

ROSSINI MATTOS CORRÊA

AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS DE SOLOS SOB
DIFERENTES USOS EM PERÍMETRO IRRIGADO DO
VALE DO RIO SÃO FRANCISCO

RECIFE - PE

2007

ROSSINI MATTOS CORRÊA

AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS DE SOLOS SOB
DIFERENTES USOS EM PERÍMETRO IRRIGADO DO
VALE DO RIO SÃO FRANCISCO

Tese apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Ciência do Solo da
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
como parte das exigências para conclusão do
curso de Doutorado.

RECIFE - PE

2007

ROSSINI MATTOS CORRÊA

AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS DE SOLOS SOB
DIFERENTES USOS EM PERÍMETRO IRRIGADO DO
VALE DO RIO SÃO FRANCISCO

Tese apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Ciência do Solo da
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
como parte das exigências para conclusão do
curso de Doutorado.

Tese aprovada no dia 26 de abril de 2007.

Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, D. Sc.

Hans Raj Gheyi, D. Sc.

José Ramon Barros Cantalice, D. Sc.

Marcelo Metri Corrêa, D. Sc.

Maria Sonia Lopes da Silva, D. Sc.

Ficha catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFRPE

C824a Corrêa, Rossini Mattos
Avaliação de atributos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado do Vale do Rio São Francisco / Rossini Mattos Corrêa. – 2007.

Orientadora: Maria Betânia Galvão dos Santos Freire
Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal rural de Pernambuco. Departamento de Agronomia

Inclui bibliografia.

CDD 631.47

1. Solo
 2. Química do Solo
 3. Física do Solo
 4. Rio São Francisco, Vale
 5. Análise de solo
- I. Freire, Maria Betânia Galvão dos Santos
 - II. Título

DEDICATÓRIA

Dedico a Denisabel Lisboa (Bel) minha esposa, as minhas lindas filhinhas Joana Lisboa Corrêa e Cecília Lisboa Corrêa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Centro de Pesquisa de Solos na pessoa do D. Sc. Clístenes Williams Araújo do Nascimento – Coordenador pela oportunidade, à Chesf na pessoa do Engº Carlos Roberto Aguiar de Brito – Coordenador do Empreendimento de Itaparica - e em especial ao Engº Edson Moura – Gerente da UATI pelo apoio relativo a transporte e tempo para execução dos trabalhos de campo, a CODEVASF na pessoa do Engº Agrônomo Marcelo Mergulhão pela mão-de-obra para os trabalhos de campo, ao Engenheiro Agrônomo Marcos Antônio Ramos Coutinho pelas informações sobre a área de estudo, ao Engenheiro Civil Edilto Rocha pelo apoio nas informações cartográficas, ao INCRA na pessoa de Patrícia Queiroz pelo apoio, ao Técnico Agrícola Ademar e ao auxiliar de serviços de campo Inácio (Capitão) pela dedicação ao trabalho, a minha orientadora Maria Betânia Galvão dos Santos Freire pelas orientações, ao conselheiro José Antônio Aleixo da Silva pelas orientações sobre amostragem, ao Professor Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira pelas orientações sobre análise multivariada, aos membros da banca Hans Raj Gheyi, José Ramon Barros Cantalice, Marcelo Metri Corrêa e Maria Sonia Lopes da Silva pelas sugestões ao trabalho, aos alunos do curso de Agronomia Marcelo Alves Miranda, Luiz Guilherme Medeiros Pessoa, Diego Vanderval Maranhão de Melo, Leonardo Batista Sanguinetti Ferreira, Dinara Alves e Márcio Fléquisson Alves Miranda pelo esforço e qualidade do trabalho executado nas análises de laboratório. Ao aluno Aurélien Bisson concluinte do curso de agronomia na França pela participação e dedicação em todas as etapas do trabalho. Ao Senhor Gerson Lisboa e à Senhora Theresa Damasceno Lisboa pelo apoio suprimindo a minha ausência na rotina com a família.

RESUMO

Corrêa, Rossini Mattos. D. Sc. Universidade Federal Rural de Pernambuco, abril de 2007. **Avaliação de atributos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado do Vale do Rio São Francisco**. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, José Antônio Aleixo da Silva e Adriana Maria de Aguiar Accioly.

A região semi-árida do Nordeste Brasileiro por meio da agricultura irrigada encontra a geração de renda e emprego. Há um grande potencial de terras aptas à irrigação que podem ser incorporadas ao processo produtivo, mas o conhecimento do agroecossistema irrigado na zona semi-árida ainda é incipiente, sendo necessários estudos para o maior sucesso destes empreendimentos. Este trabalho teve como objetivo comparar os atributos do solo sob diferentes usos e manejos em um perímetro irrigado na região semi-árida do Nordeste do Brasil e comparar diferentes usos e manejos do solo. No perímetro irrigado Ico-Mandantes, situado nos municípios de Petrolândia e Floresta, sertão de Pernambuco, de acordo com os usos e manejos as populações foram estratificadas em áreas com culturas de ciclo curto (C), áreas com fruticultura (F), pastagem (P), áreas descartada (D) e áreas com vegetação nativa (V). Coletaram-se amostras de solo deformadas e indeformadas, nas camadas de 0-10, 10-30 e 30-60 cm, para realizar determinações físicas e químicas. Os indicadores foram submetidos à análise multivariada, pela técnica de análise de componentes principais, e agrupamento pelo método Tocher. Construiu-se um índice de qualidade do solo a partir da análise de componentes principais. Os resultados demonstraram que a classificação dos estratos foi relativa, não sendo observado atributo que restringisse a boa qualidade do solo, exceto no estrato D que apresentou como restrição a profundidade do solo. Observaram-se alterações nos atributos físicos e químicos em todas as camadas avaliadas, sendo mais expressivas as alterações químicas que isolaram o estrato V na análise de agrupamento em todas as camadas. Os atributos químicos foram mais influentes na análise conjunta dos atributos físicos e químicos. Em uma avaliação geral das três

camadas os estratos C, P e D apresentaram a melhor qualidade química do solo. Os estratos F e P apresentaram melhor qualidade física do solo em relação ao estrato C nas camadas de 0-10 e 10-30 cm, possivelmente em função do manejo do solo menos intenso nos estratos F e P. As alterações observadas indicam que é necessário o monitoramento dos atributos dos solos incorporados a sistemas produtivos sob irrigação no semi-árido para obtenção de informação da evolução dos valores destes atributos para adotar medidas de controle se necessário sobretudo nos estratos C e D que apresentaram maiores modificações físicas e químicas.

ABSTRACT

Corrêa, Rossini Mattos. D. Sc. Universidade Federal Rural de Pernambuco, april of 2007. **Evaluation of the soil attributes under different uses in irrigated perimeter of the valley of the São Francisco River.** Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, José Antônio Aleixo da Silva e Adriana Maria de Aguiar Accioly.

The Brazilian northeast semi-arid region finds in the irrigated agriculture income and job. There is a big amount of lands that can be irrigated but the knowledge of the irrigated agroecosystems in the semi-arid region is still incipient, thus studies are necessary to ensure a bigger success of these agribusinesses. This work aimed to evaluate and to compare the attributes of the soil under different uses and management in an irrigated perimeter in the northeast of Brazil and to compare different uses and management of the soil. In the irrigated perimeter Ico-Mandantes, situated in the cities of Petrolândia and Floresta, in Pernambuco semi arid, the populations were separated by their uses and managements in annual crops (C), fruticulture (F), discarded lands (D), pasture (P), native vegetation (V). Undisturbed and disturbed soil samples were collected, in layers of 0-10, 10-30 and 30-60 cm, for physical and chemical analysis. The indications were submitted to multivariate analysis, by Principal Component Analysis, and clustering by the Tocher method. A soil quality index was built using the Principal Component Analysis. The results showed that the classification of the estratos was relative, it had not being observed attribute that restricted the development of a good soil quality, excepted for the estrato D where the soil depth was restrictive. Alterations in physical and chemical attributes were observed in all the layers, the chemical alterations were bigger, it was observed because estrato V stayed alone in the clustering analysis in all the layers. The chemical attributes had stronger participation in the joint analysis of the physical and chemical attributes. In general, the three layers in the estratos C, P and D had presented the best chemical soil quality. The soil physical quality was better in the estratos F and P in relation to estrato C in the layers of 0-10 and 10-30 cm, possibly in order of the less intense soil

management in the estratos F and P. The alterations observed show the need of monitoring the attributes of soil incorporated in productive systems under irrigation in the semi arid in the way of get information of the evolution of the values of these attributes to adopt control solutions, if had any need, mainly in estratos C and D that presented greater physical and chemical modifications.

LISTA DE FIGURAS

Descrição	Página
<p>Figura 1. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nas duas primeiras componentes principais obtidas com os atributos físicos da camada de 0-10 cm, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento.</p>	52
<p>Figura 2. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nas duas primeiras componentes principais obtidas com os atributos físicos da camada de 10-30 cm, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento.</p>	55
<p>Figura 3. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nas duas primeiras componentes principais obtidas com os atributos físicos da camada de 30-60 cm, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento.</p>	58
<p>Figura 4. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nas três primeiras componentes principais obtidas com os atributos químicos da camada de 0-10 cm, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento.</p>	75
<p>Figura 5. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nas duas primeiras componentes principais obtidas com os atributos químicos da camada de 10-30 centímetros, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento.</p>	81
<p>Figura 6. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nas duas primeiras componentes principais obtidas com os atributos químicos da camada de 30-60 centímetros, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento.</p>	83
<p>Figura 7. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nas duas primeiras componentes principais obtidas com os atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 0-10 cm, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento.</p>	95

- Figura 8. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nas duas primeiras componentes principais obtidas com os atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 10-30 cm, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento. 99
- Figura 9. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nas duas primeiras componentes principais obtidas com os atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 30-60 cm, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento. 102

LISTA DE QUADROS

Descrição	Página
Quadro 1. Medidas estatísticas descritivas de atributos físicos dos solos correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)	39
Quadro 2. Medidas estatísticas descritivas de atributos físicos dos solos correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)	44
Quadro 3. Medidas estatísticas descritivas de atributos físicos dos solos correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)	47
Quadro 4. Medidas estatísticas descritivas de atributos físicos dos solos correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)	49
Quadro 5. Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos físicos da camada de 0-10 cm	50
Quadro 6. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos físicos da camada de 0-10 cm	51
Quadro 7. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 com os atributos físicos da camada de 0-10 cm	53
Quadro 8. Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos físicos da camada de 10-30 cm	54
Quadro 9. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos físicos da camada de 10-30 cm	55
Quadro 10. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 com os atributos físicos da camada de 10-30 cm	57
Quadro 11. Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos físicos da camada de 30-60 cm	57
Quadro 12. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos físicos da camada de 30-60 cm	57
Quadro 13. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 com os atributos físicos da camada de 30-60 cm	58

Quadro 14. Medidas estatísticas descritivas de atributos químicos dos solos correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)	62
Quadro 15. Medidas estatísticas descritivas de atributos químicos dos solos correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)	64
Quadro 16. Medidas estatísticas descritivas de atributos químicos dos solos correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)	66
Quadro 17. Medidas estatísticas descritivas de atributos químicos dos solos correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)	67
Quadro 18. Medidas estatísticas descritivas de atributos químicos dos solos correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)	68
Quadro 19. Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos químicos da camada de 0-10 cm	74
Quadro 20. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos químicos da camada de 0-10 cm	74
Quadro 21. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 com os atributos químicos da camada de 0-10 cm	78
Quadro 22. Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos químicos da camada de 10-30 cm	78
Quadro 23. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos químicos da camada de 10-30 cm	78
Quadro 24. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 com os atributos químicos da camada de 10-30 cm	81
Quadro 25. Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos químicos da camada de 30-60 cm	82
Quadro 26. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos químicos da camada de 30-60 cm	82
Quadro 27. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 com os atributos químicos da camada de 30-60 cm	85
Quadro 28. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre os atributos físicos e químicos, na camada de 0-10 centímetros	86
Quadro 29. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre os atributos físicos e químicos, na camada de 10-30 centímetros	89
Quadro 30. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre os atributos físicos e químicos, na camada de 30-60 centímetros	90

Quadro 31. Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 0-10 cm	93
Quadro 32. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 0-10 cm	93
Quadro 33. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 com os atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 0-10 cm	96
Quadro 34. Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 10-30 cm	98
Quadro 35. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 10-30 cm	98
Quadro 36. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componentes principal 1 com os atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 10-30 cm	100
Quadro 37. Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 30-60 cm	100
Quadro 38. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 30-60 cm	100
Quadro 39. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 com os atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 30-60 cm	102

SUMÁRIO

	Descrição	Página
1 INTRODUÇÃO		17
2 REVISÃO DE LITERATURA		19
2.1 Características da região semi-árida e importância da agricultura irrigada para a região		19
2.2 Desenvolvimento sustentável e qualidade do solo		20
2.3 Índice de qualidade do solo e variabilidade dos atributos do solo		23
2.4 Atributos físicos		24
2.5 Atributos químicos		31
3 MATERIAL E MÉTODOS		43
3.1 Local de estudo		43
3.2 Histórico do reassentamento		43
3.3 Levantamento de campo e método de amostragem		44
3.4 Atributos físicos		46
3.5 Atributos químicos		46
3.6 Estatística		47
3.6.1 Estatística descritiva, análise de correlação e teste de normalidade		47
3.6.2 Análise de componentes principais		48
3.6.3 Análise de agrupamento		50
3.7 Índice de qualidade do solo		51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO		52
4.1 Atributos físicos		52
4.1.1 Estatística descritiva dos atributos físicos		52
4.1.2 Análise de componentes principais dos atributos físicos		64

4.2 Atributos químicos	74
4.2.1 Estatística descritiva dos atributos químicos	74
4.2.2 Análises de componentes principais dos atributos químico	87
4.3 Análise conjunta dos atributos físicos e químicos	100
4.3.1 Análise de correlação entre os atributos físicos e químicos	100
4.3.2 Análise das componentes principais aplicada conjuntamente aos atributos físicos e químicos	107
5 CONCLUSÕES	118
REFERÊNCIAS	119

1 INTRODUÇÃO

Políticas públicas e a iniciativa privada investem na agricultura irrigada na região semi-árida do Nordeste. Grande desenvolvimento econômico tem sido obtido em pólos irrigados com os de Juazeiro (BA), Petrolina (PE) e do Baixo Assú (RN). O clima da região que apresenta alta luminosidade e baixa umidade relativa do ar contribui para uma alta taxa fotossintética das culturas, ou seja, pleno desenvolvimento e baixa incidência de doenças. Por outro lado observa-se que há exemplos de fracassos na implantação de perímetros irrigados como pode ser observado em Custódia (PE) e Ibimirim (PE) e outros onde grande soma de recursos financeiros foram investidos e o meio ambiente sofreu alterações negativas sem que uma contrapartida de geração de alimentos e renda fosse observada. Há, portanto, necessidade de estudos detalhados dos recursos naturais disponíveis para a implantação da irrigação, estes estudos selecionarão áreas adequadas evitando a degradação do meio ambiente e assegurando o retorno do capital investido.

A inclusão de áreas na atividade agrícola na região semi-árida do Nordeste Brasileiro por meio da irrigação deve assegurar a sustentabilidade ambiental da região, sem a qual não haverá viabilidade econômica do empreendimento. A sustentabilidade de um perímetro irrigado está condicionada, entre outros aspectos, à manutenção da produtividade dos solos, que dentro dos sistemas de produção sofrem modificações nos seus atributos biológicos, físicos e químicos pela aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas, tráfego de máquinas e alteração do regime hídrico nas bacias hidrográficas.

A irrigação altera o ambiente fornecendo ao solo umidade e sais dissolvidos na água, influi na movimentação dos elementos químicos no perfil do solo, estabelece um novo ambiente para os microorganismos do solo, altera as taxas de deposição e decomposição do carbono orgânico do solo, enfim cria condições bastante diferenciadas nos solos antes submetidos a um regime hídrico escasso e irregular.

Aos solos em função dos diferentes usos são aplicados diferentes manejos. Os diferentes usos e manejos do solo modificam seus atributos de maneira diferenciada melhorando algumas características do solo e degradando outras. O conhecimento de alterações sofridas pelos solos indicará o que pode ser melhorado para que estes mantenham-se produtivo.

A investigação de atributos dos solos em perímetros irrigados, em operação, trará informações importantes sobre a qualidade do solo e sua capacidade produtiva modificada de acordo com o uso, subsidiando a implantação de novos perímetros e o manejo do solo em perímetros em atividade.

Este trabalho teve como objetivo comparar os atributos do solo sob diferentes usos e manejos em um perímetro irrigado na região semi-árida do Nordeste do Brasil e comparar diferentes usos e manejos do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características da região semi-árida e importância da agricultura irrigada para a região

A região semi-árida do Nordeste do Brasil abrange 969.589,4 km², esta região apresenta períodos de secas intercalados com chuvas de alta intensidade e má distribuição, geralmente. A precipitação média se encontra numa amplitude que varia de 250 a 800 mm anuais, distribuídos durante três a cinco meses, com elevadas taxas de evapotranspiração, em média 2.000 mm ano⁻¹, proporcionando déficit de umidade no solo durante a maioria dos meses do ano (BRASIL, 2005).

Do ponto de vista geológico, existem dois conjuntos estruturais no Nordeste: as Bacias Sedimentares e o Escudo Cristalino. Nas primeiras, em geral, os solos são profundos (mais de 2 m até 6 m), com alta capacidade de infiltração, reduzido escoamento superficial, boa drenagem natural e baixa fertilidade natural. No Escudo Cristalino, os solos são, em geral, rasos (cerca de 0,60 m), com baixa capacidade de infiltração, alto escoamento superficial, reduzida drenagem natural e alta fertilidade natural. Os escudos cristalinos correspondem a 45% da superfície do Nordeste, ou seja, a 720 mil km², no semi-árido esse percentual chega a aproximadamente 70% (SUASSUNA, 1994).

O bioma Caatinga é o principal ecossistema existente na Região Nordeste, estendendo-se pelo domínio do clima semi-árido, numa área de 73.683.649 ha, 6,83% do território nacional; ocupa parte dos estados da BA, CE, PI, PE, RN, PB, SE, AL, MA e MG. A Caatinga é dominada por tipos de vegetação com características xerofíticas – formações vegetais secas, que compõem uma paisagem cálida e espinhosa – com estratos compostos por gramíneas, arbustos e árvores de porte baixo ou médio (3 a 7 metros de altura), caducifólias, com grande quantidade de plantas espinhosas,

entremeadas de outras espécies como as cactáceas e as bromeliáceas (IBAMA, 2006). A Caatinga tem sido ocupada desde os tempos do Brasil-Colônia com o regime de sesmarias e sistema de capitanias hereditárias. Os ecossistemas do bioma Caatinga encontram-se bastante alterados, com a substituição de espécies vegetais nativas por cultivos e pastagens. O desmatamento e as queimadas são ainda práticas comuns no preparo da terra para a agropecuária que, além de destruir a cobertura vegetal, prejudica a manutenção de populações da fauna silvestre, a qualidade da água, e o equilíbrio do clima e do solo. Aproximadamente 80% dos ecossistemas originais já foram antropizados (IBAMA, 2006).

Ao longo dos anos, as atuações pública e privada dotaram de infraestrutura para irrigação, respectivamente, 136.000 e 315.300 ha no Nordeste semi-árido (CHRISTOFIDIS, 2002 e BRASIL, 2005). O Nordeste semi-árido tem um potencial de área apta para irrigação de mais de 2,4 milhões ha, trabalhada com tecnologia adequada esta área que apresenta condições climáticas favoráveis de temperatura e luminosidade ao pleno desenvolvimento vegetal, constituiria-se num grande potencial para o agronegócio e, como tal, se transformaria no principal indutor do processo de desenvolvimento, promovendo alterações favoráveis no PIB regional, refletido na diminuição do fluxo migratório rural-urbano, no aumento do PIB per capita e no crescimento demográfico mais equilibrado. A agricultura irrigada cumpre um importante papel na região do semi-árido brasileiro onde gera em 1 hectare irrigado 0,8 a 1,2 emprego direto e 1,0 a 1,2 indireto, de forma consistente e estável, contra 0,22 empregos diretos na agricultura de sequeiro. Enfim, contribui para a redução da pobreza (BNB, 2001).

2.2 Desenvolvimento sustentável e qualidade do solo

Em 1987 foi publicado o relatório da Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecido como Relatório Brundtland ou Nosso Futuro Comum, que define desenvolvimento sustentável como sendo “aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades.”

Segundo Conway (1994), a sustentabilidade pode ser definida como a habilidade de um sistema em manter a sua produtividade ainda quando seja submetido a estresses, ou perturbações. Souza (1996) explica que a Sociedade Americana de Agronomia define a agricultura sustentável como aquela que no longo prazo promove a qualidade do meio ambiente e dos recursos básicos dos quais depende a agricultura, provê as fibras e alimentos necessários para o ser humano, é economicamente viável e melhora a qualidade de vida dos agricultores e da sociedade em conjunto. Muitos outros conceitos existem para definir desenvolvimento sustentável e maior parte compartilha a mesma idéia, sendo atualmente o maior desafio desenvolver sistemas sustentáveis, bem como métodos de avaliação da sustentabilidade dos sistemas.

Segundo Maser et al. (1999) um dos maiores desafios do desenvolvimento sustentável, especificamente no que se refere à agricultura sustentável, é a elaboração de metodologias aplicadas que permitam avaliar a sustentabilidade de diferentes projetos, tecnologias ou agroecossistemas em situações concretas. Observa-se, então, que este assunto é um campo vasto para a exploração científica. A sustentabilidade da agricultura irrigada no semi-árido garantiria o desenvolvimento econômico já conquistado, viabilizaria novos empreendimentos e reduziria os impactos ambientais desta atividade.

Hasen (1996) caracteriza diversos tipos de definições para a agricultura sustentável referindo-se aos pontos de vista de uma ideologia, de um conjunto de estratégias, da possibilidade para satisfazer certas metas ou como a habilidade de manter certas propriedades ao longo do tempo. No seu estudo, dentre outras conclusões, o autor afirma que, embora haja consenso na literatura sobre a importância do conceito de sustentabilidade para a agricultura, os critérios para se avaliar as respostas dos sistemas produtivos às mudanças orientadas para a sustentabilidade ainda não estão esclarecidos. Ressalta-se que há um consenso sobre a necessidade de implementação de um sistema de desenvolvimento sustentável, mas os conhecimentos e tecnologias sustentáveis empregadas precisam ser melhor desenvolvidos bem como os métodos de avaliação dos sistemas de produção na análise de sua sustentabilidade.

Nos últimos anos, a preocupação com a qualidade do solo tem crescido, na medida em que seu uso intensivo pode redundar na diminuição de sua

capacidade de manter uma produção biológica sustentável. A qualidade do solo tem sido definida como a capacidade de um tipo específico de solo, integrando um sistema natural ou agroecossistema, sustentar a produtividade agrícola e animal, manter ou garantir a qualidade da água e do ar, garantir a saúde humana e servir como suporte para habitação (KARLEN et al., 1997). Este conceito revela que o solo é um regulador dos impactos causados pelas atividades humanas e seu manejo contribui para a qualidade não apenas do próprio solo, mas de todo o ecossistema.

As funções do solo podem ser monitoradas através da avaliação da qualidade do solo, esta como resultado informa se o solo cumpre bem ou não a sua função. A verificação da qualidade do solo está diretamente relacionada com a sua função, o que é identificado como uma boa qualidade para uma determinada função pode não ser adequado para outro uso do solo.

A qualidade do solo não pode ser medida diretamente, mas pode ser aferida por meio de atributos do solo que servem como indicadores de qualidade do solo, segundo Santana & Bahia Filho (1998), a avaliação da qualidade do solo pode ser realizada pelo monitoramento de seus atributos ou características físicas, químicas e biológicas. Esta requer a seleção de atributos que possam servir como indicadores da qualidade do solo. Um bom indicador deve integrar vários processos e propriedades do solo e ser de fácil determinação. Walker et al. (1996) ressaltam que indicadores ambientais são atributos mensuráveis do ambiente que podem ser monitorados via observação e amostragem de campo, sensoriamento remoto, compilação de uma base de dados ou combinação desses métodos. Devem ser precisos e exatos em descrever uma função particular do ambiente e servir para assinalar mudanças no ambiente. Um importante critério de seleção do indicador de qualidade do solo está associado ao ecossistema onde será feita a avaliação.

A escolha dos atributos do solo que funcionarão como indicadores de qualidade do solo ainda não encontra referenciais seguros e a pesquisa tem uma grande missão para selecionar os melhores indicadores para cada região e que formarão o índice de qualidade do solo mais adequado para a função do solo avaliada.

2.3 Índice de qualidade do solo e variabilidade dos atributos do solo

Um bom índice de qualidade do solo deve avaliar a capacidade produtiva e a função ambiental do solo considerando a característica de cada região, fornecendo informações para o desenvolvimento de práticas sustentáveis de manejo para diferentes solos, climas, culturas e fatores sócio-econômicos (NORTCLIFF, 2002). Instrumentos de manejo que integrem e interpretem um complexo de informações, indicadores de qualidade do solo, podem ser muito útil para a tomada de decisão (BEINNAT & NIJKAMP, 1998). Tornar a avaliação da qualidade do solo mais objetiva é função do índice de qualidade do solo onde os valores de cada indicador são associados a uma nota ou classe definida. Índices de qualidade do solo são instrumentos que transformam informações complexas em informação de fácil entendimento. Um índice pode indicar uma tendência clara a partir de resultados de muitos indicadores conflitantes. O índice de qualidade do solo é uma ferramenta para a adaptação do manejo do solo, define a qualidade do solo possibilitando uma avaliação do seu estado pontualmente ou a evolução de sua qualidade ao longo do tempo informação que pode ser usada para uma análise do manejo do solo implementado (KARLEN et al., 2001).

Na construção de índices, muitos métodos são utilizados para ponderar as variáveis. O objetivo é obter pesos que traduzam a importância das variáveis. Em análise estatística, uma medida de importância muito usada é a variância. De certa forma, a variância traduz a informação contida na variável. Ao construirmos um índice como uma combinação linear de variáveis, é desejável que este tenha a maior variância possível, ou seja, que contenha o máximo de informação fornecida pelo conjunto de variáveis selecionadas. Um método que cria combinações lineares com essa propriedade (máxima variância) é a Análise de Componentes Principais (KUBRUSLY, 2001).

A variabilidade do solo é consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação. Além dos fatores e processos, práticas de manejo do solo e da cultura são causas adicionais de variabilidade. O manejo pode alterar atributos químicos, físicos, mineralógicos e biológicos, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo (BLEVINS et al., 1983; SETA et al., 1993). O conhecimento da distribuição espacial dos

atributos do solo em determinada área é importante para o refinamento das práticas de manejo e avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental (CAMBARDELLA et al., 1994), assim como é importante para a definição da intensidade de amostragem do solo para sua caracterização, possibilitando, dessa maneira, reduzir o erro-padrão da média, maximizando a eficiência da amostragem, e reduzir os custos e mão-de-obra do trabalho.

2.4 Atributos físicos

O cultivo do solo altera alguns atributos físicos, tais alterações são mais pronunciadas nos sistemas convencionais de preparo do que nos conservacionistas, manifestam-se, em geral, na densidade do solo, volume e distribuição de tamanho dos poros e estabilidade dos agregados do solo, influenciando a infiltração da água, erosão hídrica e desenvolvimento das plantas. Os sistemas convencionais rompem os agregados na camada preparada e aceleram a decomposição da matéria orgânica, refletindo negativamente na resistência dos agregados do solo (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990).

O solo sob sistema agroflorestal apresenta menor densidade do solo, maior porosidade, menor resistência à penetração e maior estabilidade de agregados, quando comparado ao mesmo solo sob sistema de plantio convencional (CARVALHO et al., 2004).

Resultado semelhante foi obtido por Cunha et al. (2001), estes autores observaram que a densidade do solo: apresentou uma tendência de aumento nos horizontes superficiais e sub-superficiais, nos perfis cultivados por um ano (soja), por dois anos (soja-milho) e por três anos (soja-milho-soja) em comparação ao solo sob vegetação nativa de cerrado. Provavelmente tal alteração foi decorrente da ação de implementos agrícolas utilizados (arados e grades), seja pulverizando os agregados nos horizontes superficiais e aumentando a densidade de acomodação do solo, seja promovendo a compactação mecânica dos horizontes subsuperficiais (pé de grade/arado). A porosidade total não foi alterada até o segundo ano de plantio, quando

comparado à mata. Entretanto, a partir do terceiro ano, verificou-se uma sensível diminuição nos valores da porosidade total, atingindo perda de até 7%.

A influência do manejo do solo nos atributos físicos foi observada por Bertol et al. (2004), estes autores observaram alterações nas propriedades físicas do solo em função do manejo, em que: na camada de 0-10 cm, a densidade do solo foi maior na semeadura direta do que no preparo convencional e campo nativo, enquanto, nas camadas subsuperficiais, esta variável apresentou valores maiores no preparo convencional do que na semeadura direta e campo nativo. Concluiu-se que o preparo convencional implica maior degradação do solo do que a semeadura direta.

O manejo do solo pode promover à compactação, ou mesmo adensamento, dificultando a movimentação de água e ar no perfil do solo. O termo “compactação” refere-se à compressão do solo não saturado, durante a qual ocorre um aumento da densidade, em consequência da redução de volume do espaço poroso pela expulsão do ar. Adensamento, por sua vez, é o fenômeno de deposição de partículas menores no espaço poroso, devido à desagregação da estrutura física do solo, causando aumento da massa de determinada porção do solo e mantendo constante o volume inicial, o que causa, também, aumento da densidade do solo, porém sem participação direta da pressão (DIAS JR. & PIERCE, 1996).

Em solos muito compactados, pode ocorrer rapidamente a depleção de água e de nutrientes disponíveis ao sistema radicular que explora um pequeno volume de solo. Por outro lado, em solos com baixos valores de densidade, o crescimento deficiente de plantas pode ser devido a menor absorção de nutrientes em consequência do baixo contato solo-raiz (STIRZAKER et al., 1996). Em solos compactados ocorre alteração da estrutura e, conseqüentemente, decréscimo da porosidade, da macroporosidade, da disponibilidade de água e nutrientes e da difusão de gases no solo, cujas relações com o desenvolvimento das raízes são fundamentais (TAYLOR & BRAR, 1991).

A redução de produção das culturas em solos compactados é consequência de uma baixa taxa de alongamento celular e do aumento do número de células, alargando assim o diâmetro radicular. Esta redução no comprimento radicular causa uma exploração de um menor volume de solo, diminuindo a absorção de água e nutrientes, o que proporciona menor

produtividade em solos compactados (BENGHOUGH & MULLINS, 1990). Segundo Pabin et al. (1998), a redução de 40% no comprimento radicular é crítica à produtividade das plantas em solo arenoso.

A compactação do solo influenciando o desenvolvimento de duas cultivares de arroz de terras altas foi avaliada por Guimarães & Moreira (2001), em experimento realizado em casa de vegetação, utilizando-se um Latossolo Vermelho-Escuro, de textura franca, com densidades do solo de 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6 e 1,7 kg dm⁻³. Estas densidades foram produzidas artificialmente, na camada de 0-20 cm de profundidade, em colunas de solo com 24,4 cm de diâmetro. O solo foi mantido em potencial da água superior a -0,035 MPa. O comportamento do arroz foi avaliado aos 40 dias após a emergência, por meio de parâmetros da parte aérea e radicular da planta. O crescimento da parte aérea do arroz de terras altas diminuiu com o aumento da densidade do solo a partir de 1,2 kg dm⁻³; as raízes na camada compactada de 0-20 cm de profundidade apresentam engrossamento, em razão do aumento da densidade do solo; e a compactação superficial do solo diminuiu a quantidade de raízes presentes nesta camada e na camada inferior não compactada de 20-40 cm de profundidade. A massa seca da parte aérea foi reduzida com o aumento da densidade do solo. Observou-se que a quantidade de massa seca da parte aérea sofreu redução de 35,8%, em consequência do aumento da densidade do solo, entre 1,2 e 1,7 kg dm⁻³ (GUIMARÃES & MOREIRA, 2001).

