. 2. Propriedades do solo. 3. Agroecossistema. 4. Retenção de água. I. Título.

RN/UFERSA/BCOT /

CDD: 631.4

Bibliotecária: Vanessa Christiane Alves de Souza Borba

CRB-15/452

LUIZ EDUARDO VIEIRA DE ARRUDA

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO SUBMETIDO A
DIFERENTES USOS AGRÍCOLAS, MARTINS - RN**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

DATA DA DEFESA: 26/02/2014

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Jeane Cruz Portela – UFERSA

Orientadora

Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista – UFERSA

Primeiro Membro

Dra. Adriana Araújo Diniz – PNP/UFERSA

Segundo Membro

Prof. Dr. Gualter Guenther Costa da Silva – UFRN

Terceiro Membro

Aos meus pais *Lúcia Fátima da Silva* e **Jaime Vieira de Queiroz** por todo amor, carinho e conselhos dos quais me fizeram ser quem sou.

AGRADECIMENTOS

A **Deus** por sempre me dar forças pra continuar, sabedoria para enfrentar as dificuldades da vida e sempre colocar as pessoas certas em meu caminho.

Aos meus familiares que sempre me deram todo apoio para a realização de mais este sonho e em especial a **Katiana Karina de Arruda, Fabrício Freitas de Oliveira e Walkíria Karízia da Silva.**

A professora **Jeane Cruz Portela** essa pessoa maravilhosa, atenciosa, prestativa, conselheira por ter me ensinado valores que levarei para o resto da vida, além de todo conhecimento transmitido.

A minha namorada **Rita de Cássia Araújo de Medeiros** pelo companheirismo, compreensão, conselhos e amor.

Aos professores **Francisco Ernesto Sobrinho, Rafael Oliveira Batista, Nildo da Silva Dias, Paulo Cesar Moura da Silva, José Francismar de Medeiros, Miguel Ferreira Neto, Glauber Henrique de Sousa Nunes, Carolina Malala Martins, Karidja Kalliany Carlos de Freitas Moura, Adriana Araújo Diniz, Luis César de Aquino Lemos Filho** que contribuíram direta e indiretamente para conclusão desta pesquisa.

Aos colegas de trabalho **Cezar Augusto Medeiros Rebouças, Jucirema Ferreira da Silva, Diego Aurélio Lima, Mikhael Rangel, Luiz Ricardo Rebouças da Silva, Joaquim Emanuel Fernandes Gondim, Rauny Oliveira de Souza, Osvaldo Nogueira de Sousa Neto, Pedro Ramualyson Fernandes Sampaio, Ana Cláudia Medeiros Souza, Edson Franklen Nunes de Souza, Debora de Goes Ramalho, Antônia Edina da Fonseca e Lianele Cristina Medeiros** e em especial a **Maria Laiane do Nascimento Silva e Jussira Sonally Jácome Cavalcante** importantíssimos para realização deste trabalho.

Aos agricultores **Antônio Galdino, Uelson e Jurandir** por ceder espaço e tempo para realização dessa pesquisa.

Aos meus amigos **Hudson Salatiel Marques Vale, Danniely de Oliveira Costa, Raimundo Fernandes de Oliveira Júnior, Larissa Luana Nicodemos Ferreira, Eduardo Bruno da Silva Santos, Priscila, Marcos Antônio Bezerra Cavalcante, Havilla Monalisa Silva de Oliveira, Dário Adson, Michele Ferreira da Silva, Thatyara Freire De Souza, Junior Resende, André Paulo, Paulo Roberto de Souza Silveira, Tayd Dayvison Custódio Peixoto, Laura Teixeira Leite Carlos** que sempre me apoiaram e ajudaram a enfrentar os momentos difíceis.

Aos funcionários do LASAP **Antônio Carlos da Silva, Ana Kaline da Costa Ferreira, Ana Cecília da Costa Sinclair Marinho, Daianni Ariane da Costa Ferreira, Antônio Tomaz da Silva Neto, Elídio Andrade Barbosa**, por me apoiarem e ajudarem na realização deste trabalho.

A **CAPES** pela concessão da bolsa e ao **Programa de Manejo de Solo e Água** pela oportunidade de realização deste curso.

RESUMO

Os atributos do solo são facilmente modificados em função dos diferentes usos agrícolas, sendo necessária a adoção de práticas adequadas às particularidades locais para manutenção da sua capacidade produtiva. Face o exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar os atributos físicos e químicos do solo, em diferentes condições de usos agrícolas em um Latossolo. A pesquisa foi realizada no sítio Bela Vista em Martins-RN. Os tratamentos avaliados foram: área de monocultivo da mandioca, monocultivo do feijão e mata nativa. Os resultados foram interpretados com análise estatística multivariada. Quanto aos atributos físicos a mata nativa diferenciou dos demais usos agrícolas em decorrência da consolidação da superfície, ausência de práticas de preparo do solo e maior aporte de matéria orgânica conferindo maior retenção de água no solo. O monocultivo da mandioca em relação aos atributos químicos diferiu dos demais usos agrícolas em decorrência provavelmente da prática de queimadas em leiras que favoreceu o aumento do pH e disponibilização dos cátions básicos, porém, conforme a literatura esse benefício é favorecido em curto período. Considerando as inter-relações entre os atributos físicos e químicos o diâmetro médio ponderado, água disponível, matéria orgânica e acidez potencial apresentaram baixo poder discriminante. Conclui-se que houve irregularidades estatísticas na tendência dos atributos do solo onde os diferentes usos agrícolas interferiram nos atributos físicos e químicos quando comparado com a mata nativa e a mesma quanto aos atributos físicos obteve melhores resultados, seguido do monocultivo do feijão e da mandioca e em relação aos atributos químicos o monocultivo da mandioca foi superior aos demais.

Palavras-chave: propriedades do solo, agroecossistema, retenção de água

ABSTRACT

Soil attributes are easily modified for different agricultural uses, adoption of appropriate practices to local circumstances to maintain its production capacity is required. Given the above, this work aimed to evaluate the physical and chemical attributes of the soil, under different agricultural practices in an Oxisol. The research was conducted at the site Bela Vista in Martins. The treatments were: area monocropping of cassava, monoculture bean and native forest. The results were interpreted with multivariate statistical analysis. As for the physical native forest different from the other agricultural uses due to the consolidation of the surface, the absence of tillage practices and increased input of organic matter attributes. The monoculture of cassava in relation to chemical attributes differed from the others probably due to agricultural uses of biomass fires in piles that favored increasing pH and availability of basic cations, however, according to the literature this benefit is favored in short period. Considering the interrelationships between physical and chemical attributes the weighted average diameter, available water, organic matter and potential acidity showed low discriminant power. It was concluded that there were irregularities in the trend statistics of soil attributes where different agricultural uses interfered in the physical and chemical properties compared to the native forest and the same as the physical attributes better results, followed by the monoculture of beans and cassava and regarding chemical attributes monocropping of cassava was higher than the other.

Keywords: soil properties, agroecosystem, water retention

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos do solo para os diferentes usos agrícolas em um Latossolo Amarelo, Martins-RN.....	18
Tabela 2. Distribuição do tamanho das partículas, classificação textural, classificação do solo e coordenadas geográficas de um Latossolo Amarelo, Martins-RN.....	20
Tabela 3. Análise de variância (ANOVA) dos atributos físicos sob os diferentes usos agrícolas: monocultivo da mandioca (MAND), monocultivo do feijão (FEIJ) e mata nativa (MN), Martins-RN.....	27
Tabela 4. Matriz de correlação dos atributos físicos do solo obtida pela análise de componentes principais (ACP) sob os diferentes usos agrícolas (MAND, FEIJ e MN), Martins – RN.....	28
Tabela 5. Estatísticas descritivas dos atributos físicos sob diferentes usos agrícolas: mata nativa (MN), monocultivo da mandioca (MAND) e monocultivo do feijão (FEIJ).....	29
Tabela 6. Autovalores, percentagem de explicação e percentagem de explicação acumulada dos atributos físicos do solo	30
Tabela 7. Autovetores dos atributos físicos do solo analisados com as componentes principais	30
Tabela 8. Análise de variância (ANOVA) dos atributos químicos do solo sob os diferentes usos agrícolas (MAND, FEIJ e MN), Martins – RN.....	33
Tabela 9. Matriz de correlação dos atributos químicos do solo obtida pela análise de componentes principais (ACP), sob os diferentes usos agrícolas (MAND, FEIJ e MN), Martins – RN	34
Tabela 10. Estatísticas descritivas dos atributos químicos sob os diferentes usos agrícolas: mata nativa (MN), monocultivo da mandioca (MAND) e monocultivo do feijão (FEIJ).....	35
Tabela 11. Autovalores, percentagem de explicação e percentagem de explicação acumulada dos atributos químicos do solo	36
Tabela 12. Autovetores dos atributos químicos do solo analisados com as componentes principais	37
Tabela 13. Matriz de correlação dos atributos físicos e químicos do solo obtida pela análise de componentes principais (ACP) sob os diferentes usos agrícolas (MAND, FEIJ e MN), Martins – RN.....	39
Tabela 14. Autovalores, percentagem de explicação e percentagem de explicação acumulada dos atributos físicos e químicos do solo	40

Tabela 15. Autovetores dos atributos físicos e químicos do solo analisados com as componentes principais	41
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagem de satélite dos municípios que se limitam a Martins (A) e detalhe das áreas de estudo (B).....	16
Figura 2. Vista geral dos tratamentos em estudo: (A) monocultivo da mandioca, (B) monocultivo do feijão, (C) mata nativa	18
Figura 3. Perfis de Latossolo Amarelo distrófico representativos das áreas em estudo.....	19
Figura 4. Detalhe da coleta (A), beneficiamento das amostras indeformadas (B e C), e medição das dimensões do anel volumétrico (D).....	21
Figura 5. Detalhe do beneficiamento das amostras com estrutura deformadas, destorroamento e peneiramento, (A, B, C e D)	22
Figura 6. Representação gráfica dos scores sob os diferentes usos agrícolas: monocultivo da mandioca (MAND), monocultivo do feijão (FEIJ) e mata nativa (MN), obtidos com os atributos físicos do solo	31
Figura 7. Curvas de retenção de água no solo de um Latossolo Amarelo, sob diferentes usos agrícolas: monocultivo da mandioca (MAND), monocultivo do feijão (FEIJ) e mata nativa (MN)	32
Figura 8. Representação gráfica dos scores sob os diferentes usos agrícolas: monocultivo da mandioca (MAND), monocultivo do feijão (FEIJ) e mata nativa (MN), obtidos com os atributos químicos do solo.....	38
Figura 9. Representação gráfica dos scores sob os diferentes usos agrícolas: monocultivo da mandioca (MAND), monocultivo do feijão (FEIJ) e mata nativa (MN), obtidos com os atributos físicos e químicos do solo.....	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 COMPOSIÇÃO DO SOLO E DISTRIBUIÇÃO NA PAISAGEM	3
2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS LATOSSOLOS	4
2.3 ATRIBUTOS DO SOLO AFETADOS PELA TEXTURA E MATÉRIA ORGÂNICA	5
2.4 ESTRUTURA E AGREGAÇÃO DO SOLO	7
2.5 RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	9
2.6 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	10
2.7 ALTERAÇÕES DO SOLO SOB A AÇÃO DO HOMEM	12
2.8 APLICAÇÃO DA ANÁLISE MULTIVARIADA NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO	13
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO E DAS ÁREAS EM ESTUDO EM MARTINS, RN16	
3.2 AMOSTRAGEM DE SOLO COM ESTRUTURA DEFORMADA E INDEFORMADA.	20
3.3 ATRIBUTOS DO SOLO AVALIADOS	22
3.3.1 Análises físicas do solo.....	22
3.3.2 Análises químicas do solo.....	25
3.4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 INTERPRETAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS AGRÍCOLAS	27
4.2 INTERPRETAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS AGRÍCOLAS	32
4.3 AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS AGRÍCOLAS	38
5 CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O solo é um corpo natural, organizado, complexo que troca material e energia com sua circunvizinhança, constituído por partes sólidas (inorgânica e orgânica), líquidas e gasosas, contém matéria viva e pode ser vegetado na natureza onde ocorre e, eventualmente, ter sido modificado pela ação antrópica (Beck et al., 2000).

Os solos apresentam variabilidade espacial em consequência do material de origem, paisagem, relevo e o padrão climático. A configuração da superfície do terreno define as características e propriedades dos solos e são descritos em termos de altitude, inclinação e posição da paisagem, podendo retardar ou acelerar a energia da água, a qual é dirigida a diferentes partes do terreno (Kämpf & Curi, 2012).

Em geral, os solos das regiões áridas e semiáridas são naturalmente frágeis, por apresentarem baixa capacidade de armazenamento de água e ainda, limitações físicas ao crescimento do sistema radicular das plantas (Cardoso, 2002), o que eleva a sua susceptibilidade em relação às práticas inadequadas de uso pela ação antrópica.

O município de Martins – RN caracteriza-se com relevo plano no alto da serra, índices elevados de precipitação pluvial e menores temperaturas em função dos efeitos orográficos (Young, 1976) que contribuem para diferenciação dos solos da região. O referido município apresenta solos desenvolvidos (Latosolos), com boas características físicas e limitações químicas devido à lixiviação dos cátions em função do padrão climático e da paisagem, com baixos índices de degradação, quando comparados aos de outras regiões do Semiárido.

Na região de Martins predominam atividades agrícolas com base familiar, sendo os cultivos agrícolas distribuídos em pequenas glebas, conforme tradição dos povos do sertão. Entretanto, apresentam manejos inadequados do solo e dos cultivos agrícolas, tais como: uso intensivo do solo, monocultivos, pecuária extensiva, queimadas, desmatamento e extrativismo vegetal desordenado sem observar as particularidades locais, resultando na modificação das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, tornando-o mais suscetível aos processos de degradação (Centurion et al., 2001).

Estudos dos solos na região Oeste Potiguar e no município de Martins-RN são escassos, dessa forma, a quantificação dos atributos do solo e dos cultivos agrícolas de forma integrada se faz necessário para o estabelecimento de práticas agrícolas adequadas, visto que, estes estão inter-relacionados, criando condições diferenciadas em relação à dinâmica da água no solo, aeração e estruturação que são atributos dinâmicos com variabilidade espacial e temporal.

Face o exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar os atributos físicos e químicos do solo, em diferentes usos agrícolas no município de Martins, Rio Grande do Norte, utilizando como ferramenta para interpretação dos resultados a análise multivariada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 COMPOSIÇÃO DO SOLO E DISTRIBUIÇÃO NA PAISAGEM

O solo é um corpo tridimensional, natural e dinâmico, formado na superfície da terra, por meio da ação dos fatores ambientais clima e organismos sobre o material de origem em função do relevo, agindo ao longo do tempo, apresentando variação espacial, conforme a possibilidade de combinações desses fatores (Kämpf & Curi, 2012).

A matriz do solo (fase sólida) é composta por sólidos orgânicos e minerais, cuja fração orgânica é formada da acumulação de resíduos animais e vegetais em diferentes graus de decomposição. Segundo Alleoni et al. (2009b) a matéria orgânica é um componente que contribui de maneira significativa para o balanço de cargas elétricas no solo influenciando a densidade das mesmas, principalmente pela alta quantidade de sítios com cargas negativas, variando de 2000 a 5000 mmol_c kg⁻¹ (matéria húmica unificada), sendo que, suas quantidades dependem das condições de intemperismo e da atividade biológica.

A parte mineral é constituída de partículas unitárias (frações areia, silte e argila), resultantes do intemperismo do material de origem do solo apresentando diversas formas, tamanhos, arranjos e composições (Ferreira, 2010).

O solo em condições naturais está em equilíbrio dinâmico e apresenta resistência a mudança, porém, quando manejado e submetido ao uso contínuo, pode ter esse equilíbrio alterado com implicações na sua qualidade, que pode ser melhorada ou piorada, dependendo do manejo que for submetido (Goedert & Oliveira, 2007).

Os solos formam um contínuo tridimensional na paisagem, em consequência, o entendimento da sua formação e distribuição no espaço requer uma compreensão da formação da paisagem (Kämpf & Curi, 2012).

O perfil de uma vertente segundo Ruhe (1960) pode apresentar ou não os segmentos: interflúvio, ombro, encosta e sopé colúvio-aluvial. Estes elementos não estão necessariamente todos presentes podendo ocorrer variações em função das particularidades de cada região a nível local e regional. A mudança sequencial nos solos ao longo da paisagem é atribuída a variações na drenagem subsuperficial, ao transporte diferencial e deposição de sedimentos erodidos e, à lixiviação, translocação e redeposição de materiais solúveis via superfície ou subsuperfície, ou seja, o movimento e a distribuição da água são as causas primárias desta diferenciação.