O comprometimento do desenvolvimento vegetal devido a compactação do solo foi também observado por Foloni et al. (2003) em avaliação do desenvolvimento aéreo e radicular de duas cultivares de milho (*Zea mays* L.), em solo submetido a quatro níveis de compactação, utilizando-se um Latossolo Vermelho-Escuro distroférico de textura média, em vasos montados com anéis de PVC sobrepostos, com diâmetro interno de 14,5 cm e altura de 35 cm. Os níveis de compactação utilizados em sub-superfície foram caracterizados pelas densidades do solo de 1,28; 1,42; 1,56 e 1,69 Mg m⁻³. As cultivares de milho foram o híbrido AG-5011 e a variedade Sol da Manhã. Aos 40 dias após a emergência das plantas observou-se que o sistema radicular do milho não é capaz de romper uma camada compactada de solo com resistência mecânica da ordem de 1,4 MPa, correspondendo a densidade de 1,69 Mg m⁻³, apresentando neste tratamento uma redução do crescimento da parte aérea

das plantas de milho, em média, de aproximadamente 20% (FOLONI et al., 2003).

Resultado semelhante de diminuição do desenvolvimento vegetal devido a compactação do solo foi apresentado por Beutler & Centurion (2004), estes autores avaliaram o efeito da compactação e adubação do solo na produtividade de soja (*Glycine max* cv. Embrapa 48) em um Latossolo Vermelho de textura média em condições de campo, em Jaboticabal, SP. Com incremento da compactação do solo decresceu o desenvolvimento e produtividade de soja e os efeitos foram mais pronunciados no solo sem adubação, indicando que a adubação aumenta a tolerância da soja à compactação. Os autores observaram que o aumento da compactação elevou a densidade radicular e a massa de matéria seca das raízes, na camada de 0,0–0,05 m, e causou decréscimo linear nas camadas mais compactadas de 0,05–0,10 e 0,10–0,15 m. A partir do decréscimo de 18% da densidade radicular, na resistência do solo à penetração de 0,85 MPa, na camada de 0,05–0,15 m, ocorreu redução na produtividade de grãos da soja.

A compactação e o adensamento do solo apresenta grande relação com o movimento da água no solo. Este é resultado de muitos fatores entre os quais são de grande importância a densidade do solo e a proporção de macro e microporoso, portanto a relação entre estas variáveis e o movimento da água no solo é intensa e os efeitos da compactação ou adensamento do solo atingem a infiltração e percolação da água no solo além do desenvolvimento radicular. Sales et al. (1999) avaliaram a associação da velocidade de infiltração básica (VIB) com outras propriedades físicas das camadas superficial e sub-superficial de um Latossolo Roxo e um Podzólico Vermelho-Amarelo. Para tanto, delineou-se um plano amostral, consistindo de uma rede cujas malhas apresentaram espaçamentos variáveis. Nos pontos de interseção das malhas determinou-se a VIB e, posteriormente, coletaram-se amostras com estrutura deformada e indeformada nas camadas de 0-20 e 60-80 cm. Com essas amostras determinou-se a textura, densidade do solo e de partículas, porosidade total, macro e microporosidade e condutividade hidráulica do solo saturado. Tanto a condutividade hidráulica do solo saturado quanto a densidade do solo se mostraram adequadas para estimar a VIB desses solos.

O efeito da compactação sobre o movimento da água no solo foi verificado por Stone et al. (2002) para isto, utilizaram-se colunas de solo compactadas artificialmente, para produzir densidades do solo de 1,0; 1,2; 1,4 e 1,6 kg dm⁻³. As propriedades de transmissão de água foram determinadas com infiltrômetros de tensão, para as cargas de pressão de -0,5; -2,0 e -6,0 cm de água. O aumento da densidade do solo aumentou sua resistência à penetração e reduziu linearmente a porosidade total e a macroporosidade. Houve ainda, redução no tamanho dos poros para o fluxo de água, reduzindo a condutividade hidráulica do solo. Esta redução foi mais acentuada na maior carga de pressão testada. Com a carga de pressão de -2,0 cm de água, a redução no tamanho dos poros foi parcialmente compensada com aumento do seu número. Nos perímetros irrigados do Vale do São Francisco há a prática de fruticultura, com pouca movimentação de solo, e culturas de ciclo curto, com manejo convencional de aração e gradagem do solo. A comparação destes sistemas de cultivo entre si e com a vegetação nativa oferecerá informações importantes para a avaliação da qualidade do solo, principalmente em relação aos atributos físicos.

Interessados em avaliar a influência de diferentes usos e manejos de solo Portela et al. (2001) avaliaram as alterações em atributos físicos de um Latossolo-Amarelo álico coeso, do ecossistema Tabuleiros Costeiros, em função do uso (citros, mandioca e mata) com base em amostras de solo com estrutura indeformada, coletadas aleatoriamente na profundidade de 0,10 e 0,30 m, em cada tratamento. Nas amostras coletadas à 0,10 m, observou-se que, no citros ($D_s = 1,59 \text{ kg dm}^{-3}$), o manejo compactou o solo de maneira mais intensa que na mandioca ($D_s = 1,42 \text{ kg dm}^{-3}$), o solo sob mata ($D_s = 1,34 \text{ kg dm}^{-3}$) apresentou a menor densidade do solo. Observou-se, também, que o aumento da densidade do solo proporcionou menor quantidade de água disponível nos sistemas em estudo.

Com o mesmo objetivo Lemenih et al. (2005) avaliaram as propriedades físicas do solo influenciadas pelo desmatamento, de uma floresta tropical seca (média de chuvas anuais de 1.200 mm), e incorporação a sistemas agrícolas observados em uma cronoseqüência, em diferentes períodos de incorporação ao sistema produtivo (7, 10, 26, 34 e 53 anos), em fazendas localizadas próximas entre si. Constatou-se um significativo aumento da densidade do solo

e uma redução significativa da porosidade total dos sistemas de cultivo em comparação com a área sob floresta.

Entretanto Barreto et al. (2006) não observaram diferenças entre as propriedades físicas de um solo sob Mata Atlântica, quando comparado com a cultura do cacau e com pastagem. Contudo, deve-se ressaltar que na cultura do cacau, realiza-se apenas o raleamento da mata, em que parte da vegetação nativa é mantida, e as gramíneas utilizadas em pastos são plantas que fornecem elevados teores de carbono, atuando na estruturação e, portanto, na manutenção dos agregados e dos valores de densidade do solo.

Na agricultura mecanizada, máquinas e implementos exercem pressões podendo causar um rearranjo dos componentes sólidos do solo, desestruturando e compactando-o, diminuindo, assim, sua porosidade. Deste modo, verifica-se, com o tempo, maior densidade do solo sob manejo agrícola em relação ao encontrado em condições naturais (ANJOS et al., 1994; BARBER et al., 1996).

Souza et al., (2005) avaliaram atributos físicos em um Neossolo Quartzarênico, sob diferentes usos: milho, soja, pastagem, integração lavoura pecuária e cerrado antropizado. Estes autores observaram que nesse solo ocorreu uma redução no volume total de poros e na macroporosidade e aumento na densidade do solo em todas as áreas estudadas, quando comparadas com o cerrado nativo, com exceção do cerrado antropizado para as variáveis porosidade total e macroporosidade. Obtiveram-se reduções no volume total de poros de, até, 19%, na área sob pastagem, em relação ao cerrado nativo. Possivelmente a mecanização do solo e o pisoteio do gado contribuíram para a diminuição da qualidade do solo.

Geralmente, as práticas de manejo têm maior impacto sobre as propriedades físicas de solos arenosos do que de solos argilosos. Nesse sentido, Silva & Mielniczuk (1997) verificaram redução do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de 71 % num Argissolo Vermelho (220 g kg^{-1} de argila) e de 47 % num Latossolo Roxo (680 g kg^{-1} argila), quando passaram de uma condição de campo nativo para preparo convencional com culturas anuais e aração e gradagem.

Segundo Hamblin (1985), o processo de desagregação do solo pode causar impedimento ao crescimento das raízes das plantas e ao movimento da água no perfil do solo, limitando, assim, a produtividade das culturas. Em solos

de textura arenosa o movimento da água no solo não é fator limitante uma vez que estes, normalmente, são excessivamente drenados. O aumento da densidade pode ser um fator crítico e deve ser observado, bem como a redução da CTC da camada superficial pela eluviação da argila.

O uso do solo influenciando o grau de flocculação de argila, entre outros atributos do solo, foi avaliado por Prado e Natale (2003), estes autores avaliaram as alterações nas propriedades físicas e químicas e de um Latossolo Vermelho distrófico, originalmente sob vegetação de cerrado, submetido ao cultivo contínuo de *Pinus* e culturas anuais. Os tratamentos foram constituídos por três tipos de manejo do solo: cerrado natural, cultivo contínuo, com reflorestamento de *Pinus*, e por culturas anuais em sistema de plantio direto. Segundo estes autores o maior grau de flocculação ocorreu na vegetação nativa, seguida do reflorestamento e do sistema plantio direto; nas camadas superficiais (0-10 cm e 10-20 cm), o reflorestamento apresentou grau de flocculação semelhante à vegetação nativa, ao passo que nas camadas sub-superficiais esse fato não ocorreu, sendo a vegetação nativa significativamente superior aos demais manejos. O grau de flocculação reduziu da camada (0-10 cm) para as mais profundas. Isso ocorreu provavelmente pela menor contribuição da matéria orgânica nas camadas mais profundas do que na superficial, pois esta última é mais beneficiada com a deposição dos restos vegetais, e, conseqüentemente, maior acúmulo de matéria orgânica.

Alterações no grau de flocculação em função do uso do solo foram observadas por outros autores. Prado e Centurion (2001) avaliaram o grau de modificação de algumas propriedades físicas e da cor do horizonte superficial de um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, submetido ao cultivo contínuo com cana-de-açúcar durante 25 anos, em Jaboticabal, SP. Os tratamentos foram constituídos por dois tipos de uso do solo, ou seja, ausência de cultivo (vegetação nativa) e cultivo intenso com cana-de-açúcar e por três profundidades no perfil, 0-10, 10-20 e 20-30 cm. O cultivo intenso e contínuo em relação a vegetação nativa degradou a macroestrutura, reduzindo significativamente o grau de flocculação da argila do solo. Na vegetação nativa, o grau de flocculação foi maior do que na cana-de-açúcar, provavelmente por receber maior contribuição da matéria orgânica, já que na vegetação nativa o seu teor foi 30% maior do que na cana-de-açúcar.

A incorporação de áreas sob vegetação nativa a sistemas agrícolas, normalmente, provoca a diminuição do grau de floculação de argila como também foi observado por Rosa Junior et al. (2006) em amostras de um Latossolo Vermelho Distroférico, coletadas sob três condições de uso: culturas anuais, pastagem e vegetação nativa. Segundo estes autores os valores de grau de floculação foram influenciados pelo uso do solo, foi significativamente menor para as condições sob culturas anuais do que para os solos sob pastagens e vegetação nativa que não apresentaram diferença significativa entre si.

Dessa forma, o conhecimento das propriedades físicas de solos irrigados no semi-árido poderá fornecer subsídios para a compreensão dos processos em andamento, informação que poderá contribuir para ajuste nas técnicas de manejo do solo evitando a degradação deste recurso escasso no Nordeste do Brasil.

2.5 Atributos químicos

A produção mundial de alimentos dobrou nos últimos 35 anos, acompanhada pela área irrigada, que também dobrou no mesmo período (TILMAN, 1999).

Em região semi-árida, a salinidade e sodicidade do solo são problemas de ocorrência significativa no agroecossistema irrigado, desse modo atributos que reflitam a salinidade e sodicidade do solo devem ser incluídos na análise da qualidade do solo. Nas regiões Norte, Sul, Centro-Oeste e quase todo o Sudeste do Brasil, os solos são pouco sujeitos a se tornarem salinos e sódicos, mesmo que tenham deficiência de drenagem subterrânea. Nessas áreas, o grande volume de água das chuvas lixivia os sais que poderiam se acumular durante a irrigação. No entanto, o mesmo não acontece no Nordeste semi-árido e em parte do norte de Minas Gerais, que são regiões de clima propício ao acúmulo de sais nos solos, principalmente quando irrigados.

A prática da agricultura irrigada em regiões semi-áridas é uma atividade de risco potencial para a qualidade do solo. Quando mal planejada, apresenta risco de degradação de solos pela salinização e ou sodificação. Fatores como

profundidade do solo, altura do lençol freático, qualidade da água, teor original de sais no solo, drenagem e lixiviação dos sais do solo, devem ser observados para um manejo sustentável do solo irrigado, principalmente em uma região com alta evapotranspiração. Os efeitos nocivos da salinidade são a toxicidade causada por elevada concentração de elementos químicos no solo, especialmente Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} e Cl^- , diminuição do potencial osmótico da água no solo, o que reduz a absorção de água pelas culturas e perda da estrutura do solo, quando ocorre especificamente o aumento da percentagem de sódio trocável (PST).

A escolha de áreas para compor perímetros irrigados nem sempre foi suficientemente embasada em critérios técnico-econômicos (Oliveira et al., 2002). Ainda de acordo com estes autores, este fato, associado à falta de habilidade de parte dos irrigantes no manejo da irrigação e às peculiaridades edafoclimáticas do Nordeste brasileiro, muito têm contribuído para o processo de degradação de solos da região.

A degradação de solos por sais foi identificada por Chaves et al. (1998) que constataram a ocorrência de problemas de salinidade ($\text{CEes} > 4 \text{ dS m}^{-1}$) e sodicidade ($\text{PST} > 8\%$) em, aproximadamente, 19% e 52%, respectivamente, em Vertissolos, solos Aluviais eutróficos e Podzólicos Vermelho-Amarelos eutróficos, totalizando 13.568 ha de área circunvizinha ao canal Coremas/Sousa, Estado da Paraíba, uma área expressiva em que a vegetação natural removida dá lugar a solos com produtividade comprometida pela elevação dos teores de sais.

Os problemas ambientais de degradação de solos e econômicos devido ao comprometimento da qualidade dos solos afetado por sais levou outros autores a investigarem a abrangência deste problema na região de São Gonçalo/Baixada de Sousa um dos principais centros agrícolas do Estado da Paraíba. O manejo inadequado das terras e da irrigação tem sido responsável pela redução do rendimento das culturas e pela degradação dos solos, por salinização. Com o uso de imagens TM/Landsat-5 (análise visual e processamento digital), de medidas superficiais de temperatura e de um SIG na identificação e mapeamento de solos afetados por sais foi constatado que, ao longo dos últimos anos, houve incremento da área de solos degradados pela salinização e, hoje, aproximadamente 39,48% da área estudada apresenta ocorrência de solos afetados por sais (LIMA et al., 2001).

A quantidade de matéria orgânica de uma área serve de base para inferências sobre a qualidade do solo e por isso tem sido amplamente utilizada em estudos de sistemas agrícolas, principalmente em comparação com ambientes naturais. A matéria orgânica no solo (MOS) apresenta-se como um sistema complexo de substâncias, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e por uma transformação contínua sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos. A fração orgânica inclui resíduos de plantas, animais e microrganismos (vivos e em vários estádios de decomposição) e o húmus relativamente estável.

A diminuição do teor de matéria orgânica do solo tem efeito negativo, principalmente sobre a capacidade de troca de cátions, disponibilidade de nutrientes, estabilidade de agregados e atividade microbiana (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

A magnitude desta diminuição depende direta ou indiretamente do manejo do solo. A perturbação do sistema provocada pelos cultivos causa, normalmente, mais perdas do que ganhos de carbono, implicando na redução do seu teor ao longo do tempo e na degradação da qualidade do solo e da sustentabilidade agrícola. Os diferentes usos e manejos do solo são fatores importantes na definição dos teores de carbono do solo conforme avaliado por Galvão et al. (2005), estes autores analisaram as inter-relações de usos do solo, as posições no relevo e suas texturas com os teores totais de C (Ct) em 260 amostras simples de solo (0–20 cm) retiradas da microbacia Vaca Brava, Paraíba, pluviosidade média anual de 1.200 mm, em áreas de uso agropecuário (pastagem-capineira-roçado). O teor de carbono orgânico total decresceu na seqüência: pastagem > capineira > roçado.

Su (2007) observaram os efeitos dos usos do solo sobre os teores de carbono avaliando os efeitos de curto prazo no C orgânico do solo e compartimentos de N após um período de 4 anos de conversão de uma área sob cultivo contínuo de milho para Alfafa (*Medicago sativa*, L. Algonquin). Na camada de 0-5 cm foi significativa a diferença entre a área com alfafa e a área com cultura anual, apresentando a alfafa maiores valores de C e, N total. Considerando a camada de 0-20 cm, apenas o C foi significativamente maior na área cultivada com alfafa. A estimativa de seqüestro de carbono na camada de 0-20 cm foi de 0,57 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Considerando os resultados deste estudo, observou-se que a conversão de cultivos anuais para alfafa pode ser utilizada

no melhoramento da qualidade do solo com grande potencial para seqüestro de C e N que têm um papel crucial na qualidade do solo.

Solos tropicais geralmente contêm baixos teores de carbono, devido a elevada taxa de decomposição em ambientes com elevadas temperaturas e precipitações. Em ambiente semi-árido, a manutenção do carbono orgânico no solo torna-se ainda mais comprometida conforme pode ser observado pelos baixos valores encontrados por alguns autores $0,8 \text{ dag kg}^{-1}$ (TIESSEN et al., 1998), $1,05 \text{ dag kg}^{-1}$ (FRANCELINO et al., 2005), $0,48 \text{ dag kg}^{-1}$ (SU et al. 2004), $0,4 \text{ dag kg}^{-1}$ (CHAVES et al. 2006), $3,48 \text{ dag kg}^{-1}$ (MAIA et al. 2006), $0,24 \text{ dag kg}^{-1}$ (SILVA & CHAVES, 2001).

Para ilustrar o problema da rápida deterioração da fertilidade dos solos no semi-árido do Nordeste brasileiro após a remoção da caatinga, pode-se citar o estudo de Tiessen et al. (1994), que quantificaram o tempo médio de residência da matéria orgânica em solos de pradarias no Canadá e em um Latossolo em Araripina, PE. Nesse estudo, os autores observaram que na pradaria o cultivo agrícola era economicamente viável por um período de 65 anos após a remoção da vegetação nativa, enquanto que, após a remoção da caatinga, o cultivo agrícola já não era mais economicamente viável apenas seis anos depois.

A perda de carbono orgânico do solo, devido ao uso inadequado ou adoção de práticas de manejo que não favoreçam sua manutenção, pode causar declínio na qualidade do solo e provocar emissões de carbono na atmosfera (LAL, 2002). Por outro lado, o uso com manejo apropriado do solo pode aumentar a concentração de carbono orgânico, melhorando a qualidade do solo e, parcialmente, mitigando o aumento da concentração de CO_2 na atmosfera (PAUSTIAN et al., 1997; LAL & BRUCE, 1999; LAL, 2002). Nesta missão, pode-se adotar, por exemplo, a conversão de áreas degradadas ocupadas com culturas de ciclo curto por pastagens, aplicar o cultivo mínimo ao solo, rotação de culturas e estabelecer, dentro dos ciclos de rotação de culturas, consórcios de leguminosas e gramíneas (LAL & BRUCE, 1999; LAL et al., 1999; LAL, 2002).

A hipótese mais aceita estabelece um declínio no estoque de carbono orgânico após a conversão de florestas nativas em sistemas agrícolas (HOUGHTON et al., 1991). Essa redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo, aos processos mais acelerados de mineralização da matéria

orgânica e oxidação de carbono orgânico do solo e às menores quantidades de aportes orgânicos em sistemas manejados comparativamente a florestas nativas.

Leite et al. (2003) comprovaram esta hipótese e observaram que os estoques de carbono orgânico e nitrogênio total diminuíram após a mudança de Floresta Atlântica para agricultura. Realizaram experimento com os objetivos de (a) avaliar os efeitos de sistemas de produção de milho sob adubação orgânica e mineral nos estoques totais de carbono orgânico (COT) e nitrogênio (NT) e de compartimentos de carbono orgânico (C), em um Argissolo Vermelho-Amarelo, e (b) estimar a contribuição desses sistemas no seqüestro ou emissão de CO₂ atmosférico. Os sistemas de produção, durante 16 anos, constaram de combinações entre dois níveis (0 e 1) de composto orgânico, nas doses de 0 e 40 m³ ha⁻¹ (AO), e três níveis (0, 1 e 2) de adubo mineral, nas doses de 0, 250 (AM1), e 500 kg ha⁻¹ (AM2) da fórmula 4-14-8. Uma área sob Floresta Atlântica (FA) adjacente ao experimento foi amostrada e usada como referência de um estado de equilíbrio. Os sistemas de produção em que o composto orgânico foi adicionado apresentaram maiores estoques de COT, NT, carbono da fração leve (CFL) e carbono lábil (CL) do que os sistemas sem adubação ou apenas com adubação mineral, o que confirma a adubação orgânica como estratégia de manejo importante para a melhoria da qualidade do solo. No entanto, no solo sob FA, os estoques de COT, NT e dos compartimentos de C foram maiores do que aqueles observados nos sistemas de produção.

Resultados semelhantes foram encontrados por Bayer et al (2002), que verificaram uma redução no estoque de carbono na comparação de floresta subtropical com sistemas agrícolas apresentados em ordem decrescente de estoque de carbono: pastagem nativa > plantio direto > cultivo convencional. A transformação de sistemas naturais em áreas agrícolas representa, nas regiões tropicais, uma importante causa do aumento da concentração de CO₂ atmosférico, com efeitos sobre alterações climáticas em escala global, em análise mais ampla. Nos trópicos, a introdução de sistemas agrícolas em áreas com vegetação nativa resulta, geralmente, numa rápida perda de C orgânico, em virtude da combinação entre calor e umidade (SCHOLEN & BREEMEN, 1997).

Redução dos teores de matéria orgânica de solo sob vegetação nativa incorporado ao uso agrícola também foi identificada por Bayer et al. (2002) que avaliaram os efeitos de quatro sistemas de uso e manejo do solo (mata, campo nativo, preparo convencional e plantio direto na sucessão trigo/soja sobre (i) o estoque de carbono orgânico total (COT) (0-250mm), e nos (ii) estoques de carbono (C) em frações lábeis (grosseira, leve) e humificadas (associada aos minerais, substâncias húmicas) da MO na camada superficial (0-25mm) de um Latossolo bruno, no Sul do Brasil. Os estoques de carbono orgânico do solo observados foram 128,3, 122,0, 98,2, 82,1 Mg ha⁻¹, respectivamente para os seguintes usos e manejos mata, campo nativo, plantio direto e preparo convencional. Observou que os usos agrícolas (preparo convencional e plantio direto) e pecuário (campo nativo para pastagem) reduziram o carbono orgânico do solo em relação a mata. A maior diferença foi observada entre os usos mata e preparo convencional, em que o preparo convencional apresentou 36% (46,2 Mg ha⁻¹) menos COT na camada de 0-250mm. O sistema plantio direto resultou num ambiente biologicamente menos oxidativo, apresentando aproximadamente 16 % a mais de carbono orgânico no solo em relação ao preparo convencional. Ressalta-se a importância do manejo do solo, este em suas variadas técnicas como plantio direto, cultivo mínimo, adubação verde e manutenção de cobertura morta, possibilita a estabilização ou aumento da matéria orgânica do solo.

Na região semi-árida alguns autores também observaram que a substituição da vegetação nativa, caatinga, por culturas agrícolas ocasionou expressivo decréscimo nos teores de carbono do solo. Entre estes autores Tiessen et al. (1992), em um Latossolo em Araripina, PE, encontraram perdas de até 40% do C do solo seis anos após o corte e queima da caatinga para o estabelecimento de cultivos agrícolas. De forma semelhante, Fraga & Salcedo (2004) selecionaram dez localidades na Paraíba e Pernambuco e compararam a fertilidade do solo em áreas sob caatinga com outras áreas sob cultivos agrícolas ou pastagens e observaram que os solos das áreas desmatadas possuíam apenas a metade do C orgânico quando comparados com os das áreas de caatinga. Confirmando estes resultados Tiessen et al. (1998) apresentaram uma revisão sobre carbono orgânico do solo e produção de biomassa na região semi-árida do nordeste brasileiro, segundo os autores, observou-se um teor de 8 g kg⁻¹, ou 20 Mg ha⁻¹ nos solos sob caatinga, sob

cultivo este valor diminui aproximadamente à metade antes de ser abandonado e substituído por outra área em sistema de rotação. Destaca-se que o estudo avaliou sistemas produtivos de sequeiro de baixas entradas.

Entretanto, em outros ecossistemas pode-se esperar resultado diferente do encontrado pelos autores acima. Quando a vegetação original é o cerrado nativo, as reduções no teor de C orgânico em decorrência de intervenções antrópicas têm sido menores do que em solos sob mata (TOGNON et al., 1997), podendo, até mesmo, haver a manutenção dos teores iniciais (SILVA, 1997).

Este resultado foi observado por Andréa et al. (2004), estes autores avaliaram alterações nos teores e no estoque de C orgânico e N total do solo, e nas suas formas nítrica e amoniacal, em sistemas de manejo implementados em área de cerrado nativo. Foram coletadas amostras no Município de Morrinhos, GO, num Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa, em cinco profundidades, nos sistemas: cerrado nativo, pastagem de *Brachiaria* sp., plantio direto irrigado com rotação milho-feijão e arroz-tomate, plantio convencional de longa duração e plantio convencional recente após pastagem. Não houve diferença significativa nos teores e no estoque de C e N totais do solo, embora o plantio convencional de longa duração tenha apresentado variações negativas no estoque de C em relação ao cerrado nativo até 20 cm de profundidade, ao contrário dos sistemas com menor revolvimento. A pastagem e o plantio direto, desde que com esquema diversificado de rotação de culturas, são promissores para aumentar os estoques de C orgânico do solo. Analisando-se os resultados apresentados observa-se que o manejo é um fator importante na manutenção da matéria orgânica do solo.

A interferência dos sistemas agrícolas sobre o estoque de carbono do solo é, portanto, variável de acordo com o ecossistema e manejo utilizado, sendo importante uma avaliação em área de clima semi-árido onde ocorreu a substituição da vegetação nativa de caatinga hiperxerófila por cultivos irrigados.

Quando a irrigação é inserida no semi-árido, altera-se todo o sistema original de manejo dos solos, com a introdução de umidade, acrescida de sais contidos na água, bem como o maior revolvimento do solo contribuindo para a alteração das propriedades físicas e químicas, bem como a produtividade dos solos. As alterações provocadas pelos diferentes usos e manejos de solo nesta região que apresenta características dos solos e clima peculiares devem ser

estudadas para a proposição de modelos sustentáveis maximizando a produção e evitando degradação dos recursos naturais.

Na seleção de indicadores de qualidade do solo a facilidade da determinação da variável é um fator importante otimizando recursos e tempo. O pH do solo atende estes requisitos e adicionalmente é uma variável que ocupa lugar de destaque por indicar a situação e por influenciar diversos outros atributos do solo de maneira significativa. O pH como indicador de outras variáveis foi observado por Fageria (2000), este autor verificou que em solos de elevado pH, observa-se, normalmente, altos teores de Ca, Mg e saturação por bases, e baixos os teores de H + Al e Al.

O pH influencia a solubilidade, a concentração em solução e a forma iônica dos nutrientes no solo e, conseqüentemente, a absorção e utilização deles pela planta (MCBRIDE & BLASIAK, 1979; FAGERIA et al., 1997). A influência do pH sobre a absorção de nutrientes foi observada por Fageria (2000) avaliando o efeito do pH do solo sobre a produção e absorção de nutrientes por três cultivares de arroz de terras altas num Latossolo Vermelho-Escuro, textura franco-argilosa de cerrado, em experimento de casa de vegetação, este autor observou que a produção de matéria seca, de grãos e a absorção de nutrientes foram significativamente influenciadas pelo pH do solo. O pH no qual se deu a máxima produção de matéria seca e de grãos foi de 5 e 5,4, respectivamente, na produção de matéria seca e grãos, apresentando uma significativa redução com o aumento do pH. A absorção máxima de nutrientes ocorreu entre os valores de pH de 4,6 a 5,5, indicando que as cultivares de arroz de terras altas avaliadas são bastante tolerantes à acidez do solo, produzindo satisfatoriamente sob pH entre 5 e 5,5.

A disponibilidade de fósforo (P) em função do pH foi observada por Fageria (1984), este autor verificou que o valor de pH em que ocorre maior disponibilidade de P em solos de cerrado está em torno de 6,0, sendo observado que a disponibilidade desse nutriente foi extremamente dependente do pH do solo.

A absorção de macro e micronutriente em função do pH foi observada por Caires et al. (2003) ao estudar a produtividade de grãos, óleo e proteína e a composição mineral de grãos de soja, em função da calagem na superfície, em semeadura direta. Instalaram um experimento em Latossolo Vermelho distrófico textura média, em Ponta Grossa-PR, em julho de 1993. Foram

aplicadas quatro doses de calcário dolomítico, nas parcelas, em superfície (0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹) e, em junho de 2000, reaplicadas duas doses de calcário dolomítico, nas subparcelas, em superfície (0 e 3 t ha⁻¹). As variações de P e Zn nos grãos estiveram relacionadas significativamente ($P < 0,01$) com o aumento do pH.

A acumulação de alguns micronutrientes pelas plantas diminui significativamente com o aumento de pH, o que pode estar relacionado com a adsorção ou precipitação desses, como observado por Fageria (2000), para Zn, Fe e Mn. Tisdale et al. (1985) relataram que a disponibilidade de Mn e de Zn diminui cerca de 100 vezes com o aumento de uma unidade de pH, e a de Fe, 1.000 vezes. Rosolem et al. (1998) observaram menor produção de matéria seca de raízes e de parte aérea de algodoeiro quando a saturação por bases foi elevada a mais de 60%, correspondendo a um pH (CaCl₂ 0,1 M) maior que 5,2 que induziu deficiência de Zn.

O efeito do pH sobre disponibilidade de micronutriente também foi investigado por Consolini & Coutinho (2004), estes autores realizaram, em casa de vegetação, um experimento para estudar o efeito do pH do solo e de doses de Zn em três solos, na disponibilidade de Zn para o milho. Os solos foram classificados como Latossolo Vermelho Distroférico, Latossolo Vermelho Distrófico e Neossolo Quartzarênico. Os valores de pH em CaCl₂ (original, 4,9; 5,9 e 6,6) foram obtidos com a aplicação de CaCO₃ e MgCO₃. As doses de Zn (0, 5 e 10 mg kg⁻¹) foram fornecidas com ZnSO₄. O aumento do pH do solo influenciou a produção de matéria seca e os teores de Zn na planta. A quantidade de Zn acumulada na matéria seca das plantas diminuiu com a elevação do pH (CONSOLINI & COUTINHO, 2004).

As culturas agrícolas têm um valor de pH em que sua produtividade é maximizada, Fageria (2001) conduziu um experimento de campo por quatro anos consecutivos (1995/96 a 1998/99) para avaliar a resposta das culturas de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por bases em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (LEd) (Oxissolo) cultivados em sistema de sucessão. Ocorreu aumento significativo na produção de grãos de feijão, milho e soja com o aumento da saturação por bases; entretanto, a produção de arroz não foi influenciada significativamente pelos tratamentos. O pH adequado para o arroz foi de 5,6; para o feijão de 6,2; para o milho de 6,4 e, para a soja, foi de 6,8.

Silva & Vale (2000) avaliaram os efeitos da calagem e de fontes e doses de N sobre a disponibilidade de nitrato, em amostras (0-20 cm) de solos brasileiros. Os dados relativos aos teores de amônio e nitrato, nos três níveis de acidez de solo testados, demonstraram que na ausência de calagem, a intensidade da nitrificação foi reduzida, com predominância de amônio. A calagem afeta a nitrificação, sendo verificada uma produção média de 11,6 mg kg⁻¹ de nitrato nos solos onde não se adiciona calcário, e de 62,7 mg kg⁻¹ onde a acidez é corrigida.

As propriedades químicas de solos do semi-árido apresentam peculiaridades bastante diferenciadas em relação aos demais solos, sendo necessário um conhecimento mais detalhado destes para que se possa caracterizar os principais fatores que atuam na sua capacidade produtiva.

Sampaio et al. (1995) apresentou uma sistematização de dados referentes à fertilidade do solo na região semi-árida do nordeste brasileiro. Os autores observaram que o fósforo é um elemento limitante à prática da agricultura, devido aos baixos teores encontrados nos estados nordestinos, de modo geral, exceção ao Maranhão que não fez parte do estudo. Ainda nesta sistematização observou-se que o potássio apresenta necessidades médias de reposição e a necessidade de calcário destes solos é baixa.

A manutenção da fertilidade do solo é um importante fator para a conservação do solo, proporciona o desenvolvimento vegetativo mais expressivo conferindo mais proteção física ao solo e aumenta a incorporação de matéria orgânica benéfica a propriedades físicas e químicas.

Na Etiópia a degradação de terras pela erosão e diminuição da fertilidade do solo é um grande desafio para a produtividade agrícola e crescimento econômico. Muitos estudos têm sido feitos para quantificar o nível, a taxa e determinar os processos da diminuição da fertilidade do solo sob diferentes usos e práticas de manejo neste país. Lemenih et al. (2005) avaliaram as propriedades físicas e químicas do solo influenciadas pelo desmatamento, de uma floresta tropical seca (média de chuvas anuais de 1.200 mm), e incorporação a sistemas agrícolas observados em uma cronoseqüência, diferentes períodos de incorporação ao sistema produtivo (7, 10, 26, 34 e 53 anos), em fazendas localizadas próximas entre si. Observou-se que o fósforo disponível e o potássio trocável na camada de 0-10 cm aumentaram 12,8 mg kg⁻¹ (>207%) e 1,56 cmol_c kg⁻¹ (>200%), respectivamente

durante os primeiros 10 anos nos sistemas cultivados resultados contrários ao pressuposto de diminuição da fertilidade do solo. O cálcio trocável e a capacidade de troca de cátions diminuíram na camada de 0-10 cm, porém aumentaram na camada de 10-20 cm, desse modo considerando-se a camada de 0-20 cm estas variáveis se mantiveram estáveis nos sistemas de cultivo ao longo da cronosequência em relação à floresta. Comportamento semelhante apresentou o carbono e nitrogênio totais de diminuição do teor na primeira camada (0-10 cm) e acréscimo na segunda (10-20 cm) apresentando redução significativa, em relação à vegetação nativa, apenas após 26 anos de cultivo (LEMENIH et al., 2005).

As propriedades dos solos são influenciadas pelo sistema de uso, em que algumas podem ser melhoradas com acréscimos de nutrientes em solos naturalmente pobres, enquanto que outras podem ser atingidas negativamente, como a densidade, a porosidade e a condutividade hidráulica.

Os atributos do solo podem variar de maneira expressiva em função do uso do solo, Su et al. (2004) com o objetivo de estudar as mudanças em atributos do solo em função de diferentes usos avaliaram o sistema de pastagem (SP), a transformação desta área em cultivo de ciclo curto por três anos (CCC3) e pousio de uma área de pastagem por cinco anos (PO5). A pastagem da área de estudo encontrava-se degradada e fazia parte de solos arenosos da região semi-árida de Horgin, China. O cultivo de ciclo curto resultou em uma redução de 18-38 % do carbono orgânico do solo, nitrogênio e fósforo total na camada de 0-15 cm. O pousio por cinco anos resultou em significativas melhorias nos atributos do solo na camada de 0-7,5 cm de profundidade. A densidade do solo no pousio foi significativamente inferior e a matéria orgânica foi significativamente maior em relação ao cultivo de ciclo curto e a área de pastejo na camada de 0-2,5 cm e na camada de 0-7,5 cm foi inferior apenas ao cultivo de ciclo curto. A partir de 7,5 cm não foi observada influência dos usos sobre a densidade e o carbono orgânico do solo. O comportamento do fósforo variou em função dos tratamentos apenas na camada de 0-2,5 cm onde a área sob cultivo de ciclo curto apresentou valor de P disponível inferior aos demais tratamentos, provavelmente devido à exportação de nutrientes via produtos agrícolas e não reposição por fertilizantes (SU et al., 2004).

Entretanto, algumas mudanças de uso do solo não chegam a comprometer as propriedades do mesmo significativamente. Barreto et al. (2006), comparando as propriedades de um solo submetido a três usos no Sul da Bahia, observaram diferenças em apenas algumas variáveis analisadas, principalmente pH e os teores de Ca, Mg, K, Al e H+Al, influenciando sobre os resultados de CTC, V (%) e m (%).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de estudo

O perímetro irrigado Ico-Mandantes Bloco 3 encontra-se situado nos municípios Pernambucanos de Floresta e Petrolândia, as margens do lago de Itaparica e faz parte do reassentamento realizado pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF). Em Petrolândia encontram-se áreas de solos desenvolvidos de rochas sedimentares, basicamente, arenitos e folhelhos calcíferos do Cretáceo. O clima da região do lago de Itaparica, segundo a classificação de Köppen é caracterizado como BSw'h', clima semi-árido com curta estação chuvosa. O total médio anual de chuvas é de 460 mm, a umidade relativa do ar média é 67 % e a média anual de temperatura é de 25,6°C. Os dados de evapotranspiração do tanque classe "A" mostram um total médio anual evaporado de 2.773 mm. A vegetação nativa da região é a caatinga hiperxerófila (THEMAG, 1986).

3.2 Histórico do reassentamento

A construção da usina Hidroelétrica de Itaparica provocou a inundação de 834 km² de terras, implicando no deslocamento de 5.542 pessoas somente na margem esquerda do Rio São Francisco, no estado de Pernambuco. Em março de 1986 a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) iniciou, por meio de empresas contratadas, um estudo de viabilidade para o reassentamento das famílias atingidas pelo lago. Os trabalhos tiveram como base cartografia na escala de 1:5.000 (restituição aerofotogramétrica), com curvas de nível espaçadas de 1,0 m, e pedologia detalhada. Neste trabalho foram descritos e coletados 200 perfis de solos para análises, efetuadas

prospecções por tradagens em mais de 1.000 locais. Como complemento, em perfis representativos, foram realizados 38 testes de infiltração e 18 testes de permeabilidade (THEMAG, 1986). Em função da força familiar foram definidos lotes de irrigação de 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 ha, as maiores famílias recebendo os maiores lotes.

3.3 Levantamento de campo e método de amostragem

O estudo foi desenvolvido no perímetro Ico-Mandantes, Bloco 3, que tem uma área de 16.963 ha, 1.375 ha com irrigação implantada e outras áreas ocupadas por área de sequeiro (a maior parte coberta com vegetação nativa), estradas e área construída. Considerando a hipótese de não homogeneidade dos atributos dos solos submetidos a diferentes usos e manejos, foi adotada amostragem aleatória estratificada (MEUNIER et al., 2001).

Em visita ao perímetro as populações foram então estratificadas em ciclo curto (C), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V). Adicionalmente foi incorporado mais um estrato relativo a áreas que após alguns anos de cultivo foram consideradas, pelas Chesf, com restrição ao pleno desenvolvimento das culturas, sendo então consideradas como área descartada (D).

Como critério de estratificação adotou-se os usos e manejos do solo. Vegetação nativa (V): áreas de caatinga onde não houve aplicação de qualquer manejo do solo; ciclo curto (C): áreas onde se aplica, de modo geral, uma aração e duas gradagens no preparo do solo no início de cada cultivo duas a três vezes ao ano, as culturas mais representativas deste estrato foram abóbora, melancia, coentro, milho e feijão; Fruticultura (F): movimentação do solo por aração e gradagem apenas na implantação das culturas, as culturas mais representativas deste estrato foram banana, coco, goiaba e manga; área descartada (D): áreas já estratificadas pela Chesf fazendo parte do estudo para verificação dos seus atributos do solo e identificação de possíveis restrições ao cultivo, ocupadas predominantemente com culturas de ciclo curto cultivadas apenas fora do período de chuvas devido à suscetibilidade a saturação do solo; pastagem (P): áreas utilizadas como pastagem, na maior parte do tempo,

eventualmente sendo exploradas com culturas anuais e desse modo apresentando uma menor movimentação do solo, neste estrato durante o período de utilização com pastagem ocorre, normalmente, uma super irrigação, para formação de pastagem natural e manutenção desta pastagem com reduzido manejo da irrigação.

Utilizando-se o mapa de classificação dos solos do perímetro Ico-Mandantes Bloco 3 foram selecionadas áreas para o estudo que apresentavam textura arenosa. Estes solos ocupam aproximadamente 50 % da área irrigada sendo, portanto, mais representativos do perímetro. Esta medida visou o estudo dos estratos sob solos de textura similar, uma vez que, os usos e manejos do solo provocam alterações diferentes em solos de textura arenosa, média e argilosa.

Na fase seguinte foram visitados os lotes e vegetação nativa circunvizinhas. Nos lotes agrícolas, em questionário, foi registrada a área de cada estrato e informações adicionais como: tipo(s) de cultura(s), sistema de irrigação, situação de produção do lote e, quando necessário, a localização dos diferentes estratos dentro do lote. As áreas do estrato área descartada foram identificadas de acordo com os registros da Chesf onde para cada lote com área descartada havia uma ficha de tradagem com a localização no lote desta área, o que permitiu a sua localização para amostragem. As áreas do estrato vegetação nativa foram marcadas no mapa após verificação no campo de sua existência e estado de conservação.

Após a definição da área de cada estrato e localização da área de cada estrato no mapa foi realizada a amostragem. O método de alocação proporcional das unidades de amostra foi utilizado e considera os estratos como de variâncias semelhantes (MEUNIER et al., 2001). A unidade de amostra foi definida com área de 0,5 ha. Cada unidade localizada no mapa recebeu um código identificador para sorteio. As unidades selecionadas no sorteio tinham um ponto marcado no mapa onde se obtinha uma coordenada geográfica.

No campo com uso de um GPS de navegação localizava-se o ponto com erro de aproximadamente oito metros, garantindo uma localização geral e aumentando a casualização. Foi estabelecido para cada estrato 15 repetições. Cada repetição constituiu-se de uma amostra simples onde amostras de solo foram coletas nas camadas de 0-10, 10-30 e 30-60 cm, totalizando nos cinco

estratos 225 amostras, realizando-se em cada ponto, uma tradagem até no máximo 2,20 m ou profundidade inferior, quando havia a identificação de camada de impedimento à drenagem e coleta de uma amostra indeformada nas camadas de 0-10 e 10-30 cm com cilindro volumétrico para a determinação da densidade do solo. As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de malha para o procedimento das análises físicas e químicas.

3.4 Atributos físicos

Na caracterização física foram determinados: a composição granulométrica e a argila dispersa em água (ADA) pelo método do densímetro, a densidade do solo (D_s) pelo método do cilindro volumétrico (amostra indeformada), a densidade das partículas com o balão volumétrico e a condutividade hidráulica em meio saturado com o permeâmetro de coluna vertical e carga constante (EMBRAPA, 1997). Com os dados de densidade do solo e das partículas calculou-se a porosidade total (PT) e, com os de argila total e argila dispersa em água, o grau de floculação (GF).

Foi também determinada a profundidade do solo por tradagem até a camada impermeável ou a 2,2 metros de profundidade, sendo considerada como propriedade física do solo.

3.5 Atributos químicos

Como parte da avaliação dos atributos químicos, foi preparada a pasta de saturação (RICHARDS, 1954) com as amostras de solo, para medida de pH do extrato de saturação (pHes) e condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes).

No solo, foi medido o pH (pHs) em água (1:2,5) e extraído, com Mehlich-1, o fósforo disponível (P) (EMBRAPA, 1997) e dosado por colorimetria (BRAGA & DEFELIPO, 1974); o carbono orgânico total (C-orgânico) pelo

método Walkley-Black descrito por Mendonça & Matos (2005); os cátions trocáveis cálcio, magnésio, potássio e sódio, extraídos com solução de acetato de amônio 1 mol L^{-1} e determinados cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica e potássio e sódio por fotometria de emissão de chama e a capacidade de troca de cátions (CTC), pelo método do acetato de sódio e acetato de amônio 1 mol L^{-1} (RICHARDS, 1954).

Com os resultados das análises, foram calculadas a soma de bases (SB), a percentagem de saturação por bases (V) e a percentagem de sódio trocável (PST). O estoque de C-orgânico foi calculado a partir da expressão: $EC = (C\text{-orgânico} \times Ds \times e)/10$, em que EC é o estoque de C-orgânico em determinada profundidade (Mg ha^{-1}); C-orgânico é o teor de carbono orgânico total (g kg^{-1}); Ds é a densidade do solo média da profundidade (kg dm^{-3}); e é a espessura da camada considerada (cm).

3.6 Estatística

3.6.1 Estatística descritiva, análise de correlação e teste de normalidade

Os atributos do solo e os estratos, culturas de ciclo curto (C), fruticultura (F), pastagem (P), áreas descartadas (D) e áreas com vegetação nativa (V), foram analisados e comparados entre si através das medidas estatísticas descritiva.

Na análise estatística dos resultados foram considerados os parâmetros média (tendência central), desvio padrão e coeficiente de variação (variabilidade). Na análise do coeficiente de variação adotou-se o critério proposto por Warrick & Nielsen (1980), onde coeficientes são classificados em três níveis: baixo ($CV < 12 \%$), médio ($12 \% < CV < 62 \%$) e alto ($CV > 62 \%$).

A medida de correlação linear do coeficiente de Pearson foi usada para analisar a correlação entre os atributos do solo, a 5 e 1 %, pelo teste t.

A hipótese de normalidade dos dados foi verificada ($p < 0,05$) pelo teste de aderência de Shapiro-Wilk (SHAPIRO & WILK, 1965), aplicável a amostras

com tamanho $n \geq 3$, observando-se a hipótese de que as amostras provêm de populações normais, ou seja: H_0 : a população tem distribuição normal ; H_1 : a população não tem distribuição normal.

3.6.2 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais foi utilizada para a avaliação das características dos solos nos conjuntos de atributos físicos e químicos, separadamente, e por fim feita uma avaliação conjunta dos atributos do solo.

A análise dos componentes principais é um método de estatística multivariada que permite a redução de variáveis em casos em que ocorrem multicolinearidade nas variáveis independentes e pode revelar relações que não são observadas, previamente nos subconjuntos de variáveis, permitindo interpretações que, ordinariamente, não apareceriam (SOUZA, 2001).

A análise de componentes principais possibilita resumir o conjunto de variáveis originais em poucos componentes, o que significa ter uma boa aproximação do comportamento dos estratos, oriundo de um espaço bi ou tri-dimensional. Quando este requisito for satisfeito, a referida técnica proporcionará uma simplificação considerável nos cálculos estatísticos e na interpretação dos resultados.

A análise de componentes principais é uma técnica exploratória, usada para uma avaliação eficiente das dimensões da variabilidade. Cada componente principal é uma combinação linear das p variáveis originais. Essa combinação pode ser classificada pelo grau de explicação da variância geral das variáveis e há independência linear entre todos os componentes principais. O primeiro componente principal tem a maior variância, o segundo tem a segunda maior variância e assim sucessivamente (HOFFMANN, 1999).

Os dados originais foram padronizados visando minimizar os efeitos das diferentes escalas de mensuração. A padronização foi realizada utilizando-se média X_{ij} da j -ésima variável ($j = 1, 2, \dots, n$) avaliada no i -ésimo estrato ($i = 1, 2, \dots, n$), gerando média zero e variância unitária (CRUZ e REGAZZI, 1997).

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_i}{S_{(xi)}}$$

- Z_{ij} – medida padronizada;
 X_{ij} – valor da variável;
 X_i – média aritmética da i -ésima variável;
 $S_{(xi)}$ – desvio padrão.

A técnica consiste na transformação de um conjunto de n variáveis padronizadas, $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ em um novo conjunto $y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{in}$, em que os y_i 's são funções lineares dos x_i 's e independentes entre si. Constitui-se das seguintes propriedades:

a) Se Y_{ij} é um componente principal então:

$$Y_{ij} = a_1 x_{i1} + a_2 x_{i2} + \dots + a_n x_{in}$$

b) Se Y'_{ij} é um outro componente principal então

$$Y'_{ij} = b_1 x_{i1} + b_2 x_{i2} + \dots + b_n x_{in}$$

$\sum a_j^2 = \sum b_j^2 = 1$; $\sum a_j b_j = 0$, ou seja, os componentes principais são independentes.

c) As componentes principais foram obtidas pela solução do sistema:

$\det(R - \lambda_1 I) = 0$, em que: R = matriz de correlação entre as médias estimadas, λ_1 = autovalores de R , I = matriz identidade de dimensão $p \times p$; a = autovetor. Do autovalor origina-se a variância do respectivo componente principal, e dos elementos do autovetor, os coeficientes para obter os componentes principais. Os componentes principais dependem somente da matriz de covariâncias (S) ou da matriz de correlação (R) das p variáveis aleatórias (x_1, x_2, \dots, x_p). Seu desenvolvimento não necessita de normalidade (JOHNSON & WICHERN, 1992).

Para interpretação dos resultados foram retidas as componentes principais que apresentaram pelo menos uma variável com valor do coeficiente

de correlação entre a componente principal e a variável acima de 0,7 em módulo. Este coeficiente de correlação também foi utilizado para selecionar as variáveis que mais contribuíram para explicar a variação entre os estratos, culturas de ciclo curto (C), áreas com fruticultura (F), áreas em pousio destinadas à pastagem (P), áreas descartadas (D) e áreas com vegetação nativa (V). As variáveis que apresentaram coeficiente de correlação entre a componente principal e a variável acima de 0,7 em módulo foram classificadas como fortes na explicação da variação entre os estratos, abaixo deste valor em módulo foram classificadas como fracas na explicação da variação entre os estratos. Os escores das componentes principais retidas de acordo com o critério adotado foram usados para a realização da análise de agrupamento.

3.6.3 Análise de agrupamento

A análise de agrupamento sumariza dados para interpretação e utiliza métodos que procuram grupos excludentes, ascendentes, reduzindo as informações de um conjunto de n indivíduos para informações de um novo conjunto de g grupos, onde g é menor que n .

Esta análise foi realizada a partir dos escores dos componentes principais retidos para interpretação de acordo com o critério adotado, aplicando-se como medida de dissimilaridade a distância Euclidiana Média e o método de otimização de Tocher. Nos métodos de otimização se realiza a partição do conjunto de indivíduos em subgrupos não-vazios e, mutuamente exclusivos, por meio da maximização ou minimização de alguma média preestabelecida. Um dos métodos de otimização mais comumente empregado é o proposto por Tocher (RAO, 1952). Esse método de otimização adota o critério de que a média das medidas de dissimilaridade intragrupo deve ser menor do que as distâncias médias intergrupos.

Inicialmente, a partir de uma matriz de distância é identificado o par de indivíduos mais similar, os quais constituem o grupo inicial. Em seguida, é avaliada a possibilidade de inclusão de novos indivíduos no grupo inicial, adotando-se o critério anteriormente citado. A inclusão de um novo indivíduo provoca aumento no valor médio da distância intragrupo. Assim, decide-se pela

inclusão de um determinado indivíduo num grupo se o acréscimo resultante no valor médio da distância intragrupo não ultrapassar um nível máximo predefinido, que pode ser estabelecido de forma arbitrária, ou se adota o valor máximo da medida de dissimilaridade encontrado no conjunto das menores distâncias que envolvem cada indivíduo (CRUZ & REGAZZI, 2001).

Os resultados da representação gráfica por componentes principais foram combinados com os resultados da análise de agrupamento para permitir uma inspeção visual dos grupos formados. A análise agrupamento possibilitou a identificação de similaridades e diferenças entre os estratos analisados, ou seja, os usos e manejo do solo.

3.7 Índice de qualidade do solo

Utilizou-se na obtenção do índice de qualidade do solo a análise de componente principal. A componente principal 1, por reunir a maior parte da variação total, foi utilizada para o cálculo do índice de qualidade do solo. Foram alterados, quando necessário, os sinais dos autovetores de acordo com parâmetros consolidados dos atributos dos solos, proporcionou-se um julgamento de valor na ordenação oferecida pelos escores calculados, possibilitando a classificação da qualidade do solo dos estratos avaliados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos físicos

4.1.1 Estatística descritiva dos atributos físicos

Os parâmetros estatísticos descritivos calculados a partir dos valores originais das variáveis físicas foram apresentados nos Quadros 1, 2, 3 e 4.

O estrato D apresentou o maior valor médio de densidade das partículas nas três camadas avaliadas seguido pelo estrato C, os demais estratos apresentaram valores consideravelmente menores e semelhantes entre si (QUADRO 1).

Os valores médios de densidade do solo e porosidade total foram semelhantes para o estrato V nas camadas avaliadas (QUADRO 1). Para os outros estratos houve um aumento dos valores médios da densidade do solo e diminuição da porosidade total na camada de 10-30 cm em comparação com a camada de 0-10 cm (QUADRO 1). Possivelmente, práticas corriqueiras na região como aração e gradagem diminuíram a densidade do solo e aumentaram a porosidade total na camada superficial de 0-10 cm dos estratos D, C, F e P. Na camada de 10-30 cm nos estratos C e D observaram-se valores discretamente maiores de densidade do solo do que o observado para o estrato V (QUADRO 1). Como estes estratos sofreram maior movimentação do solo (aração e gradagem) em função do manejo produtivo adotado na região, provavelmente, houve uma compactação do solo em função do tráfego de máquinas ou adensamento desta camada, pela migração de partículas coloidais do solo.

Quadro 1. Medidas estatísticas descritivas de atributos físicos dos solos correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)

Atributo	Estrato	Camada	Medida estatística descritiva				
			X	s	CV	S-W	
Dp (kg dm ⁻³)	C	0 – 10	2,56	0,10	3,96	N-N	
		10 – 30	2,57	0,10	3,96	N-N	
		30 - 60	2,56	0,13	5,19	N	
	D	0 – 10	2,60	0,08	3,22	N-N	
		10 – 30	2,62	0,09	3,31	N-N	
		30 - 60	2,59	0,10	4,01	N-N	
	F	0 – 10	2,48	0,08	3,30	N-N	
		10 – 30	2,48	0,09	3,78	N-N	
		30 - 60	2,52	0,11	4,54	N-N	
	P	0 – 10	2,50	0,08	3,05	N-N	
		10 – 30	2,51	0,09	3,73	N-N	
		30 - 60	2,52	0,10	3,97	N-N	
	V	0 – 10	2,50	0,08	3,09	N-N	
		10 – 30	2,49	0,07	2,78	N-N	
		30 - 60	2,49	0,13	5,30	N	
Ds (kg dm ⁻³)	C	0 – 10	1,65	0,07	4,31	N	
		10 – 30	1,76	0,16	8,96	N-N	
	D	0 – 10	1,69	0,07	4,44	N	
		10 – 30	1,80	0,10	5,54	N	
	F	0 – 10	1,62	0,06	3,73	N	
		10 – 30	1,72	0,10	5,98	N	
	P	0 – 10	1,60	0,14	8,75	N-N	
		10 – 30	1,70	0,14	8,38	N	
	V	0 – 10	1,69	0,08	4,97	N	
		10 – 30	1,69	0,15	8,86	N	
	PT	C	0 – 10	0,36	0,04	11,42	N
			10 – 30	0,32	0,07	20,78	N-N
D		0 – 10	0,35	0,03	9,54	N	
		10 – 30	0,31	0,05	16,34	N	
F		0 – 10	0,35	0,04	10,94	N	
		10 – 30	0,31	0,05	16,72	N	
P		0 – 10	0,36	0,06	17,78	N-N	
		10 – 30	0,32	0,06	19,66	N	
V		0 – 10	0,33	0,05	14,16	N	
		10 – 30	0,32	0,07	20,26	N	

X – média; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; S-W - teste de Shapiro-Wilk; N – atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$); N-N – não atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$); Dp – densidade das partículas; Ds – densidade do solo; PT – porosidade total.

A influência do manejo do solo nos atributos físicos foi observada por Silva et al. (2005), estes autores avaliaram o efeito de longo prazo (17 anos) dos sistemas de preparo convencional, preparo reduzido e semeadura direta sobre os atributos físicos de um Argissolo Vermelho, com textura média no Rio Grande do Sul. Adicionalmente, foi incorporada ao estudo uma área de campo nativo como referência à condição natural do solo. As amostras foram coletadas nas camadas de 0-2,5, 2,5-7,5, 7,5-12,5, 12,5-17,5 cm em uma

sucessão ervilhaca/milho. Estes autores observaram que a porosidade total variou mais com a profundidade do que com os sistemas de preparo do solo. Em relação à profundidade, a porosidade total apresentou maiores valores em superfície do que em subsuperfície. Estes resultados foram semelhantes aos observados neste estudo. Os estratos relacionados a sistemas produtivos apresentaram porosidade total semelhante nos diferentes usos agrícolas (QUADRO 1). Os valores de porosidade total variaram com a profundidade e também se apresentaram maiores em superfície do que em subsuperfície para os estratos C, D, F e P (QUADRO 1), possivelmente, devido à maior concentração de C-orgânico da camada superficial e ao resultado das práticas de aração e gradagem do solo.

Algumas propriedades indicadoras da qualidade física do solo foram avaliadas por Araújo et al. (2004), estes autores estudaram um Latossolo Vermelho distrófico da região Noroeste do Paraná, cultivado e sob mata nativa. Foram coletadas 24 amostras de solo com estrutura não deformada, na profundidade de 0-20 cm, em duas áreas contíguas, sob mata nativa e cultivada, localizadas na Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Maringá, município de Maringá, PR. A área cultivada tem sido utilizada com culturas anuais, com preparo convencional do solo (arado de discos e grade niveladora). A área sob mata nativa é classificada como Floresta Estacional semidecidual. Avaliaram-se a porosidade, a densidade do solo, a curva de retenção de água do solo, a curva de resistência do solo à penetração e o intervalo hídrico ótimo. Os resultados indicaram valores significativamente maiores de densidade do solo e menores de porosidade total na área cultivada. Neste trabalho, na camada de 0-10 cm, observou-se resultado contrário ao observado por estes autores. Na comparação do estrato V (vegetação nativa) com os estratos relacionados a sistemas de produção, a vegetação nativa apresentou maiores valores de densidade do solo e menores de porosidade total (QUADRO 1). Ressalta-se que na camada de 0-10 cm os efeitos das práticas de aração e gradagem são, normalmente, positivos com diminuição da densidade do solo, observando-se que com o passar do tempo ocorre a acomodação das partículas do solo podendo a densidade final ser maior que a inicial em função do rompimento dos agregados do solo na prática de aração e gradagem. A compactação do solo se expressa de maneira mais efetiva na parte inferior da camada arável, normalmente aos 20 cm. Neste sentido a

avaliação da camada de 10-30 cm apresentou resultados semelhantes aos observados por Araújo et al. (2004) apresentando os estratos relacionados a sistemas produtivos maiores valores de densidade do solo em relação à vegetação nativa (QUADRO 1). Na camada de 10-30 cm de modo contrário ao observado por Araújo et al. (2004) não se observou diferença expressiva na porosidade total em função do uso ou manejo do solo (QUADRO 1).

Com o objetivo de estudar as mudanças em atributos do solo em função de diferentes usos, Su et al. (2004) avaliaram o sistema de pastagem, a transformação desta área em cultivo de ciclo curto por três anos e pousio de uma área de pastagem por cinco anos. A pastagem da área de estudo encontrava-se degradada e fazia parte de solos arenosos da região semi-árida de Horgin, China. O pousio por cinco anos resultou em significativas melhorias nos atributos do solo na camada de 0-7,5 cm de profundidade. A densidade do solo no pousio foi significativamente inferior em relação ao cultivo de ciclo curto e à área de pastejo na camada de 0-2,5 cm e na camada de 0-7,5 cm foi inferior apenas ao cultivo de ciclo curto. A partir de 7,5 cm não ocorreu influência dos usos sobre a densidade do solo e o carbono orgânico do solo. Este resultado foi semelhante ao obtido neste trabalho, onde o estrato C apresentou valor de densidade do solo superior àquele observado para o estrato P (QUADRO 1). Entretanto, as alterações na densidade do solo foram verificadas em camadas mais profundas do que 7,5 cm, observando-se neste trabalho discretas alterações na densidade do solo na camada de 10-30 cm para os estratos C e D em relação ao estrato V (QUADRO 1), o que, possivelmente, ocorreu devido às práticas de manejo do solo.

Os atributos densidade das partículas e densidade do solo apresentaram baixo coeficiente de variação em todas as camadas analisadas (QUADRO 1). A porosidade total calculada a partir dos valores de D_p e D_s apresentou valores baixos e médios para os coeficientes de variação na camada de 0-10 cm e médios na camada de 10-30 cm (QUADRO 1). A variável densidade das partículas apresentou de quinze conjuntos avaliados treze com distribuição não normal, a densidade do solo e a porosidade total de dez conjuntos analisados apresentaram oito com distribuição normal (QUADRO 1).

A variabilidade do atributo densidade das partículas foi analisada por Simões et al. (2006), estes autores avaliaram a influência do manejo do solo na variabilidade espacial de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho

distroférico em três áreas submetidas a diferentes manejos em decorrência do uso do solo: A1 - área em pousio há três anos; A2 – área recentemente plantada com café e A3 - área cultivada com café há três anos. A amostragem foi disposta em malha com espaçamentos entre pontos de 1, 5 e 10 m, totalizando 188 pontos amostrados. Em cada ponto, foram coletadas amostras deformadas de solo, na camada de 0–20 cm, para a determinação da textura do solo e da densidade de partículas. A variável densidade de partículas apresentou baixos coeficientes de variação, 2,13, 2,63 e 2,56 para os manejos A1, A2 e A3, respectivamente. Os resultados apresentados por estes autores foram semelhantes aos observados neste trabalho (QUADRO 1).

Resultados semelhantes ao observado neste trabalho para os valores dos coeficientes de variação da densidade do solo (QUADRO 1) foram verificados por Johann et al. (2004), estes autores avaliaram os atributos do solo e a produtividade de soja cultivada em sistema de plantio direto em parcelas sem manejo localizado e parcelas com manejo localizado. O manejo consistia da aplicação de corretivo e/ou fertilizante. Verificaram-se baixos valores para o coeficiente de variação da densidade do solo, 4,17 % nos dois sistemas de manejo. Os valores apresentaram distribuição normal apenas nas áreas sem manejo localizado.

Outros autores investigaram a densidade do solo, Andrade et al. (2005) desenvolveram trabalho em um solo aluvial na Estação Experimental da Embrapa Algodão, município de Souza, Estado da Paraíba, Brasil, com o objetivo de estudar a variabilidade espacial da densidade do solo. A área tem uma superfície cultivada de 17 ha e os testes de campo foram feitos em 40 pontos amostrais, locados na linha central longitudinal de cada parcela agrícola, equidistante de 50 m. Na determinação da densidade do solo, foi utilizado o método do anel volumétrico, em amostras com estrutura indeformada para as profundidades de 0-30, 30-60 e 60-90 cm. A densidade do solo para as três profundidades apresentou baixos valores de desvio-padrão e coeficiente de variação, indicando pouca variação da densidade do solo com aumento da profundidade apresentado-se os valores de 1,52, 1,52 e 1,50 g cm⁻³, respectivamente, para as camadas de 0-30, 30-60 e 60-90 cm. Resultados semelhantes foram observados apresentando-se neste estudo baixos coeficientes de variação da densidade do solo, de modo contrário se observou uma variação dos valores médios da densidade do solo em profundidade onde

na camada de 0-10 cm os valores foram menores do que os observados na camada de 10-30 cm, exceto para o estrato vegetação nativa onde os valores observados nas duas camadas foram semelhantes (QUADRO 1).