Desta forma, através da relação solo paisagem é possível fazer predições sobre as

características dos solos, quanto aos constituintes minerais e orgânicos, como também, inferir sobre atributos físico-hídricos, químicos e variação de classes de solo (Kämpf & Curi, 2012).

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS LATOSSOLOS

Tomando como critérios a cor e os teores de ferro do ataque sulfúrico são reconhecidos no Brasil sete tipos de Latossolos (Camargo et al., 1987; Oliveira et al., 1992, EMBRAPA, 2006): Ferrífero (LF), Roxo (LR), Vermelho-Escuro (LE), Vermelho-Amarelo (LV), Amarelo (LA), Bruno (LB), Vermelho-Amarelo variação Una (LU). Sendo este o agrupamento de solos de maior expressão geográfica no território brasileiro (Ferreira et al., 1999b). Segundo Áglio (2013) esta classe compreende uma área de 2.681.588,69 Km², ou seja, representa 31,49% dos solos de todo território nacional.

Os Latossolos são solos em avançado estágio de intemperismo químico, constituídos por material mineral evoluído, como resultado de transformações no material constitutivo, menos resistentes ao intemperismo, capacidade de troca de cátions da fração argila baixa, e sequência de horizontes A, B, C apresentado pouca diferenciação e transições usualmente difusas ou graduais. São em geral fortemente ácidos, com baixa saturação por bases e distróficos (Santos et al., 2013).

Os referidos solos estão localizados principalmente nos interflúvios, situados em relevo plano a suave-ondulado, com declividade raramente ultrapassando 7%, favorecendo os movimentos de água vertical, com intensa e profunda alteração do material de origem, formando solos profundos, uniformes, porosos, bem drenados e permeáveis, mesmo os mais argilosos, friáveis e de fácil preparo (Kämpf & Curi, 2012; Sousa & Lobato, 2013).

Em solos de áreas tropicais úmidas, com boa drenagem, como os Latossolos, verifica-se intensa remoção e lixiviação de cátions de reação básica, com resultante acúmulo de Al³⁺, sendo comum encontrar solos com pH menor que 5 (Alleoni et al., 2009b). Altas concentrações de Al³⁺ pode causar toxidez, inibir o crescimento das raízes, reduzir a absorção de nutrientes e atividade microbiana, conseqüentemente, promover diminuição na produtividade das culturas (Sousa, 2007; Fageria et al., 2009).

Segundo Ferreira et al. (1999b) a caulinita e gibbsita são os constituintes mineralógicos responsáveis pelo desenvolvimento da estrutura dos Latossolos brasileiros. Sendo que os óxidos de Fe e Al exercem grande influência nos atributos eletroquímicos dos solos altamente intemperizados (Alleoni et al., 2009b).

A capacidade dos solos em reter íons por atração eletrostática depende das cargas

elétricas na superfície das argilas e da matéria orgânica (Alleoni et al., 2009a). Sendo o argilomineral predominante nos Latossolos a caulinita, estes apresentam baixa fertilidade e CTC, elevada acidez (baixa saturação por bases e alta por alumínio) e alta capacidade de retenção de fósforo (Goedert & Oliveira, 2007). Em virtude destes fatores a adição da matéria orgânica no solo é importante, por gerar cargas negativas e aumentar a CTC do solo (Meurer, 2007).

Os Latossolos são passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento. Apesar do potencial agropecuário, o seu uso intensivo favorece a redução da capacidade produtiva, pela ausência de cobertura e excesso de preparo do solo.

2.3 ATRIBUTOS DO SOLO AFETADOS PELA TEXTURA E MATÉRIA ORGÂNICA

A textura refere-se à proporção relativa das diversas frações granulométricas que compõem o solo. Originadas do intemperismo das rochas, compreendendo as partículas unitárias as frações areia, silte e argila do solo, sendo uma das características mais estáveis, portanto, de difícil modificação, interferindo nas diversas propriedades do solo (Brady & Weil, 2013).

Segundo Ribeiro et al. (2012), a textura tem importância na utilização agrícola dos solos influenciando as diversas propriedades químicas, físicas e hidráulicas (capacidade de troca de cátions, retenção, disponibilidade e movimento de água no solo, dentre outras). Nos solos arenosos predominam os macroporos, estes apresentam elevada infiltração e baixa retenção de água, no entanto, nos solos argilosos constituídos principalmente por microporos, a velocidade de infiltração é menor e a retenção de água no solo é maior.

A textura do solo exerce influência na dinâmica da matéria orgânica e suas frações. Nos solos de textura arenosa, a macroagregação pode ser o principal fator de estabilização da MOS, enquanto em solos argilosos ricos em óxidos de ferro e alumínio, ocorre formação de microagregados altamente estáveis, onde parte da MOS pode ser protegida fisicamente em locais inacessíveis aos microorganismos (Dick et al., 2009).

Ferreira et al. (1999b) concluíram que Latossolos caulíníticos desenvolveram macroestrutura do tipo blocos, devendo gerar maior densidade do solo e proporção de pequenos poros e menor permeabilidade, entretanto Latossolos gibbsíticos desenvolveram macroestrutura do tipo granular, com menor densidade do solo, maior proporção de poros grandes e permeabilidade.

Nos solos pouco intemperizados, os componentes inorgânicos mais importantes para

gerar cargas superficiais são os minerais de argila silicatados, principalmente do tipo 2:1, contudo, a intensa perda de sílica ou dessilicação resultante dos intensos processos de intemperização gera as argilas do tipo 1:1 e os óxidos de Fe e Al que são os componentes inorgânicos responsáveis por influenciar as cargas superficiais dos solos (Alleoni et al., 2009b).

O produto da decomposição dos resíduos vegetais e animais gera a matéria orgânica do solo (MOS), constituída por diversos compostos de C (biomoléculas, ácidos flúvicos, ácidos húmicos) em diferentes graus de alteração e interação com as outras fases do solo (mineral, gasosa e solução) (Silva et al., 2010).

A matéria orgânica desempenha grande influência sobre os vários atributos físicos, químicos e biológicos do solo apresentando-se como componente chave para a sustentabilidade dos sistemas produtivos a médio e longo prazo (Silva & Mendonça, 2007).

Segundo Dick et al. (2009), a MOS tem efeitos na disponibilização de nutrientes para as plantas de forma direta (fonte de N/P/S e alguns elementos traços) e indireta, devido sua influência nas reações de troca, adsorção, sorção e solubilização e como fonte de energia para microorganismos (Stevenson, 1994).

Nos solos de regiões tropicais de clima úmido e subúmido, a matéria orgânica contribui para aumentar a CTC, reduzir a acidez por meio da complexação do Al trocável, e inibir sítios de sorção de fosfato (Goedert & Oliveira, 2007).

A matéria orgânica altera as propriedades físicas e químicas do solo, além de servir como fonte de C orgânico e de nutrientes para os microorganismos. O seu arranjo favorece também a redução da densidade do solo pelo efeito positivo na estabilidade estrutural do solo, ou pelo fato da matéria orgânica apresentar baixa densidade, sendo importante para difusão de gases no solo e para a manutenção de micro, meso e macroorganismos (Alleoni et al., 2009a; Silva et al., 2010).

A quantidade de água armazenada no solo é influenciada pelo teor de matéria orgânica, a mesma pode reter até 20 vezes sua massa em água (Stevenson, 1994) sendo um atributo extremamente importante principalmente para as regiões secas, devido o seu elevado déficit hídrico, pois favorece o controle de perdas de água por evaporação, como também, regula a temperatura e mantém a atividade biológica do solo (Silva & Mendonça, 2007).

Conforme Rawls et al. (2003) em virtude do teor e da composição da MOS influenciarem na estrutura e propriedades absorptivas do solo, as diversas práticas de usos agrícolas alteram o teor de MOS e conseqüentemente, a retenção de água.

A matriz do solo é constituída pela parte inorgânica (areia, silte e argila), e a parte

orgânica (resíduos vegetais e animais) formando os sólidos do solo. A parte não ocupada pelos sólidos é denominada espaço poroso, ou poros do solo, formando assim um conjunto de diversas formas e tamanhos, interconectados. O espaço poroso é ocupado por quantidades variáveis de uma solução aquosa denominada água no solo e de uma solução gasosa denominada ar do solo, apresentando variação espacial e temporal devido a sua complexidade e dinamicidade no sistema (Brady & Weil, 2013).

A porosidade total do solo (PT) ou espaço poroso onde ocorrem os processos dinâmicos do ar e solução do solo. Em geral varia de 30 a 60% e uma distribuição percentual de 34% para macroporos e 66% para microporos (Kiehl, 1979) sendo as causas de variação função da textura, estrutura, matéria orgânica e o manejo do solo, devendo apresentar aproximadamente 10% de porosidade de aeração evitando assim, deficiência para o crescimento radicular das plantas (Baver et al., 1972).

A densidade do solo (D_s) é uma propriedade variável em função da mineralogia, estrutura, textura, matéria orgânica, profundidade do solo e o seu uso agrícola. Segundo Libardi (2012), a densidade dos solos minerais varia de 700 a 2000 kg m^{-3} , sendo que, para solos arenosos, esta em torno de 1300-1800 kg m^{-3} e para solos orgânicos esse valor compreende a faixa de 200-600 kg m^{-3} . Apesar de possuir menor densidade do solo em função da maior área superficial específica, os solos argilosos podem ser facilmente modificados em virtude do rearranjo estrutural das partículas causado pelo manejo inadequado do solo, podendo chegar a valores superiores aos encontrados em solos arenosos.

A densidade dos sólidos ou densidade de partículas (D_p) é uma característica que não esta relacionada com o arranjo das partículas do solo (estrutura do solo). O valor da D_p varia de 2600 a 2750 kg m^{-3} , sendo considerado para solos minerais o valor médio de 2650 kg m^{-3} , enquanto, a faixa de variação da densidade dos sólidos para a matéria orgânica é de 900 a 1300 kg m^{-3} (Kiehl, 1979).

2.4 ESTRUTURA E AGREGAÇÃO DO SOLO

Segundo Ferreira et al. (1999b) a estrutura do solo refere-se ao padrão de agrupamento ou arrumação das partículas primárias do solo (areia, silte e argila) em unidades estruturais secundárias denominadas agregados, separados entre si por superfícies de fraqueza, formando o sistema poroso do solo, sendo esta propriedade influenciada pelo padrão climático, atividade da matéria orgânica (animal e vegetal), bem como o uso agrícola. Segundo Medeiros et al. (2006) a matéria orgânica atua como um dos principais agentes cimentantes

(ferro e sílica) para formação da estrutura do solo, influenciando diretamente no espaço poroso e, conseqüentemente, na disponibilidade de água e nutrientes.

A estrutura do solo é facilmente alterada e reflete nos demais atributos do solo, como densidade do solo, micro, macro e porosidade total, matéria orgânica, retenção e infiltração de água no perfil do solo, etc. Silva & Ribeiro (1997) estudando atributos físicos de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo, observaram resultados significativos no comprometimento da estrutura do solo em avaliação aos atributos densidade do solo (Ds) e porosidade (macro, micro e porosidade total), com aumento da Ds e diminuição da porosidade nos primeiros 8 anos de cultivo, porém houve uma diminuição da Ds e aumento da porosidade nos anos seguintes (18 e 25 anos), concluindo-se que o arranjo estrutural inicial foi modificado com as práticas agrícolas adotadas.

A utilização do solo para fins agrícolas, com a introdução de práticas de cultivo, altera as propriedades físicas, químicas e biológicas, principalmente o teor da matéria orgânica, a atividade e população microbiana e a estabilidade estrutural dos agregados (Campos et al., 1995). Estudos tem demonstrado o benefício de sistemas conservacionistas como plantio direto em aumentar o estoque de MOS em relação ao preparo convencional (Bayer et al., 2000; Salton, 2005).

Albuquerque et al. (2005) afirmam que o solo sob vegetação nativa encontra-se normalmente em melhor estado de agregação, por apresentar diversidade de plantas, cobertura do solo e melhor distribuição das raízes que contribuem para manutenção do aporte constante de matéria orgânica e atividade biológica. Em muitos solos a matéria orgânica é considerada agente responsável pela formação e estabilidade dos agregados, pois fornece substrato energético tornando possível a atividade de fungos, bactérias e animais do solo e à medida que os resíduos orgânicos são decompostos formam-se gel e outros produtos viscosos que, juntamente com bactérias e fungos associados estimulam a formação de agregados (Brady & Weil, 2002).

A estabilidade de agregados quando é reduzida, indica efeitos prejudiciais do sistema de manejo do solo sobre a sua estrutura (Souza et al., 2004). Cavenage et al. (1999) concluíram que o uso do solo de forma intensiva alterou os atributos físicos do solo quando comparado com a vegetação natural de cerrado. Braida et al. (2011) afirmam também que o cultivo de solos originalmente sob vegetação nativa, baseado em práticas convencionais de manejo do solo e dos cultivos agrícolas resultam em diminuição da porosidade do solo e da estabilidade de agregados.

Práticas conservacionistas de manejo do solo que visem o maior aporte de material

orgânico ao solo tendem a formar agregados maiores e mais estáveis (Souza et al., 2012), influenciando indiretamente na retenção de água (Klein & Libardi, 2000) e nos fluxos de ar e calor do solo (Vasconcelos et al., 2010). O entendimento da função da MOS e das frações inorgânicas minerais presentes na agregação são de suma importância para definição de estratégias sustentáveis de manejo do solo visando principalmente, à manutenção ou melhoria da sua qualidade em regiões tropicais e subtropicais (Neufeldt et al., 1999).

Os diferentes sistemas de manejo do solo e dos cultivos agrícolas resultarão em diferentes condições de preservação da matéria orgânica e das propriedades físicas do solo que podem ser favoráveis ou não, ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Rozane et al., 2010).

Conforme Braidá et al. (2011) a matéria orgânica é um componente fundamental à estabilidade de agregados em solos tropicais e subtropicais brasileiros. Daí faz-se necessário o estudo referente às transformações que ocorrem em decorrência do uso e manejo dos solos, pois, as mesmas são fundamentais para a definição dos sistemas de manejos mais adequados para se obter maior produtividade nas áreas agrícolas (Corrêa, 2002).

2.5 RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

O processo da retenção de água ocorre em solos não saturados, em decorrência das forças de capilaridade e adsorção que operam na matriz do solo variando em função da textura, mineralogia, profundidade, estrutura, porosidade, matéria orgânica e uso agrícola (Mesquita & Moraes, 2004; Reichardt & Timm, 2004; Libardi, 2012).

Das duas forças que atuam na retenção de água no solo, a capilaridade é a que apresenta maior relevância estando presente na condição de solo úmido (não-saturado) e depende da geometria e do arranjo estrutural. As forças de adsorção estão mais presentes à medida que o teor de água no solo diminui, isto é, à medida que o solo se torna mais seco.

A força capilar está presente, principalmente nos microporos, funcionando como “tubos” capilares favorecendo a ascensão da água no solo e a absorção de água pelas plantas. No caso das forças de adsorção, apresenta-se como um filme de água preso à superfície das partículas minerais do solo à medida que as forças capilares deixam de atuar (Libardi, 2005) e independe do arranjo estrutural do solo.

A viscosidade é uma propriedade que reflete a facilidade com que as moléculas ou partículas deslizam uma sobre as outras, sendo diretamente proporcional ao volume das partículas, variando com a temperatura, e com o tipo e concentração de solutos (Reichardt &

Timm, 2004).

A tensão superficial de um líquido refere-se ao trabalho por unidade de área gasto para distender sua superfície (Libardi, 2005). O líquido se comporta como se estivesse coberto por uma membrana elástica (tensão), com tendência de se contrair (assumindo área mínima). Apesar da alta tensão superficial, a água tem viscosidade relativamente baixa, flui facilmente através de finos poros capilares, especialmente a temperaturas elevadas.

A retenção de água do solo depende das características específicas de cada solo, sendo resultado de ação conjunta e complexa de vários fatores, como o teor e mineralogia da fração argila (Ferreira et al., 1999a), teor de matéria orgânica, estrutura e densidade do solo (Beutler et al., 2001).

A utilização de práticas agrícolas que promovam o maior aporte de matéria orgânica proporciona agregação das partículas do solo, conseqüentemente, maior retenção e armazenamento de água em relação a sistemas de manejo convencional, com preparo intensivo, monocultivos, baixo aporte de cobertura vegetal, semeadura e/ou plantio em áreas declivosas que podem favorecer a degradação do solo (Salton & Mielniczuk, 1995; Rojas & Van Lier, 1999; Costa et al., 2003).

Portanto, o uso inadequado do solo proporciona alterações nas propriedades físico-hídricas, sendo a magnitude dessas mudanças variável conforme o tipo de solo, condições climáticas e manejo dos cultivos agrícolas (Kay, 1990).

2.6 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Solo fértil é aquele que é capaz de fornecer água, ar, ausência de resistência à penetração de raízes, calor e nutrientes às plantas, no momento e na medida que elas necessitam (Marcos, 1982). A presença de nutrientes é um dos aspectos fundamentais que garantem a boa qualidade dos solos e o seu bom uso e manejo, principalmente no caso de agroecossistemas (Ribeiro & Vilela, 2007).

A CTC do solo é definida como sendo a soma total dos cátions ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) que o solo pode reter na superfície coloidal prontamente disponível à assimilação pelas plantas (Donagema et al., 2011). Se a maior parte da CTC do solo está ocupada por cátions essenciais como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , pode-se dizer que esse é um solo com boas características químicas. Por outro lado, se grande parte da CTC compreende os cátions potencialmente tóxicos como H^+ e Al^{3+} este será um solo quimicamente pobre (Ronquim, 2010).

Nos solos das regiões tropicais, subtropicais subúmidas e úmidas, a alta capacidade de fixação de fósforo é um fator determinante da baixa fertilidade (Lopes & Guilherme, 2007). Cerca de 63% de toda a área de solos do Brasil são afetados pela toxidez causada pelo Al (Bot et al., 2000).

Dentre os fatores que afetam a capacidade de troca catiônica são: tipo e quantidade de argilominerais; teor de matéria orgânica; pH da solução do solo e adsorção específica de íons (Meurer, 2010).

A saturação por bases refere-se à proporção de cátions básicos trocáveis em relação à capacidade de troca determinada a pH 7. Sendo um indicativo das condições gerais de fertilidade do solo. A expressão alta saturação, se aplica a solos com saturação por bases igual ou superior a 50% que são classificados como eutróficos e baixa saturação para valores inferiores a 50%, distróficos (Santos et al., 2013).

Quando encontrado valores elevados de sódio (Na^+), a fertilidade passa a ser mascarada, devido à dificuldade na absorção de água do solo pelas plantas, induz à toxicidade de íons específicos (sódio e cloreto, principalmente), causa desequilíbrio nutricional e drenagem ineficiente, provocando redução do crescimento e diminuição do rendimento das culturas (Holanda & Amorim, 1997; Amorim et al., 2002; Holanda et al., 2010).

Solos ácidos são comuns nas regiões tropicais onde apresentam índice elevado de precipitação pluvial, com intemperismo intenso, notadamente os cátions básicos são lixiviados das camadas superiores, sendo substituídos nos colóides pelos íons H^+ (Ronquim, 2010). A acidez do solo é reconhecida como um dos principais fatores que conduz à baixa produtividade dos cultivos no país (Cruz et al., 2004).

O pH do solo é uma medida simples e indica se a reação do solo é ácida, neutra ou alcalina, a escala varia de 0 a 14, sendo que um valor de pH igual a 7 indica que ele é neutro, acima e menor que 7 indica pH alcalino e ácido, respectivamente (Melo, 2013). O mesmo influencia, de forma indireta, o desenvolvimento das culturas, evidenciado pelas mudanças na solubilidade dos elementos essenciais e tóxicos existentes no solo, alterando a disponibilidades dos mesmos, e a atividade e diversidade de microrganismos do solo (Chaves, 2006).

A MO tem a capacidade de reter nutrientes, como o potássio, cálcio e magnésio, podendo atuar como reservatório de nitrogênio, fósforo, enxofre e boro (Bot & Benites, 2005), como também, aumentar a capacidade de troca catiônica (CTC), correção da acidez, tendendo a estabilizar o pH próximo à neutralidade (Santos & Tomm, 2003).

A matéria orgânica e a biomassa microbiana dos solos podem ser alteradas com maior

ou menor intensidade, dependendo do sistema agrícola instalado (Marchiori Júnior & Melo, 2000).

Os diversos atributos químicos do solo comportam-se de forma bastante diferenciada ao longo das áreas cultivadas, devido, entre outros fatores, às alterações provocadas pelo manejo do solo e dos cultivos agrícolas (Silva et al., 2010). Portanto, o monitoramento dos atributos químicos do solo sob diferentes usos agrícolas constitui-se importante ferramenta para adequação das práticas de uso do solo (Bhatti et al., 1991).

2.7 ALTERAÇÕES DO SOLO SOB A AÇÃO DO HOMEM

O homem não pode ser desconsiderado como agente pedogenético, seja “criando” solos, seja modificando suas características físicas e químicas, com efeitos benéficos ou prejudiciais (Ladeira, 2012). Os efeitos benéficos são geralmente avaliados em termos de alterações do solo que contribuem para incrementar a produção agrícola, enquanto os prejudiciais tem como consequência a degradação do solo e do agroecossistema. Dessa forma o uso do solo deve ser baseado na sua aptidão agrícola (Kämpf & Curi, 2012).

Os processos de formação do solo (adição, remoção, transformação e translocação) atuam na sua formação, juntamente com as características do ambiente que são responsáveis pela diversidade de classes de solos. Dessa forma, a adição que consiste ao acréscimo de material (orgânico ou mineral) ao solo, por erosão geológica ou natural, modifica as características naturais de forma lenta; enquanto, a ação humana pode retardar e/ou acelerar estes processos, com consequências ambientais, econômicas e sociais. De acordo com Kämpf & Curi (2012), as características do solo adquiridas lentamente (em milhares de ano) sob a influência de fatores ambientais podem ser rapidamente (desde poucos dias a dezenas ou centenas de anos) modificadas pela ação antrópica.

A utilização de práticas adequadas capazes de manter e/ou melhorar a produção agrícola levando em consideração as particularidades locais tem como consequência, a manutenção dos atributos do solo e da sua capacidade produtiva, enquanto que o uso inadequado com: irrigação com água salina e má drenagem, ausência de cobertura vegetal, queimadas, preparo intensivo do solo, dentre outros, pode resultar na degradação e desequilíbrio do agroecossistema (Kämpf & Curi, 2012).

A irrigação com água de qualidade inferior e drenagem deficiente causam problemas relacionados à salinidade e, ou, sodicidade dos solos (Richards, 1954; Audry & Suassuna, 1990; Oliveira, 1997; Barros et al., 2005) sendo que nas regiões áridas e semiáridas, em

virtude da evaporação e precipitação predominarem sobre a precipitação potencializam os processos de salinização (Medeiros et al., 2010).

A manutenção da cobertura vegetal no solo favorece o aumento da retenção de água, (Campos et al., 1994), conseqüentemente a maior umidade e a menor temperatura (Salton & Mielniczuk, 1995) dissipação da energia cinética, conseqüentemente menor velocidade de escoamento superficial (Cogo et al., 2003; Zhou et al., 2002) e perdas de solo por erosão hídrica a (Panachuki et al., 2006; Pires et al., 2006), portanto a ausência de cobertura no solo irá favorecer a sua degradação.

A queimada é uma prática cultural ainda utilizada por agricultores para remoção dos resíduos vegetais e incremento de nutrientes ao solo na camada superficial (Rheinheimer et al., 2003). Sendo um agente de mineralização a curto prazo, aumentando a disponibilidade de nutrientes para o crescimento das plantas, em virtude da adição de cinzas dos resíduos culturais com altas concentrações de Ca, P e K (Coutinho, 1990; Kauffman et al., 1994; Souto, 2007), além de elevar o pH, o teor dos cátions básicos e diminuição do Al trocável (Coutinho, 1990; Eggers, 1991; Uerly et al., 1993; Rheinheimer et al., 2003).

Entretanto, vale ressaltar que esta prática favorece a ausência de cobertura vegetal, aumento na temperatura do solo, interferindo nas trocas gasosas, na dinâmica da água e dos solutos, na atividade microbiana e no estoque de nutrientes em virtude da ação direta dos agentes ativos (água e vento) favorecendo o processo erosivo, com redução da capacidade produtiva do solo (Soares, 1995; Bertol et al., 1997; Knicker, 2007).

Os sistemas naturais quando modificados pela ação antrópica podem ter sua capacidade produtiva melhorada, conservada ou reduzida. O manejo intensivo dos solos tem provocado alterações nos ecossistemas naturais (Alvarenga & Davide, 1999) causando declínio na fertilidade natural dos solos (Cordeiro et al., 2004) em virtude da rápida queda da matéria orgânica, decorrente do aumento das perdas por erosão hídrica, oxidação microbiana e degradação da matéria húmica (Silva et al., 1994).

2.8 APLICAÇÃO DA ANÁLISE MULTIVARIADA NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO

O delineamento inteiramente casualizado utiliza os princípios experimentais da repetição e casualização e é denominada de análise de variância (ANOVA). Neste tipo de análise experimental nenhum tipo de restrição (controle local) é imposto à casualização das parcelas e aos tratamentos e no campo experimental exige certa homogeneidade das

condições ambientais, tais como: fertilidade do solo, distribuição uniforme de água, dentre outras (Costa, 2003).

A análise de variância multivariada (MANOVA - Multivariate Analysis of Variance) é uma técnica de grande relevância para a derivação de inferências referentes à variação de um conjunto de variáveis-respostas entre dois ou mais tratamentos, fato habitual na área da experimentação agrônômica e/ou biológica (Coimbra et al., 2007).

Conforme Fidalski et al. (2007) para determinação da qualidade do solo os estudos apresentam diversas variáveis comprometendo a sua descrição quando se utiliza análise estatística univariada, acarretando em descrições errôneas por não explorar a existência ou não da dependência entre variáveis.

As informações obtidas por meio desses estudos serão tão mais precisas quanto melhor o método utilizado para o tratamento estatístico dos dados. Os modelos estatísticos clássicos tornam-se menos sensíveis em sistemas biológicos, em razão das particularidades próprias de cada manejo, e não consideram o efeito conjunto de inúmeros fatores e características para promover as respostas ao manejo (Maluche Baretta et al., 2006).

Observa-se que, quando as variáveis ambientais (atributos físicos, químicos e biológicos) do solo são analisadas em conjunto e correlacionadas com diferentes ecossistemas, a visualização e a ordem de influência dessas variáveis são mais perceptíveis. A ideia de utilizar técnicas estatísticas, que permitam a ordenação de amostras em função de uma série de fatores ambientais simultaneamente, permite uma análise conjunta dos fatores ambientais para verificação de suas correlações com diferentes ecossistemas ou usos do solo (Melloni et al., 2008).

Os métodos multivariados são escolhidos de acordo com os objetivos da pesquisa. Quando se deseja verificar qual a relação existente entre as amostras, ou seja, o quanto estas são semelhantes, em relação às variáveis utilizadas no trabalho, o método indicado será a análise de componentes principais (ACP) (Vicini, 2005).

O sucesso da análise multivariada está diretamente ligado aos objetivos do pesquisador. Caso a intenção da pesquisa seja a simples redução do número de variáveis, ela será bem sucedida se for possível determinar um pequeno conjunto de fatores, que consiga explicar grande parte da variabilidade do conjunto original de variáveis (Sousa Neto, 2013).

A ACP é uma técnica estatística que transforma um conjunto de p variáveis em um conjunto com número menor de k variáveis aleatórias não correlacionadas (Barroso, 2003). A referida técnica tem como objetivos: a redução da dimensão dos dados originais e facilitar a interpretação das análises realizadas, pois, a variabilidade dos dados pode ser explicada por

um número menor de componentes (Grobe, 2005).

Matematicamente, na ACP o número de componente pode igualar-se ao número de variáveis, porém, os eixos posteriores vão contribuir cada vez menos para explicar os dados (Kent & Coker, 1992). Para definição do número de componentes principais adotou-se o critério Kaiser (1958) que sugere manter na análise as CPs correspondentes aos autovalores maiores que 1.

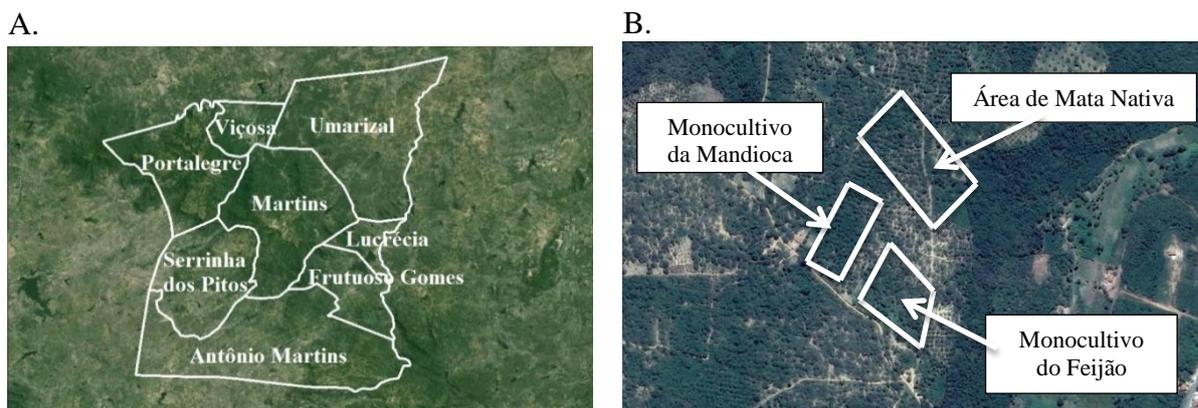
O Autovalor é o valor que representa a contribuição relativa de cada componente para explicar a variação total dos dados. O autovetor representa o peso de cada variável em cada componente e funciona como coeficientes de correlação que variam de -1 até $+1$. As variáveis com elevado autovetor na primeira CP são as responsáveis pela maior explicação da variação dos dados e tendem a serem menores nas demais componentes (Gomes et al., 2004).

O grau de importância de uma variável na discriminação dos usos foi avaliado pelo seu coeficiente de correlação com as CPs selecionadas, de modo que, aquelas que apresentam valores iguais ou maiores que 0,7 (em módulo) foram consideradas mais discriminantes na comparação dos manejos do solo dos cultivos agrícolas. Contudo, aquelas variáveis que apresentam baixos coeficientes de correlação com os CPs selecionados foram consideradas como fracas para explicação da variação dos dados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO E DAS ÁREAS EM ESTUDO EM MARTINS, RN

A pesquisa foi realizada no município de Martins-RN (Figura 1A), situado na mesorregião Oeste Potiguar e na microrregião de Umarizal, nas coordenadas geográficas: 6° 05' 16'' Sul, 37° 54' 40'' Oeste. Está localizada no planalto da Borborema, porém, seu relevo compreende ainda a Depressão Sertaneja, que tem como limites os municípios de Umarizal, Serrinha dos Pintos, Antônio Martins, Frutuoso Gomes, Lucrécia, Portalegre e Viçosa, abrangendo uma área de 169,47 km². Apresenta segundo Koppen Aw, classificação climática Tropical Chuvoso, com precipitação pluvial média de 1.133,8 mm, cujo período chuvoso é de janeiro a junho, temperatura média anual de 25 °C e vegetação do tipo floresta subperenifólia associada à caatinga.



Fonte: Google Earth (2013)

Figura 1. Imagem de satélite dos municípios que se limitam a Martins (A) e detalhe das áreas de estudo (B)

A pesquisa foi desenvolvida no Sítio Bela Vista (Figura 1B), sendo composta por 10 famílias que trabalham a terra de forma integrada, segundo as suas necessidades e como proprietário o senhor Antônio Galdino. A propriedade é constituída por diversos setores, dentre eles, criação de animais (bovino leiteiros, caprinos, capotes e galinhas), frutíferas, capineiras, roçados (monocultivos e consórcio) e área preservada com mata nativa.

Os tratamentos avaliados foram: monocultivo da mandioca (MAND), monocultivo do feijão (FEIJ) e mata nativa (MN) (Figura 2).

A área de monocultivo da mandioca (Figura 2A), abrange aproximadamente 1 ha. O local foi desmatado no ano de 2003, os resíduos vegetais queimados em pequenas leiras e

realizada uma aração e uma gradagem, sempre adotando essas práticas antes do plantio da mandioca, em torno de uma vez a cada dois anos. Vale ressaltar que a amostragem foi realizada após a queimada.

A área de monocultivo do feijão (Figura 2B), compreende 1 ha, assim como na área de mandioca foi desmatado no mesmo ano (2003) e os restos vegetais foram queimados, em seguida realizou-se o preparo do solo com uma aração e uma gradagem, sendo esta última realizada uma vez por ano, antes da sementeira. Através de análise visual feita pelo agricultor aplica-se esterco bovino curtido, com o objetivo de melhorar a fertilidade do solo, porém, na época da amostragem tal prática não foi realizada.