A variabilidade e distribuição dos valores do atributo densidade do solo apresentaram resultados semelhantes aos observados por Souza et al. (2004), estes autores obtiveram baixos valores do coeficiente de variação ($CV < 12\%$) para a variável densidade do solo e distribuição normal dos valores desta variável na avaliação da variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. Os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento de uma malha, com intervalos regulares de 10 m, nas profundidades de 0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m, totalizando 100 pontos. Adicionalmente estes autores observaram que o coeficiente de variação indicou variabilidade média para porosidade total na profundidade de 0-0,2 m e baixa nas profundidades 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m, os referidos autores não observaram distribuição normal dos valores de porosidade total. Neste trabalho observou-se para a variável porosidade total na camada de 0-10 cm valores de coeficiente de variação baixos e médios e na camada de 10-30 cm observou-se médios valores de coeficiente de variação (QUADRO 1), resultados semelhantes aos obtidos por Souza et al. (2004). Observou-se que estes autores não verificaram distribuição normal para a porosidade total, o que neste trabalho foi observado em oito de dez conjuntos analisados (QUADRO 1).

Pela composição granulométrica média das amostras de solo estudadas, observou-se o predomínio da fração areia em relação às demais, classificando os solos como de textura arenosa, com reduzidos coeficientes de variação para o teor de areia em todas as camadas analisadas (QUADRO 2). Em quinze conjuntos analisados, observou-se distribuição normal em 11, 10 e 10 conjuntos, respectivamente, para as variáveis areia, silte e argila (QUADRO 2). Montezano et al. (2006) avaliaram a variabilidade espacial de atributos físicos e químicos, na camada de 0-20 cm, em um Latossolo cultivado com milho em uma área de 375 ha, onde 80 células de quatro hectares fizeram parte do estudo, estes autores não verificaram uma distribuição normal para os teores de areia, silte e argila do solo.

Quadro 2. Medidas estatísticas descritivas de atributos físicos dos solos correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)

Atributo	Estrato	Camada	Medida estatística descritiva			
			X	s	CV	S-W
Areia (g kg ⁻¹)	C	0 – 10	860,1	45,7	5,31	N-N
		10 – 30	844,5	32,6	3,86	N
		30 - 60	825,7	50,5	6,12	N
	D	0 – 10	848	32,1	3,78	N
		10 – 30	820,5	55,7	6,79	N-N
		30 - 60	813,1	62,4	7,68	N
	F	0 – 10	881	69,7	7,92	N-N
		10 – 30	877,9	24	2,74	N
		30 - 60	861,7	21,5	2,50	N
	P	0 – 10	891,6	27,7	3,11	N
		10 – 30	869,3	29,1	3,35	N
		30 - 60	840,3	48,6	5,79	N
	V	0 – 10	876,9	34	3,87	N-N
		10 – 30	873,2	28,8	3,30	N
		30 - 60	866,5	19,1	2,20	N
Silte (g kg ⁻¹)	C	0 – 10	40,1	22,2	55,31	N-N
		10 – 30	33,1	17,1	51,60	N
		30 - 60	36	19	52,84	N
	D	0 – 10	37,6	13,7	36,43	N
		10 – 30	33,1	10,5	31,74	N
		30 - 60	33,2	11,8	35,44	N-N
	F	0 – 10	42,2	67,1	158,99	N-N
		10 – 30	20,2	7,5	37,22	N
		30 - 60	25,1	10,1	40,29	N-N
	P	0 – 10	24,6	17,2	69,96	N-N
		10 – 30	21,4	9,7	45,53	N
		30 - 60	26,8	14,8	55,19	N
	V	0 – 10	25,2	16,8	66,76	N
		10 – 30	18,9	11	58,26	N
		30 - 60	21,9	9,6	43,87	N
Argila (g kg ⁻¹)	C	0 – 10	99,9	29,6	29,68	N-N
		10 – 30	122,4	24,1	19,65	N
		30 - 60	138,2	36,4	26,30	N-N
	D	0 – 10	114,4	22,5	19,64	N
		10 – 30	146,4	56,7	38,73	N-N
		30 - 60	153,7	55,9	36,39	N
	F	0 – 10	76,8	11,4	14,89	N
		10 – 30	101,9	22,8	22,34	N
		30 - 60	113,3	19,4	17,15	N
	P	0 – 10	83,8	19,7	23,47	N-N
		10 – 30	109,3	25,5	23,33	N
		30 - 60	132,9	39,1	29,39	N
	V	0 – 10	98	20	20,42	N-N
		10 – 30	107,9	21	19,48	N
		30 - 60	111,6	10,7	9,61	N

X – média; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; S-W - teste de Shapiro-Wilk; N – atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$); N-N – não atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro- Wilk ($p < 0,05$).

Os coeficientes de variação dos teores de argila foram médios para as camadas de 0-10 e 10-30 e para a camada de 30-60 apresentaram-se médios e baixo (QUADRO 2). Corá et al. (2004), trabalhando com amostras de solos das camadas de 0-20 cm e 60-80 cm, observaram baixo valor do coeficiente de variação para argila o que não foi verificado neste trabalho (QUADRO 2), com distribuição normal apenas na camada de 60–80 cm.

O silte apresentou coeficientes de variação na camada de 0-10 cm médios e alto, na outras camadas analisadas os valores foram médios (QUADRO 2), sendo portanto esta fração da textura a de maior variação. Montezano et al. (2006) encontraram coeficientes de variação da concentração de argila e silte semelhantes a este trabalho, enquanto que os de areia foram superiores (QUADRO 2). Observou-se no Quadro 2 variação menor para a fração areia e maior para a fração argila, coincidindo com os resultados de Salviano et al. (1998) e resultado contrário ao obtido por Montezano et al. (2006). Possivelmente, o tipo de solo influenciou estes resultados, principalmente as diferenças de textura de cada tipo de solo considerado.

Simões et al. (2006) avaliaram a variabilidade de atributos físicos em Latossolo Vermelho distrófico, estes autores observaram médios valores de coeficiente de variação para areia e silte e médio e baixos coeficientes de variação para argila. Resultados diferentes foram observados neste estudo para teor de areia que apresentou baixos valores de coeficiente de variação e para a argila que apresentou valores médios de coeficiente de variação, exceto na camada de 30-60 cm onde os resultados foram semelhantes aos apresentados por estes autores (QUADRO 2). No quadro 2 para a variável silte observou-se que os resultados do coeficiente de variação foram semelhantes exceto na camada de 0-10 cm na qual foram observados neste trabalho coeficientes de variação médios e altos.

Miranda et al. (2006) realizaram estudo, em 3,18 ha de um Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico, para identificar variáveis da fertirrigação e atributos do solo influenciando a produtividade e qualidade de frutos de melão. Foram realizadas determinações de produtividade; qualidade; fertirrigação; características químicas do solo (pH, matéria orgânica, P, Ca, Mg, K e Na, acidez potencial, Cu, Zn, Fe e Mn) e físicas (argila, areia, silte, densidade do solo e umidade). As amostras foram coletadas nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, porém os valores apresentados foram médios das três

profundidades amostradas. Estes autores obtiveram baixos valores para os coeficientes de variação das variáveis areia e densidade do solo, e médio valor para o coeficiente de variação da variável silte, resultados semelhantes foram observados neste trabalho (QUADROS 1 e 2).

A argila dispersa em água (ADA) dos solos na camada superficial dos estratos F e P foram as de menores valores médios, enquanto que o uso de valor superior foi D (QUADRO 3). Observando-se os resultados da ADA em profundidade verificaram-se incrementos nessa variável nas camadas subsuperficiais, principalmente no estrato D, passando de 7,94 % na camada de 0-10 cm para valor superior a 11 % da argila total nas camadas inferiores (QUADRO 3). Isso pode ser indicativo de um processo de migração de colóides no perfil do solo, mais acentuado nos estratos relacionados a sistemas produtivos, com aumento na dispersão em profundidade, o que pode acarretar a formação de camadas de impedimento pela migração de partículas finas e sua concentração em algum ponto do perfil do solo. Inclusive, no estrato D, de baixa profundidade do solo, este efeito pode ser potencializado em função da proximidade da camada de impedimento dificultando ainda mais o movimento de água nesta camada.

Maia et al. (2006) observaram incremento da ADA com a profundidade, percebendo-se a existência de uma relação direta entre o aumento da ADA e a diminuição do COT de acordo com alto coeficiente de correlação observado entre estas variáveis o que fortalece esta consideração. Resultados semelhantes foram observados neste estudo (QUADRO 3), porém não foi observada a correlação entre estas variáveis (QUADROS 28, 29 e 30), observando-se apenas o aumento da ADA em profundidade e respectiva diminuição dos teores de C-orgânico.

Silva et al. (2006) estudaram os efeitos de diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar nas propriedades físicas e químicas de um Argissolo Amarelo Coeso, selecionando-se quatro sistemas de uso e manejo, constituídos de uma área não irrigada, uma área irrigada, uma com aplicação de vinhaça e uma sob floresta nativa como condição original. Foram retiradas amostras de cada área a 0-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,8 m de profundidade, para determinação das alterações nas propriedades físicas e químicas do solo. Os sistemas de manejo com cana-de-açúcar influenciaram as propriedades físicas do solo, ocorrendo aumento da argila dispersa em água e redução da

estabilidade dos agregados em água dos solos cultivados, em relação ao solo da mata.

Resultados semelhantes foram observados neste trabalho na camada de 0-10 cm, em relação ao estrato V, os estratos C e D apresentaram valores discretamente superiores de ADA (QUADRO 3), possivelmente devido ao efeito do revolvimento do solo. Encontrou-se um resultado diferente do observado por Silva et al. (2006) nos estratos F e P, nestes a menor movimentação do solo por práticas como aração e gradagem, somada a maior concentração de cálcio e magnésio, cátions floculantes, em relação ao estrato V possivelmente proporcionou a estes estratos valores de ADA menores do que os observados na vegetação nativa (QUADRO 3).

Silva et al. (2006) observaram que os solos sob os sistemas sequeiro e irrigado sofreram maior degradação das propriedades químicas do solo, ocasionando redução nos teores de cálcio e magnésio. Estes resultados foram diferentes do que foi observado neste trabalho onde os sistemas produtivos apresentaram valores de cálcio e magnésio superiores aos observados para vegetação nativa (QUADRO 16), provavelmente contribuindo de maneira mais efetiva para a formação de agregados e diminuindo a ADA. Na camada de 10-30 e de 30-60 cm os resultados obtidos foram semelhantes ao de Silva et al. (2006), onde os sistemas produtivos apresentaram maior concentração de ADA do que o estrato vegetação nativa (QUADRO 3). Infere-se que a menor concentração de C-orgânico (QUADRO 18) pode ter contribuído para um aumento da ADA nestas camadas para os estratos avaliados (QUADRO 3).

Os coeficientes de variação da variável ADA foram médios nas duas primeiras camadas e médios e altos na camada de 30-60 cm, sendo observado para esta variável 12 conjuntos com distribuição normal, num total de 15 conjuntos (QUADRO 3). Os valores do coeficiente de variação da variável grau de floculação (GF) foram médios na camada de 0-10 cm e médios e altos nas duas outras camadas, não sendo observada distribuição normal em 9 conjuntos de 15 possíveis (QUADRO 3).

O estrato F apresentou os maiores valores médios para a condutividade hidráulica em todas as camadas avaliadas, seguido pelo estrato P nas camadas de 0-10 e 10-30 cm e pelo estrato C na camada de 30-60 cm (QUADRO 3).

Quadro 3. Medidas estatísticas descritivas de atributos físicos dos solos correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)

Atributo	Estrato	Camada	Medida estatística descritiva			
			X	s	CV	S-W
ADA (g kg ⁻¹)	C	0 – 10	73,2	29,1	39,73	N-N
		10 – 30	90,3	21,7	24,00	N
		30 - 60	87	42,8	49,24	N
	D	0 – 10	79,4	28,1	35,44	N
		10 – 30	118,4	56,9	48,09	N-N
		30 - 60	110,3	66,2	59,96	N
	F	0 – 10	49,7	16	32,31	N-N
		10 – 30	76,1	23,1	30,32	N
		30 - 60	77,1	29,5	38,27	N
	P	0 – 10	48,1	25,4	52,71	N
		10 – 30	76,3	34	44,51	N
		30 - 60	86,8	54,7	62,99	N
	V	0 – 10	63,3	11,7	18,53	N
		10 – 30	68,2	13,5	19,76	N
		30 - 60	72,6	16,7	22,96	N
GF (%)	C	0 – 10	29,65	11,13	37,54	N
		10 – 30	26,58	6,32	23,78	N
		30 - 60	37,40	20,55	54,94	N-N
	D	0 – 10	31,46	16,42	52,20	N-N
		10 – 30	20,46	9,59	46,89	N
		30 - 60	29,91	23,36	78,11	N-N
	F	0 – 10	36,56	18,53	50,67	N-N
		10 – 30	26,24	8,19	31,19	N
		30 - 60	32,48	20,75	63,89	N-N
	P	0 – 10	45,80	25,26	55,17	N-N
		10 – 30	32,48	23,71	72,99	N-N
		30 - 60	36,50	28,12	77,06	N-N
	V	0 – 10	34,95	7,44	21,29	N
		10 – 30	36,61	5,31	14,50	N
		30 - 60	35,23	11,94	33,88	N-N
Ko (cm h ⁻¹)	C	0 – 10	25,89	15,84	61,20	N
		10 – 30	18,68	7,88	42,20	N-N
		30 - 60	19,56	13,57	69,40	N-N
	D	0 – 10	21,99	9,90	45,05	N
		10 – 30	16,98	8,97	52,85	N
		30 - 60	16,59	11,11	66,94	N
	F	0 – 10	38,86	16,73	43,06	N
		10 – 30	30,81	14,24	46,24	N
		30 - 60	28,40	12,18	42,90	N
	P	0 – 10	30,30	12,19	40,23	N
		10 – 30	26,18	12,49	47,73	N
		30 - 60	17,86	12,11	67,81	N
	V	0 – 10	17,75	9,41	53,01	N
		10 – 30	20,24	17,61	86,99	N-N
		30 - 60	13,41	5,94	44,31	N

X – média; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; S-W - teste de Shapiro-Wilk; N – atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$); N-N – não atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$); ADA – argila dispersa em água; GF – grau de floculação; Ko – condutividade hidráulica saturada.

Observou-se nas três camadas o seguinte padrão de distribuição das médias entre os estratos C e D: o estrato C apresentou maiores valores em todas as camadas e entre os estratos P e V o estrato P apresentou maiores valores de condutividade hidráulica em todas as camadas (QUADRO 3). Os coeficientes de variação da condutividade hidráulica se apresentaram médios na camada de 0-10 cm e entre médios e altos nas outras camadas, exceto para o estrato F que apresentou valores médios na três camadas avaliadas, a distribuição normal para esta variável foi observada em 12 conjuntos do total de 15 (QUADRO 3).

Ao se avaliar a profundidade da camada de impedimento dos solos, observaram-se valores médios elevados nos estratos F, C, P e V, enquanto que no estrato D a profundidade média foi de 1,11 m (QUADRO 4). A baixa profundidade do solo do D dificulta a drenagem do solo e lixiviação dos sais e estabelece o lençol freático próximo a superfície potencializando a ascensão capilar de sais que acumulados na camada superficial ao longo do tempo pode atingir teores limitantes ao pleno desenvolvimento das culturas, o que não foi observado provavelmente devido ao curto período de operação do perímetro, nove anos. Adicionalmente a proximidade do lençol freático da superfície, prejudica o crescimento de plantas pela deficiência de oxigênio e redução da camada explorada de solo.

A profundidade do solo apresentou baixo coeficiente de variação para o estrato F e médio para os demais estratos, a distribuição normal não foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk (QUADRO 4).

Quadro 4. Medidas estatísticas descritivas do atributo físico profundidade do solo correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)

Atributo	Estrato	Medida estatística descritiva			
		X	s	CV	S-W
Prof (m)	C	1,81	0,52	28,42	N-N
	D	1,11	0,66	59,84	N-N
	F	2,11	0,25	11,96	N-N
	P	1,96	0,51	25,86	N-N
	V	1,93	0,49	25,43	N-N

X – média; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; S-W - teste de Shapiro-Wilk; N – atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$); N-N – não atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$); Prof – profundidade do solo.

Observando-se os valores médios das variáveis dos atributos físicos (QUADROS 1, 2, 3 e 4), verifica-se que não há valor que possa identificar algum estrato e seu solo correspondente como de má qualidade. Desse modo, os comentários relativos aos atributos físicos classificam os estratos entre si considerando todos como de boa qualidade do solo. Destaca-se apenas o estrato D que pelo valor médio de profundidade apresentado foi considerado como de má qualidade do solo.

4.1.2 Análise de componentes principais dos atributos físicos

Aplicando-se a análise de componente principal (ACP) para os atributos físicos avaliados na camada de 0-10 cm retiveram-se dois componentes principais de acordo com os critérios adotados. A componente principal (CP) 1 explicou 63,21 % e a componente principal 2 explicou 22,25 % da variação total (QUADRO 5). Observou-se que as variáveis que mais contribuíram para explicação da variação total na CP 1 foram densidade das partículas, teor de argila, ADA e densidade do solo (negativamente relacionadas com o eixo), e areia, grau de floculação e profundidade (positivamente relacionadas com o eixo) uma vez que os coeficiente de correlação destas variáveis com sua CP foram os mais altos indicando maior contribuição na variação total na avaliação entre os estratos analisados (QUADRO 6).

Para a segunda componente principal, contribuíram de maneira mais efetiva para explicar a variação total as variáveis: silte e porosidade total, positivamente relacionadas com o eixo (QUADRO 6).

Quadro 5. Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos físicos da camada de 0-10 cm

Componente principal	Autovalor	Variância total	Autovalor acumulado	Variância Acumulada
		%		%
1	6,32	63,21	6,32	63,21
2	2,22	22,25	8,55	85,46
3	1,17	11,66	9,71	97,12
4	0,29	2,88	10,00	100,00

Quadro 6. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos físicos da camada de 0-10 cm

Variável	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
Densidade das partículas	-0,9186	0,2749	-0,2838	-0,0018
Areia	0,9602	-0,2674	-0,0749	-0,0302
Silte	-0,2914	0,8005	0,5165	0,0869
Argila	-0,9678	-0,1424	-0,2073	-0,0141
Condutividade hidráulica	0,6868	0,6669	0,1921	0,2159
Argila dispersa em água	-0,9889	0,0542	-0,0047	-0,1385
Grau de floculação	0,8139	-0,1786	-0,5144	0,2027
Densidade do solo	-0,8217	-0,4812	0,2796	0,1228
Porosidade total	0,0584	0,8323	-0,5168	-0,1921
Profundidade do solo	0,8619	-0,1140	0,3517	-0,3470

A análise de agrupamento pelo método Tocher utilizando-se as componentes principais 1 e 2, juntas responsáveis por 85,46 % da variação total (QUADRO 5) formou dois grupos, no primeiro encontraram-se os estratos ciclo curto (C), áreas descartadas (D), fruticultura (F) e pastagem (P) (FIGURA 1). Isolado em um grupo ficou o estrato vegetação nativa (V) (FIGURA 1). Observando-se a disposição dos grupos (FIGURA 1), considerando-se a interação CP 1 e 2, afirma-se que a diferença entre os estratos relacionados a sistemas produtivos e o estrato V foi melhor entendida na análise da componente principal 2, no qual o valor de porosidade total no estrato V tende a ser menor do que os outros estratos (QUADRO 1). Entre os usos agrícolas, os estratos estudados apresentam-se similares para os atributos físicos avaliados considerando-se a análise de agrupamento de acordo com as componentes principais 1 e 2 (FIGURA 1).

Nesta análise observou-se que a prática agrícola causou alteração nos atributos físicos do solo quando estes sob vegetação nativa foram incorporados aos sistemas produtivos. Resultados semelhantes foram observados por outros autores que verificaram modificações expressivas das características físicas de solos após a incorporação em sistemas agrícolas. Segundo Rosa Junior et al. (2006) os valores de grau de floculação foram influenciados pelo uso do solo, foi significativamente menor para as condições sob culturas anuais do que para os solos sob pastagens e vegetação nativa que não apresentaram diferença significativa entre si.

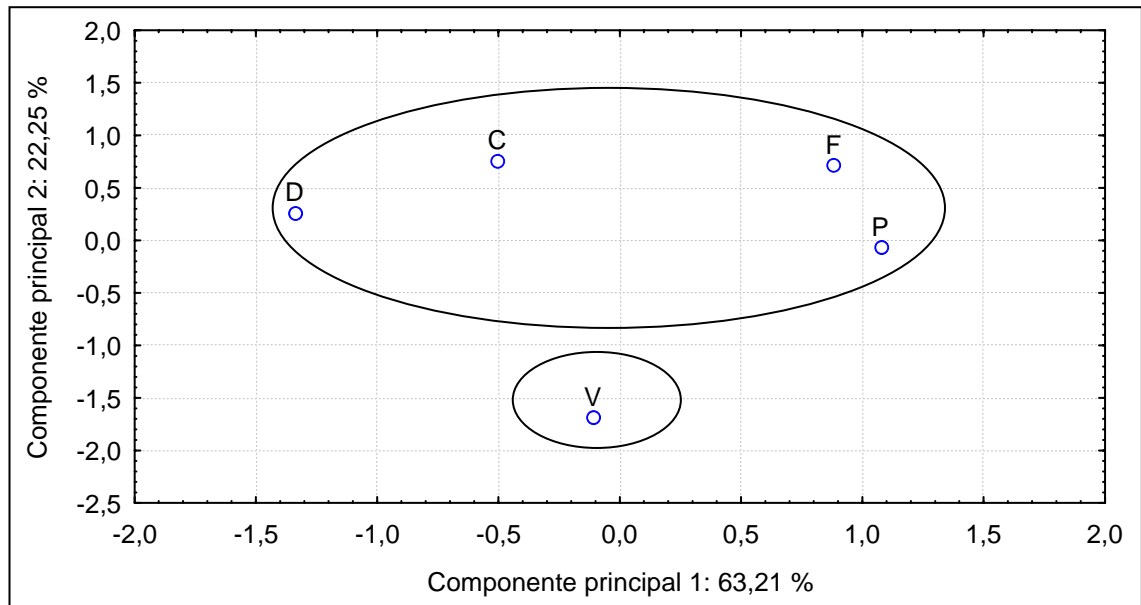


Figura 1. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nos dois primeiros componentes principais obtidos com os atributos físicos da camada de 0-10 cm, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento.

Souza et al. (2005) observaram que a densidade do solo, em um Neossolo Quartzarênico, apresentou aumento nas áreas que sofreram ação antrópica avaliadas: milho ($1,53 \text{ g cm}^{-3}$), soja ($1,59 \text{ g cm}^{-3}$), pastagem ($1,60 \text{ g cm}^{-3}$), integração lavoura pecuária ($1,56 \text{ g cm}^{-3}$) e cerrado antropizado ($1,55 \text{ g cm}^{-3}$). A maior densidade do solo nas áreas estudadas, em relação ao cerrado, que apresentou densidade do solo significativamente inferior ($1,41 \text{ g cm}^{-3}$), pode ser decorrente do efeito do pisoteio do gado e uso de máquinas agrícolas. Alterações nas características físicas de solos agrícolas em comparação a solos sob vegetação nativa foram também observadas por Costa et al. (2003), estes autores avaliaram o efeito de longo prazo (21 anos) dos sistemas de preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) sobre propriedades físicas da camada de 0-0,2 m de um Latossolo Bruno aluminico câmbico (629 g kg^{-1} de argila), em Guarapuava (PR). Em relação à área sob mata nativa, contígua ao experimento e tomada como referência, o cultivo do solo em PC resultou não só no aumento da densidade do solo, na resistência do solo à penetração e na temperatura do solo, mas também na diminuição do diâmetro médio geométrico dos agregados.

A classificação dos estratos utilizando-se um índice de qualidade do solo obtido a partir da componente principal 1 indicou em ordem crescente da

qualidade do solo os estratos: D, V, C, P e F (QUADRO 7). Os estratos F e P apresentaram a melhor qualidade física para a camada de 0-10 cm, possivelmente a menor movimentação do solo no manejo destes estratos permitiu uma maior agregação das partículas do solo o que foi observado pelo maior valor de grau de floclulação apresentado por estes estratos entre outras variáveis com melhor qualidade, o estrato C apresentou qualidade inferior aos estratos F e P apresentando maior densidade do solo e menor grau de floclulação de argila, provavelmente devido ao manejo com intensa movimentação do solo (QUADRO 7). O estrato V apresentou como pontos negativos a maior densidade do solo provavelmente por nunca ter sido arado ou gradeado e maior ADA possivelmente devido aos baixos teores de cátions floclulantes (QUADRO 16) o que entre outras características posicionou este estrato na quarta posição de qualidade do solo (QUADRO 7). O estrato D reuniu parâmetros não desejáveis como menor profundidade e maior densidade do solo e ADA que entre outros colaboraram para que este apresentasse a pior qualidade do solo (QUADRO 7). Ressalta-se que o estrato V se inserido em uma atividade agrícola apresenta potencial para apresentar uma boa qualidade do solo de acordo com a aplicação do manejo adequado do solo. Ainda observa-se que esta análise baseou-se em parâmetros com uma visão agrícola não se verificando a função ambiental desempenhada por este estrato, e assim foi realizada a interpretação dos atributos físicos, químicos e físicos e químicos, conjuntamente, de todos os estratos avaliados.

Na camada de 10-30 cm, de acordo com os critérios aplicados, foram retidas duas componentes principais. A variação explicada por estas duas componentes foi de 96,34 %, sendo 77,95 % da variação total relativa a CP 1 e 18,39 % a CP 2 (QUADRO 8).

Quadro 7. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 com os atributos físicos da camada de 0-10 cm

Estrato	D	V	C	P	F
Escore	-0,48	-0,23	-0,13	0,40	0,44

Quadro 8. Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos físicos da camada de 10-30 cm

Componente principal	Autovalor	Variância total (%)	Autovalor acumulado	Variância Acumulada (%)
1	7,80	77,95	7,80	77,95
2	1,84	18,39	9,63	96,34
3	0,30	3,01	9,94	99,36
4	0,06	0,64	10,00	100,00

Observou-se que as variáveis que mais contribuíram para explicação da variação total na CP 1 foram densidade das partículas, silte, argila e ADA (QUADRO 9) positivamente relacionadas com o eixo, e areia, condutividade hidráulica, grau de flocculação, densidade do solo e profundidade (QUADRO 9) negativamente relacionadas com o eixo. A porosidade total contribuiu mais fortemente para explicar a variação na componente principal 2 (positivamente relacionada com o eixo) (QUADRO 9).

A análise de agrupamento pelo método de otimização de Tocher aplicada aos escores das componentes principais 1 e 2, juntas contendo 96,34 % da variação total, utilizando como medida de dissimilaridade a distância Euclidiana Média criou três grupos. No grupo 1 estão contidos os estratos C, P e V, os estratos F e D constituíram-se em conjuntos unitários (FIGURA 2).

Para as variáveis físicas analisadas na camada de 10-30 cm, possivelmente, as influências do manejo de solo não alteraram de maneira mais expressiva esses atributos nos estratos ciclo curto e pastagem, uma vez que estes formaram um grupo juntamente com o estrato vegetação nativa (FIGURA 2), considerado o ponto de partida de onde o solo foi alterado em função dos usos agrícolas. Resultados semelhantes foram observados por Barreto et al. (2006) na avaliação da substituição da vegetação nativa de Mata Atlântica pelos sistemas agrícolas de produção de cacau e pastagem onde as características físicas densidade do solo, porosidade total, capacidade de campo e ponto de murcha permanente não apresentaram diferença significativa entre os usos agrícolas em comparação com a vegetação nativa. Analisando-se a disposição dos estratos nos grupos, observou-se que nesta camada as influências nos atributos físicos ficaram restritas aos estratos F e D (FIGURA 2).

Quadro 9. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos físicos da camada de 10-30 cm

Variável	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
Densidade das partículas	0,9854	0,1029	-0,0249	0,1335
Areia	-0,9918	-0,1213	0,0104	-0,0394
Silte	0,9252	0,0346	-0,3719	0,0670
Argila	0,9788	0,1513	0,1354	0,0267
Condutividade hidráulica	-0,7007	-0,6921	0,1017	0,1400
Argila dispersa em água	0,9853	-0,1091	0,1274	0,0332
Grau de floculação	-0,8254	0,5594	0,0317	0,0695
Densidade do solo	0,9676	-0,2034	-0,0928	-0,1170
Porosidade total	-0,2869	0,9577	-0,0109	0,0168
Profundidade do solo	-0,9299	-0,1655	-0,3278	0,0193

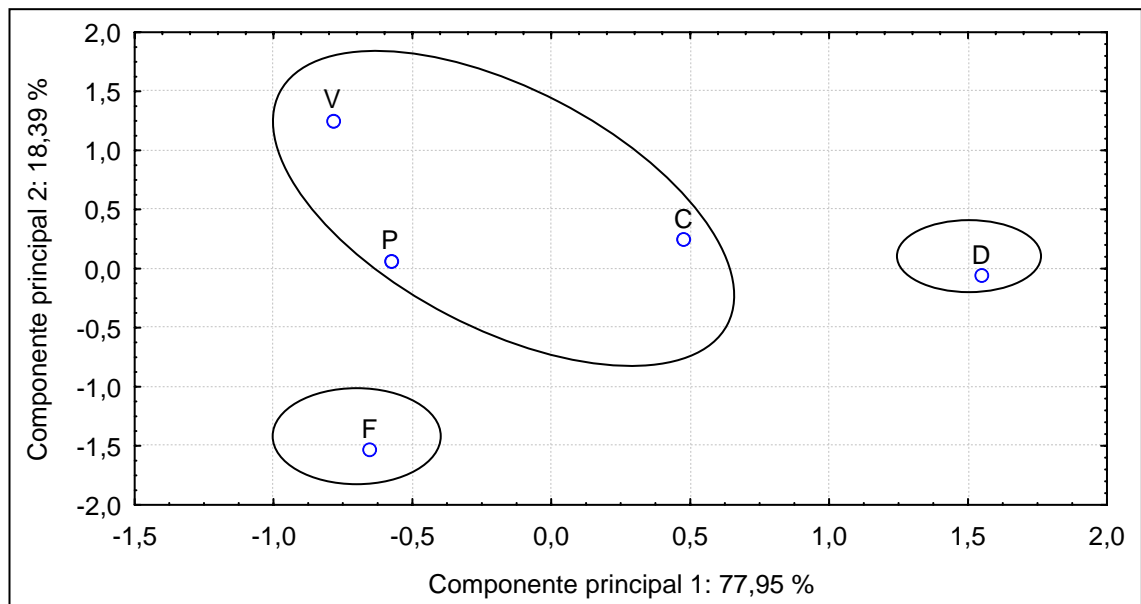


Figura 2. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nas duas primeiras componentes principais obtidas com os atributos físicos da camada de 10-30 cm, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento.

Leonardo (2003) avaliou a qualidade do solo e da água na bacia do rio Passo Cue, foram avaliados os atributos biológicos, físicos e químicos, em amostras coletadas até a profundidade de 40 cm, de um solo sob vegetação nativa e duas áreas agrícolas com diferentes manejos do solo (cultivo mínimo e plantio direto). Este autor observou que o solo sob vegetação nativa apresentou melhor qualidade do solo, se diferenciando quanto aos atributos físicos analisados em relação aos sistemas agrícolas avaliados. Este resultado foi semelhante ao observado neste trabalho na camada de 10-30 para análise

resumida da CP 1 em que o estrato V apresentou características físicas melhores em comparação aos estratos relacionados a sistemas produtivos. Considerando a análise de agrupamento (FIGURA 2) observou-se os resultados apresentados por estes autores foram diferentes dos obtidos neste trabalho onde foi observado similaridades entre o estrato vegetação nativa e os estrato C e P e semelhantes quando considerados os estratos F e D que apresentaram-se diferentes em relação a vegetação nativa.