A área de Mata Nativa (Figura 2C) foi empregada como referência para comparação com os demais usos agrícolas. A vegetação é subperenifólia constituída por árvores de folhas largas, troncos relativamente delgados e densos, típica de zonas de clima tropical chuvoso. As espécies vegetais mais comumente encontradas são: Goiabinha (*Psidium firmum*), pitombeira (*Talisia esculenta*), timbauba (*Enterolobium contortisiliquum*), camunzé (*Pithecolobium polycephalum*), espinheiro (*Sideroxylon obtusifolium*), inharé (*Helicostylis tomentosa*), jatobá (*Hymenaea courbaril*), cumarú (*Dipteryx odorata*), unha de gato (*Mimosa sepium*), podói (*Copaifera langsdorffii*), dentre outras.



Fonte: Acervo do pesquisador (2014)

Figura 2. Vista geral dos tratamentos em estudo: (A) monocultivo da mandioca, (B) monocultivo do feijão, (C) mata nativa

O solo das áreas foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico (Santos et al., 2013). A classificação textural para os usos agrícolas foram: argila-arenosa para a área de mata nativa (MN), monocultivo da mandioca (MAND) e monocultivo do feijão (FEIJ) (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos do solo para os diferentes usos agrícolas em um Latossolo Amarelo, Martins-RN

MANEJOS	Distribuição do tamanho das partículas					Dp	MO	Classificação Textural (SBCS)
	Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total	Silte	Argila			
	-----g kg ⁻¹ -----					g cm ⁻³	g kg ⁻¹	
MN	0,38	0,13	0,52	0,08	0,40	2,53	34,90	Argila Arenosa
MAND	0,33	0,15	0,48	0,11	0,41	2,52	19,50	Argila Arenosa
FEIJ	0,28	0,28	0,53	0,10	0,37	2,55	32,50	Argila Arenosa

MN – mata nativa; MAND – monocultivo da mandioca; FEIJ – monocultivo do feijão; Dp – densidade de partículas; MO – matéria orgânica; SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Realizou-se a abertura de dois perfis de solo (Figuras 5A e B), em área representativa nos locais de estudo, para coleta de amostras de solo com estrutura deformada nos seus respectivos horizontes para as análises físicas e químicas, assim como, identificação dos horizontes diagnósticos e classificação segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Donagema et al., 2011; Santos et al., 2013).



Fonte: Acervo do pesquisador (2014)

Figura 3. Perfis de Latossolo Amarelo distrófico representativos das áreas em estudo

O perfil 1 (Figura 5A) apresentou classificação textural variando de argila arenosa no horizonte A e BA e argila no horizonte Bw, enquanto o perfil 2 (Figura 5B), como argila arenosa no horizonte A e argila no horizonte Bw, sendo classificados como Latossolo Amarelo distrófico (Tabela 2).

Tabela 2. Distribuição do tamanho das partículas, classificação textural, classificação do solo e coordenadas geográficas de um Latossolo Amarelo, Martins-RN

Horizontes e Prof. (cm)	Distribuição do tamanho das partículas					Classificação Textural (SBCS)	Classificação do Solo	Coordenadas Geográficas
	Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total	Silte	Argila			
-----g kg ⁻¹ -----								
A 0-10	0,34	0,19	0,53	0,08	0,39	Argilo Arenosa	Latossolo Amarelo distrófico	6°3'22"S 37°56'16"O
BA 10-25	0,31	0,16	0,47	0,07	0,46	Argila Arenosa		
Bw 25+	0,27	0,13	0,41	0,06	0,53	Argila		
A 0-24	0,38	0,11	0,49	0,15	0,36	Argila Arenosa	Latossolo Amarelo distrófico	6°3'29"S 37°56'15"O
Bw 24-165+	0,25	0,12	0,40	0,07	0,53	Argila		

Prof. – profundidade; SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

3.2 AMOSTRAGEM DE SOLO COM ESTRUTURA DEFORMADA E INDEFORMADA

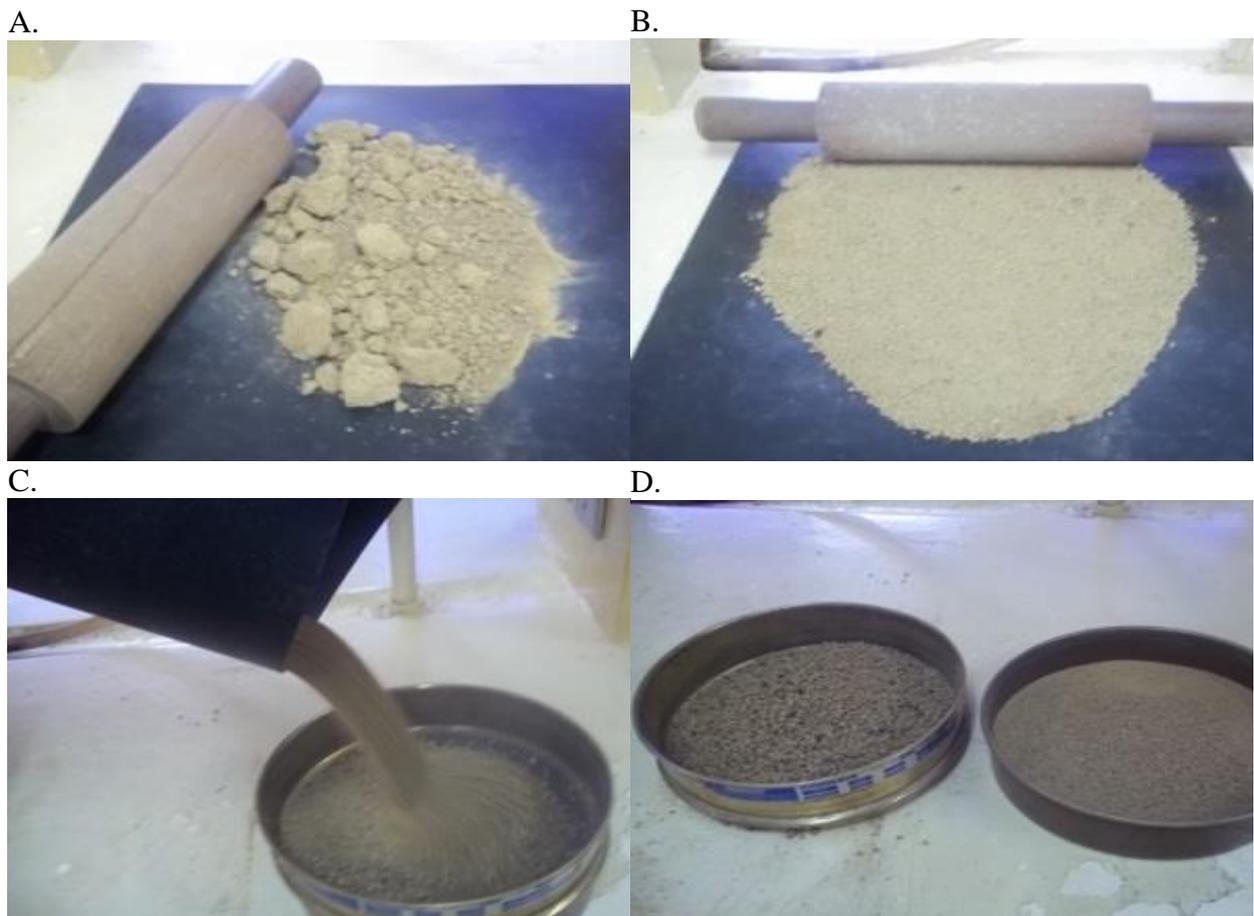
Para avaliação dos atributos químicos e físicos do solo foram amostrados e georreferenciados (Garmin eTrex Legend Cx GPS) quatro pontos representativos em cada área para a coleta de amostras deformadas e indeformadas, na profundidade 0,00-0,30 m, e posteriormente abertura de dois perfis representativos das áreas em estudo para a classificação do solo, conforme metodologia descrita pelo manual de métodos e análise de solos (Donagema et al., 2011).

Para a coleta das amostras de solo com estrutura indeformada foi utilizado aparelho tipo Uhland, com anéis volumétricos de dimensões 0,05 m de diâmetro e 0,05 m de altura para avaliação dos atributos físicos, curva de retenção, densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade. Foram coletadas oito amostras por ponto, 32 para cada área em estudo, totalizando 128 amostras. Após a coleta, os anéis foram revestidos com papel alumínio e, posteriormente, levados ao laboratório com o cuidado para manter a estrutura e a umidade do solo. O excesso de solo presente na amostra foi retirado no campo (Figura 3B), finalizando a toaleta em laboratório, mantendo a massa de solo contida no anel volumétrico.



Fonte: Grupo de pesquisa de física do solo, Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) - UFERSA
Figura 4. Detalhe da coleta (A), beneficiamento das amostras indeformadas (B e C), e medição das dimensões do anel volumétrico (D)

As coletas de amostras com estrutura deformada foram realizadas em quatro (4) pontos representativos de cada área, com três repetições, totalizando 48 amostras, com auxílio de uma pá reta, sendo transferidas para sacos plásticos devidamente identificados. O beneficiamento das amostras (Figura 4) foi realizado em laboratório, na sala de beneficiamento de amostras de solo, as mesmas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de malha com abertura 2 mm, obtendo assim a terra fina seca ao ar (TFSA).



Fonte: Grupo de pesquisa de física do solo, Laboratório de Análise de Solo Água e Planta (LASAP) - UFERSA
 Figura 5. Detalhe do beneficiamento das amostras com estrutura deformadas, destorroamento e peneiramento, (A, B, C e D)

3.3 ATRIBUTOS DO SOLO AVALIADOS

3.3.1 Análises físicas do solo

A classificação textural (análise granulométrica) foi realizada pelo método da pipeta, utilizando o dispersante químico (Hexametáfosfato de sódio). Foram utilizadas amostras com estrutura deformada, coletadas na superfície (0,00-0,30 m) e após secas ao ar, desagregadas e passadas em peneira com 2 mm de abertura de malha (TFSA).

A densidade do solo (D_s) é a relação entre a massa de uma amostra de solo seco a 105°C e a soma dos volumes ocupados pelas partículas sólidas e os poros (Eq. 1). A D_s foi determinada pelo método do anel volumétrico, com auxílio de um amostrador do tipo “Uhland”, e anéis com dimensões de 0,05 m de diâmetro e 0,05 m de altura.

$$D_s = \frac{m_{ss}}{v} \quad (1)$$

em que:

D_s – densidade do solo, g cm^{-3} ;

m_{ss} – massa de solo seco a 105°C , g, e

v – volume do anel, cm^3 .

A densidade de partículas (D_p) é a relação entre a massa de determinada amostra de solo e o volume ocupado pelas partículas do mesmo. A D_p foi determinada pelo método do balão volumétrico utilizando-se álcool, considerando apenas o volume de solo ocupado efetivamente pelas partículas, sem levar em consideração o espaço poroso, sendo seu valor determinado pela expressão, apresentada na Eq. 2.

$$D_p = \frac{m_s}{v_s} \quad (2)$$

em que:

D_p – densidade de partículas, g cm^{-3} ;

m_s – massa de solo, g, e

v_s – volume de sólidos, cm^3 .

As referidas determinações foram realizadas seguindo o manual de métodos de análise de solo da Embrapa (Donagema et al., 2011).

Para a análise dos agregados, a amostragem do solo foi realizada utilizando pá reta na camada superficial do solo. Cuidados especiais foram adotados no transporte dos blocos, afim de, evitar danos às amostras. Os blocos extraídos foram separados entre si por superfícies de fraqueza, destorroando com as mãos, passados em peneiras com abertura de malha 4,00 e 2,00 mm, e os agregados retidos na última peneira (2,00 mm) foram acondicionados em latas e secos ao ar.

Para determinação da agregação e o diâmetro médio ponderado utilizou-se o método de peneiramento via úmida. Foram utilizadas cinco amostras de 25 g para cada uso agrícola, sendo uma amostra para determinação da umidade (fator de correção). Cada amostra foi

transferida sobre um disco de papel de filtro, localizado na peneira superior (2,00 mm), espalhando-as sobre toda a superfície do papel filtro e o umedecimento por capilaridade (4 min) em um conjunto de quatro peneiras com diâmetros de malha: 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25 mm, e após o tempo determinado foi retirado o papel filtro. Iniciando agitação no aparelho de oscilação vertical (42 oscilações/minuto) os conjuntos de peneira por quatro minutos dentro dos barriletes com água. As frações retidas em cada peneira foram transferidas para beakers previamente tarados e identificados, e conduzidos a estufa a 105 °C durante 24 h. Após a obtenção da massa seca e descontado o teor de areia (hexametáfosfato de sódio) determinou-se a percentagem de agregados estáveis em água (agregação) e o diâmetro médio ponderado (DMP) para cada uma das classes. O DMP foi obtido pela Eq. 3, proposta por Castro Filho et al. (1998).

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i w_i) \quad (3)$$

em que:

DMP – diâmetro médio ponderado, mm;

x_i - diâmetro médio das classes, mm, e

w_i - proporção de cada classe em relação ao total.

A porosidade total (PT) do solo (macro e microporos) refere-se à fração volumétrica, ocupada com ar e água representando o local onde circula a solução do solo (água, nutrientes e ar). Para determinação da PT, macro e microporosidade foi utilizada mesa de tensão. A porosidade total foi calculada saturando as amostras com estrutura indeformadas nos anéis volumétricos por 24 horas obtendo a massa de sólidos saturada. Para microporosidade foi utilizada a tensão de 6 kPa e a macroporosidade pela diferença entre porosidade total e microporosidade.

A relação gráfica entre o potencial mátrico e o teor de água no solo denomina-se de curva característica da água no solo, ou curva de retenção de umidade, ou seja, potencial mátrico (φ_m) x umidade volumétrica (θ). Para elaboração da curva de retenção utilizou-se as tensões 0; 2; 6; 10; 33; 100; 300; 500 e 1500 kPa. Para aplicação das tensões 0; 2; 6 e 10 kPa foi utilizada a mesa de tensão, câmaras de baixa tensão para os pontos 33 e 100 kPa e de alta tensão para os pontos 300; 500 e 1500 kPa. As amostras foram mantidas nas mesas de tensão e câmaras de pressão pelo tempo necessário para atingir o equilíbrio, ou seja, o momento que

não mais houve drenagem de água.

O ajuste das curvas de retenção da água no solo foi feito com base na equação de Van Genuchten (1980), (Eq. 4), utilizando o software SWRC, desenvolvido por Dourado Neto et al. (1990). A equação considera o potencial mátrico (φ_m), como variável independente e a umidade volumétrica (θ), como variável dependente:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha |\varphi_m|)^n\right]^m} \quad (4)$$

em que:

θ_r = umidade volumétrica residual, $m^3 m^{-3}$;

θ_s = umidade volumétrica saturada, $m^3 m^{-3}$;

$|\varphi_m|$ = potencial mátrico, kPa, e

α , m , n = parâmetros empíricos da equação.

Por ser um parâmetro teórico que pode variar entre 10 kPa (solos arenosos) e 33 kPa (solos argilosos), o valor da capacidade de campo (CC) foi determinada em função da classificação textural. O ponto de murcha permanente (PMP) foi obtido com a tensão de 1500 kPa e a água disponível (AD) pela diferença entre CC (na tensão de 10 kPa) e PMP.

3.3.2 Análises químicas do solo

Os atributos químicos analisados foram: nitrogênio (N), digerido em bloco digestor com ácido sulfúrico, peróxido de hidrogênio e mistura digestora a 250 °C durante 30 minutos e a 350 °C durante 2 horas e quantificado por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹ após destilação; pH em água, na proporção de 1:2,5; condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}); cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) trocáveis, empregando complexometria após extração com KCl 1 mol L⁻¹; alumínio (Al³⁺) trocável, por extração com KCl 1 mol L⁻¹ e titulado com NaOH 0,025 mol L⁻¹; fósforo (P) disponível, sódio (Na⁺) e potássio (K⁺), extraídos em Mehlich-1, sendo o P disponível determinado por espectrofotometria do visível e os íons Na⁺ e K⁺ por fotometria de chamas; acidez potencial (H+Al), quantificada por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹ após extração com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0; e matéria

orgânica do solo (MOS), por titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,005 M depois de aquecida em chapa uniforme com dicromato de potássio 0,02 M. A partir das análises realizadas foram obtidos os índices: soma de bases (SB); capacidade de troca catiônica efetiva (t); capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC); saturação por bases (V %); saturação por alumínio trocável (m %) e a percentagem de sódio trocável (PST). Sendo determinados segundo o manual de métodos de análises de solo da Embrapa (Donagema et al., 2011).

3.4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Os valores médios dos atributos físicos e químicos do solo sob os diferentes usos agrícolas (MN, MAND e FEIJ) foram interpretados por meio da ANOVA realizada com Teste Tukey a nível de significância de 5% de probabilidade, análise descritiva (média, mínimo, máximo, variância, desvio padrão e coeficiente de variação) e os químicos interpretados separadamente conforme o Manual de recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (Ribeiro et al., 1999) e mediante a utilização de ferramenta de análises estatística multivariada a Análise de Componentes Principais (ACP), com utilização do programa GENES.

Os atributos físicos e químicos do solo foram mensurados em diferentes sistemas de unidades, sendo necessário a padronização dos dados, visto que, a variância é influenciada pelas unidades de medidas dos atributos em questão. Portanto, os dados foram centralizados e normalizados para média zero e variância um, de modo a assegurar que os atributos contribuíssem igualmente para os modelos multivariados utilizados.

A matriz de correlação foi estabelecida após a padronização dos dados com o objetivo de verificar o percentual e o grau de importância dessas correlações, sendo considerados os valores maiores ou iguais a 0,7.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 INTERPRETAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS AGRÍCOLAS

A partir da análise de variância dos atributos físicos do solo sob os diferentes usos agrícolas (UA) constata-se que para AGREG, Ds, Dp, MACRO, MICRO, CC e AD não houve diferença estatística. O DMP diferiu estatisticamente a 1% de probabilidade e a PT e PMP foram diferentes estatisticamente ($p < 0,05$) (Tabela 3). Tais diferenças possivelmente devem-se ao arranjo estrutural do solo por ser uma propriedade dinâmica, funcional, complexa e facilmente modificada pelo uso do solo (Campos et al., 1995; Carneiro et al., 2009; Kämpf & Curi, 2012). Avaliando os coeficientes de variação (CV) os atributos Ds, Dp, PT e PMP estes apresentaram valores baixos (CV menor que 10%); quanto a Agregação, DMP, MACRO e CC médios (CV entre 10 e 20%) e para MICRO e AD muito altos (CV maior que 30%) segundo Pimentel Gomes (2009).

Tabela 3. Análise de variância (ANOVA) dos atributos físicos sob os diferentes usos agrícolas: monocultivo da mandioca (MAND), monocultivo do feijão (FEIJ) e mata nativa (MN), Martins-RN

FV	GL	QM									
		AGREG	DMP	Ds	Dp	PT	MICRO	MACRO	CC	PMP	AD
Entre UA	2	6,916 ^{ns}	0,015**	0,014 ^{ns}	0,001 ^{ns}	91,583*	43,00 ^{ns}	47,583 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,001*	0,005 ^{ns}
Dentro dos UA	9	1,698	0,001	0,007	0,006	12,389	15,805	13,833	0,002	0,0001	0,002
CV (%)		14,04	13,30	6,70	2,94	8,45	30,01	13,20	19,18	7,64	36,85

FV – fonte de variação; UA – usos agrícolas; CV – coeficiente de variação; GL – graus de liberdade; QM – quadrado médio; AGREG. – agregação; DMP – diâmetro médio ponderado; Ds – densidade do solo; Dp – densidade de partículas; PT; porosidade total; MICRO – microporosidade; MACRO – macroporosidade; CC – capacidade de campo; PMP – ponto de murcha permanente; AD – água disponível; ** indicador de diferença significativa de $p \leq 0,01$; * indicador de diferença significativa de $p \leq 0,05$; ns – não significativo

A matriz de correlação obtida com os atributos físicos estudados nos diferentes usos agrícolas (MN, MAND, FEIJ) Martins-RN, apresentaram altas correlações (valores acima de 0,7), evidenciando inter-relações nos diferentes usos agrícolas (Tabela 4). Foram encontradas correlações altas e positivas entre a agregação (AGREG), diâmetro médio ponderado (DMP) e microporosidade (MICRO).

As altas correlações positivas encontradas entre Ds e PT para MACRO, CC e AD, com

exceção da MACRO para PT e sim MICRO, podendo ser justificadas em função da Ds e da PT não serem fatores limitantes para os demais atributos, com valores densidade do solo variando de 1,14 a 1,28 g cm⁻³ e porosidade total entre 37 a 47% (Tabela 5). Segundo Borges et al. (1997), trabalhando em Latossolo Vermelho com textura média na região do Triângulo Mineiro observaram que valores de Ds acima de 1,62 g cm⁻³ apresentaram impedimento parcial ao crescimento radicular.

Tabela 4. Matriz de correlação dos atributos físicos do solo obtida pela análise de componentes principais (ACP) sob os diferentes usos agrícolas (MAND, FEIJ e MN), Martins – RN

	AGREG.	DMP	Ds	Dp	PT	MICRO	MACRO	CC	PMP	AD
AGREG.	1,00									
DMP	0,99	1,00								
Ds	-0,06	0,08	1,00							
Dp	-0,88	-0,79	0,42	1,00						
PT	0,09	0,22	0,99	0,29	1,00					
MICRO	0,77	0,85	0,59	-0,45	0,70	1,00				
MACRO	-0,67	-0,57	0,78	0,86	0,68	-0,05	1,00			
CC	0,13	0,29	0,99	0,29	1,00	0,74	0,64	1,00		
PMP	0,64	0,77	0,59	-0,22	0,69	0,90	0,04	0,74	1,00	
AD	-0,10	0,05	1,00	0,47	0,98	0,56	0,80	0,96	0,63	1,00

AGREG. - agregação; DMP – diâmetro médio ponderado; Ds – densidade do solo; Dp – densidade de partículas; PT; porosidade total; MICRO – microporosidade; MACRO – macroporosidade; CC – capacidade de campo; PMP – ponto de murcha permanente; AD – água disponível

Foram encontrados maiores valores médios de AGREG, DMP, Ds, PT, MACRO, CC e AD, (Tabela 5) para a mata nativa, podendo ser atribuído a maior consolidação da sua superfície, em razão da ausência de práticas de preparo do solo e maior aporte de matéria orgânica. A tendência dos dados encontra-se em concordância com Corrêa (2002) que constatou na mata nativa aumento dos agregados e dos diâmetros médios ponderados e a redução à medida que são realizadas práticas de uso intensivo do solo. As diferentes práticas de manejos agrícolas interferiram na formação dos agregados, em virtude dos mesmos modificarem a dinâmica da matéria orgânica do solo (Zanatta et al., 2007) e as condições para a atividade dos microrganismos (Vargas & Scholles, 2000). Fontenele (2006) avaliando a estrutura do solo em diferentes sistemas agrícolas verificou valores superiores para a mata nativa.

Tabela 5. Estatísticas descritivas dos atributos físicos sob diferentes usos agrícolas: mata nativa (MN), monocultivo da mandioca (MAND) e monocultivo do feijão (FEIJ)

Atributos Físicos	Manejos	Análise descritiva					
		Md	Min	Max	s ²	s	CV
AGREG. (%)	MN	10,00	8,89	11,18	0,90	0,95	9,48
	MAND	10,09	7,38	11,44	3,38	1,84	18,21
	FEIJ	7,77	6,68	8,62	0,82	0,91	11,68
DMP (mm)	MN	0,26	0,23	0,29	0,00	0,03	10,38
	MAND	0,24	0,21	0,29	0,00	0,04	14,82
	FEIJ	0,15	0,12	0,17	0,00	0,02	14,36
Ds (g cm ⁻³)	MN	1,28	1,25	1,31	0,00	0,02	1,91
	MAND	1,16	1,09	1,30	0,01	0,10	8,36
	FEIJ	1,22	1,11	1,35	0,01	0,10	8,22
Dp (g cm ⁻³)	MN	2,53	2,39	2,61	0,01	0,10	3,80
	MAND	2,52	2,43	2,60	0,00	0,07	2,78
	FEIJ	2,55	2,48	2,59	0,00	0,05	1,96
PT (%)	MN	47,00	0,45	0,49	0,00	0,02	3,65
	MAND	37,00	0,33	0,42	0,00	0,04	10,82
	FEIJ	41,00	0,35	0,45	0,00	0,04	10,35
MICRO (%)	MN	17,00	0,16	0,19	0,00	0,02	8,96
	MAND	13,00	0,09	0,22	0,00	0,06	48,93
	FEIJ	10,00	0,07	0,13	0,00	0,03	24,39
MACRO (%)	MN	30,00	0,28	0,30	0,00	0,01	3,39
	MAND	24,00	0,20	0,28	0,00	0,03	13,62
	FEIJ	31,00	0,25	0,38	0,00	0,05	17,69
CC (cm ³ cm ⁻³)	MN	0,29	0,26	0,31	0,00	0,02	8,45
	MAND	0,21	0,16	0,27	0,00	0,05	26,57
	FEIJ	0,24	0,17	0,28	0,00	0,05	23,18
PMP (cm ³ cm ⁻³)	MN	0,14	0,13	0,14	0,00	0,01	3,64
	MAND	0,12	0,11	0,13	0,00	0,01	6,80
	FEIJ	0,11	0,10	0,13	0,00	0,01	11,18
AD (cm ³ cm ⁻³)	MN	0,15	0,12	0,18	0,00	0,03	18,06
	MAND	0,09	0,03	0,15	0,00	0,06	64,79
	FEIJ	0,13	0,07	0,17	0,00	0,05	37,33

AGREG. – agregação; DMP – diâmetro médio ponderado; Ds – densidade do solo; Dp – densidade de partículas; PT – porosidade total; MICRO – microporosidade; MACRO – macroporosidade; CC – capacidade de campo; PMP – ponto de murcha permanente; AD – água disponível; MN – mata nativa; MAND – monocultivo da mandioca; FEIJ – monocultivo do feijão; Md – média; Min – mínimo; Max – máximo; s² – variância; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação

Os autovalores, explicação das variâncias associadas aos CPs gerados e a explicação das variâncias acumuladas podem ser verificados na Tabela 6. Os componentes principais CP1 e CP2 explicaram 55,26 e 41,46% da variação dos dados, respectivamente, totalizando 96,72% da variação encontrada. Isto indica que os 10 atributos estudadas podem ser substituídos por estes dois componentes, sem existir perdas substanciais de informações.

Tabela 6. Autovalores, percentagem de explicação e percentagem de explicação acumulada dos atributos físicos do solo

Componentes Principais (CP)	Autovalores	Explicação (%)	Explicação Acumulada (%)
1	5,59	55,26	55,26
2	4,20	41,46	96,72

Dentre os atributos físicos analisados os mais importantes estatisticamente para distinção dos manejos MN, MAND e FEIJ foram aqueles que apresentaram as maiores correlações (maiores pesos em módulo) seguindo a ordem de importância entre as componentes (CP1 > CP2) (Tabela 7).

Considerando a componente principal 1 (CP1), os atributos físicos que apresentaram maiores pesos (em módulo) foram: densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), capacidade de campo (CC) e água disponível (AD). Na CP2 os maiores autovetores foram: Agregação (AGREG.), diâmetro médio ponderado (DMP) e densidade de partículas (Dp).

Tabela 7. Autovetores dos atributos físicos do solo analisados com as componentes principais

Atributos físicos do solo	Componentes Principais	
	1	2
Agregação – AGREG.	0,091	0,477
Diâmetro médio ponderado – DMP	0,152	0,457
Densidade do solo – Ds	0,405	-0,134
Densidade de partículas – Dp	0,085	-0,460
Porosidade Total – PT	0,417	-0,063
Microporosidade – MICRO	0,331	0,301
Macroporosidade – MACRO	0,242	-0,399
Capacidade de Campo – CC	0,422	-0,042
Ponto de murcha permanente – PMP	0,339	0,240
Água disponível – AD	0,403	-0,149

Na representação gráfica (Figura 6) foram considerados os *scores* das duas primeiras componentes principais (CP1 e CP2) para interpretação dos grupos. Foram formados dois grupos distintos, o primeiro, refere-se ao monocultivo da mandioca (MAND) e do feijão (FEIJ), indicando que as práticas adotadas nessas áreas não contribuíram para diferenciação dos atributos físicos. Analisando o segundo grupo, mata nativa (MN), diferenciou do primeiro grupo (MAND e FEIJ) sendo superior quando aos atributos físicos do solo. Albuquerque et al. (2005), Souza et al. (2005), Carneiro et al. (2009), Corrêa et al. (2010) obtiveram resultados semelhante onde o uso agrícola alterou os atributos físicos do solo, quando comparados com a área de vegetação nativa.

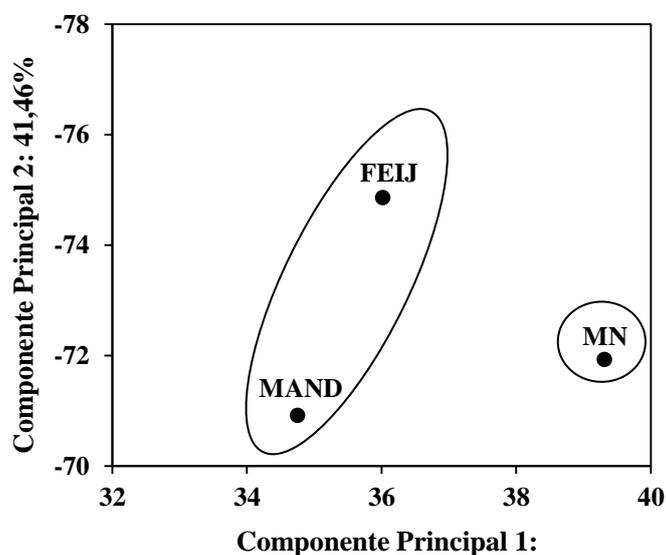


Figura 6. Representação gráfica dos *scores* sob os diferentes usos agrícolas: monocultivo da mandioca (MAND), monocultivo do feijão (FEIJ) e mata nativa (MN), obtidos com os atributos físicos do solo

Avaliando a curva de retenção de água no solo sob os diferentes usos agrícolas (MN, MAND e FEIJ), ajustadas segundo o modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980) (Figura 7) as mesmas apresentaram uniformidade, com exceção do monocultivo da mandioca, nas tensões de 0 a 100 kPa, sendo inferior das demais, em função da menor porosidade total (Tabela 5).

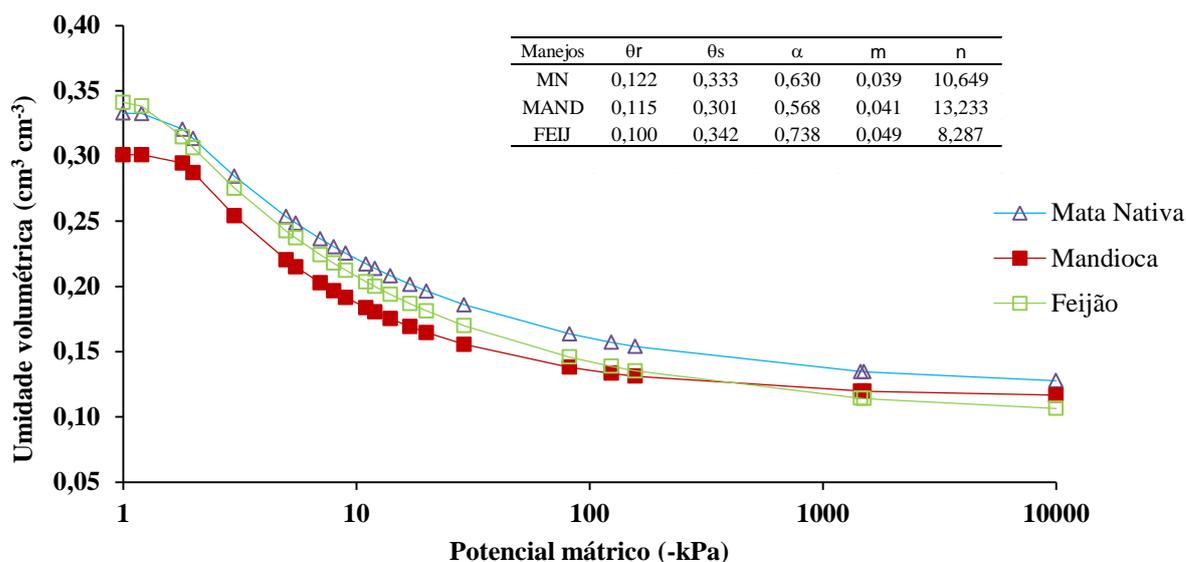


Figura 7. Curvas de retenção de água no solo de um Latossolo Amarelo, sob diferentes usos agrícolas: monocultivo da mandioca (MAND), monocultivo do feijão (FEIJ) e mata nativa (MN)

A mata nativa (MN) apresentou maior retenção de água, porosidade total, capacidade de campo e água disponível, podendo ser justificado pelo incremento da MO em função da manutenção da cobertura vegetal, o não revolvimento do solo e a presença dos óxidos de ferro e alumínio, conferindo maior estabilidade dos agregados. Corroborando com os resultados obtidos por (Roth et al., 1991; Bertol et al., 2000; Giarola et al., 2002).