A classificação dos estratos realizada utilizando-se o índice de qualidade do solo, na camada de 10-30 cm, classificou em ordem crescente de qualidade os estratos em: D, C, F, P e V (QUADRO 10). O estrato D adicionalmente a variável profundidade do solo apresentou outras variáveis que contribuíram negativamente para a qualidade do solo deste estrato como a densidade do solo, ADA e grau de flocculação (QUADROS 1 e 3). O estrato C possivelmente afetado negativamente pela mecanização do solo apresentou variáveis como condutividade hidráulica e densidade do solo (QUADROS 1 e 3) que contribuíram entre outras para uma qualidade do solo inferior ao estrato P (QUADRO 10). O estrato F apresentou qualidade física do solo similar ao estrato C (QUADRO 10), a menor concentração de cátions flocculante no estrato F (QUADRO 16) possivelmente influenciou variáveis como grau de flocculação, ADA e densidade do solo (QUADROS 1 e 3) que poderiam ter apresentado melhores valores neste estrato o que contribuiu, possivelmente, para uma menor agregação das partículas de solo mesmo com pouca movimentação do solo. Por fim o estrato V assumiu a posição de melhor qualidade do solo nesta camada (QUADRO 10), provavelmente por não sofrer o efeito da mecanização do solo que atinge, sobretudo, a camada subsuperficial apresentando melhores valores de ADA, grau de flocculação e densidade do solo entre outras variáveis (QUADROS 1 e 3).

Os atributos físicos da camada de 30-60 cm submetidos à análise de componentes principais apresentaram duas componentes principais retidas de acordo com os critérios adotados (QUADRO 11). A CP 1 reuniu 69,21 % da variação total (QUADRO 11), nesta componente as variáveis que mais fortemente contribuíram foram densidade das partículas, silte, argila e ADA (positivamente relacionadas com o eixo) e areia e profundidade do solo (negativamente relacionadas com o eixo) (QUADRO 12).

Quadro 10. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 com os atributos físicos da camada de 10-30 cm

Estrato	D	C	F	P	V
Escore	-0,50	-0,02	0,04	0,20	0,26

Quadro 11. Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos físicos da camada de 30-60 cm

Componente principal	Autovalor	Variância total (%)	Autovalor acumulado	Variância Acumulada (%)
1	5,54	69,21	5,54	69,21
2	1,25	15,66	6,79	84,87
3	1,10	13,73	7,89	98,60
4	0,11	1,40	8,00	100,00

Quadro 12. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos físicos da camada de 30-60 cm

Variável	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
Densidade das partículas	0,9701	0,1257	-0,2008	-0,0524
Areia	-0,9695	0,1743	0,1598	-0,0638
Silte	0,8308	-0,2086	-0,4769	-0,1970
Argila	0,9755	-0,1558	-0,0486	0,1472
Condutividade hidráulica	-0,2151	0,6902	-0,6889	0,0536
Argila dispersa em água	0,9747	0,1069	0,1184	0,1563
Grau de floculação	-0,4341	-0,8035	-0,4034	0,0565
Profundidade do solo	-0,9104	-0,0744	-0,3895	0,1179

As variáveis grau de floculação e condutividade hidráulica foram menos influente para explicar a variação entre os estratos (QUADRO 12).

A CP 2 explicou 15,66 % da variação total (QUADRO 11), apresentou apenas uma variável, grau de floculação, contribuindo fortemente para a formação da componente principal (QUADRO 12).

A análise de agrupamento pelo método Tocher a partir das duas primeiras componentes principais que juntas reuniram 84,87 % da variação total (QUADRO 11), dividiu os estratos em três grupos. Um grupo reuniu como estratos similares C, P e V e dois conjuntos unitários formados pelos estratos D e F (FIGURA 3).

O índice de qualidade do solo obtido a partir da componente principal 1 classificou os solos em ordem crescente de qualidade do solo em: D, V, F, P e C. O estrato D apresentou o maior valor de ADA e o menor valor de profundidade do solo, o que foi verificado observando-se os valores médios

destas variáveis nos Quadros 3 e 4, estas variáveis entre outras colaboraram para a menor qualidade do solo observada para este estrato (QUADRO 13). Menos afetada pelo manejo do solo a avaliação da qualidade do solo nesta camada permitiu, provavelmente que variáveis intrínsecas pudessem se sobrepor àquelas relacionadas ao manejo do solo fazendo com que o estrato C apresentasse a melhor qualidade do solo, observou-se ainda que a variável grau de floculação neste estrato apresentou um bom resultado em relação aos demais estratos. Os atributos areia e condutividade hidráulica influenciaram negativamente na classificação junto a outras variáveis o que contribuiu para a baixa classificação estrato V, superior apenas ao estrato D.

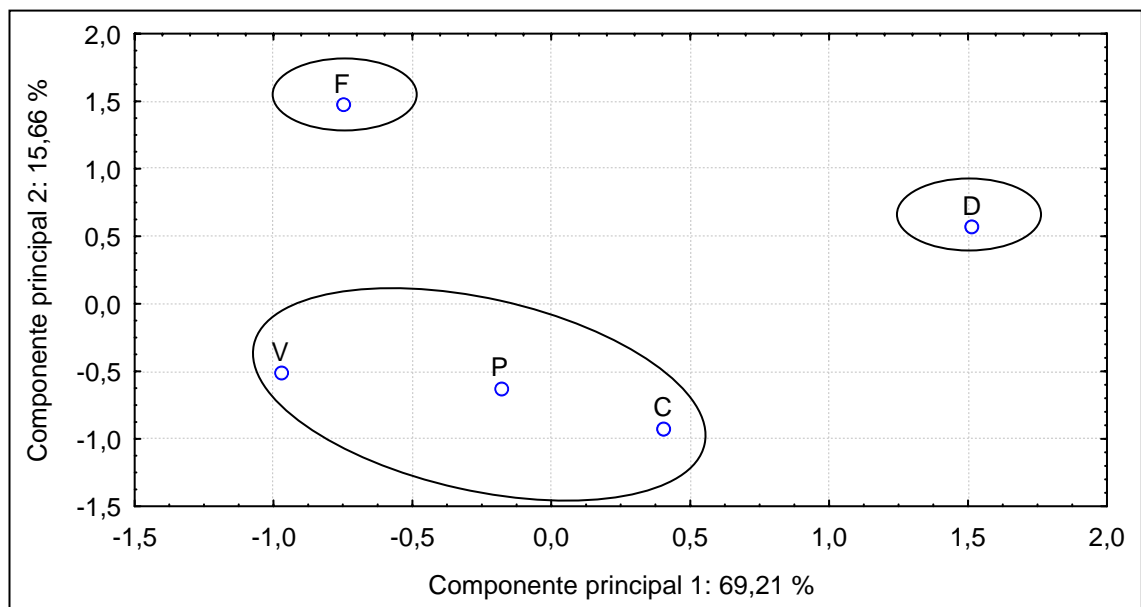


Figura 3. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nos dois primeiros componentes principais obtidos com os atributos físicos da camada de 30-60 cm, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento.

Quadro 13. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 com os atributos físicos da camada de 30-60 cm

Estrato	D	V	F	P	C
Score	-0,37	-0,12	-0,07	0,17	0,39

A análise de agrupamento para os atributos físicos na camada de 30-60 cm apresentou resultado igual àquela apresentada para a camada de 10-30 cm (FIGURAS 2 e 3). Infere-se que as alterações nos atributos físicos provocadas pelo manejo do solo nos estratos F e D atingiram esta camada diferenciando-as do estrato V, estado original. Entre estes estratos, a intensidade das alterações foi diferente, o que tornou estes estratos não similares de acordo com a análise de agrupamento. Por fim, observa-se que, possivelmente, nos estratos C e P o manejo do solo não provocou alterações nos seus atributos físicos uma vez que estes estratos são do mesmo grupo do que o estrato V.

Enfim, para os estratos C e P, as alterações provocadas pelo manejo se restringem à camada de 0-10 cm (FIGURA 1), não ocorrendo modificações mais expressivas nas camadas inferiores avaliadas. Nos estratos D e F estas alterações se estendem da primeira à última camada avaliada (FIGURAS 1, 2 e 3).

Reunido-se as informações sobre a classificação da qualidade do solo nas três camadas analisadas para os atributos físicos, concluiu-se em uma avaliação geral que: O estrato D apresentou a pior qualidade em todas as camadas analisadas (QUADROS 7, 10 e 13), em função não só da profundidade do solo, mas também de atributos relacionados ao manejo do solo. Os estratos P e F apresentaram nas camadas de 0-10 e de 10-30 cm melhor qualidade do solo em relação ao estrato C, possivelmente devido ao manejo menos intenso do solo típico destes estratos.

Na camada de 0-10 cm o estrato V assumiu a quarta posição, nesta camada, possivelmente, os benefícios da aração e gradagem, sentidos na camada superficial proporcionaram condições para que os estratos C, P e F apresentassem melhor qualidade em relação ao estrato V (QUADRO 7). Provavelmente os benefícios da mecanização do solo obtidos na camada de 0-10 cm não foram estendidos para as camadas inferiores que normalmente sofrem apenas o efeito da compactação e não o da movimentação do solo. Desse modo na camada de 10-30 cm as posições se inverteram e o estrato V apresentou melhor qualidade do que os estratos C, F e P (QUADRO 10). Este resultado foi obtido, provavelmente, pela não movimentação do solo por máquinas agrícolas causadoras da compactação do solo, bem como pela cobertura do solo oferecida por uma vegetação nativa atuando na proteção do solo. Nas camadas analisadas de 0-10 e 10-30 cm, mais influenciadas pelo

manejo do solo, o estrato C apresentou qualidade física do solo inferior aos estratos P e F indicando que no estrato C o impacto negativo do manejo do solo deve ser reduzido para que este melhore sua qualidade do solo (QUADROS 7 e 10). A observação da classificação da qualidade física do solo na camada de 30-60 cm (QUADRO 13), camada menos afetada pelo manejo do solo, indicou o estrato C como o de melhor qualidade evidenciando que o manejo mais intenso típico deste estrato foi determinante para que este apresentasse qualidade inferior em relação aos estratos P e F na camada de 0-10 e 10-30 cm (QUADROS 7 e 10).

4.2 Atributos químicos

4.2.1 Estatística descritiva dos atributos químicos

A reação do solo é um indicativo dos demais atributos químicos, sendo uma variável de fácil determinação necessitando poucos recursos e tempo, portanto de interesse num trabalho de caracterização da qualidade de um solo.

Os valores médios de pHs na camada de 0-10 cm apresentaram-se para os estratos relacionados a sistemas produtivos como bons, variando de 6,00 a 6,73, no estrato vegetação nativa observou-se o menor valor (QUADRO 14). Em profundidade o pHs apresentou redução nos valores médios da camada 0-10 cm até a camada 30-60 cm, apresentando em todas as camadas o estrato V o menor valor e os estratos relacionados a sistemas produtivos com médias maiores e semelhantes entre si (QUADRO 14).

Os valores médios do pHes apresentaram distribuição entre os estratos similar à observada para o pHs, em que o estrato D apresentou os maiores valores médios em todas as camadas, porém não se diferenciou de maneira acentuada dos outros estratos (QUADRO 14). Os menores valores nas três camadas avaliadas foram observados no estrato V (QUADRO 14).

Quadro 14. Medidas estatísticas descritivas de atributos químicos dos solos correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)

Atributo	Estrato	Camada	Medida estatística descritiva				
			X	s	CV	S-W	
pHs	C	0 – 10	6,01	0,62	10,31	N	
		10 – 30	5,51	0,84	15,22	N	
		30 - 60	4,98	0,81	16,33	N-N	
	D	0 – 10	6,31	0,64	10,15	N	
		10 – 30	5,96	0,95	15,97	N	
		30 - 60	5,57	0,79	14,26	N	
	F	0 – 10	6,73	0,66	9,82	N	
		10 – 30	5,98	0,66	11,06	N	
		30 - 60	5,27	0,81	15,35	N-N	
	P	0 – 10	6,27	0,57	9,16	N	
		10 – 30	5,91	0,96	16,21	N	
		30 - 60	5,53	1,20	21,76	N	
	V	0 – 10	5,15	0,69	13,44	N	
		10 – 30	4,69	0,37	7,95	N	
		30 - 60	4,66	0,41	8,85	N-N	
	pHes	C	0 – 10	6,75	0,48	7,16	N
			10 – 30	6,12	0,96	15,72	N
			30 - 60	6,04	0,92	15,23	N
D		0 – 10	7,28	0,58	7,98	N	
		10 – 30	6,77	0,86	12,76	N-N	
		30 - 60	6,80	0,88	12,88	N	
F		0 – 10	7,10	0,64	9,02	N	
		10 – 30	6,51	0,69	10,54	N	
		30 - 60	5,84	0,93	15,89	N	
P		0 – 10	6,79	0,59	8,67	N	
		10 – 30	6,62	0,58	8,79	N	
		30 - 60	6,38	1,00	15,65	N	
V		0 – 10	5,58	1,04	18,67	N-N	
		10 – 30	5,45	0,79	14,51	N	
		30 - 60	5,42	0,71	13,12	N	
CEes (dS m ⁻¹)		C	0 – 10	0,91	0,85	93,26	N-N
			10 – 30	0,48	0,33	68,87	N
			30 - 60	0,45	0,43	95,11	N-N
	D	0 – 10	0,80	0,79	98,82	N-N	
		10 – 30	0,49	0,47	96,49	N-N	
		30 - 60	0,40	0,22	55,12	N	
	F	0 – 10	0,38	0,11	29,30	N	
		10 – 30	0,20	0,11	54,81	N-N	
		30 - 60	0,21	0,17	80,00	N-N	
	P	0 – 10	0,76	0,51	67,05	N-N	
		10 – 30	0,47	0,38	81,47	N-N	
		30 - 60	0,34	0,17	51,79	N	
	V	0 – 10	0,23	0,11	50,80	N	
		10 – 30	0,12	0,04	35,25	N	
		30 - 60	0,10	0,05	47,73	N	

X – média; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; S-W - teste de Shapiro-Wilk; N – atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$); N-N – não atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$); pHs – pH do solo; pHes – pH do extrato da pasta saturada; CEes – condutividade elétrica dos extrato da pasta saturada.

Neste estudo, observou-se o pH do solo (pHs) e do extrato de saturação da pasta (pHes), com valores próximos da neutralidade, apesar dos solos serem de textura arenosa. Considerando-se o estrato V como o padrão da área em estudo, observa-se que a inserção de um sistema de cultivo promoveu a elevação do pH, principalmente na camada superficial dos solos (QUADRO 14). Entre o pHs e o pHes, nesse último foram verificados valores mais altos, superando até mesmo o valor de 7,0, característico da neutralidade de reação do solo. A faixa ótima de pH para o desenvolvimento das principais culturas está entre 6,0 e 6,5, na qual os nutrientes em geral encontram-se mais disponíveis, possibilitando melhores produtividades, contudo, para valores de pH superiores a isso, podem ocorrer problemas de indisponibilização de fósforo, pela formação de compostos com o cálcio presente em maiores concentrações, além de deficiências de alguns micronutrientes, dificultando a produção vegetal. Adicionalmente, a elevação do pH ocorre juntamente com o aumento da concentração de sais na solução do solo. Verificaram-se aumentos da condutividade elétrica (CEes) em todos os estratos em comparação aos solos sob vegetação nativa (QUADRO 14). Esses aumentos, apesar de não serem suficientes para classificar os solos como salinos, evidenciam o acréscimo de sais, principalmente em superfície, indicando processos de ascensão capilar de água com sais e sua concentração superficial. Identificando-se, inclusive, aumentos consideráveis de $0,23 \text{ dS m}^{-1}$ na camada de 0-10 cm do estrato V para $0,91 \text{ dS m}^{-1}$ e $0,80 \text{ dS m}^{-1}$, para os estratos C e D, respectivamente. Isso torna-se ainda mais preocupante, pela textura predominantemente arenosa dos solos, bem como pelo curto período de uso agrícola das áreas e boa qualidade da água utilizada na irrigação originária do Rio São Francisco, classificada como C1S1, sem riscos de salinização e sodificação de solos, segundo Richards (1954).

O pH do solo (pHs) e do extrato de saturação da pasta (pHes) apresentaram coeficientes de variação com valores baixos e médios em todas as camadas analisadas, exceto para a variável pHes na camada de 30-60 cm que apresentou valores médios para o coeficiente de variação (QUADRO 14). Feita a análise pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) obteve-se distribuição normal em 12 e 13 conjuntos de dados, respectivamente para o pHs e o pHes, no total de 15 conjuntos (QUADRO 14).

Os valores médios de CEes (QUADRO 14) para todos os estratos avaliados apresentam-se maiores na camada de 0-10 cm e nas camadas de 10-30 e de 30-60 cm os valores observados foram semelhantes para cada estrato, observou-se que os estratos D, C e P apresentaram valores discretamente maiores em relação aos estratos V e F. Estas diferenças se acentuaram na camada de 0-10 cm, indicando uma tendência de acúmulo de sais na camada mais superficial dos estratos D, C e P (QUADRO 14).

Apesar dos valores de CEes encontrados não alcançarem o limite que classifica os solos como salinos (RICHARDS, 1954), os valores observados nos estratos C, D e P em relação ao estrato V apresentaram-se expressivamente superiores (QUADRO 14). Pelo curto período de tempo de operação do perímetro e pelas peculiaridades de solos arenosos da área e da água de boa qualidade, que minimizam o risco de salinização de solos, esses ainda encontram-se com baixos valores de CEes, entretanto, o processo de salinização está ocorrendo e poderá acarretar a queda da capacidade produtiva dos solos em questão. O estrato F destacou-se entre os estratos relacionados a sistemas produtivos apresentando o menor valor de CEes (QUADRO 14), provavelmente devido ao melhor manejo de irrigação neste estrato. A CEes apresentou coeficientes de variação classificados como médios e altos, indicando alta variabilidade da CEes nos solos, resultado esperado pela heterogeneidade do acúmulo de sais, que sofre a interferência de diversos fatores, como composição granulométrica e mineralógica dos solos, micro e macro-relevo, quantidade e qualidade da água aplicada, dentre outros (QUADRO 14). A distribuição normal verificada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) foi observada em 7 conjuntos de 15 possíveis para a CEes (QUADRO 14).

Os valores médios da PST para todos os estratos nas camadas avaliadas foram baixos, não excedendo 3,5 %, exceto o estrato P na camada de 0-10 cm, que apresentou 5,6 % de PST (QUADRO 15). Observando-se os valores médios da PST do estrato V em comparação aos demais estratos, e considerando que possivelmente os demais estratos apresentavam atributos químicos semelhantes a este antes da incorporação em sistemas produtivos, observa-se que ocorreu uma pequena variação em torno do valor médio de PST apresentado pelo estrato V, exceto para o estrato P na camada de 0-10 cm expressivamente superior aos demais estratos. Os coeficientes de variação

de sódio e PST foram altos em todas as camadas analisadas, estas variáveis apresentaram, respectivamente, distribuição normal em apenas 4 e 2 conjuntos de um total de 15 conjuntos para cada variável (QUADRO 15).

Observando-se os valores médios de CTC (QUADRO 15) constatou-se os baixos valores dessa variável nos solos estudados, apesar de corresponderem a solos desenvolvidos em regiões semi-áridas. Entretanto, esses se justificam pelos baixos teores de argila encontrados nos solos em estudo (QUADRO 2). Isso também contribuiu para os resultados de saturação por bases obtidos, em que pequenas quantidades de bases trocáveis ocupam praticamente todas as cargas elétricas dos colóides.

O potássio, magnésio e CTC apresentaram coeficientes de variação classificados como médios e altos, a distribuição normal para estas variáveis foi observada, respectivamente, em 14, 3 e 9 conjuntos do total de 15 (QUADROS 15 e 16).

O cálcio e a SB apresentaram coeficientes médios para a camada de 0-10 cm e médios e altos para as demais camadas, a distribuição normal foi observada, respectivamente, em 8 e 5 conjuntos do total de 15 (QUADROS 16 e 17). Para estas variáveis Montezano et al. (2006) encontraram valores médios dos coeficientes de variação.

Miranda et al. (2006) realizaram estudo em 3,18 ha de um Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico, estes autores obtiveram médio valor de coeficiente de variação para a variável matéria orgânica, resultados semelhantes foram observados neste trabalho (QUADRO 18). Os coeficientes de variação obtidos por estes autores para as variáveis sódio e fósforo foram médios, diferentes dos observados neste trabalho que apresentou valores altos dos coeficientes de variação para estas variáveis (QUADROS 15 e 18). Observou-se ainda que os valores dos coeficientes de variação encontrados, por Miranda et al. (2006) para as variáveis magnésio e potássio foram médios enquanto os coeficientes obtidos neste trabalho para estas variáveis foram médios e altos (QUADRO 16). De acordo com estes autores, as variáveis pHs, cálcio e CTC apresentaram valores baixos dos coeficientes de variação enquanto os resultados apresentados neste trabalho indicam valores baixos e médios para a variável pHs e médios e altos para os atributos cálcio e CTC (QUADROS 14, 15 e 16).

Quadro 15. Medidas estatísticas descritivas de atributos químicos dos solos correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)

Atributo	Estrato	Camada	Medida estatística descritiva			
			X	s	CV	S-W
Sódio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	C	0 – 10	0,05	0,09	196,84	N-N
		10 – 30	0,07	0,12	177,53	N-N
		30 - 60	0,08	0,13	150,23	N-N
	D	0 – 10	0,08	0,07	90,71	N-N
		10 – 30	0,09	0,19	201,43	N-N
		30 - 60	0,09	0,14	158,75	N-N
	F	0 – 10	0,03	0,04	159,79	N-N
		10 – 30	0,07	0,12	183,89	N-N
		30 - 60	0,09	0,09	98,25	N
	P	0 – 10	0,09	0,11	121,05	N-N
		10 – 30	0,08	0,06	76,98	N
		30 - 60	0,06	0,05	82,28	N
	V	0 – 10	0,07	0,16	229,08	N-N
		10 – 30	0,06	0,10	175,71	N-N
		30 - 60	0,04	0,04	99,97	N
CTC ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	C	0 – 10	3,06	2,43	79,56	N-N
		10 – 30	3,49	2,31	66,13	N-N
		30 - 60	4,02	2,87	71,55	N-N
	D	0 – 10	3,32	1,47	44,31	N
		10 – 30	4,51	4,15	91,83	N-N
		30 - 60	4,48	3,35	74,86	N
	F	0 – 10	2,08	0,59	28,41	N
		10 – 30	2,25	0,92	40,95	N
		30 - 60	2,73	1,30	47,62	N
	P	0 – 10	2,16	1,35	62,24	N
		10 – 30	2,80	1,58	56,56	N
		30 - 60	3,88	2,68	69,25	N-N
	V	0 – 10	2,78	1,08	38,86	N-N
		10 – 30	2,40	0,86	35,87	N
		30 - 60	1,95	0,60	30,73	N
PST (%)	C	0 – 10	0,98	1,28	131,39	N-N
		10 – 30	1,39	1,25	90,44	N-N
		30 - 60	1,93	2,34	121,29	N-N
	D	0 – 10	2,52	2,47	98,05	N-N
		10 – 30	1,33	1,32	99,65	N-N
		30 - 60	1,33	1,17	87,58	N-N
	F	0 – 10	1,22	2,24	183,84	N-N
		10 – 30	2,62	3,95	150,81	N-N
		30 - 60	3,38	3,94	116,60	N-N
	P	0 – 10	5,61	11,61	206,96	N-N
		10 – 30	3,00	2,82	94,20	N-N
		30 - 60	1,91	1,41	74,09	N
	V	0 – 10	1,87	3,28	174,77	N-N
		10 – 30	2,04	3,36	164,18	N-N
		30 - 60	1,96	1,96	100,20	N

X – média; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; S-W - teste de Shapiro-Wilk; N – atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$); N-N – não atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$); CTC – capacidade de troca de cátions; PST – percentagem de sódio trocável.

Quadro 16. Medidas estatísticas descritivas de atributos químicos dos solos correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)

Atributo	Estrato	Camada	Medida estatística descritiva			
			X	s	CV	S-W
Cálcio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	C	0 – 10	2,29	1,05	45,86	N-N
		10 – 30	2,12	0,96	45,23	N
		30 - 60	1,75	0,96	54,82	N-N
	D	0 – 10	2,44	0,74	30,51	N
		10 – 30	3,16	1,80	56,98	N-N
		30 - 60	2,66	1,67	62,82	N-N
	F	0 – 10	1,82	0,41	22,66	N
		10 – 30	1,42	0,49	34,83	N
		30 - 60	1,20	0,43	35,40	N
	P	0 – 10	1,97	0,77	39,14	N-N
		10 – 30	1,93	1,30	67,03	N-N
		30 – 60	1,76	1,21	68,84	N-N
	V	0 – 10	1,33	0,59	44,47	N
		10 – 30	1,18	0,43	36,57	N
		30 – 60	0,86	0,32	36,75	N
Magnésio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	C	0 – 10	0,34	0,23	68,91	N-N
		10 – 30	0,34	0,33	98,37	N-N
		30 - 60	0,32	0,43	134,70	N-N
	D	0 – 10	0,38	0,13	33,19	N
		10 – 30	0,67	0,93	139,72	N-N
		30 - 60	0,62	0,56	91,13	N-N
	F	0 – 10	0,24	0,05	21,88	N
		10 – 30	0,19	0,06	32,45	N
		30 - 60	0,13	0,04	33,10	N
	P	0 – 10	0,24	0,14	56,58	N-N
		10 – 30	0,28	0,21	74,89	N-N
		30 - 60	0,26	0,27	103,03	N-N
	V	0 – 10	0,12	0,08	62,70	N-N
		10 – 30	0,09	0,08	79,45	N-N
		30 – 60	0,07	0,07	100,51	N-N
Potássio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	C	0 – 10	0,28	0,16	57,52	N
		10 – 30	0,27	0,11	42,80	N
		30 – 60	0,22	0,12	55,97	N
	D	0 – 10	0,43	0,16	36,54	N
		10 – 30	0,31	0,11	36,94	N
		30 – 60	0,23	0,15	66,14	N
	F	0 – 10	0,14	0,09	61,51	N
		10 – 30	0,14	0,08	56,64	N
		30 - 60	0,16	0,10	62,63	N
	P	0 – 10	0,28	0,19	68,41	N
		10 – 30	0,21	0,17	78,23	N
		30 - 60	0,24	0,13	52,44	N
	V	0 – 10	0,23	0,07	30,58	N-N
		10 – 30	0,17	0,07	41,57	N
		30 - 60	0,15	0,04	26,98	N

X – média; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; S-W - teste de Shapiro-Wilk; N – atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$); N-N – não atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$).

A saturação por bases foi alta para todos os estratos, observou-se valores mais altos na camada de 0-10 e 10-30 cm, semelhantes entre os estratos relacionados aos sistemas produtivos e verificou-se uma redução destes valores na camada de 30-60 cm (QUADRO 17). Contudo, o estrato V apresentou valores semelhantes de saturação por bases em todas as camadas e inferiores aos observados para os demais estratos na camada de 0-10 e 10-30 cm, apesar de corresponder a valores em torno de 65 % (QUADRO 17). Possivelmente, solos sob vegetação nativa, sendo submetidos aos cultivos estudados passaram por um enriquecimento de bases trocáveis, que promoveram a elevação da saturação por bases.

Quadro 17. Medidas estatísticas descritivas de atributos químicos dos solos correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)

Atributo	Estrato	Camada	Medida estatística descritiva			
			X	s	CV	S-W
SB ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	C	0 – 10	2,93	1,40	47,67	N-N
		10 – 30	2,77	1,41	51,01	N-N
		30 - 60	2,37	1,43	60,50	N-N
	D	0 – 10	3,33	0,92	27,79	N
		10 – 30	4,23	2,78	65,81	N-N
		30 - 60	3,59	2,42	67,21	N-N
	F	0 – 10	2,08	0,71	33,94	N-N
		10 – 30	1,82	0,54	29,88	N
		30 - 60	1,58	0,41	25,77	N
	P	0 – 10	2,57	1,00	38,70	N-N
		10 – 30	2,50	1,47	58,71	N-N
		30 - 60	2,33	1,53	65,81	N-N
	V	0 – 10	1,75	0,74	42,10	N-N
		10 – 30	1,50	0,45	29,96	N
		30 - 60	1,13	0,35	31,27	N
V (%)	C	0 – 10	91,06	12,53	13,76	N-N
		10 – 30	81,36	17,59	21,62	N-N
		30 - 60	64,27	21,93	34,12	N
	D	0 – 10	89,23	16,54	18,54	N-N
		10 – 30	87,63	14,38	16,41	N-N
		30 - 60	76,27	22,60	29,64	N
	F	0 – 10	93,15	10,88	11,68	N-N
		10 – 30	77,61	22,06	28,43	N
		30 - 60	63,73	24,24	38,03	N
	P	0 – 10	94,98	7,77	8,18	N-N
		10 – 30	93,51	65,67	70,22	N-N
		30 - 60	64,82	24,58	37,93	N
	V	0 – 10	64,43	22,44	34,83	N
		10 – 30	67,19	25,47	37,91	N
		30 - 60	62,41	26,50	42,47	N

X – média; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; S-W - teste de Shapiro-Wilk; N – atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$); N-N – não atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$); SB – soma de bases; V – saturação por bases.

Os coeficientes de variação da saturação por bases apresentaram-se baixos e médios, médios e altos e médios, respectivamente, nas camadas de 0-10, 10-30 e 30-60 cm (QUADRO 17). A distribuição normal foi observada em 8 conjuntos de 15 possíveis (QUADRO 17).

O fósforo apresentou uma redução sucessiva, com maiores valores na camada de 0-10 cm que diminuíram na camada de 10-30 cm e mais ainda na camada de 30-60 cm (QUADRO 18). A vegetação nativa apresentou os menores valores em todas as camadas (QUADRO 18).

Os valores médios de concentração de fósforo foram altos nos estratos relacionados a sistemas produtivos na camada de 0-10 cm, médios na camada de 10-30 e baixos na camada de 30-60 cm, o estrato V apresentou baixos valores médios (CAVALCANTI et al., 1998), os maiores valores observados nos estratos relacionados a sistemas produtivos possivelmente ocorreram devido à aplicação de fertilizantes nos cultivos adotados (QUADRO 18). Ressalta-se que na camada de 30-60 cm os valores observados nos estratos relacionados a sistemas de produção apresentaram-se ainda consideravelmente maiores do que o observado para o estrato V, exceto para o estrato F (QUADRO 18), possivelmente ocorreu uma movimentação deste elemento da camada superficial de 0-20 cm, onde normalmente ocorre a aplicação de fertilizantes. O baixo teor de argila, que atua na fixação do fósforo, e a movimentação de água no perfil do solo devido a irrigação provavelmente contribuiu para a maior movimentação deste elemento, normalmente pouco móvel no solo. No estrato F possivelmente o melhor manejo da irrigação resultou em menor movimentação do fósforo no solo. Os coeficientes de variação do teor de fósforo no solo foram altos em sua maioria (QUADRO 18) resultado semelhante ao encontrados por Montezano et al. (2006), exceção feita para o estrato vegetação nativa que em todas as camadas apresentou valores médios para este coeficiente e para o estrato fruticultura na camada de 30-60 cm. A distribuição normal verificada pelo teste de Shapiro-Wilk para a variável fósforo foi observada em 7 conjuntos no total de 15 (QUADRO 18).