O manejo do solo e dos cultivos agrícolas modificam a sua estrutura, conseqüentemente, as propriedades físicas, como densidade, porosidade (Faria et al., 1998; Pires et al., 2012) e retenção de água no solo (Ramos et al., 2013). Portanto, o manejo baseado no monocultivo, comparado com a mata nativa interferiu negativamente nos atributos físico-hídricos (Tabela 5 e Figura 7).

4.2 INTERPRETAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS AGRÍCOLAS

A partir da ANOVA dos atributos químicos do solo sob os diferentes usos constatou-se que os atributos P e m diferiram estatisticamente a 1% de probabilidade, N, K^+ , Na^+ e Al^{3+} a nível de 5% e pH, CE, MO, Ca^{2+} , Mg^{2+} , (H+Al), SB, t, CTC, V e PST não apresentaram diferença estatística entre diferentes usos agrícolas (Tabela 8). Comparando os CV's o pH foi baixo (CV menor que 10%), o N, Na, H+Al e CTC foram médios (CV entre 10 e 20%), a

MO, P, K, SB, t e PST foram altos (CV entre que 20 e 30%) e para os atributos CE, Ca, Mg, Al, V e m foram classificados como muito altos (CV superior a 30%).

Tabela 8. Análise de variância (ANOVA) dos atributos químicos do solo sob os diferentes usos agrícolas (MAND, FEIJ e MN), Martins – RN

FV	GL	QM							
		N	pH	CE	MO	P	K ⁺	Na ⁺	
Entre UA	2	0,166*	0,563 ^{ns}	0,179 ^{ns}	276,466 ^{ns}	344,676**	898,410*	8,371*	
Dentro UA	9	0,039	0,264	0,049	65,949	18,578	132,031	1,065	
CV (%)		13,51	9,43	35,17	28,05	24,48	26,80	16,79	

FV	GL	QM									
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)	SB	t	CTC	V	m	PST
Entre UA	2	2,947 ^{ns}	0,179 ^{ns}	0,466*	4,714 ^{ns}	4,932 ^{ns}	2,573 ^{ns}	2,844 ^{ns}	218,583 ^{ns}	391,083**	0,0061 ^{ns}
Dentro UA	9	0,727	0,385	0,081	3,643	1,190	1,027	2,939	69,528	44,278	0,002
CV (%)		46,18	33,39	54,05	17,76	28,42	23,19	11,75	31,56	48,69	21,82

FV – fonte de variação; UA – usos agrícolas; CV – coeficiente de variação; GL – graus de liberdade; QM – quadrado médio; N – nitrogênio; pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; MO – matéria orgânica; P – fósforo; K⁺ – potássio; Na⁺ – sódio; Ca²⁺ – cálcio; Mg²⁺ – magnésio; Al³⁺ – alumínio; (H + Al) – acidez potencial; SB – soma de bases; t – capacidade troca catiônica efetiva; CTC – capacidade de troca catiônica potencial; V – saturação por bases; m – saturação por alumínio; PST – porcentagem de sódio trocável. ** indicador de diferença significativa de p<0,01; * indicador de diferença significativa de p<0,05; ns – não significativo

A matriz de correlações obtida com análise de componentes principais (ACP) dos atributos químicos do solo são apresentados na Tabela 9. A correlação alta e positiva da SB pode ser justificada pela correlação das bases trocáveis. A correlação alta e positiva entre o N, pH CE e o P, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SB, t, V e PST deve-se ao aumento do pH liberar os demais nutrientes e indisponibilizar o Al³⁺ no solo, conseqüentemente, menor a acidez potencial (H+Al) e saturação por alumínio (m), podendo ser explicado pela correlação negativa existente entre estes elementos. Carneiro et al. (2009); Alleoni et al. (2005), estudando Latossolo obtiveram resultados semelhantes, em que o aumento do pH elevou os teores de bases trocáveis com redução da acidez do solo.

E a correlação alta e negativa entre MO e os atributos Na, Ca, Mg, SB, t, CTC, V e PST, possivelmente, deve-se aos baixos teores de MO encontrados nos diferentes usos agrícolas estudados.

Tabela 9. Matriz de correlação dos atributos químicos do solo obtida pela análise de componentes principais (ACP), sob os diferentes usos agrícolas (MAND, FEIJ e MN), Martins – RN

	N	pH	CE	MO	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)	SB	t	CTC	V	m	PST
N	1,00																
pH	0,99	1,00															
CE	0,78	0,88	1,00														
MO	-0,48	-0,62	-0,92	1,00													
P	1,00	0,98	0,76	-0,45	1,00												
K ⁺	0,97	1,00	0,90	-0,67	0,97	1,00											
Na ⁺	0,84	0,92	0,99	-0,88	0,82	0,94	1,00										
Ca ²⁺	0,88	0,95	0,98	-0,84	0,87	0,97	1,00	1,00									
Mg ²⁺	0,83	0,91	1,00	-0,89	0,81	0,93	1,00	0,99	1,00								
Al ³⁺	-0,99	-1,00	-0,86	0,59	-0,99	-1,00	-0,90	-0,94	-0,89	1,00							
(H+Al)	-0,96	-0,90	-0,57	0,22	-0,97	-0,87	-0,66	-0,71	-0,63	0,91	1,00						
SB	0,88	0,95	0,99	-0,84	0,86	0,96	1,00	1,00	0,99	-0,93	-0,71	1,00					
t	0,79	0,88	1,00	-0,92	0,77	0,91	1,00	0,99	1,00	-0,86	-0,59	0,99	1,00				
CTC	-0,08	0,09	0,56	-0,84	-0,11	0,15	0,47	0,40	0,50	-0,05	0,36	0,41	0,55	1,00			
V	0,95	0,99	0,94	-0,74	0,93	0,99	0,97	0,99	0,96	-0,98	-0,81	0,99	0,95	0,25	1,00		
m	-0,99	-1,00	-0,85	0,58	-0,99	-0,99	-0,90	-0,93	-0,89	1,00	0,92	-0,93	-0,86	-0,04	-0,98	1,00	
PST	0,96	0,99	0,94	-0,73	0,95	1,00	0,97	0,99	0,96	-0,99	-0,83	0,99	0,95	0,23	1,00	-0,99	1,00

N – nitrogênio; pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; MO – matéria orgânica; P – fósforo; K⁺ – potássio; Na⁺ – sódio; Ca²⁺ – cálcio; Mg²⁺ – magnésio; Al³⁺ – alumínio; (H + Al) – acidez potencial; SB – soma de bases; t – capacidade troca catiônica efetiva; CTC – capacidade de troca catiônica potencial; V – saturação por bases; m – saturação por alumínio; PST – porcentagem de sódio trocável

Os atributos químicos apresentaram distinções entre os diferentes usos agrícolas (MN, MAND e FEIJ). O menor valor de pH para o FEIJ influenciou na indisponibilização do fósforo (P), cátions trocáveis (K⁺, Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺) e menores valores de soma de bases (SB), capacidade troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica potencial (CTC); saturação por bases (V) e porcentagem de sódio trocável (PST) no solo e conseqüentemente disponibilização do alumínio (Al) e acidez potencial (H+Al) contribuindo para o aumento da saturação por alumínio (m) (Tabela 10). Na área de MAND o valor de pH foi superior aos demais, isso pode estar relacionado a prática de queimada em leiras realizadas nessa área influenciando em maiores valores dos cátions trocáveis e menor acidez do solo corroborando com Coutinho (1990); Eggers (1991); Uerly et al. (1993); Rheinheimer et al. (2003), porém, conforme a literatura esse benefício é favorecido em curto período (Soares, 1995; Bertol et al., 1997; Knicker, 2007).

Tabela 10. Estatísticas descritivas dos atributos químicos sob os diferentes usos agrícolas: mata nativa (MN), monocultivo da mandioca (MAND) e monocultivo do feijão (FEIJ)

Atributos químicos	Manejos	Análise descritiva					
		Md	Min	Max	s ²	s	CV
N (g kg ⁻¹)	MN	1,55	1,31	1,87	0,06	0,24	15,22
	MAND	1,60	1,49	1,75	0,01	0,11	7,07
	FEIJ	1,22	1,00	1,42	0,05	0,22	17,88
pH (água)	MN	5,54	5,05	5,98	0,17	0,41	7,42
	MAND	5,76	5,22	6,88	0,58	0,76	13,25
	FEIJ	5,03	4,78	5,25	0,04	0,20	3,95
CE (dS m ⁻¹)	MN	0,56	0,49	0,76	0,02	0,13	23,47
	MAND	0,87	0,56	1,21	0,12	0,35	40,27
	FEIJ	0,46	0,33	0,52	0,01	0,09	19,17
MO (g kg ⁻¹)	MN	34,90	30,20	37,80	10,70	3,27	9,38
	MAND	19,50	10,50	26,03	50,28	7,09	36,36
	FEIJ	32,50	16,08	42,18	136,29	11,67	35,92
P (mg dm ⁻³)	MN	22,13	15,61	30,37	39,18	6,26	28,28
	MAND	23,76	19,87	28,64	14,26	3,78	15,89
	FEIJ	6,93	5,21	8,85	2,30	1,52	21,88
K ⁺ (mg dm ⁻³)	MN	45,85	28,01	59,18	200,65	14,17	30,90
	MAND	56,15	41,17	73,03	172,00	13,11	23,36
	FEIJ	26,62	20,73	32,51	23,45	4,84	18,19
Na ⁺ (mg dm ⁻³)	MN	5,87	5,53	6,20	0,07	0,27	4,66
	MAND	7,71	5,53	9,56	3,04	1,74	22,62
	FEIJ	4,86	4,52	5,20	0,08	0,28	5,71
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	MN	1,76	0,90	2,57	0,47	0,68	38,78
	MAND	2,75	1,27	4,35	1,67	1,29	47,05
	FEIJ	1,04	0,77	1,30	0,05	0,22	21,09
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	MN	1,81	1,10	2,38	0,29	0,54	29,56
	MAND	2,09	1,57	2,57	0,18	0,43	20,54
	FEIJ	1,68	0,87	2,53	0,68	0,83	49,39
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	MN	0,42	0,13	1,00	0,16	0,40	95,30
	MAND	0,25	0,00	0,47	0,04	0,19	77,91
	FEIJ	0,91	0,67	1,13	0,04	0,21	23,16
(H+Al) (cmol _c dm ⁻³)	MN	9,95	7,95	11,83	2,51	1,59	15,94
	MAND	10,31	6,24	12,46	7,77	2,79	27,05
	FEIJ	11,98	10,97	12,73	0,64	0,80	6,70
SB (cmol _c dm ⁻³)	MN	3,71	2,98	4,36	0,32	0,57	15,32
	MAND	5,01	2,98	6,79	2,76	1,66	33,16
	FEIJ	2,80	2,02	3,61	0,49	0,70	25,02

Continuação...

Atributos químicos	Manejos	Análise descritiva					
		Md	Min	Max	s ²	s	CV
t (cmol _c dm ⁻³)	MN	4,14	3,97	4,54	0,07	0,27	6,59
	MAND	5,26	3,45	6,79	2,18	1,48	28,04
	FEIJ	3,71	2,69	4,74	0,83	0,91	24,57
CTC (cmol _c dm ⁻³)	MN	13,66	11,78	14,81	1,77	1,33	9,75
	MAND	15,32	13,04	18,28	5,59	2,36	15,43
	FEIJ	14,78	12,99	15,62	1,46	1,21	8,17
V (%)	MN	27,00	20,00	32,00	28,00	5,29	19,60
	MAND	33,50	22,00	52,00	169,00	13,00	38,81
	FEIJ	18,75	16,00	23,00	11,58	3,40	18,15
m (%)	MN	10,50	3,00	25,00	103,00	10,15	96,66
	MAND	5,75	0,00	13,00	29,58	5,44	94,59
	FEIJ	24,75	24,00	25,00	0,25	0,50	2,02
PST (%)	MN	0,19	0,17	0,23	0,00	0,03	14,25
	MAND	0,22	0,15	0,30	0,00	0,06	28,51
	FEIJ	0,15	0,13	0,16	0,00	0,01	8,90

N – nitrogênio; pH – potencial hidrogênico; CE – condutividade elétrica; MO – matéria orgânica; P – fósforo; K⁺ – potássio; Na⁺ – sódio; Ca²⁺ – cálcio; Mg²⁺ – magnésio; Al³⁺ – alumínio; (H+Al) – acidez potencial; SB – soma de bases; t – capacidade troca catiônica efetiva; CTC – capacidade de troca catiônica potencial; V – saturação por bases; m – saturação por alumínio; PST – porcentagem de sódio trocável; MN – mata nativa; MAND – monocultivo da mandioca; FEIJ – monocultivo do feijão; Md – média; Min – mínimo; Max – máximo; s² – variância; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação

A porcentagem de explicação acumulada em relação aos dezessete atributos químicos do solo estão apresentados na Tabela 11, com explicação acumulada de 99,90% para os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2).

Tabela 11. Autovalores, porcentagem de explicação e porcentagem de explicação acumulada dos atributos químicos do solo

Componentes Principais (CP)	Autovalores	Explicação (%)	Explicação Acumulada
			(%)
1	14,55	85,45	85,45
2	2,46	14,45	99,90

Constatou-se na Tabela 12 que os maiores pesos positivos presentes na CP1 são referentes ao nitrogênio (N), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), fósforo (P), cátions trocáveis (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}), alumínio (Al^{3+}), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), saturação por bases (V), acidez por alumínio (m) e percentagem de sódio trocável (PST). Na CP2 a matéria orgânica (MO) e capacidade de troca de cátions potencial (CTC) foram as responsáveis pela diferenciação dos usos agrícolas. Evidenciando a importância da manutenção de resíduos vegetais como fonte de MO responsáveis pela redução do teor de Al trocável, (Vance et al., 1995; Meurer, 2007), como também, o aumento do pH e liberação das bases trocáveis.

Tabela 12. Autovetores dos atributos químicos do solo analisados com as componentes principais

Atributos químicos do solo	Componentes Principais	
	1	2
Nitrogênio – N	0,245	-0,225
Potencial hidrogeniônico – pH	0,257	-0,123
Condutividade elétrica – CE	0,250	0,196
Matéria Orgânica – MO	-0,200	-0,414
Fósforo – P	0,242	-0,246
Potássio – K^+	0,260	-0,085
Sódio – Na^{2+}	0,257	0,131
Cálcio – Ca^{2+}	0,260	0,081
Magnésio – Mg^{2+}	0,255	0,151
Alumínio – Al^{3+}	-0,255	0,147
Acidez potencial – (H+Al)	-0,209	0,385
Soma de bases – SB	0,260	0,088
Capacidade de troca catiônica efetiva – t	0,251	0,185
Capacidade de troca de cátions potencial – CTC	0,073	0,612
Saturação por bases – V	0,262	-0,018
Saturação por alumínio – m	-0,255	0,152
Percentagem de sódio trocável – PST	0,263	-0,034

A Figura 8 corresponde aos *scores* referentes aos dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) dos atributos químicos do solo em relação aos diferentes usos agrícolas. Verifica-se a formação de três grupos distintos, o primeiro formado pela FEIJ seguido do MAND e da MN, indicando que o manejo do solo baseado no monocultivo alterou os atributos químicos quando comparado com a mata nativa.

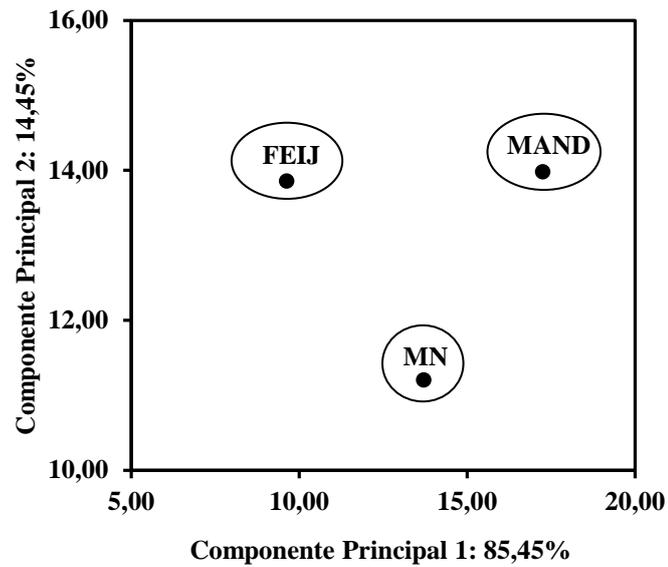


Figura 8. Representação gráfica dos *scores* sob os diferentes usos agrícolas: monocultivo da mandioca (MAND), monocultivo do feijão (FEIJ) e mata nativa (MN), obtidos com os atributos químicos do solo

4.3 AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS AGRÍCOLAS

A matriz de correlação obtida entre os atributos físicos e químicos do solo estão apresentados na Tabela 13. As correlações altas e positivas entre os cátions trocáveis (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}), soma de bases, capacidade de troca de cátions efetiva, saturação por bases e percentagem de sódio trocável com AGREG e DMP possivelmente devem-se aos cátions trocáveis do solo, pois os mesmos influenciam no processo de agregação, de acordo com a série liotrópica da química coloidal (Arena, 1968), isto é, quanto menor o diâmetro do cátion hidratado, menor a probabilidade de dispersão (Rengasamy et al., 1986).

Tabela 13. Matriz de correlação dos atributos físicos e químicos do solo obtida pela análise de componentes principais (ACP) sob os diferentes usos agrícolas (MAND, FEIJ e MN), Martins – RN

	AGREG.	DMP	Ds	Dp	PT	MICRO	MACRO	CC	PMP	AD	N	pH	CE	MO	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)	SB	t	CTC	V	m	PST		
AGREG.	1,00																												
DMP	0,99	1,00																											
Ds	-0,06	0,08	1,00																										
Dp	-0,88	-0,79	0,42	1,00																									
PT	0,09	0,21	0,98	0,33	1,00																								
MICRO	0,76	0,85	0,58	-0,38	0,68	1,00																							
MACRO	-0,67	-0,58	0,77	0,91	0,66	-0,09	1,00																						
CC	0,13	0,29	0,99	0,29	1,00	0,74	0,67	1,00																					
PMP	0,64	0,77	0,59	-0,22	0,66	0,85	0,10	0,74	1,00																				
AD	-0,10	0,05	1,00	0,47	0,97	0,53	0,81	0,96	0,63	1,00																			
N	1,00	0,99	-0,06	-0,89	0,08	0,77	-0,67	0,13	0,63	-0,10	1,00																		
pH	0,97	0,93	-0,31	-0,94	-0,17	0,58	-0,83	-0,12	0,46	-0,35	0,97	1,00																	
CE	0,72	0,62	-0,73	-0,90	-0,61	0,11	-0,99	-0,59	0,02	-0,76	0,72	0,88	1,00																
MO	-0,40	-0,27	0,94	0,68	0,87	0,28	0,94	0,86	0,33	0,95	-0,40	-0,62	-0,92	1,00															
P	0,99	0,97	-0,16	-0,91	-0,02	0,69	-0,74	0,03	0,57	-0,20	0,99	0,99	0,79	-0,49	1,00														
K ⁺	0,95	0,90	-0,37	-0,95	-0,23	0,53	-0,87	-0,18	0,41	-0,40	0,95	1,00	0,90	-0,66	0,98	1,00													
Na ⁺	0,79	0,70	-0,66	-0,92	-0,53	0,22	-0,98	-0,50	0,12	-0,68	0,79	0,92	0,99	-0,87	0,85	0,94	1,00												
Ca ²⁺	0,84	0,76	-0,59	-0,94	-0,46	0,30	-0,96	-0,43	0,19	-0,62	0,84	0,95	0,98	-0,83	0,89	0,97	1,00	1,00											
Mg ²⁺	0,77	0,68	-0,68	-0,90	-0,56	0,19	-0,98	-0,53	0,08	-0,71	0,77	0,91	1,00	-0,89	0,83	0,93	1,00	0,99	1,00										
Al ³⁺	-0,98	-0,94	0,27	0,95	0,13	-0,61	0,82	0,08	-0,49	0,31	-0,98	-1,00	-0,86	0,59	-0,99	-1,00	-0,90	-0,94	-0,89	1,00									
(H+Al)	-0,98	-1,00	-0,14	0,79	-0,28	-0,87	0,51	-0,33	-0,76	-0,10	-0,98	-0,90	-0,57	0,21	-0,95	-0,87	-0,66	-0,71	-0,63	0,91	1,00								
SB	0,83	0,75	-0,60	-0,94	-0,47	0,28	-0,97	-0,44	0,18	-0,63	0,83	0,95	0,99	-0,84	0,89	0,96	1,00	1,00	0,99	-0,93	-0,71	1,00							
t	0,74	0,64	-0,72	-0,90	-0,60	0,13	-0,99	-0,57	0,04	-0,74	0,74	0,88	1,00	-0,91	0,80	0,91	1,00	0,99	1,00	-0,86	-0,59	0,99	1,00						
CTC	-0,17	-0,30	-0,97	-0,22	-0,98	-0,75	-0,61	-1,00	-0,74	-0,96	-0,16	0,09	0,56	-0,84	-0,06	0,15	0,47	0,40	0,50	-0,05	0,36	0,41	0,55	1,00					
V	0,91	0,85	-0,46	-0,95	-0,32	0,44	-0,91	-0,28	0,32	-0,49	0,91	0,99	0,94	-0,74	0,95	0,99	0,97	0,99	0,96	-0,98	-0,81	0,99	0,95	0,25	1,00				
m	-0,98	-0,94	0,26	0,94	0,12	-0,62	0,81	0,07	-0,50	0,30	-0,98	-1,00	-0,85	0,58	-0,99	-0,99	-0,90	-0,93	-0,89	1,00	0,92	-0,93	-0,86	-0,04	-0,98	1,00			
PST	0,93	0,86	-0,43	-0,98	-0,32	0,47	-0,89	-0,27	0,27	-0,46	0,93	0,99	0,94	-0,72	0,96	1,00	0,97	0,99	0,96	-0,99	-0,83	0,99	0,95	0,23	1,00	-0,99	1,00		

AGREG. – agregação; DMP – diâmetro médio ponderado; Ds – densidade do solo; Dp – densidade de partículas; PT; porosidade total; MICRO – microporosidade; MACRO – macroporosidade; CC – capacidade de campo; PMP – ponto de murcha permanente; AD – água disponível; N – nitrogênio; pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; MO – matéria orgânica; P – fósforo; K⁺ – potássio; Na⁺ – sódio; Ca²⁺ – cálcio; Mg²⁺ – magnésio; Al³⁺ – alumínio; (H + Al) – acidez potencial; SB – soma de bases; t – capacidade troca catiônica efetiva; CTC – capacidade de troca catiônica potencial; V – saturação por bases; m – saturação por alumínio; PST – porcentagem de sódio trocável

Os autovalores, as percentagens das explicações associados aos componentes principais (CP) gerados e as percentagens das explicações acumuladas são apresentados na Tabela 14. Verificou-se que a CP1 e CP2 explicaram respectivamente 68,49 e 28,98%, portanto, os dois primeiros componente principais explicaram juntos 97,47% da variação total dos dados.

Tabela 14. Autovalores, percentagem de explicação e percentagem de explicação acumulada dos atributos físicos e químicos do solo

Componentes Principais (CP)	Autovalores	Explicação (%)	Explicação Acumulada (%)
1	18,78	68,49	68,49
2	7,95	28,98	97,47

Na Tabela 15 a CP1 está associada aos atributos físicos e químicos do solo, enquanto que, na CP2 as variáveis físicas e a CTC foram as mais discriminantes para distinção entre os usos agrícolas. Os atributos que mais se destacaram entre os usos agrícolas foram: físicos – Agregação, densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), porosidade total (PT), microporosidade (MICRO), macroporosidade (MACRO), capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) e químicos – nitrogênio (N), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (t), capacidade de troca de cátions potencial (CTC), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e percentagem de sódio trocável (PST).

Os atributos que apresentaram baixo poder discriminante foram: Diâmetro médio ponderado (DMP), água disponível (AD), matéria orgânica (MO) e acidez potencial (H+Al). Segundo Mingoti (2005), em estudo com utilização da ferramenta multivariada constatou que, variáveis com baixa correlação com as componentes principais podem ser retiradas da análise sem causar perdas de informações.

Tabela 15. Autovetores dos atributos físicos e químicos do solo analisados com as componentes principais

Atributos físicos e químicos do solo	Componentes Principais	
	1	2
Agregação	-0,205	0,163
Diâmetro médio ponderado – DMP	-0,189	0,208
Densidade do solo – Ds	0,118	0,304
Densidade de partículas – Dp	0,221	-0,016
Porosidade Total – PT	0,088	0,323
Microporosidade – MICRO	-0,090	0,321
Macroporosidade – MACRO	0,216	0,123
Capacidade de Campo – CC	0,079	0,336
Ponto de murcha permanente – PMP	-0,061	0,314
Água disponível – AD	0,125	0,298
Nitrogênio – N	-0,205	0,163
Potencial hidrogeniônico – pH	-0,225	0,078
Condutividade elétrica – CE	-0,221	-0,100
Matéria Orgânica – MO	0,178	0,224
Fósforo – P	-0,215	0,129
Potássio – K ⁺	-0,228	0,057
Sódio – Na ²⁺	-0,227	-0,063
Cálcio – Ca ²⁺	-0,230	-0,035
Magnésio – Mg ²⁺	-0,225	-0,074
Alumínio – Al ³⁺	0,223	-0,091
Acidez potencial – (H+Al)	0,180	-0,222
Soma de bases – SB	-0,229	-0,039
Capacidade de troca catiônica efetiva – t	-0,223	-0,093
Capacidade de troca de cátions potencial – CTC	-0,070	-0,337
Saturação por bases – V	-0,230	0,021
Saturação por alumínio – m	0,223	-0,095
Porcentagem de sódio trocável – PST	-0,231	0,027

Com as propriedades físicas e químicas estudadas e a seleção dos *scores* dos dois primeiros CPs permitiu a representação bidimensional dos usos agrícolas (Figura 9). Analisando os *scores* das componentes principais (1 e 2) verifica-se que os monocultivos do feijão (FEIJ) e da mandioca (MAND) apresentaram-se distantes da mata nativa (MN), ou seja, essas práticas adotadas interferiram de alguma forma nos atributos físicos e químicos do solo em estudo, sendo que seu uso contínuo sem adoção de práticas conservacionistas, poderá acarretar em redução da produção, improdutividade e até mesmo degradação destas áreas.

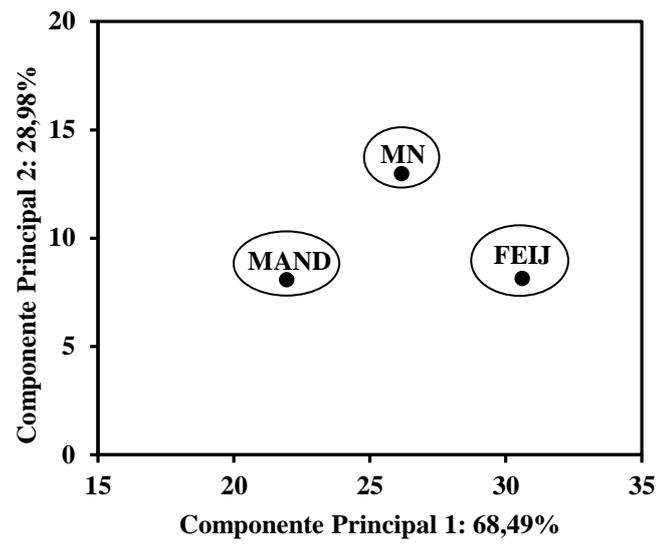


Figura 9. Representação gráfica dos *scores* sob os diferentes usos agrícolas: monocultivo da mandioca (MAND), monocultivo do feijão (FEIJ) e mata nativa (MN), obtidos com os atributos físicos e químicos do solo

5 CONCLUSÕES

Os diferentes usos agrícolas influenciaram os valores médios dos atributos físicos e químicos do solo, embora não tenham apresentando tendência regular.

Considerando a inter-relação dos atributos físicos e químicos, os mais expressivos para distinção dos usos agrícolas foram: físicos – Agregação, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, microporosidade, macroporosidade, capacidade de campo e ponto de murcha permanente e químicos – nitrogênio, potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, fósforo, potássio, sódio, cálcio, magnésio, alumínio, soma de bases, capacidade de troca de cátions efetiva, capacidade de troca de cátions potencial, saturação por bases, saturação por alumínio e percentagem de sódio trocável.

Quanto aos atributos físicos a mata nativa obteve melhores resultados, seguido do monocultivo da mandioca e do feijão.

As curvas características de água no solo apresentaram uniformidade entre os diferentes usos agrícolas, sendo superior a retenção de água na mata nativa.

REFERÊNCIAS

- Áglio, M. L. D.; Fidalgo, E. C. C.; Santos, H. G. **Árvore do conhecimento: Arroz**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fesi63xh02wx5eo0y53mhyx67oxh3.html#>> Acesso em: 10 nov. 2013.
- Albuquerque, J. A.; Argenton, J.; Bayer, C.; Wildner, L. do P.; Kuntze, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.415-424, 2005.
- Alleoni, L. R. F.; Mello, J. W. V.; Rocha, W. S. D. Eletroquímica, Adsorção e Troca Iônica do Solo. In: Melo, V. F.; Alleoni, L. R. F. **Química e mineralogia do solo: Parte II – Aplicações**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. Cap.12, p.70-129a.
- Alleoni, L. R. F.; Camargo, O. A.; Casagrande, J. C.; Soares, M. R. Química dos solos altamente intemperizados. In: Melo, V. F.; Alleoni, L. R. F. **Química e mineralogia do solo: Parte II – Aplicações**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. Cap.18, p.381-447b.
- Alleoni, L. R. F.; Cambri, M. A.; Caires, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.923-934, 2005.
- Alvarenga, M. I. N.; Davide, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo vermelho-escuro e a sustentabilidade de agrossistemas **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.933-942, 1999.
- Amorim, J. R. A. de; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R. et al. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção do alho (*Allium sativum* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.167-176, 2002.
- Arena, A. **Curso de suelos Física de suelos**. Rio de Janeiro: Centro Pan-Americano de Aperfeiçoamento para Pesquisas de Recursos Naturais (CEPERN), Instituto Pan-Americano de Geografia e História, OEA e Ministério da Agricultura do Brasil. 1968. 72p.
- Audry, P.; Suassuna, J. **A qualidade da água na irrigação do trópico semiárido: Um estudo de caso**. In: Semiárido Franco Brasileiro de Pesquisa em Irrigação, 1990, Recife. Anias... Recife: SUDENE, 1990. p.147-153.
- Barros, M. de F. C.; Santos, P. M. dos; Silva, A. J. Recuperação de solos afetados por sais usando água de qualidade inferior. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p.310-313, 2005. (Suplementos).
- Barroso, L. P.; Artes, R. **Análise multivariada**. Lavras: UFLA, 2003. 151p.
- Baver, L. D.; Gardner, W. H.; Gardner, W. R. **Soil physics**. 4.ed. New York: John Wiley &

Sons, 1972. 529p.

Bayer, C; Martin-Neto, L.; Mielniczuk, J.; Ceretta, C. A. Effect of no-till cropping systems on SOM in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil and Tillage Research**, v.53, p.95-104, 2000.

Beck, F. L.; Bohnen, H.; Cabeda, M. S. V.; Camargo, F. A. O.; Kampf, N.; Meurer, E. J. **Projeto pedológico – ensino de graduação**. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 2000. 26p. (Boletim Técnico, n.6).

Bertol, I.; Almeida, J. A.; Almeida, E. X.; Kurtz, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1047-1054, 2000.

Bertol, I.; Cogo, N. P.; Levien, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo após as colheitas de milho e trigo, na presença e ausência dos resíduos culturais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.21, p.409-418, 1997.

Beutler, A. N.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Ferreira, M. M.; Pereira Filho, F. A.; Cruz, J. C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos Cerrados no Estado de MG. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.25, p.129-136, 2001.

Bhatti, A. U.; Mulla, D. J.; Frazier, B. E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. **Remote Sensing of Environment**, v.37, p.181-191, 1991.

Borges, E. N.; Lombardi Neto, F.; Correa, G. F.; Costa, L. M. Gesso e matéria seca vegetal na floculação de argila e na produção de soja em um latossolo vermelho-escuro com camada subsuperficial compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.125-130, 1997.

Bot, A.; Benites, J. **The importance of soil organic matter, Key to drought-resistant soil and sustained food production**. FAO Soils Bulletin, 2005. 80p.

Bot, A. J.; Nachtergaele, F. O.; Young, A. **Land resource potential and constraints at regional and country levels**. Rome, Land and water Development division, Food and Agriculture Organization, 2000. 114p.