Os valores médios de C-orgânico foram baixos para todos os estratos (QUADRO 18). O estrato V apresentou os maiores valores médios em todas as camadas avaliadas (QUADRO 18). Possivelmente a alta temperatura média anual contribuiu para uma alta taxa de decomposição e mineralização do C-orgânico.

Quadro 18. Medidas estatísticas descritivas de atributos químicos dos solos correspondentes aos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V)

Atributo	Estrato	Camada	Medida estatística descritiva				
			X	s	CV	S-W	
Fósforo (mg dm ⁻³)	C	0 – 10	42,08	22,64	53,80	N-N	
		10 – 30	25,68	17,46	67,99	N	
		30 - 60	7,31	4,04	55,27	N	
	D	0 – 10	39,68	28,07	70,74	N	
		10 – 30	23,90	27,75	116,13	N-N	
		30 - 60	13,20	15,15	114,79	N-N	
	F	0 – 10	28,52	25,39	89,02	N-N	
		10 – 30	15,23	15,05	98,82	N-N	
		30 - 60	5,92	2,89	48,70	N-N	
	P	0 – 10	35,18	27,24	77,44	N-N	
		10 – 30	13,79	9,12	66,14	N	
		30 - 60	9,72	8,53	87,75	N-N	
	V	0 – 10	7,40	2,69	36,29	N	
		10 – 30	4,62	1,05	22,66	N	
		30 - 60	4,10	0,94	22,88	N	
	EC (Mg ha ⁻¹)	C	0 – 10	9,24	1,82	19,73	N
			10 – 30	11,54	3,75	32,53	N
			0 – 10	8,81	2,41	27,34	N
D		10 – 30	13,87	5,42	39,08	N	
		0 – 10	7,36	1,37	18,64	N	
		10 – 30	9,98	1,98	19,81	N	
F		0 – 10	7,26	1,85	25,52	N	
		10 – 30	10,63	3,65	34,34	N	
		0 – 10	9,36	1,70	18,20	N	
P		10 – 30	13,82	5,02	36,36	N	
		0 – 10	0,55	0,11	18,99	N	
		10 – 30	0,33	0,09	27,82	N	
D		30 - 60	0,31	0,09	30,23	N	
		0 – 10	0,52	0,15	28,29	N	
		10 – 30	0,38	0,15	37,76	N	
CO (dag kg ⁻¹)		F	30 - 60	0,32	0,15	48,42	N
			0 – 10	0,45	0,08	18,72	N
			10 – 30	0,29	0,05	18,36	N
	P	30 - 60	0,24	0,05	20,91	N	
		0 – 10	0,47	0,11	23,82	N	
		10 – 30	0,31	0,10	31,79	N	
	V	30 - 60	0,29	0,10	36,20	N	
		0 – 10	0,56	0,10	17,94	N	
		10 – 30	0,41	0,13	33,13	N	
			30 - 60	0,31	0,07	23,04	N

X – média; s – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; S-W - teste de Shapiro-Wilk; N – atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$); N-N – não atende a distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$); EC – estoque de carbono; CO – carbono orgânico total.

Costa et al. (2004) registraram em experimento de longa duração, 21 anos, em Guarapuava no Paraná em um Latossolo Bruno submetido a cultivo convencional um teor de carbono orgânico total de 3,4 dag kg⁻¹, média das camadas de 0-5 e 5-10 cm, possivelmente o clima ameno da região Sul

proporciona um ambiente favorável à manutenção do C-orgânico do solo, enquanto, na região semi-árida, foi observado no Quadro 18 um teor de 0,55 dag kg⁻¹ para o estrato C (manejo convencional).

Outros autores observaram a influência do manejo do solo nos teores de C-orgânico, Maia et al. (2006) avaliaram o impacto de sistemas agroflorestais e convencionais sobre a qualidade do solo, comparativamente à condição natural (caatinga nativa), após cinco anos de uso na região semi-árida cearense. Os tratamentos testados foram: agrossilvipastoril (AGP); silvipastoril (SILV); tradicional cultivado em 1998 e 1999 (TR98); tradicional cultivado em 2002 (TR02); e cultivo intensivo (CI) e duas áreas de mata nativa (MN-1 e MN-2), que foram usadas como referência de um estado de equilíbrio. Os tratamentos AGP, TR98 e CI promoveram maior revolvimento do solo provocando a redução nos teores de COT. O tratamento AGP mostrou-se eficiente na ciclagem de nutrientes, entretanto, o revolvimento do solo e a concomitante redução do teor de COT, geraram também diminuição na estabilidade de agregados. Os resultados obtidos permitem recomendar o tratamento SILV para a manutenção da qualidade do solo e produção de alimentos na região do semi-árido cearense, ressalta-se que este sistema preservou 38 % da cobertura vegetal original de caatinga. Resultado semelhante foi observado onde diferentes usos do solo proporcionaram diferenças consideráveis nos teores de C-orgânico e nos EC (QUADRO 18).

Os estratos C e D apresentaram menor redução dos teores de C-orgânico, desse modo estes usos do solo conservam maior teor de C-orgânico no solo (QUADRO 18). Os estratos F e P apresentaram os menores valores (QUADRO 18), resultado contrário ao esperado, uma vez que o manejo, normalmente, associado a estes estratos apresenta um menor revolvimento do solo por aração e gradagem e desse modo torna o ambiente menos oxidativo e propício a um maior acúmulo de C-orgânico. As reduções mais expressivas foram observadas entre os estratos V e F com valores de redução dos teores de C-orgânico de aproximadamente 19, 28 e 21 %, respectivamente nas camadas de 0-10, 10-30 e 30-60 cm. Os solos arenosos normalmente com boa aeração possivelmente foram pouco influenciados pelo acréscimo de aeração provocado pelo manejo do solo por aração e gradagem. Desse modo o teor de C-orgânico total pode ter sido mais influenciado pela taxa de deposição, possivelmente maior nos estratos C e D, do que pela taxa de decomposição

semelhante para os estratos relacionados a sistemas produtivos. Provavelmente estes fatores colaboraram para que o estrato C, de maior movimentação do solo, apresentasse teores de C-orgânico maiores do que o estrato F de pouca movimentação do solo (QUADRO 18). O estrato V por não ser irrigado apresentando baixa umidade do solo, possivelmente, apresentou reduzida taxa de decomposição de matéria orgânica o que provavelmente contribuiu para que este estrato apresenta-se os maiores teores de C-orgânico. Ressalta-se que a baixa profundidade média do estrato D pode ter contribuído para a saturação por água das camadas superficiais destes solos, principalmente na época das chuvas, normalmente de alta intensidade, o que tornou o ambiente menos oxidativo permitindo maior acúmulo de C-orgânico.

Os valores das médias do estoque de carbono confirmaram os resultados do C-orgânico quanto ao acúmulo de carbono dos estratos (QUADRO 18). O estrato V apresentou o maior valor da soma dos valores de estoque de carbono da camada de 0-10 cm e 10-30 cm, $23,18 \text{ Mg ha}^{-1}$, os estratos D e C apresentaram $22,68$ e $20,78 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente, e os estratos P e F apresentaram $17,89$ e $17,34 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente (QUADRO 18).

Médios valores dos coeficientes de variação e distribuição normal foram encontrados para as variáveis C-orgânico e EC (QUADRO 18). Resultado médio do coeficiente de variação da matéria orgânica foi encontrado por Montezano et al. (2006).

Resultados de fertilidade do solo para Neossolos Quartzarênicos dos levantamentos exploratórios dos estados da região Nordeste, com exceção do estado do Piauí (JACOMINE et al., 1971, 1972a, 1972b, 1973, 1975a, 1975b, 1979) das camadas superficiais de solos sob caatinga foram utilizados para comparação com os solos utilizados neste trabalho, que são também de textura arenosa. Utilizou-se para comparação a camada de 0-10 cm, uma vez que os autores citados avaliaram a camada superficial em seu levantamento exploratório. Estes autores adotaram os seguintes critérios: Fósforo (P) - $P < 9 \text{ mg kg}^{-1}$ (baixo), $9 < P < 25$ (médio) e $P > 25$ (alto); Potássio (K) - $K < 0,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (baixo), $0,1 < K < 0,32$ (médio) e $K > 0,32$ (alto); Cálcio mais magnésio (Ca+Mg) - $\text{Ca+Mg} < 1,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (baixo), $1,7 < \text{Ca+Mg} < 4$ (médio) e $\text{Ca+Mg} > 4$ (alto). Observou-se que os valores encontrados neste trabalho foram baixos para o fósforo e cálcio mais magnésio e médio para o potássio, o que foi

observado em, respectivamente, 90, 63 e 57 % das 30 amostras utilizadas por Jacomine et al. (1971, 1972a, 1972b, 1973, 1975a, 1975b, 1979). Estes resultados demonstram que os resultados encontrados neste trabalho caracterizam bem estas variáveis dos solos sob vegetação nativa de caatinga (QUADROS 16 e 18).

Na Nigéria, os agricultores realizam a supressão da vegetação nativa para plantio de sequeiro, esta vegetação rebrota e anualmente a operação se repete. Wezel et al. (2000) avaliaram o efeito deste sistema na melhoria de atributos químicos do solo. As amostras foram coletadas até uma distância de 30 cm da vegetação nativa (arbusto) remanescente e na área vizinha a 2 m deste arbusto. O solo avaliado foi de textura arenosa (93,8 % de areia) e o clima da região é semi-árido, os valores das amostras coletadas próximo a vegetação remanescente foram: Corg - 0,297 dag kg⁻¹, P- 2,53 mg kg⁻¹, pH – 5,48, CTC – 0,96 cmol_c kg⁻¹, Na⁺ - 0,04 cmol_c kg⁻¹, K⁺ - 0,09 cmol_c kg⁻¹, Ca⁺⁺ - 0,44 cmol_c kg⁻¹, Mg⁺⁺ - 0,22 cmol_c kg⁻¹. Observou-se neste trabalho que os valores apresentados por estes autores são semelhantes aos verificados para a vegetação nativa no perímetro irrigado do Ico-Mandantes em condições de solo e clima similares (QUADROS 14, 15, 16 e 18).

Salcedo et al. (1997) avaliaram a fertilidade do solo em três sistemas: caatinga, área recentemente queimada para conversão em área agrícola e área abandonada por um ano após cinco anos de cultivo. A caracterização química do solo sob caatinga forneceu os seguintes valores: C-orgânico 0,98 dag kg⁻¹, cálcio 0,31 cmol_c kg⁻¹, magnésio 0,15 cmol_c kg⁻¹, potássio 0,07 cmol_c kg⁻¹ e pH 4,2. Estes resultados comparados aos observados neste trabalho são inferiores para os atributos potássio, cálcio e pH, semelhante para o magnésio e superior para o C-orgânico (QUADROS 14, 16 e 18). O valor de C-orgânico deve ser observado considerando-se que no local de realização do estudo, Chapada do Araripe, o solo avaliado foi um Latossolo que, por ter maior teor de argila do que os solos arenosos desse estudo conserva, maior teor de C-orgânico.

Montezano et al. (2006) observaram, na análise dos coeficientes de assimetria e curtose, uma tendência a distribuição normal dos atributos químicos pH, K, Ca, B e H+Al, porém a maioria dos atributos químicos não apresentaram tendência a distribuição normal o que foi observado para as variáveis químicas MO, P, SO₄-2, Mg, SB, CTC, V, Cu, Fe, Mn e Zn, resultado

semelhante ao obtido por outros autores (CAMBARDELLA et al., 1994; SALVIANO et al., 1998; CARVALHO et al., 2003). Neste trabalho observou-se um equilíbrio entre os resultados apresentados de distribuição normal e não normal para os atributos químicos analisados (QUADROS 14, 15, 16, 17 e 18).

Os coeficientes de variação obtidos neste trabalho foram semelhantes aos obtidos por outros autores como foi observado na discussão dos resultados, possivelmente estes resultados foram obtidos em função da realização de uma boa estratificação, obtendo-se desse modo menor variação dentro de cada estrato. Ressalta-se que algumas variáveis de maneira intrínseca apresentam pequena variação enquanto outras apresentam grande variação, o que foi verificado por Warrick & Nielsen (1980), estudando a variabilidade de diversas propriedades do solo, verificaram que para algumas, a variabilidade expressa pelo coeficiente de variação pode ser inferior a 10 %, enquanto, para outras, pode superar 1.000 %.

Segundo Coelho (1983), de modo geral, as propriedades químicas apresentam maior variação do que as propriedades físicas dos solos. Resultado semelhante ao observado neste trabalho.

Uma análise geral dos valores das médias dos atributos químicos apresentados (QUADROS 14, 15, 16, 17 e 18) demonstra que o solo de nenhum estrato pode ser considerado como de má qualidade, apenas que está ocorrendo uma alteração em algumas das propriedades avaliadas com a retirada da vegetação nativa para inserção de um cultivo agrícola. As comparações estabelecem uma classificação onde as diferenças identificadas não separam os estratos como de boa ou má qualidade e sim como de melhor ou pior, indicando que as alterações referidas anteriormente podem estar comprometendo a qualidade do solo e que deve ser realizado um monitoramento para identificar o processo que está atuante, evitando-se o comprometimento da capacidade produtiva dos solos e o surgimento de áreas degradadas.

4.2.2 Análises de componentes principais dos atributos químicos

A análise de componente principal dos atributos químicos para a camada de 0-10 cm reteve as componentes principais 1, 2 e 3 que explicaram,

respectivamente, 50,55, 31,13 e 15,02 % da variação total, juntas estas componentes reuniram 96,69 % da variação total (QUADRO 19). Na formação da CP 1 contribuíram mais fortemente os atributos pHs, pHes, CEes, cálcio, magnésio, fósforo, SB e V, relacionados positivamente com o eixo (QUADRO 20). Observou-se que, das quatorze variáveis, oito reuniram a maior parte da variação sendo, portanto, mais eficientes na discriminação dos estratos avaliados.

Na CP 2 as variáveis que participaram com maior intensidade foram CTC, C-orgânico e EC, todas negativamente relacionadas com o eixo (QUADRO 20). Na CP 3 contribuíram de maneira mais efetiva o teor de sódio e a PST, variáveis negativamente relacionadas com o eixo (QUADRO 20).

A manutenção da matéria orgânica do solo é importante para um uso sustentável dos recursos do solo devido ao seu múltiplo efeito sobre a disponibilidade de nutrientes e estabilidade da estrutura do solo (ASHAGRIE et al., 2006). Considerando-se a CP 2, observou-se que os estratos V, C e D apresentaram valores superiores de CTC, carbono orgânico e EC, variáveis que contribuíram mais fortemente para explicar a variação entre os estratos nesta CP (QUADRO 20 e FIGURA 4), o que pode ser verificado observando-se os valores médios apresentados nos Quadros 15 e 18.

Observando-se a conversão de áreas sob estrato V, com caatinga, para áreas agrícolas, verificou-se neste trabalho que os estratos C e D contribuíram mais para a manutenção do teor de carbono orgânico do solo, os estratos F e P apresentaram menores teores em relação aos estratos C, D e V, indicando que aqueles sistemas contribuem mais efetivamente para a redução dos teores de carbono do solo (QUADRO 18).

Quadro 19. Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos químicos da camada de 0-10 cm

Componente principal	Autovalor	Variância total (%)	Autovalor acumulado	Variância Acumulada (%)
1	7,08	50,55	7,08	50,55
2	4,36	31,13	11,43	81,67
3	2,10	15,02	13,54	96,69
4	0,46	3,31	14,00	100,00

Quadro 20. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos químicos da camada de 0-10 cm

Variável	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
pH do solo	0,7215	0,6454	0,1825	0,1722
pH do extrato da pasta saturada	0,9069	0,3209	0,1593	0,2219
Condutividade elétrica	0,8787	-0,2770	-0,1123	-0,3721
Cálcio	0,9681	-0,2260	0,1071	-0,0134
Magnésio	0,9371	-0,2745	0,2015	0,0770
Potássio	0,5933	-0,6672	-0,3589	0,2720
Sódio	0,0778	-0,4101	-0,9043	0,0895
Capacidade de troca de cátions	0,2532	-0,9359	0,1805	0,1656
Percentagem de sódio trocável	0,1937	0,2416	-0,9462	-0,0939
Fósforo	0,9737	0,0039	0,0790	-0,2135
Soma de bases	0,9146	-0,3994	-0,0533	0,0336
Saturação por bases	0,8566	0,4838	0,0376	-0,1755
Carbono orgânico	-0,3273	-0,9146	0,1223	-0,2036
Estoque de carbono	-0,2468	-0,9260	0,2821	-0,0448

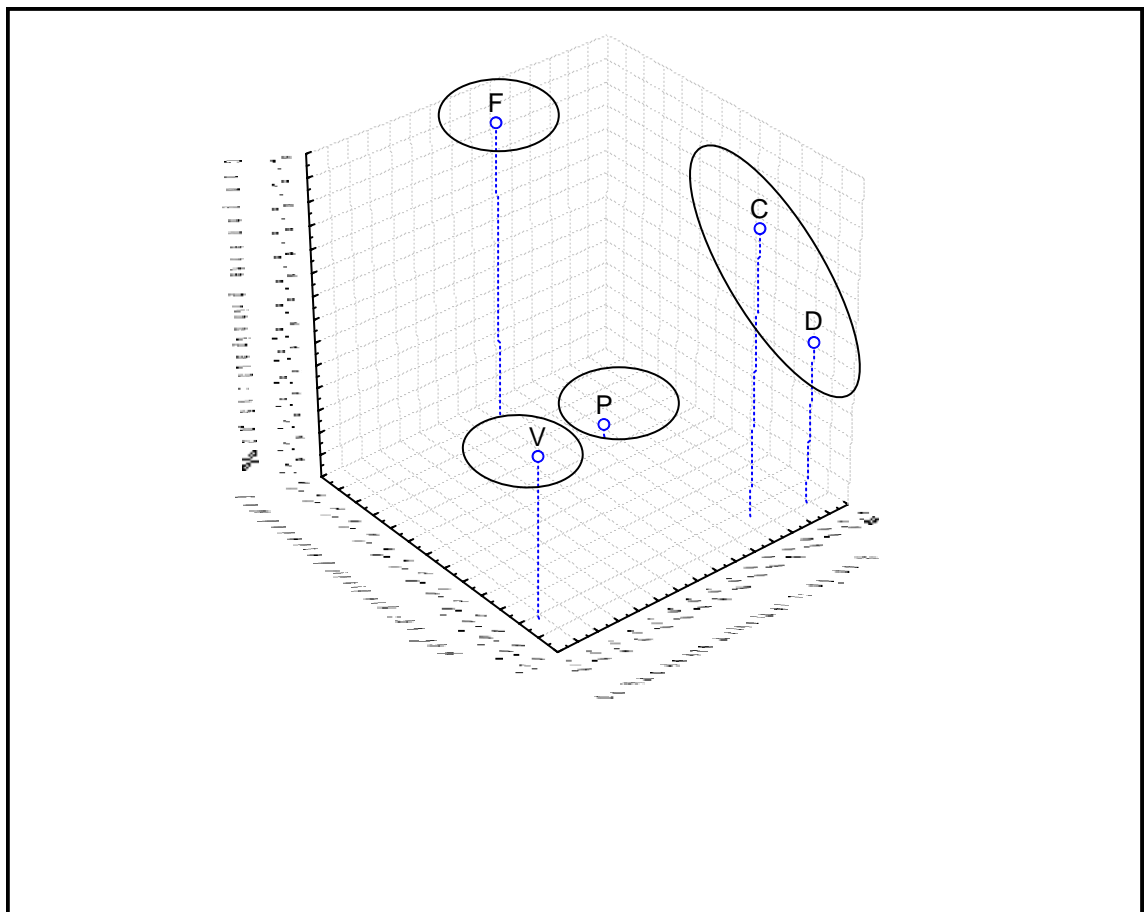


Figura 4. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nos três primeiros componentes principais obtidos com os atributos químicos da camada de 0-10 cm, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento.

Xavier et al. (2006) estudaram um sistema de produção de acerola em larga escala, sob manejo orgânico, e uma área sob cultivo convencional de cenoura e beterraba em rotação com milho, ambas localizadas na região da Chapada da Ibiapaba, Ceará, onde encontra-se temperatura média anual de 28°C e precipitação média de 640 mm ano⁻¹. Selecionou-se, também, uma área de pastagem localizada no interior da primeira propriedade amostrada, bem como áreas sob mata nativa, próximas às áreas de cultivo. Amostras de um Neossolo Quartzarênico foram coletadas nas profundidades de 0–5 e 5–15 cm e foram determinados os teores de C orgânico total, de C e N microbiano (Cmic e Nmic) e da matéria orgânica leve (Cmol e Nmol), além do C mineralizável obtido por respirometria. De acordo com estes autores, os valores de C-orgânico encontrados para solos sob mata nativa foram maiores em relação aos encontrados para solos sob usos agrícolas, resultado semelhante ao observado neste trabalho (QUADRO 18). O teor de C-orgânico obtido na camada de 0-5 cm para mata nativa foi de 0,98 e 1,23 dag kg⁻¹ em duas áreas amostradas. Estes teores foram superiores aos observados neste trabalho, que foi de 0,56 dag kg⁻¹ na camada de 0-10 cm. O sistema de cultivo convencional apresentou os menores teores de C-orgânico na camada superficial, em comparação às áreas com acerola (média dos valores coletados nas linhas e entre linhas) e pastagem, que apresentaram valores semelhantes entre si, destaca-se que a área cultivada com acerola recebeu 25 t ha⁻¹ ano⁻¹ de composto orgânico. Estes resultados não foram semelhantes aos observados neste trabalho, onde o estrato C apresentou valores discretamente maiores de C-orgânico em relação ao estrato F (QUADRO 18). Xavier et al. (2006) observaram perdas de C-orgânico entre a mata nativa e sistemas de cultivo do solo, estes autores observaram uma redução máxima entre a mata nativa e o uso de cultivo convencional de aproximadamente 32 %, resultado semelhante ao encontrado no presente trabalho para a maior diferença observada entre os estratos V e F.

A perda de carbono do solo também foi observada por Solomon et al. (2000), que verificaram perdas de até 55,5% nos teores de COT em uma área cultivada convencionalmente em um Luvissoilo Crômico, na região semi-árida da Tanzânia. Maia et al. (2006) observaram que os teores de COT nos tratamentos de cultivo contínuo de milho, agropastoril e tradicional com cultivo de milho e ao final do ciclo pastejo da área foram reduzidos em 40,3, 38,4 e

35%, respectivamente, em relação à área com vegetação nativa na camada de 0-6 cm. Nas demais camadas, confirmou-se a tendência dos teores de COT serem menores nesses tratamentos. O sistema silvipastoril apresentou uma redução do teor de COT pouco expressiva em relação a vegetação nativa, desse modo este sistema de produção protege COT contribuindo para a qualidade do solo e diminuindo as emissões de carbono.

Observando-se o eixo da componente principal 3 (FIGURA 4) verificou-se que o estrato P apresentou o menor escore nesta CP. Analisando-se a relação das variáveis que contribuíram mais fortemente com o eixo desta CP (QUADRO 20), sódio e PST, inferiu-se que este estrato apresentou os maiores valores de sódio e PST, o que pôde ser verificado no Quadro 15. Desse modo estas variáveis apresentaram grande influência neste estrato, principalmente a PST.

A análise de agrupamento foi realizada com os três primeiros componentes principais gerando quatro grupos. Um grupo foi formado pelos estratos C e D, os outros três grupos foram constituídos por cada um dos três outros estratos, conforme Figura 4. As práticas agrícolas modificaram os atributos químicos dos solos incorporados aos sistemas agrícolas que, possivelmente, apresentavam-se semelhantes ao estrato V (FIGURA 4). Observou-se que o estrato V ficou isolado em um grupo, diferenciando-se dos outros estratos que sofreram influências nos seus atributos químicos em função do manejo (FIGURA 4). Os estratos C e D apresentaram similaridades em seus atributos químicos e, por fim, os estratos F e P se isolaram em função de atributos químicos não semelhantes (FIGURA 4).

A classificação utilizando-se o índice de qualidade do solo obtido a partir da componente principal 1 apresentou os estratos na seguinte ordem crescente de qualidade do solo: V, F, P, C e D (QUADRO 21).

O estrato V apresentou baixos teores de cálcio, magnésio, potássio, fósforo e baixos valores de pHs, SB e V (QUADROS 14 16, 17 e 18). Os maiores valores de C-orgânico e EC e o menor valor de CEes colaboraram na melhor qualidade do solo, mas não foram suficientes para posicionar o estrato V em melhor situação do que qualquer outro avaliado (QUADRO 21). O aumento nos valores de cálcio, magnésio, potássio, fósforo, pHs, SB e V (QUADROS 14 16, 17 e 18) colaboraram entre outras variáveis para a melhor classificação obtida pelos estratos P, C e D (QUADRO 21). Ressalta-se neste

estratos os valores médios de CEes são baixos e os de pHes moderados, indicando que estes solos não apresentaram problemas de salinidade ou alcalinidade e adicionalmente, os valores médios de PST foram baixos para os solos estudados, não atingindo o limite de sodicidade de solos. O que neste estudo ainda não se constituiu em fator determinante na qualidade do solo destes estratos poderá com o aumento da CEes comprometer a qualidade do solo. Destaca-se o estrato D que por apresentar uma profundidade do solo média de 1,11 m oferece menor potencial para drenagem o que poderia controlar a situação, desse modo esta avaliação pontual deve ser considerada com esta restrição a qualidade do solo do estrato D que nesta avaliação apresentou a melhor qualidade química do solo (QUADRO 21). Por fim destacam-se os estratos P e C que apresentaram melhor qualidade química nesta camada em relação ao estrato F (QUADRO 21), possivelmente por um manejo mais intenso da fertilidade do solo com maiores entradas no sistema de fertilizantes.

Na camada de 10-30 cm explicou-se 90,05 % da variação total com os dois primeiros componentes principais retidos de acordo com o critério adotado (QUADRO 22). As variáveis que mais contribuíram na CP 1 foram pHes, CEes, concentração de cálcio, magnésio, potássio, sódio e fósforo, CTC, SB e V, todos negativamente relacionados com o eixo (QUADRO 23). Nesta CP das quatorze variáveis utilizadas, dez apresentaram-se mais eficientes em explicar a variação entre os estratos avaliados, quatro, pHs, PST C-orgânico e EC, influenciaram menos na explicação da variância (QUADRO 23).

A CP 1 explicou 62,42 % da variação total e a CP 2 reuniu 27,63 % da variação total (QUADRO 22), apresentando as variáveis pHs e PST (negativamente relacionadas com o eixo) e C-orgânico e EC (positivamente relacionadas com o eixo) como aquelas que contribuíram mais fortemente para o formação desta componente (QUADRO 23).

Quadro 21. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 com os atributos químicos da camada de 0-10 cm

Estrato	V	F	P	C	D
Escore	-0,71	-0,20	-0,10	0,41	0,61

Quadro 22. Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos químicos da camada de 10-30 cm

Componente Principal	Autovalor	Variância total (%)	Autovalor acumulado	Variância Acumulada (%)
1	8,74	62,42	8,74	62,42
2	3,87	27,64	12,61	90,05
3	0,90	6,41	13,50	96,46
4	0,50	3,54	14,00	100,00

Quadro 23. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos químicos da camada de 10-30 cm

Variável	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
pH do solo	-0,6448	-0,7162	-0,0653	-0,2591
pH do extrato da pasta saturada	-0,7418	-0,6041	-0,2039	-0,2080
Condutividade elétrica	-0,8799	-0,2039	0,1341	0,4076
Cálcio	-0,9851	0,1507	-0,0724	-0,0392
Magnésio	-0,9710	0,1614	-0,0940	-0,1494
Potássio	-0,8998	0,3597	0,1254	0,2126
Sódio	-0,9461	-0,0926	-0,2976	-0,0883
Capacidade de troca de cátions	-0,9310	0,3625	0,0415	-0,0081
Percentagem de sódio trocável	0,4979	-0,7274	-0,4466	0,1537
Fósforo	-0,8432	-0,1097	0,5198	-0,0822
Soma de bases	-0,9823	0,1631	-0,0773	-0,0505
Saturação por bases	-0,7467	-0,5353	-0,2195	0,3282
Carbono orgânico	-0,0130	0,9399	-0,3400	0,0295
Estoque de carbono	-0,1779	0,9454	-0,2721	-0,0220

A análise do eixo da componente principal 2 e suas variáveis mais importantes indica que os estratos F e P apresentaram os maiores valores de pHs, PST, C-orgânico e EC (FIGURA 5 e QUADRO 23), análise indicativa que foi confirmada observando-se os valores médios nos Quadros 14, 15 e 18. Destaca-se que os resultados de C-orgânico e EC para os estratos F e P na camada de 0-10 cm observados no Quadro 18 indicaram que estes sistemas apresentaram os menores valores destas variáveis havendo, portanto, uma inversão dos resultados e estabelecendo-se que nesta camada estes estratos conservam maiores teores de C-orgânico, enquanto que os estratos C e D apresentam maiores perdas em relação ao estrato V, estado original do solo.

A análise de agrupamento foi realizada com os escores das duas primeiras componentes principais e foram constituídos três grupos (FIGURA 5). O estrato V formou um conjunto unitário, o que também ocorreu com o estrato D (FIGURA 5). O outro grupo foi formado pelos estratos C, P e F (FIGURA 5). As alterações químicas no estrato D foram consideráveis, isolando este estrato

dos demais sistemas produtivos e do estrato vegetação nativa (FIGURA 5). Os estratos C, F e P sofreram alterações nos atributos químicos em relação ao estrato V, apresentando-se similares entre si (FIGURA 5). As alterações não foram tão expressivas quanto às sofridas no estrato D, definindo uma posição intermediária entre os estratos V e D (FIGURA 5).

Outros autores também observaram alterações nos atributos químicos de solos incorporados a sistemas agrícolas, Perin et al. (2003) avaliaram amostras de perfis de um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) textura argilosa e de Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) textura média, sob cobertura vegetal natural de floresta e campo, respectivamente, e de perfis destes solos sob uso agrícola por períodos que variaram de oito até mais de 33 anos. Nutrientes como Ca e Mg tiveram incremento no solo com o tempo de uso agrícola, ao contrário do Al, que diminuiu seu teor e saturação em profundidade. Com o tempo de uso agrícola os incrementos de P total foram evidentes nos horizontes superficiais, enquanto os incrementos de K total também ocorreram em profundidade. A melhoria dos atributos químicos do solo é um resultado semelhante ao observado neste trabalho para todos os estratos relacionados a sistemas agrícolas (QUADROS 14, 16 e 17).

Resultados contrários foram observados por Melo et al. (2006), estes autores observaram uma redução dos teores de potássio de sistemas agrícolas em comparação a área sob vegetação nativa de Floresta Amazônica e baixos teores de P, de modo geral, nos solos cultivados. Estes autores trabalharam na caracterização de solos do assentamento Colônia Agrícola do Apiaú, Roraima, avaliando as alterações em algumas propriedades químicas resultantes dos sistemas de manejo adotados pelos agricultores, bem como os impactos da ação de queimadas nos solos. As áreas estudadas foram: pastagens, cultivo de banana e de milho, mata queimada e não queimada. Resultados semelhantes foram observados por Silva & Chaves (2001), estes autores realizaram estudo no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, em uma área de 200 ha, correspondente à Extensão Maria Tereza, Petrolina, PE, com o objetivo de avaliar os teores de fósforo, potássio e matéria orgânica do solo (MO) da referida área e as suas variabilidades espaciais. Constatou-se que o solo da Extensão Maria Tereza apresentou baixos teores médios de P de 1,37 e 0,35 mg dm^{-3} , nas camadas de 0-0,3 e 0,3-0,6 m.