Brady, N. C.; Weil, R. R. Arquitetura e propriedades físicas do solo. In: Brady, N. C.; Weil, R. R. **The Nature and Properties of Soils**. 13. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002. Cap.1, p.2-49.

Brady, N. C.; Weil, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686p.

Braida, J. A.; Bayer, C.; Albuquerque, J. A.; Reichert, J. M. Matéria Orgânica e seu efeito na física do solo. In: Filho, O. K.; Mafra, A. L.; Gatiboni, L. C. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. v.8, p.222-267.

Camargo, M. N.; Klamt, E.; Kauffman, J. H. **Classificação de solos usada em levantamento**

pedológico no Brasil. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 12(1): p.11-33, 1987.

Campos, B. C.; Reinert, D. J.; Nicolodi, R.; Ruedell, J.; Petrere, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.121-126, 1995.

Campos, B. C.; Reinert, D. J.; Albuquerque, J. A.; Nicolodi, R. Avaliação temporal da umidade do solo como consequência do tipo e percentagem de cobertura vegetal. **Ciência Rural**, v.24, p.459-463, 1994.

Cardoso, E. L. **Solos do Assentamento Urucum - Corumbá, MS:** caracterização, limitações e aptidão agrícola. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002. 35p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 30).

Carneiro, M. A. C.; Souza, E. D.; Reis, E. F.; Pereira, H. S. Azevedo, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.147-157, 2009.

Castro Filho, C.; Muzilli, O.; Podanoschi, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.527-538, 1998.

Cavenage, A.; Moraes, M. L. T.; Alves, M. C. A.; Carvalho, M. A. C.; Freitas, M. L. M.; Buzetti, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.997-1003, 1999.

Centurion, J. F.; Cardoso, J. P.; Willian, N. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, p.254-258, 2001.

Chaves, L. H. G.; Chaves, I. B.; Silva, P. C. M.; Vasconcelos, A. C. F. Variabilidade de propriedades químicas do solo aluvial da Ilha de Picos, **Biologia e Ciências da Terra**, v.6, p.13-19. 2006.

Cogo, N. P.; Levien, R.; Schwarz, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.743-753, 2003.

Coimbra, J. L. M.; Santos, J. C. P.; Alves, M. V.; Barzotto, I. Técnicas multivariadas aplicadas ao estudo da fauna do solo: contrastes multivariados e análise canônica discriminante. **Ceres**, v.54, p.271-277, 2007.

Cordeiro, F. C.; Dias, F. de C.; Merlim, A. de O.; Correia, M. E. F.; Aquino, A. M. de e Brown, G. Diversidade da macrofauna invertebrada do solo como indicadora da qualidade do solo em sistema de manejo orgânico de produção. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida**, v.24, p.29-34, 2004.

Corrêa, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.203-209, 2002.

Corrêa, M.; Freire, M. B. G.; Ferreira, R. L. C.; Silva, J. A. A.; Pessoa, L. G. M.; Miranda, M. A.; Melo, D. V. M. Atributos físicos de solos sob diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.358-365, 2010.

Costa, J. R. **Técnicas experimentais aplicadas às ciências agrárias**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003. 102 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 163).

Costa, F. S.; Albuquerque, J. A.; Bayer, C.; Fontoura, S. M. V.; Wobeto, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.527-535, 2003.

Coutinho, L. M. O cerrado e a ecologia do fogo. **Ciência Hoje**, v.12, p.22-30, 1990.

Cruz, C. A. F.; Paiva, H. N.; Gomes, K. C. O.; Guerrero, C. R. Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de ipê-rocho. **Scientia Florestalis**, v.2, p.100-107, 2004.

Dick, D. P.; Novotny, E. H.; Dieckow, J.; Bayer, C. Química da Matéria orgânica do solo. In: Melo, V. F.; Alleoni, L. R. F. **Química e mineralogia do solo: Parte II – Aplicações**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. Cap.11, p.1-67.

Donagema, G. K.; Campos, D. V. B. de; Calderano, S. B.; Teixeira, W. G.; Viana, J. H. M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

Dourado Neto, D.; Van Lier, Q. J.; Botrel, T. A.; Libardi, P. L. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo utilizando o modelo de van Genuchten. **Engenharia Rural**, v.1, p.92-102, 1990.

Eggers, L. **Ação do fogo em uma comunidade campestre, em bses fitossociológicas**. 1991. 136f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Curso de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1991.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileira de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa SPI, 2006. 306p.

Fageria, N. K.; Araújo, A. P.; Stone, L. F. Mudanças químicas na rizosfera. In: Melo, V. F.; Alleoni, L. R. F. Eds. **Química e mineralogia do solo: Parte II – Aplicações**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. Cap.14, p.161-186.

Faria, J. C.; Schaefer, C. E. R.; Ruiz, H. A. e Costa, L. M. Effects of weed control on physical and micropedological properties of Brazilian Ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.731-741, 1998.

Ferreira, M. M. Caracterização física do solo. In: Quirijn, J. V. L. **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. Cap.1, p.1-27.

Ferreira, M. M.; Fernandes, B.; Curi, N. Influência da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.515-524, 1999a.

Ferreira, M. M.; Fernandes, B.; Curi, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.507-514, 1999b.

Fidalski, J.; Tormena, C. A.; Sacapim, C. A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho cultivado com citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.9-19, 2007.

Fontenele, W. **Indicadores físicos e hídricos da qualidade de um Latossolo Amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado do Piauí**. 2006. 45f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí. Teresina. 2006.

Giarola, N. F. B.; Silva, A. P.; Imhoff, S. Relações entre propriedades físicas e características de solos da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.885-893, 2002.

Goedert, W. J.; Oliveira, S. A. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. In: Novais, R. F.; Alvarez V.; V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap.18, p.991-1017.

Gomes, J. B. V.; Curi, N.; Motta, P. E. F.; Ker, J. C.; Marques, J. J. G. S. M.; Schulze, D. G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.137-153, 2004.

Grobe, J. R. **Aplicações da estatística multivariada na análise de resultados em experimentos com solos e animais**. 2005. 145f. Dissertação (Mestre em Ciências) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2005.

Holanda, J. S.; Amorim, J. R. A. Qualidade da água para irrigação. In: Gheyi, H. R., Queiroz, J. E.; Medeiros, J. F. **Manejo e controle de salinidade em agricultura irrigada**. Campina Grande: SBEA/UFPB, 1997. Cap.5, p.1-27.

Holanda, J. S.; Amorim, J. R. A.; Ferreira Neto, M. et al. Qualidade da água para irrigação. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal/CNPq, 2010. Cap.4, p.41-60.

Kaiser, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v.23, p.187-200, 1958.

Kämpf, N.; Curi, N. Conceito de solo e sua evolução histórica. In: Ker, J. C.; Curi, N.;

Schaefer, C. E. G. R.; Torrado, P. V. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. Cap.1, p.1-20.

Kauffman, D.; Cummings, D.; Ward, D. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. **Journal of Ecology**, v.82, p.519-531, 1994.

Kay, B. D. Rates of change of soil structure under different cropping systems. **Advances in Soil Science**, v.12, p.1-41, 1990.

Kent, M.; Coker, P. **Vegetation description and analysis**. Baffins Lane, John Wiley & Sons, 1992. 363p.

Kiehl, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.

Klein, V. A.; Libardi, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um Latossolo Roxo. **Ciência Rural**, v.30, p.959-964, 2000.

Knicker, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. **Biogeochemistry**, v.85, p.91-118, 2007.

Ladeira, F. S. B. A ação antrópica sobre os solos nos diferentes biomas brasileiros – terras indígenas e solos urbanos. **Entre Lugares**, v.3, p.127-139, 2012.

Libardi, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012. 346p.

Libardi, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo (EDUSP), 2005. 344p.

Lopes, A. S.; Guilherme, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: Novais, R. F.; Alvarez V.; V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. Eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap.1, p.1-64.

Maluche-Baretta, C. R. D.; Amarante, C. V. T.; Klauberg-Filho, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1531-1539, 2006.

Marchiori Júnior, M.; Melo, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.35, p.1177-1182, 2000.

Marcos, Z. Z. Ensaio sobre epistemologia pedológica. Cah. O.R.S.T.O.M. **Science & Pédologie**, v.19, p.6-28, 1982.

Medeiros, J. C.; Carvalho, M. C. S.; Ferreira, G. B. **Cultivo do algodão irrigado**. 2006. Disponível em:
<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrrigado_2ed/s

olos.html.> Acesso em: 25 jan. 2014.

Medeiros, P. R. F.; Silva, E. F. de F.; Duarte, S. N. Salinidade em ambiente protegido. In: Gheyi, R. H.; Dias, N. da S. de Lacerda, C. F. de. Eds. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. Cap.6, p.83-92.

Melo, G. W. **Adubação e manejo do solo para a cultura da videira**. Disponível em:< <http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/sprod/viticultura/adubvid.html>> Acesso em: 17 fev. 2013.

Melloni, R.; Melloni, E. G. P; Alvarenga, M. I. N.; Vieira, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2461-2470, 2008.

Mesquita, M. da G. B. de F.; Moraes, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v.34, p.963-969, 2004.

Meurer, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: Novais, R. F.; Alvarez V.; V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; NEVES, J. C. L. Eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap.2, p. 65-90.

Meurer, E. J. **Fundamentos de Química do solo**. 4.ed. Porto Alegre: Evangraf, 2010. 266p.

Mingoti, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: Uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 295p.

Neufeldt, H.; Ayarza, M. A.; Resck, D. V. S.; Zech, W. Distribution of water-stable aggregates and aggregating agents in cerrado oxisols of Brazilian Cerrados. In: Thomas, R.; Ayarza, M. A. Eds. **Sustainable land management for the Oxisols of the Latin American Savannas**. Cali, Colombia, CIAT, 1999. p.51-63.

Oliveira, J. B.; Jacomine, P. K. T.; Camargo, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil - guia auxiliar para seu reconhecimento**. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.

Oliveira, M. **Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais**. In: Gheyi, H. R.; Queiroz, J. E.; Medeiros J. F. de. Manejo e controle da salinidade na agricultura. Campina Grande: SBEA/ UFPB, 1997, p.1-35.

Panachuki, E.; Sobrinho, T. A.; Vitorino, A. C. T.; Carvalho, D. F.; Urchei, M. A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.261-268, 2006.

Pires, B. S.; Dias Junior, M. S.; Rocha, W. W.; Araújo Júnior, C. F. e Carvalho, R. C. R. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.635-642, 2012.

Pires, L. S.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Leite, F. P.; Brito, L. F. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária**

Brasileira, v.41, p.678-695, 2006.

Pimentel Gomes, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451p.

Ramos, B. Z.; Pais, P. S. M.; Freitas, W. A.; Dias Junior, M. de S. Avaliação dos atributos físico-hídricos em um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de manejo-Lavras/Minas Gerais/Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v.36, p.340-346, 2013.

Rawls, W. J.; Pachepsky, Y. A.; Ritchie, J. C.; Sobecki, T. M.; Bloodworth, H. Effect of soil organic carbon on soil water retention. **Geoderma**, v.116, p.61-76, 2003.

Reichardt, K.; Timm, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Manole, 2004. 478p.

Rengasamy, P.; Greene, R. S. B.; Ford, G.W. Influence of magnesium on aggregate stability in sodic Red-Brown earths. **Australian Journal of Soil Research**, v.24, p.229-237, 1986.

Rheinheimer, D. S.; Santos, J. C. P.; Fernandes, V. B. B.; Mafra, A. L.; Almeida, J. A. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, v.33, p.49-55, 2003.

Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Venegas, V. H. A. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5.ed. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG), 1999. 359p.

Ribeiro, D. O.; Vilela, L. A. F. **Nutrientes**. Mineiros, 2007. 54p.

Ribeiro, M. R. Oliveira, L. B. Araújo Filho, J. C. Caracterização morfológica do solo. In: Ker, J. C. et al. Eds. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. Cap.3, p.47-79.

Richards, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. U. S. Dep. Agric. Handbook 60 Washington, U. S. Government Printing, Office, D. C., 1954. 160p.

Rojas, C. A. L.; Van Lier, Q. J. Alterações físicas e hídrica de um Podzólico em função de sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.5, p.105-115, 1999.

Ronquim, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26p.

Roth, C. H.; Castro Filho, C.; Medeiros, G. B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.241-248, 1991.

Rozane, D. E.; Centurion, J. F.; Romualdo, L. M.; Taniguchi, C. A. K.; Trabuco, M.; Alves, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, v.26, p.24-32, 2010.

Ruhe, R. V. 1960. **Elementos da paisagem do solo**. p 165-170. In: Transações do 7 Congresso Internacional de Ciência do Solo, v.4. Int. Soc. de Ciência do Solo. Madison, WI.

Salton, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005. Tese Doutorado em Ciência do Solo.

Salton, J. C.; Mielniczuk, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.313-319, 1995.

Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Oliveira, J. B.; Coelho, M. R.; Lumberras, J. F.; Cunha, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

Santos, H. P.; Tomm, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, v.33, p.477-486, 2003.

Silva, A. J. N.; Ribeiro, M. R. Caracterização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: Atributos morfológicos e físicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.677-684, 1997.

Silva, A. P.; Tormena, C. A.; Dias Junior, M. S.; Imhoff, S.; Klein, V. A. **Indicadores da qualidade física do solo**. In: Quirijn, J. V. L. **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. Cap.7, p.241-280.

Silva, I. V.; Mendonça, E. D. Matéria orgânica do solo. In: Novais, R. F.; Alvarez V.; V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap.6, p.275-374.

Silva, J. E.; Lemainski, J.; Resck, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.541-547, 1994.

Silva, L. S.; Camargo, F. de O.; Ceretta, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: Meurer, E. J. **Fundamento de química do solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. Cap.3, p.59-106.

Silva, S. A.; Lima, J. S. S.; Xavier, C. A.; Teixeira, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.15-22, 2010.

Soares, R. V. **Queimas controladas: prós e contras**. In: Fórum Nacional Sobre Incêndios Florestais, 1.; Reunião Conjunta IPEF/FUPEF/SIF, 3., 1995, Piracicaba. Anais... Piracicaba: IPEF, 1995, p.6-10.

Sousa Neto, O. N. **Análise multivariada dos atributos físicos e químicos de um**

Cambissolo cultivado sob práticas de manejo sustentável da caatinga. Universidade Federal Rural do Semi-Árido: UFERSA. 2013. 80f. Dissertação - Mestre em Ciência do Solo.

Sousa, D. M. G.; Lobato, E. **Agência de informação Embrapa:** Bioma Cerrado Latossolo. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html> Acesso em: 11 nov. 2013.

Sousa, M. G. Acidez do solo e sua correção. In: Novais, R. F.; Alvarez V.; V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. **Fertilidade do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap.5, p.205-274.

Souto, L. S. **Papel ecológico do fogo e das saúvas (*Atta spp.*) na ciclagem de nutrientes e carbono no cerrado.** 2007. 72f. Tese (Doctor Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2007.

Souza, E. D.; Carneiro, M. A. C.; Paulino, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.1135-1139, 2005.

Souza, H. A.; Marcelo, A. V.; Centurion, J. F. Carbono orgânico e agregação de um Latossolo Vermelho com colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.658-663, 2012.

Souza, Z. M.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.491-499, 2004.

Stevenson, F. J. **Humus chemistry:** Genesis, composition and reactions. 2. Ed. New York, John Wiley & Sons, 1994. 443p.

Uerly, A. L.; Graham, R. C.; Amrhein, C. Wood-ash composition and soil pH following intense burning. **Soil Science**, v.156, p.358-364, 1993.

Van Genuchten, M. T. A Closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

Vance, G. F.; Stevenson, F. J.; Sikora, F. J. Environmental chemistry of aluminum-organic complexes. In: Sposito, G. **The environmental chemistry of aluminum.** Boca Raton, CRC, 1995, p.169-220.

Vargas, L. K.; Scholles, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.24, p.35-42, 2000.

Vasconcelos, R. F. B.; Cantalice, J. R. B.; Oliveira, V. S.; Costa, Y. D. J.; Cavalcante, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de Tabuleiro Costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.309-316, 2010.

Vicini, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS. 2005. 215f. Monografia - Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa.

Young, A. **Tropical soils and soil survey**. Cambridge, Cambridge University Press, 1976. 468p.

Zanatta, J. A.; Bayer, C.; Dieckow, J.; Vieira, F. C. B.; Mielniczuk, J. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil and Tillage Research**, v.94, p.510-519, 2007.

Zhou, G. Y.; Morris, J. D.; Yan, J. H.; Yu, Z. Y.; Peng, S. L. Hydrological impacts of reforestation with eucalypts and indigenous species: a case study in Southern China. **Forest Ecology and Management**, v.167, p.209-222, 2002.