A classificação pelo índice de qualidade do solo, obtido a partir da CP 1, apresentou os estratos em ordem crescente de qualidade do solo: V, F, P, C e D (QUADRO 24). Os menores valores de cálcio, magnésio, potássio, SB e CTC, entre outras variáveis contribuíram para a menor qualidade do solo dos estratos V e F observada nesta avaliação (QUADRO 24). O estrato D apresentou melhor qualidade química do solo (QUADRO 24), neste estrato os maiores teores dos cátions trocáveis podem estar associados ao menor potencial de drenagem destes solos que apesar de bastantes arenosos apresentam uma camada de impedimento à drenagem localizada em média a 1,11 m de profundidade. O estrato C esta associado a um intenso manejo do solo, possivelmente a prática de fertilização química do solo confere a este solo uma melhor qualidade em relação aos estratos P e F (QUADRO 24).

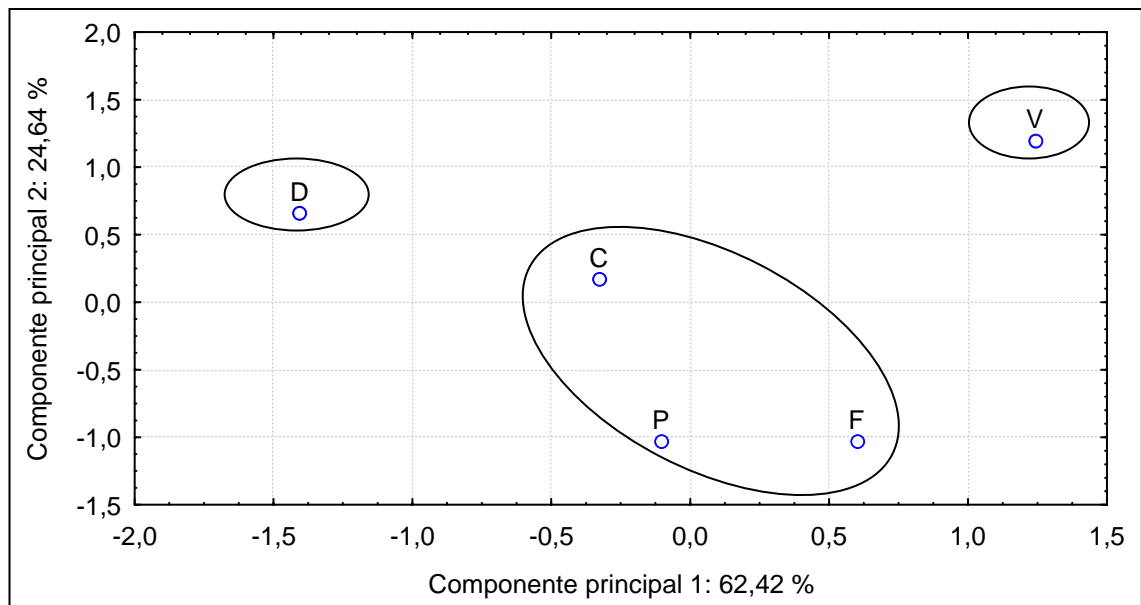


Figura 5. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nos dois primeiros componentes principais obtidos com os atributos químicos da camada de 10-30 centímetros, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento.

Quadro 24. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 com os atributos químicos da camada de 10-30 cm

Estrato	V	F	P	C	D
Score	-0,45	-0,41	-0,21	0,29	0,78

A análise de componente principal aplicada, as variáveis químicas da camada de 30-60 cm explicou 89,49 % da variação total com os dois primeiros componentes principais retidos de acordo com os critérios adotados (QUADRO 25). A CP 1 reteve 72,15 % da variação total, da qual as variáveis mais influentes foram pHs, pHes, CEes, teores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo, CTC, SB e V (QUADRO 25 e 26). Das treze variáveis analisadas, a PST, o teor de sódio e o C-orgânico foram menos importante para explicar a variação entre os estratos na CP 1 (QUADRO 26). A componente principal 2 reuniu 17,34 % da variação total, apresentou com variáveis mais influentes teor de sódio, PST e C-orgânico (QUADROS 25 e 26). Observando-se o eixo da CP 2 (FIGURA 6 e QUADRO 26), destacou-se o resultado apresentado pelo estrato F para a variável C-orgânico, o mais baixo entre os estratos, o que foi confirmado pela observação do Quadro 18.

Análise de agrupamento dos escores das componentes principais 1 e 2 gerou três grupos (FIGURA 6). Isolados apresentaram-se os estratos V e F, o outro grupo foi formado pelos estratos C, P e D (FIGURA 6). Observou-se que as alterações nos atributos químicos atingiram todos os estratos relacionados a sistemas produtivos, na camada de 30-60 cm, tornando-os diferentes em relação ao estrato vegetação nativa (FIGURA 6). Observou-se ainda que, dentro do grupo formado pelos estratos similares C, P e D, os estrato C e P apresentaram-se mais semelhantes de acordo com os atributos químicos analisados (FIGURA 6).

Observou-se também de acordo com os atributos químicos que os solos incorporados aos sistemas agrícolas estes apresentaram valores médios e altos para Ca, Mg, K, SB e P, desse modo apresentaram boa fertilidade (QUADROS 16, 17 e 18). Resultados semelhantes foram observados na Etiópia onde foram avaliadas as propriedades físicas e químicas do solo influenciadas pelo desmatamento, de uma floresta tropical seca (média de chuvas anuais de 1.200 mm), e incorporação a sistemas agrícolas observados em uma cronoseqüência, diferentes períodos de incorporação ao sistema produtivo (7, 10, 26, 34 e 53 anos), em fazendas localizadas próximas entre si. Observou-se que a fertilidade do solo incorporado a sistemas produtivos foi mantida por algumas variáveis e melhoradas para outras desse modo apresentaram aumento da fertilidade quando comparando a solos sob vegetação nativa. (LEMENIH et al., 2005).

Quadro 25. Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos químicos da camada de 30-60 cm

Componente principal	Autovalor	Variância total (%)	Autovalor acumulado	Variância Acumulada (%)
1	9,38	72,15	9,38	72,15
2	2,25	17,34	11,63	89,49
3	0,80	6,19	12,44	95,68
4	0,56	4,32	13,00	100,00

Quadro 26. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos químicos da camada de 30-60 cm

Variável	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
pH do solo	-0,7584	-0,4865	-0,1982	-0,3857
pH do extrato da pasta saturada	-0,9743	-0,1386	-0,0917	-0,1520
Condutividade elétrica	-0,8490	-0,0922	0,5045	0,1275
Cálcio	-0,9945	-0,0045	-0,0759	0,0719
Magnésio	-0,9696	0,0763	-0,1366	0,1880
Potássio	-0,8808	0,0967	0,3563	-0,2964
Sódio	-0,4905	-0,7710	0,1262	0,3861
Capacidade de troca de cátions	-0,9575	-0,0946	0,2723	-0,0122
Percentagem de sódio trocável	0,6274	-0,7766	-0,0057	0,0579
Fósforo	-0,9727	-0,0379	-0,1826	-0,1383
Soma de bases	-0,9936	0,0007	-0,0676	0,0908
Saturação por bases	-0,8597	0,0567	-0,4683	0,1959
Carbono orgânico	-0,4537	0,8741	0,0587	0,1633

Outros autores também observaram aumento da fertilidade de solos incorporados a sistemas de produção em relação a solos sob vegetação nativa. Almeida et al. (2005) avaliaram o efeito de dois sistemas de manejo na modificação de atributos químicos de um Cambissolo Húmico alumínico léptico, em Lages (SC), em 2001, seis anos após o solo ter tido seu pH corrigido, comparados a um sistema com campo nativo. Os tratamentos de manejo do solo, com quatro repetições, foram: preparo convencional executado com uma aração e duas gradagens em rotação (PCR) e em sucessão de culturas (PCS), semeadura direta em rotação (SDR) e em sucessão de culturas (SDS) e campo nativo (CN). Os teores de Ca, Mg e P, e os valores de pH foram maiores nos sistemas agrícolas em comparação ao campo nativo. Estes resultados são semelhantes ao observados neste trabalho onde a fertilidade do solo para estas variáveis foi melhorada diferenciando sistemas de produção da vegetação nativa (QUADROS 14, 16 e 18).

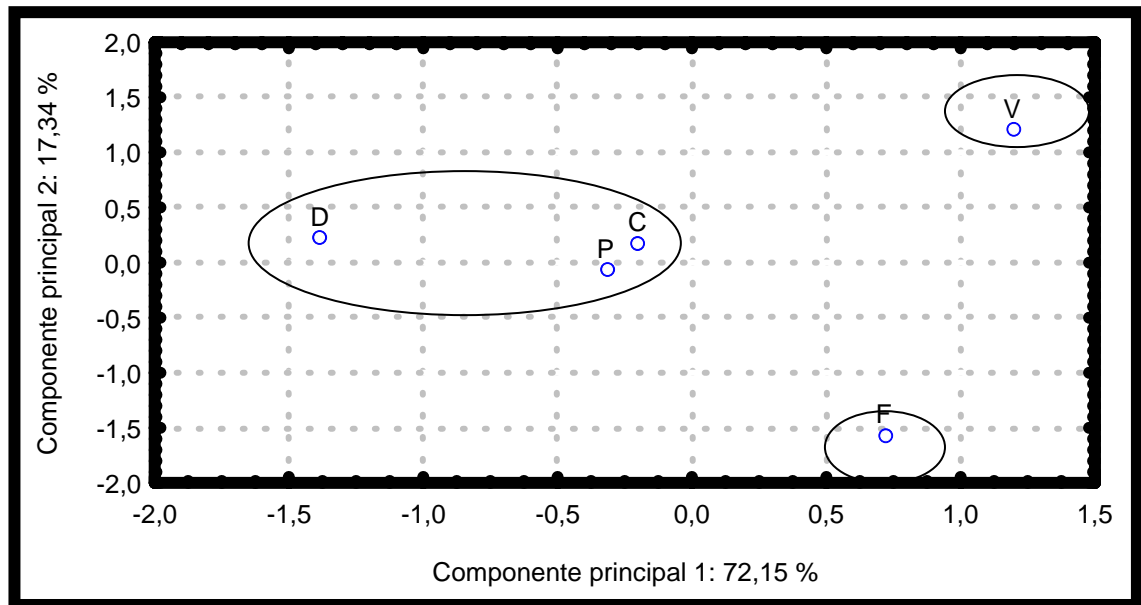


Figura 6. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nos dois primeiros componentes principais obtidos com os atributos químicos da camada de 30-60 centímetros, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento.

O índice de qualidade do solo aplicado aos atributos químicos da camada de 30-60 cm classificou em ordem crescente de qualidade os estratos em: F, V, C, P e D (QUADRO 27). Observou-se que os estratos F e V apresentaram menores teores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo, CTC, SB e saturação por bases (QUADROS 14, 15, 16, 17 e 18) em relação aos demais estratos o que entre outras variáveis colaborou para que estes estratos apresentassem a menor qualidade do solo entre os estratos avaliados (QUADRO 27).

O estrato D apresentou a melhor qualidade do solo seguido pelo estrato P e C, respectivamente (QUADRO 27). Observou-se que os atributos químicos foram modificados na camada de 30-60 cm o que pode ser verificado pelos maiores valores dos maiores escores apresentados pelos estratos C, P e D em relação ao estrato V. Provavelmente os elementos químicos dos fertilizantes migraram da camada superficial onde são normalmente aplicados para a camada de 30-60 cm, adicionalmente os sais da água de irrigação podem ter realizado o mesmo deslocamento aumentando os teores dos elementos químicos nesta camada.

Quadro 27. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 com os atributos químicos da camada de 30-60 cm

Estrato	F	V	C	P	D
Escore	-0,59	-0,51	-0,02	0,20	0,92

O estrato F possivelmente recebeu menor contribuição de fertilizante e teve um manejo de irrigação mais eficiente evitando-se excesso de água o que adicionou menos sais via água de irrigação.

Reunindo-se o resultado da análise de agrupamento das três camadas para os atributos químicos analisados (FIGURAS 4, 5 e 6), observou-se que as alterações nestes atributos foram suficientes para diferenciar, em todas as camadas, os estratos relacionados a sistemas produtivos em relação ao estrato V, considerando-se que os estratos relacionados a sistemas produtivos possivelmente reuniam as características iniciais apresentadas pelo estrato V agora modificadas. Em uma análise reunida da qualidade química do solo para as três camadas analisadas apresentou melhor qualidade química do solo o estrato D em todas as camadas (QUADROS 21, 24 e 27), este estrato apresentou maiores valores de cálcio e magnésio (QUADRO 16) entre outras variáveis que contribuíram para este resultado. Os estratos C, P e D apresentaram maiores valores de CEEs em relação aos estratos observados V e F (QUADRO 14), porém esta variável não apresentou valor que indique que os solos tem problemas de salinidade, portanto ainda não comprometem a qualidade do solo de maneira mais expressiva.

Os estratos C e P apresentaram-se como de melhor qualidade em relação aos estratos V e F (QUADROS 21, 24 e 27), uma vez que apresentaram maiores valores de cálcio, magnésio, potássio, SB (QUADROS 16 e 17), entre outras variáveis que conferiram a estes estratos classificação superior aos estratos V e F. O estrato F apresentou nas camadas analisadas qualidade inferior aos estratos P, C e D (QUADROS 21, 24 e 27), o que poderia ser revertido com um programa de fertilização do solo uma que este estrato não apresentou atributo que restrinja o desenvolvimento de melhor qualidade do solo, ressaltando-se que a mesma situação pôde ser observada no estrato V, que se incorporado a um sistema de produção poderá expressar melhor qualidade do solo do que a observada neste trabalho.

4.3 Análise conjunta dos atributos físicos e químicos

4.3.1 Análise de correlação entre os atributos físicos e químicos

Foi realizada a análise de correlação entre os 25 atributos físicos e químicos avaliados nas amostras de solo, da camada de 0-10 cm, resultando em 33 correlações significativas ($P < 0,05$) de 300 correlações possíveis (QUADRO 28). As mais altas correlações positivas foram observadas entre os atributos químicos: cálcio e SB, magnésio e SB; físicos e químicos: CTC e argila, CTC e ADA (QUADRO 28). Enquanto que as mais altas correlações negativas foram observadas entre os atributos físicos areia e ADA (QUADRO 28).

Observou-se que os cátions trocáveis cálcio e magnésio apresentaram uma alta correlação com SB (QUADRO 28), pela maior participação destes atributos na soma de bases para os solos estudados (QUADROS 16 e 17). Isso indica que os sais dominantes nessa situação não representam problemas tão graves, pois os cátions cálcio e magnésio são elementos essenciais às plantas, suplantando os teores de sódio encontrados. Ou seja, possíveis problemas de toxidez por sódio em relação às plantas ou, mesmo, dispersão por altas proporções de sódio no complexo de troca dos solos podem ser descartadas. Considerando que estes resultados foram observados no estrato V onde não ocorreu alterações do complexo químico devido a irrigação e aplicação de corretivos e fertilizantes, é provável que os minerais formadores desses solos apresentem teores de cálcio e magnésio superiores aos de sódio, o que representa um fator positivo para essas áreas.

A correlação entre CTC e argila (QUADRO 28) demonstra a interligação destes atributos, principalmente porque nestes solos a participação do C-orgânico na CTC foi bastante reduzida, em função dos baixos teores de C-orgânico no solo (QUADRO 18).

Johnson et al. (1962), estudando Vertissolos do Arizona, relataram casos de horizontes que apresentavam CTC maior que outros, com mesmo teor de argila e menor conteúdo de COT, evidenciando que, em ambientes semi-áridos, a densidade de carga dos argilominerais é mais importante para a CTC que o teor de COT, por ser este normalmente muito baixo. Corrêa et al. (2003) nesse aspecto, observaram correlação não-significativa entre os valores do COT e os da CTC. No entanto, esta última apresentou correlação altamente significativa com o teor de argila ($r = 0,93^{**}$).

Na camada de 10-30 cm, de 300 pares de correlações possíveis obtiveram-se 76 correlações significativas ($P < 0,05$) (QUADRO 29). As mais altas correlações positivas foram observadas entre os atributos químicos: cálcio e magnésio, cálcio e CTC, magnésio e CTC, magnésio e SB, potássio e CTC, CTC e SB, C-orgânico e EC; físicos: densidade das partículas e argila, areia e profundidade, silte e densidade do solo, ADA e densidade do solo; físicos e químicos cálcio e densidade das partículas, cálcio e argila, cálcio e ADA, magnésio e ADA, potássio e densidade das partículas, potássio e silte, CTC e densidade das partículas, CTC e argila, CTC e ADA, CTC e densidade do solo, SB e densidade das partículas, SB e ADA (QUADRO 29). As mais altas correlações negativas foram observadas entre os atributos físicos e químicos potássio e areia, CTC e areia; físicos: densidade das partículas e areia, areia e argila, areia e ADA, argila e profundidade do solo (QUADRO 29).

Observou-se na camada de 30-60 cm 70 correlações significativas ($P < 0,05$) de 231 possíveis correlações entre atributos químicos, físicos e entre químicos e físicos (QUADRO 30). Dentre estas, destacam-se as correlações positivas altamente significativas entre os atributos químicos: pHes e cálcio, pHes e P, pHes e SB, CEes e CTC, cálcio e magnésio, cálcio e P, cálcio e SB, magnésio e SB, magnésio e V, CTC e SB, P e SB; físicos: Dp e ADA; físicos e químicos: cálcio e argila, cálcio e ADA, cálcio e argila, magnésio e argila, magnésio e ADA, P e ADA, SB e argila, SB e ADA (QUADRO 30). Observaram-se, também, as correlações negativas altamente significativas entre atributos físico e químico: magnésio e profundidade do solo; físicos: areia e silte, areia e argila, areia e ADA (QUADRO 30).

Silva et al. (2005) avaliaram o efeito de longo prazo (17 anos) dos sistemas de preparo convencional (PC), preparo reduzido (PR) e semeadura direta (SD) sobre os atributos físicos relacionados ao armazenamento e disponibilidade de água de um Argissolo Vermelho com textura média. Amostras de solo (0-2,5, 2,5-7,5, 7,5-12,5, 12,5-17,5 cm) foram coletadas numa seqüência ervilhaca/milho. Estes autores obtiveram correlação significativa ($P < 0,05$), não observada neste trabalho, do grau de flocculação de argila com o carbono orgânico e teor de argila, do carbono orgânico com a densidade do solo e a porosidade total e da densidade do solo com a condutividade hidráulica saturada e a porosidade total (QUADROS 28, 29 e 30).

Resultado semelhante foi observado para a correlação significativa entre grau de flocculação e densidade do solo na camada de 10-30 cm (QUADRO 29). Resultados semelhantes aos de Silva et al. (2005) foram observados não se obtendo correlação significativa do grau de flocculação de argila com a porosidade total e a condutividade hidráulica saturada, do carbono orgânico com o teor de argila, do teor de argila com a porosidade total e condutividade hidráulica e da porosidade total com a condutividade hidráulica (QUADRO 28, 29 e 30). Resultado contrário ao obtido por Silva et al. (2005) foi a correlação significativa entre teor de argila e a densidade do solo na camada de 10-30 cm e do carbono orgânico com a condutividade hidráulica nas camadas de 10-30 e 30-60 cm obtida neste trabalho (QUADROS 29 e 30).

Montezano et al. (2006) avaliaram a variabilidade espacial de atributos físicos e químicos, na camada de 0-20 cm, em um Latossolo cultivado com milho em uma área de 375 ha, onde 80 células de quatro hectares fizeram parte do estudo. Estes autores observaram correlação significativa do pH com silte, Ca, Mg, SB, CTC e V. Entre o pH e estas variáveis observou-se neste trabalho correlação significativa apenas para V na camada de 0-10 cm (QUADRO 28). Observou-se neste trabalho que o carbono orgânico não obteve correlação com nenhuma variável (QUADROS 28, 29 e 30), resultados contrários foram apresentados por Montezano et al. (2006) que observaram correlação significativa da matéria orgânica com areia, silte, argila, P, Ca, SB, CTC e V. Resultados semelhantes aos observados por estes autores foi observado para a variável CTC que apresentou correlação significativa com areia, argila na camada de 0-10 cm (QUADRO 28), Ca, Mg, SB, areia, silte e argila na camada de 10-30 cm (QUADRO 29) e Ca, Mg e argila na camada de

30-60 cm (QUADRO 30). Estes autores apresentaram correlação significativa entre a CTC e a matéria orgânica não observada neste trabalho possivelmente devido aos baixos teores encontrados e desse modo restrita contribuição para a CTC do solo. Estes autores não observaram correlação significativa para o K, observou-se neste trabalho, para as mesmas variáveis avaliadas por Montezano et al. (2006), correlação significativa do K com o Ca, Mg, CTC, SB, areia, silte e argila na camada de 10-30 cm (QUADRO 29) e com a CE, CTC e argila na camada de 30-60 cm (QUADRO 30). Para o P estes autores apresentaram correlações significativas desta variável com areia, argila, matéria orgânica, CTC e V. Resultados semelhantes foram observados para correlação de P com argila, CTC e V na camada de 30-60 cm (QUADRO 30), adicionalmente obteve-se neste trabalho correlação significativa do P com o Ca e Mg na camada de 0-10 cm (QUADRO 28), com o silte na camada de 10-30 cm (QUADRO 29) e com o Ca, Mg e SB na camada de 30-60 cm (QUADRO 30) não observadas por estes autores. Montezano et al. (2006) obtiveram correlação significativa entre a SB e areia, argila, pH, MO, Ca, Mg, CTC e V. Resultados semelhantes de correlação significativa entre a SB e o Ca e Mg foram observados na camada de 0-10 cm (QUADRO 28), entre a SB e o Ca, Mg, CTC, areia e argila na camada de 10-30 cm (QUADRO 29), adicionalmente nesta camada observou-se correlação significativa entre a SB e o K e Na (QUADRO 29) e entre a SB e Ca, Mg, CTC, V, areia e argila na camada de 30-60 cm (QUADRO 30), adicionalmente nesta camada observou-se correlação significativa entre a SB e o P (QUADRO 30).

Destacaram-se as correlações dos cátions trocáveis cálcio e magnésio com a SB em função da estreita relação entre estes atributos, conforme também foi observado na camada de 0-10 cm (QUADRO 28). A CTC apresentou, na camada de 10-30 cm, correlações altamente significativas com atributos químicos e físicos, diferentemente da camada de 0-10 cm (QUADROS 28 e 29), onde esse resultado foi observado apenas entre CTC e atributos físicos. Na camada de 10-30 cm a densidade do solo apresentou valores altamente correlacionados com atributos físicos, o que não ocorreu na camada de 0-10 cm (QUADROS 28 e 29). Na camada de 30-60 cm observou-se um maior número de correlações significativas para as variáveis pHes, CEes e P (QUADRO 30). Observou-se que os cátions trocáveis cálcio e magnésio

apresentaram alta correlação com argila, demonstrando que esse é o principal compartimento de armazenamento desses cátions.

4.3.2 Análise das componentes principais aplicada conjuntamente aos atributos físicos e químicos

A análise da componente principal aplicada aos atributos físicos e químicos conjuntamente para as variáveis analisadas na camada de 0-10 cm reteve os três primeiros componentes principais que, juntos, explicaram 95,64 % da variação total dos dados (QUADRO 31). O componente principal 1 explicou 45,31 % da variação total (QUADRO 31). Entre as vinte e quatro variáveis analisadas, dez foram mais influentes na CP 1, sendo as químicas concentração de cálcio, magnésio e potássio, CTC, SB (todas negativamente relacionadas com o eixo) e as físicas densidade de partículas, teor de argila, ADA (negativamente relacionadas com o eixo) e teor de areia e profundidade do solo, positivamente relacionadas com o eixo (QUADRO 32).

A CP 2 reuniu 35,50 % da variação total (QUADRO 31), as variáveis mais influentes nesta componente foram pHs, pHes, fósforo, V, condutividade hidráulica e porosidade total (positivamente relacionadas com o eixo) e C-orgânico, EC, e densidade do solo, negativamente relacionadas com o eixo (QUADRO 32). A CP 3 reuniu 14,83 % da variação total, as variáveis mais influentes nesta componente foram sódio e PST (positivamente relacionadas com o eixo) e silte negativamente relacionada com o eixo (QUADROS 31 e 32).

Analisando-se a CP 2 (FIGURA 7 e QUADRO 32), observou-se que o estrato V apresentou, em relação aos demais estratos, valores discretamente maiores de C-orgânico, EC e densidade do solo e menores de pHs, pHes, fósforo, SB, K_0 e porosidade total, interpretação confirmada pela observação dos valores médios nos Quadros 1, 3, 14, 17 e 18.

A análise da componente principal 3 (FIGURA 7 e QUADRO 32) revelou que o estrato P apresentou valores discretamente maiores de sódio, PST e os menores valores de silte, o que possivelmente fez com que este estrato não fosse similar aos estratos F, C e D, interpretação confirmada pela análise dos valores médios das variáveis nos Quadros 2 e 15.

Quadro 31 Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 0-10 cm

Componente principal	Autovalor	Variância total	Autovalor Acumulado	Variância Acumulada
		(%)		(%)
1	10,87	45,31	10,87	45,31
2	8,52	35,50	19,40	80,81
3	3,56	14,83	22,95	95,64
4	1,05	4,36	24,00	100,00

Quadro 32. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 0-10 cm

Variável	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
pH do solo	-0,0176	0,9367	-0,2122	-0,2780
pH do extrato da pasta saturada	-0,3805	0,8765	-0,1273	-0,2661
Condutividade elétrica	-0,6700	0,5633	0,2699	0,4012
Cálcio	-0,7820	0,6192	0,0282	0,0646
Magnésio	-0,8297	0,5540	-0,0677	-0,0038
Potássio	-0,8546	0,0199	0,4884	-0,1753
Sódio	-0,2244	-0,2028	0,9475	-0,1039
Capacidade de troca de cátions	-0,9170	-0,3959	-0,0282	0,0403
Percentagem de sódio trocável	0,2317	0,3097	0,9203	-0,0579
Fósforo	-0,5747	0,7896	0,0387	0,2115
Soma de bases	-0,8612	0,4652	0,2016	0,0359
Saturação por bases	-0,1411	0,9870	-0,0053	0,0765
Carbono orgânico	-0,4722	-0,7893	-0,0047	0,3923
Estoque de carbono	-0,5828	-0,7534	-0,1640	0,2565
Densidade das partículas	-0,9967	0,0008	0,0661	-0,0477
Areia	0,9490	0,1256	0,2621	0,1218
Silte	-0,3913	0,4444	-0,8022	-0,0765
Argila	-0,8974	-0,4029	0,1496	-0,1001
Condutividade hidráulica	0,4848	0,7984	-0,3509	-0,0668
Argila dispersa em água	-0,9373	-0,3261	-0,1208	0,0224
Grau de floculação	0,6987	0,3294	0,6313	-0,0686
Densidade do solo	-0,5403	-0,7698	-0,1452	-0,3073
Porosidade total	-0,3292	0,8644	0,1504	0,3490
Profundidade do solo	0,8921	0,0333	-0,2164	0,3952

A análise de agrupamento identificou três grupos (FIGURA 7). O estrato V ficou isolado em um grupo, do mesmo modo o estrato P e do outro grupo participaram o estrato D, C e F (FIGURA 7). Todos os estratos relacionados a sistemas produtivos se distanciaram do estrato V (FIGURA 7). Estas alterações não ocorreram na mesma intensidade, o que diferenciou o estrato P dos outros relacionados a sistemas produtivos.

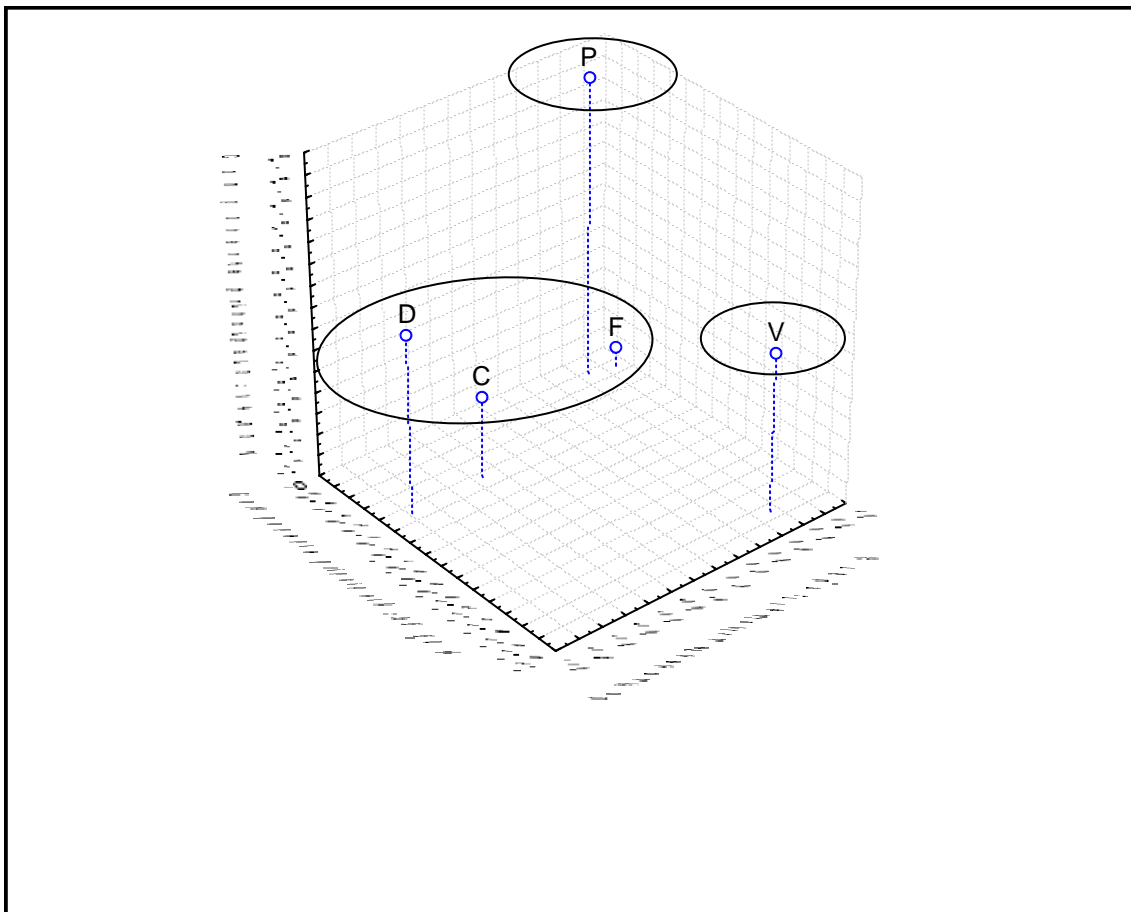


Figura 7. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nas duas primeiras componentes principais obtidas com os atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 0-10 cm, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento.

Como fatores importantes para a diferenciação do estrato P foram identificadas as variáveis silte, sódio e PST na componente principal 3 (FIGURA 7 e QUADRO 32) e considerando-se que maiores valores de sódio e PST não são características desejáveis, infere-se que este estrato apresenta para estas variáveis qualidade do solo discretamente inferior aos demais estratos relacionados a sistemas produtivos.

Resultados semelhantes foram observados por Leonardo (2003), este autor avaliou a qualidade do solo para o conjunto dos atributos biológicos, físicos e químicos, observando que os solos incorporados à agricultura apresentaram-se diferentes em relação ao solo sob vegetação nativa.

O índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 aplicada aos atributos físicos e químicos, conjuntamente, classificou os

estratos em ordem crescente de qualidade do solo em: V, F, P, D e C (QUADRO 33). Considerando-se as classificações obtidas para os atributos físicos e químicos na camada de 0-10 cm isoladamente (QUADROS 7 e 21) observou-se que na análise conjunta (QUADRO 33) os atributos químicos influenciaram mais o índice de qualidade do solo do que os atributos físicos. O estrato C apresentou a melhor qualidade com escore discretamente superior ao estrato D (QUADRO 33), estes estratos de maior fertilidade química ainda que apresentando maiores valores para CEes apresentaram melhor qualidade do solo. Na comparação dos estratos C e D apesar da maior influência dos atributos químicos na análise conjunta o estrato C apresentou melhor qualidade na análise conjunta em função de sua melhor qualidade física. Destaca-se que o estrato D apresentou um valor médio de profundidade do solo de 1,11 m e essa variável, principalmente em um ambiente semi-árido é restritiva a uma boa qualidade do solo como foi identificado pelo índice de qualidade do solo aplicado as variáveis físicas de 0-10 cm. O índice de qualidade do solo aplicado conjuntamente aos atributos físicos e químicos na camada de 0-10 cm não foi eficiente na identificação deste fator limitante devendo ser considerado com restrição. O estrato P apresentou qualidade intermediária entre os estratos avaliados (QUADRO 33). Os estratos V e F apresentaram a pior qualidade do solo e considerando que na análise conjunta os atributos químicos apresentaram maior influência no índice de qualidade do solo concluiu-se que os menores teores de cálcio, magnésio, potássio, entre outras variáveis contribuíram para que estes estratos relativamente apresentassem a pior qualidade do solo (QUADROS 16, 18 e 33). Observou-se que apesar de ter obtido a melhor qualidade física (QUADRO 7) o estrato F não obteve melhor classificação na análise conjunta em função dos atributos químicos (QUADRO 33). O estrato F para a melhoria da sua qualidade do solo deve melhorar o manejo de fertilização do solo.

Observou-se que o estrato D apresentou a maior fertilidade do solo, porém, a sua profundidade é a menor de todos os estratos. Possivelmente, este estrato está, em função de sua menor profundidade, sofrendo um acúmulo de sais. A menor profundidade do solo pode limitar a lixiviação dos sais, além de facilitar a ascensão dos sais dissolvidos na água por capilaridade, promovendo a salinização do solo. O maior valor observado de SB neste estrato deve ser considerado com restrição, pois pode ser resultado de sua

menor profundidade do solo, que limita a lixiviação de sais, importante sobretudo em áreas irrigadas onde mesmo a utilização de água de boa qualidade deposita sais no solo.

Na camada de 10-30 cm, a análise da componente principal aplicada para os atributos físicos e químicos conjuntamente reteve duas componentes principais. A componente principal 1 explicou 66,48 % da variação total e a componente principal 2 correspondeu a 22,91 %, juntas, reuniram 89,39 % da variação total (QUADRO 34).

As variáveis que contribuíram de maneira mais efetiva na CP 1 foram CEes, teor de cálcio, magnésio, potássio, sódio e fósforo, CTC, SB, densidade das partículas, silte, argila, ADA e densidade do solo (positivamente relacionadas com o eixo) e areia, GF e profundidade do solo, negativamente relacionadas com o eixo (QUADRO 35). A componente principal 2 apresentou como variáveis mais efetivas: pHs, pHes, C-orgânico, EC, condutividade hidráulica e porosidade total (QUADRO 35).

A análise de agrupamento identificou três grupos de acordo com as similaridades de seus atributos físicos e químicos, um grupo foi formado com os estratos C, P e F, o estrato V ficou isolado em um grupo, o que também aconteceu para o estrato D (FIGURA 8). O manejo do solo aplicado aos estratos relacionados aos sistemas produtivos possivelmente provocou alterações nos atributos físicos e químicos na camada de 10-30 cm suficientes para tornar seus atributos diferentes do estrato V, estado original do qual possivelmente todos os estratos relacionados aos sistemas produtivos foram modificados (FIGURA 8). Estas alterações, bem como características intrínsecas (profundidade do solo), foram mais expressivas no estrato D. Este estrato ficou isolado dos outros estratos relacionados a sistemas produtivos (FIGURA 8).

Quadro 33. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 com os atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 0-10 cm

Estrato	V	F	P	D	C
Score	-0,34	-0,10	-0,06	0,22	0,27

Analisando-se a componente principal 2 (FIGURA 8), observando-se a disposição das variáveis em relação ao eixo (QUADRO 35), concluiu-se que o estrato V apresentou valores discretamente menores de pHs e pHes e discretamente superior de C-orgânico, interpretação confirmada pelos valores médios apresentados nos Quadros 14 e 18 o que contribuiu para isolar este estrato na análise de agrupamento apresentada na Figura 8.

O índice de qualidade do solo obtido a partir da CP 1 aplicada aos atributos físicos e químicos, conjuntamente, em ordem crescente de qualidade, classificou os estratos em: F, V, P, C e D (QUADRO 36). O estrato D apresentou melhor qualidade química na camada de 10-30 cm (QUADRO 24), por outro lado nesta camada apresentou a pior qualidade física entre os estratos analisados (QUADRO 10).

Observou-se, portanto que na análise conjunta dos atributos físicos e químicos como na camada de 0-10 cm os atributos químicos contribuíram mais fortemente na formação do índice de qualidade do solo uma vez que este estrato na análise conjunta apresentou a melhor qualidade do solo (QUADRO 36), apesar de sua menor qualidade física principalmente no que diz respeito a variável profundidade do solo. O estrato V obteve escore similar ao estrato P (QUADRO 36), a melhor qualidade física do estrato V colaborou para este resultado (QUADRO 10). O estrato F apresentou a pior qualidade do solo (QUADRO 36) o que pode ser facilmente revertido com a aplicação de fertilizantes, uma vez que este estrato apresentou uma baixa qualidade química do solo (QUADRO 24). O estrato V poderia ter a sua qualidade do solo melhorada no caso de sua incorporação em atividades agrícolas com o manejo da fertilidade do solo com aplicação de corretivos e fertilizantes, apresentando portanto um bom potencial agrícola. Na análise conjunta o estrato C apresentou melhor qualidade em relação aos estratos P e F (QUADRO 36) em função de sua melhor qualidade química (QUADRO 24).

Quadro 34. Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 10-30 cm

Componente principal	Autovalor	Variância total	Autovalor acumulado	Variância Acumulada
		(%)		(%)
1	15,96	66,48	15,96	66,48
2	5,50	22,91	21,45	89,39
3	1,42	5,92	22,87	95,31
4	1,13	4,69	24,00	100,00

Quadro 35. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 10-30 cm

Variável	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
pH	0,4867	-0,8627	0,0195	0,1361
pH do extrato da pasta saturada	0,5916	-0,7638	0,1531	0,2078
Condutividade elétrica	0,7819	-0,3128	0,3310	-0,4257
Cálcio	0,9867	-0,0591	0,1389	0,0601
Magnésio	0,9835	-0,0630	0,0735	0,1529
Potássio	0,9409	0,1969	0,1471	-0,2328
Sódio	0,8848	-0,2906	0,2790	0,2341
Capacidade de troca de cátions	0,9855	0,1596	0,0539	-0,0214
Percentagem de sódio trocável	-0,6852	-0,5706	0,4222	0,1635
Fósforo	0,8355	-0,2980	-0,2943	-0,3558
Soma de bases	0,9873	-0,0483	0,1328	0,0726
Saturação por bases	0,5635	-0,6132	0,5346	-0,1436
Carbono orgânico	0,1929	0,9154	0,1652	0,3122
Estoque de carbono	0,3630	0,8782	0,1035	0,2938
Densidade das partículas	0,9858	0,1505	0,0160	-0,0728
Areia	-0,9754	-0,2138	0,0438	0,0309
Silte	0,9102	0,0964	-0,2107	-0,3432
Argila	0,9625	0,2524	0,0251	0,0959
Condutividade hidráulica	-0,6256	-0,7500	-0,0571	0,2067
Argila dispersa em água	0,9838	0,0252	-0,0860	0,1555
Grau de floculação	-0,8291	0,3428	0,4098	-0,1648
Densidade do solo	0,9403	0,0022	-0,3383	0,0365
Porosidade total	-0,3310	0,7794	0,4548	-0,2762
Profundidade do solo	-0,9107	-0,2916	-0,0862	-0,2797

Três componentes principais foram retidas na análise de componente principal aplicada aos atributos físicos e químicos conjuntamente da camada de 30-60 cm, juntas, estas componentes principais explicaram 95,26 % da variação total, distribuídas em 69,62, 16,25 e 9,40 %, respectivamente, nas componentes principais 1, 2 e 3 (QUADRO 37). Na CP 1 apresentaram maior intensidade na explicação da variação quinze atributos: pHes, CEes, cálcio, magnésio, potássio, CTC, fósforo, SB, V, densidade das partículas, silte, argila e ADA (positivamente relacionadas com o eixo) e areia e profundidade do solo, negativamente relacionadas com o eixo (QUADRO 38).

Na CP 2 as variáveis mais influentes na variação total foram condutividade hidráulica, C-orgânico, sódio e PST e na CP 3 foi o GF (QUADRO 38).

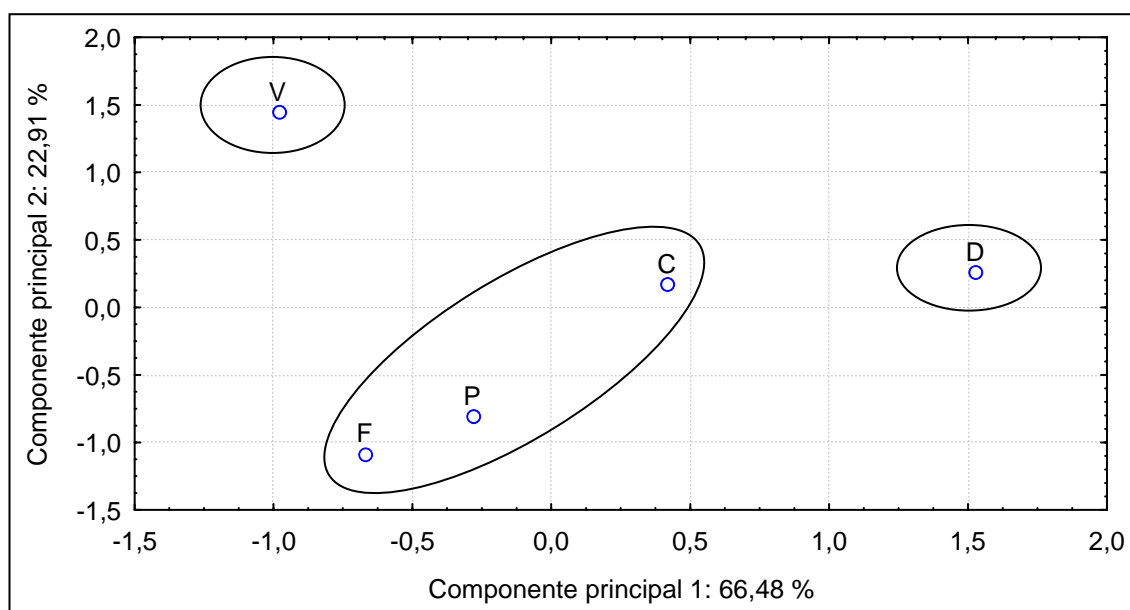


Figura 8. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nos dois primeiros componentes principais obtidos com os atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 10-30 cm, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento.

Quadro 36. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 com os atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 10-30 cm

Estrato	F	V	P	C	D
Escore	-0,26	-0,08	-0,06	0,16	0,27

A análise de agrupamento identificou quatro grupos: ficaram isolados formando conjunto unitário os estratos V, D e F, o outro grupo foi formado pelos estratos C e P (FIGURA 9). Novamente, observou-se que as alterações nos atributos físicos e químicos foram suficientes para que os estratos relacionados aos sistemas produtivos não fossem similares ao estrato V (FIGURA 9). Os estratos P e C apresentaram-se similares e com atributos físicos e químicos semelhantes (FIGURA 9).

Analisando-se na componente principal 2 as variáveis que contribuíram mais fortemente (FIGURA 9 e QUADRO 38) e verificando-se os valores médios destas variáveis, observou-se que o estrato V apresentou os menores valores de sódio, CTC, condutividade hidráulica (QUADROS 3, 15 e 18). Estes resultados afastaram o estrato V do F, ambos apresentaram-se isolados na

análise de agrupamento (FIGURA 9) com grande influência da componente principal 2.

O índice de qualidade do solo em ordem crescente de qualidade do solo classificou os estratos em: F, V, C, P e D (QUADRO 39). Observou-se que os estratos V e F apresentaram menor qualidade química do solo na camada de 30-60 cm (QUADRO 27) e considerando que os atributos químicos apresentaram grande influência no índice como resultado os estratos F e V apresentaram a menor qualidade do solo, na análise dos atributos físicos e químicos, conjuntamente, em relação aos demais estratos (QUADRO 39).

Quadro 37. Autovalores e variâncias das componentes principais obtidas dos atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 30-60 cm

Componente principal	Autovalor	Variância total (%)	Autovalor acumulado	Variância Acumulada (%)
1	14,62	69,62	14,62	69,62
2	3,41	16,25	18,03	85,87
3	1,97	9,40	20,01	95,26
4	0,99	4,74	21,00	100,00

Quadro 38. Correlações das variáveis com as componentes principais (CP) obtidas dos atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 30-60 cm

Variável	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
pH do solo	0,6932	-0,4873	-0,1294	0,5150
pH do extrato da pasta saturada	0,9467	-0,1640	-0,0523	0,2723
Condutividade elétrica	0,8466	-0,1119	0,5158	-0,0682
Cálcio	0,9962	-0,0493	-0,0591	0,0417
Magnésio	0,9880	0,0196	-0,1326	-0,0769
Potássio	0,8440	0,1042	0,3914	0,3515
Sódio	0,4915	-0,8118	0,1440	-0,2805
Capacidade de troca de cátions	0,9424	-0,1161	0,2974	0,1001
Percentagem de sódio trocável	-0,6521	-0,7552	0,0129	-0,0649
Fósforo	0,9521	-0,0687	-0,1486	0,2582
Soma de bases	0,9973	-0,0454	-0,0525	0,0220
Saturação por bases	0,8826	-0,0103	-0,4649	-0,0687
Carbono orgânico	0,5066	0,8422	0,0151	-0,1839
Densidade das partículas	0,9487	-0,1630	0,0362	-0,2684
Areia	-0,9711	-0,0709	-0,1975	0,1137
Silte	0,7973	-0,0498	0,4578	-0,3903
Argila	0,9886	0,1078	0,1035	-0,0178
Condutividade hidráulica	-0,1878	-0,9689	0,1174	-0,1105
Argila dispersa em água	0,9817	0,0038	-0,1899	-0,0119
Grau de floculação	-0,3959	0,3461	0,8358	0,1576
Profundidade do solo	-0,8608	-0,2426	0,3926	0,2148

O estrato D em função dos atributos químicos apresentou melhor qualidade do solo mesmo apresentando a variável profundidade do solo como fator limitante (QUADRO 39). Os estratos C e P sem esta restrição apresentaram melhor qualidade do solo para os atributos físicos e químicos analisados conjuntamente em relação aos estratos F e V (QUADRO 39), o que também foi observado na análise dos atributos físicos e químicos isoladamente (QUADROS 13 e 27).

Avaliando-se as análises de agrupamento realizadas para as variáveis, físicas, químicas e físicas e químicas conjuntamente, observou-se que os grupos formados na análise conjunta dos atributos físicos e químicos expressaram um equilíbrio de intensidade na contribuição dos atributos físicos e químicos na camada de 0-10 cm, com predomínio dos atributos químicos nas demais camadas (FIGURAS 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9).

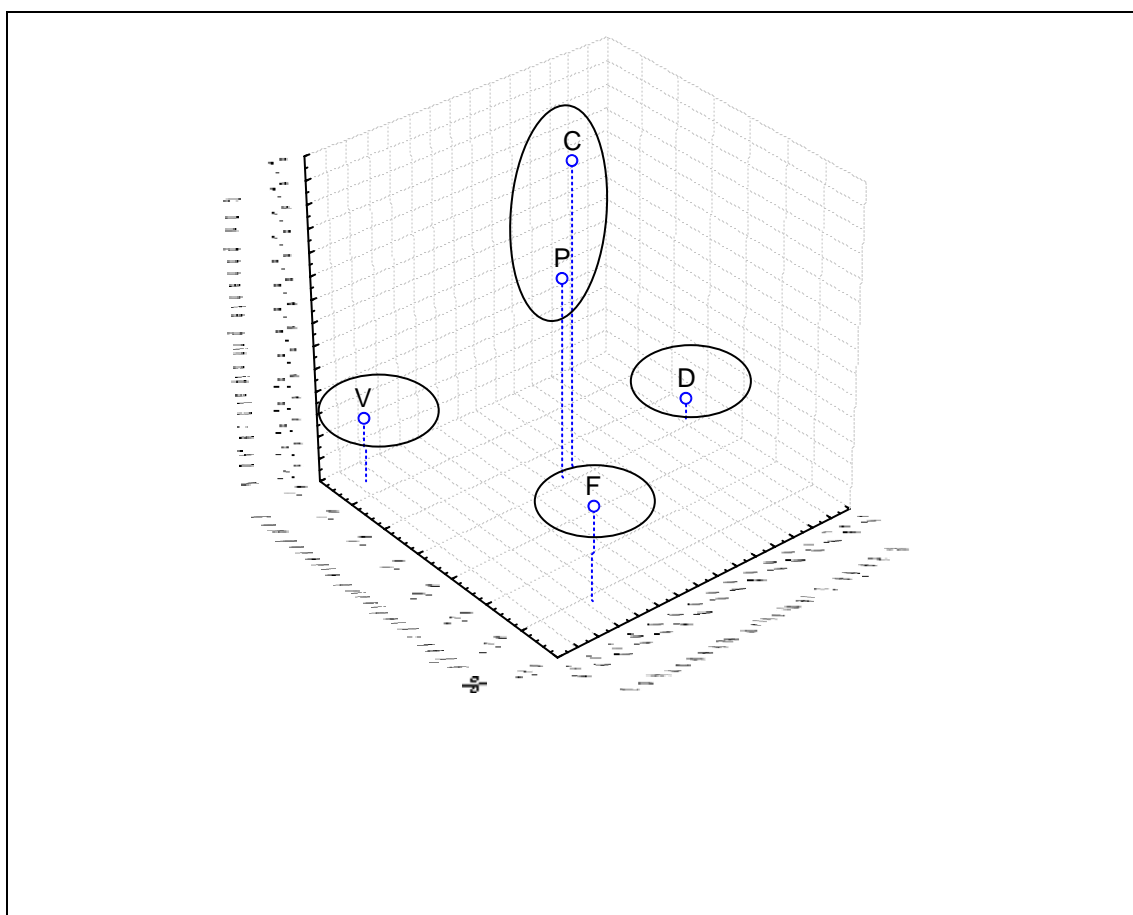


Figura 9. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) nos dois primeiros componentes principais obtidos com os atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 30-60 cm, estratos dentro da mesma elipse apresentaram-se semelhantes de acordo com a análise de agrupamento.

Quadro 39. Escores dos estratos ciclo curto (C), área descartada (D), fruticultura (F), pastagem (P) e vegetação nativa (V) em índice de qualidade do solo calculado a partir da componente principal 1 com os atributos físicos e químicos, conjuntamente, da camada de 30-60 cm

Estrato	F	V	C	P	D
Escore	-0,42	-0,36	0,13	0,18	0,46

A análise conjunta dos atributos físicos e químicos foi menos sensível aos atributos físicos. O estrato D apesar da variável profundidade do solo com valor médio de 1,11 m, bastante restritivo a prática da agricultura irrigada em região semi-árida obteve a melhor qualidade do solo na análise conjunta. Observou-se que o índice não foi eficiente na identificação desta restrição e, portanto, para o estrato D esta classificação deve ser considerada com esta restrição.

Ressalta-se que o estrato V apresentou boa qualidade física e desse modo os atributos químicos facilmente modificados por uso de corretivos e fertilizantes podem elevar a qualidade química do solo, observa-se que esta análise deu-se sob uma visão agrícola com atributos gerais para uma boa produtividade das culturas, não sendo avaliado a sua função ambiental a partir de parâmetros específicos deste ecossistema.

5 CONCLUSÕES

- A classificação dos estratos foi relativa, não sendo observado atributo que restringisse o desenvolvimento de uma boa qualidade do solo, exceto no estrato D, que apresentou como restrição a profundidade do solo.
- Alterações nos atributos físicos e químicos foram observadas em todas as camadas avaliadas, sendo mais expressivas as alterações químicas, que isolaram o estrato V na análise de agrupamento em todas as camadas.
- Os atributos químicos foram mais influentes na análise conjunta dos atributos físicos e químicos.
- Em uma avaliação geral das três camadas, os estratos C, P e D apresentaram a melhor qualidade química do solo.
- Os estratos F e P apresentaram melhor qualidade física do solo em relação ao estrato C nas camadas de 0-10 e 10-30 cm, possivelmente, em função do manejo do solo menos intenso nos estratos F e P.
- As alterações observadas indicam que é necessário o monitoramento dos atributos dos solos incorporados a sistemas produtivos sob irrigação no semi-árido para obtenção de informação da evolução dos valores destes atributos para adotar medidas de controle, se necessário, sobretudo nos estratos C e D que apresentaram maiores modificações físicas e químicas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J.A. et al. Propriedades químicas de um cambissolo húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 437-445, 2005

ANDRADE, A.R.S.de et al. Variabilidade espacial da densidade do solo sob manejo da irrigação **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 322-329, 2005.

ANDRÉA, A.F. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.39, n.2, p.179-186, 2004.

ANJOS, J.T. et al. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.139-145, 1994.

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 337-345, 2004.

ASHAGRIE, Y. et al. Soil aggregation, and total and particulate organic matter following conversion of native forests to continuous cultivation in Ethiopia. **Soil & Tillage Research**, Madison, 2006.

BANCO DO NORDESTE – BNB. **Modelo geral para otimização e promoção do agronegócio da irrigação do Nordeste**, Fortaleza, 2001. v. 3, 320 p. (Série políticas e estratégias para um novo modelo de irrigação)

BARBER, R.G. et al. Effects of conservation and conventional tillage systems after land clearing on soil properties and crop yield in Santa Cruz, Bolivia. **Soil and Tillage Research**, Madison, v.38, p.133-152, 1996.

BARRETO, A.C. et al. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no Sul da Bahia. **Caatinga**, Mossoró, v.19, n. 4, p. 415-425, 2006.

BAYER, C. et al. Estoques de carbono em frações da matéria orgânica afetados pelo uso e manejo do solo, com ênfase ao plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.3, p.401-406, 2002

BAYER, C., MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A., CAMARGO, F.A.O. (Ed.), **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre : Genesis, 1999. p.9-26.

BEINAT, E.; NIJKAMP, P. Land-use management and the path towards sustainability. In: BEINAT, E., NIJKAMP, P. (Ed.), **Multicriteria analysis for land-use management**. Boston: Kluwer Academic Publishing, 1998, p. 1– 13.

BENGHOUGH, A.G.; MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.41, p.341-358, 1990.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 155-163, 2004.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Soil compaction and fertilization in soybean productivity. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 6, p. 626-631, nov./dec. 2004.

BLEVINS, R.L.; SMITH, M.S.; FRYE, W.W. Changes in soil properties after 10 years of no-tillage and conservation tilled corn. **Soil Tillage Research**, Madison, v. 3, p. 135-146, 1983.

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 21, p. 73-85, 1974.

CAIRES, E.F.; FERRARI, R.A.; MORGANO, M.A. Produtividade e qualidade da soja em função da calagem na superfície em semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.2, p.283-290, 2003.

CAMBARDELLA, C.A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 99-105, 1990.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.39, n.11, p.1153-1155, 2004.

CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 695-703, 2003.

CAVALCANTI, F.J.A. (Coordenador) **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco (2º aproximação)**, Recife: IPA, 1998. 198p.

CHAVES, L.H.G. et al. Avaliação da fertilidade dos solos das várzeas do município de Sousa, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p. 262-267, 1998.

CHAVES, L.H.G. et al. Variabilidade de propriedades químicas do solo aluvial da Ilha de Picos, Pernambuco. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v. 6, n. 1, 2006.

CHRISTOFIDIS, D. "Água, ética, segurança alimentar e sustentabilidade ambiental". **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 13, p. 371-382, 2003. Número especial.

COELHO, M. G. Variabilidade espacial de características físicas e químicas em um solo salino-sódico. **Ciência Agrônômica**, Jaboticabal, v. 14, p. 149-156, 1983.

CONWAY, G.R. Sustainability in agricultural development: trade-offs with productivity, estabily and equitibility. **Journal of Farming Systems Research Ext.**, v. 4, n. 2, p. 1-14, 1994.

CONSOLINI, F.; COUTINHO, E.L.M. Efeito da aplicação de Zn e do pH na disponibilidade do micronutriente. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 7-12, 2004.

CORÁ, J.E.; ARAUJO, A.V.; PEREIRA, G.T.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, p. 1013-1021, 2004.

CORRÊA, M.M. et al. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Sousa (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 311-324, 2003.

COSTA, F. S. et al. Aumento de matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.2, p.587-589, 2004.

CUNHA, T. J. F. et al. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.1, n.1, p.27-36, 2001.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 390 p.

DIAS JUNIOR, M. de S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.175-182, 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FAGERIA, N.K. Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por base em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.416-424, 2001.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 2.ed. New York : M. Dekker, 1997. 624p.

FAGERIA, N.K. Resposta de cultivares de arroz à aplicação de calcário em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.19, n.7, p. 883-889, jul. 1984.

FAGERIA, N.K. Resposta de arroz de terras altas à correção de acidez em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.11, p.2303-2307, nov. 2000.

FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C.; LIMA, S.L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.38, n.8, p. 947-953, ago. 2003.

FRAGA, V.S. & SALCEDO, I.H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 68, p. 215-224, 2004.

FRANCELINO, M.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; RESENDE, M. Elaboração de um sistema de classificação da capacidade de suporte em ambiente semi-árido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.83-91, 2005.

GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H. ; SANTOS, A. C. Frações de carbono e nitrogênio em função da textura, do relevo e do uso do solo na microbacia do agreste em Vaca Brava (PB). **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 955-962, 2005.

GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A. Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.36, n.4, p.703-707, 2001.

HAMBLIN, A. P. The influence of soil structure on water movement, crop rot growth and water uptake. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, p. 95-158, 1985.

HASEN, J.W. Is agricultural sustainability a useful concept ? **Agricultural Systems**, v. 50, p. 117-143, 1996.

HOFFMANN, R. **Componentes principais e análise fatorial**. 4 ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 1999. 40 p.

HOUGHTON, R.A.; SKOLE. D.L. & LEFKOWITZ, D.S. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985. II Net release of CO₂ to the atmosphere. **Forest Ecology Management**, Amsterdam, v. 38, p. 173-199, 1991.

IBAMA. **Caatinga**. [200?] Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/caatinga.htm>>. Acesso em:15 set. 2006.

JACOMINE, P. K. T; ALMEIDA, J.C.; MEDEIROS, L. A. R. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do estado do Ceará**. Recife:

Divisão de Pesquisa Pedológica / Ministério da Agricultura, 1973. 455p. v. 2. (Boletim técnico; n. 28).

JACOMINE, P. K. T et al. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco.** Recife: Centro de Pesquisa Pedológicas - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Ministério da Agricultura, 1972a, 354p. v. 2. (Boletim técnico; n. 35).

JACOMINE, P. K. T et al. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado de Alagoas.** Recife: Centro de Pesquisa Pedológicas - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Ministério da Agricultura, 1975a, 531p. v. 1. (Boletim técnico; n. 35).

JACOMINE, P. K. T et al. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos da margem direita do rio São Francisco Estado da Bahia.** Recife: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Ministério da Agricultura, 1979, 747-1296p. v. 2. (Boletim técnico; n. 52).

JACOMINE, P. K. T et al. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado de Sergipe.** Recife: Centro de Pesquisa Pedológicas - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Ministério da Agricultura, 1975b, 506p. v. 1. (Boletim Técnico; n. 36).

JACOMINE, P. K. T et al. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado da Paraíba.** Rio de Janeiro: Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo/ Ministério da Agricultura, 1972b, 670p. v. 1. (Boletim técnico; n. 15).

JACOMINE, P. K. T et al. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte.** Recife: Divisão de Pesquisa Pedológicas / Ministério da Agricultura, 1971, 531p. v. 1. (Boletim técnico; n. 21).

JOHANN, J.A. et al. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande v.8, n.2/3, p.212-219, 2004

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 3 ed. New Jersey: Prantice Hall, 1992, 642 p.

JOHNSON, W.M.; CADY, J.G.; JAMES, M.S. Characteristics and same Brown Grumusols of Arizona. **Soil Science Society American Proceeddings**, v. 27, p. 389-393, 1962.

KARLEN, D.L. et al. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 4-10, 1997.

KARLEN, D.L.; ANDREWS, S.S.; DORAN, J.W. Soil quality: current concepts and applications. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 74, p. 1 – 39, 2001.

KUBRUSLY, L.S. Um procedimento para calcular índices a partir de uma base de dados multivariados. **Pesquisa Operacional**, v. 21, No. 1, p. 107-117, 2001.

LAL, R.; FOLLETT, R.F.; KIMBLE, J.; COLE, C.V. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 54, p. 374–381, 1999.

LAL, R.; BRUCE, J.P. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. **Environment Science Policy**, v. 2, p. 177–185, 1999.

LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. **Environmental Pollution**, Essex, v. 116, p. 353–362, 2002.

LEITE, L. F. C. et al. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 821-832, 2003.

LEMENIH, M.; KARLTUN, E.; OLSSON, M. Assessing soil chemical and physical property responses to deforestation and subsequent cultivation in smallholders farming system in Ethiopia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.105, p. 373–386, 2005.

LEONARDO, H.C.L. **Indicadores de qualidade de solo e água para a avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo Cue, região oeste do estado do Paraná**. 2003. 131f. (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LIMA, C.O. et al. Uso de imagens TM/Landsat-5 e termometria na identificação e mapeamento de solos afetados por saís na região de Sousa, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p.361-363, 2001.

MAIA, S.M.F. et al. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.30, n.5, p.837-848, 2006.

MASERA, O.; ASTIER, M.; RIDAURA, S.L. **Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación (MESMIS)**. Mexico: Mundi-Prensa, 1999. 107 p.

McBRIDE, M.B.; BLASIAK, J.J. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.43, p.866-870, 1979.

MELO, V.F. et al. Caracterização física, química e mineralógica de solos da colônia agrícola do apiaú (roraima, amazônia), sob diferentes usos e após queima. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 1039-1050, 2006.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 107 p.

MEUNIER, I.M.J.; SILVA, J.A.A.; FERREIRA, R.L.C. **Inventário florestal: programas de estudo**. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE, 2001. 189 p.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional-MI. SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA-SIH. **Fundos constitucionais de financiamento**. Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional-MI. **Relatório final do grupo de trabalho interministerial para redelimitação do Semi-árido Nordestino e do polígono das secas**. Brasília, DF, 2005.

MIRANDA, N.O. et al. Causas da variação em produtividade e qualidade do melão em um latossolo vermelho-amarelo fertirrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p.487-493, 2006.

MONTEZANO, Z.F.; CORAZZA, E.J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 839-847, 2006.

NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 88, p. 161–168, 2002.

OLIVEIRA, L.B. et al. Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 10, p. 1477-1486, 2002.

PABIN, J.; LIPIEC, J.; WODEK, S. Critical soil bulk density and strength for pea seedling root growth as related to other soil factors. **Soil and Tillage Research**, Madison, v.19, p.131-143, 1998.

PAUSTIAN, K.; COLLINS, H.P.; PAUL, E.A. Management controls on soil carbon. In: PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T.; COLE, C.V. (Ed.), **Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems**. Boca Raton: CRC Press, 1997.p. 15–49.

PERIN, E.; CERETTA, C. A.; KLAMT, E. Tempo de uso agrícola e propriedades químicas de dois latossolos do planalto médio do rio grande do sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 665-674, 2003

PORTELA, J. C.; LIBARDI, P. L.; LIER, Q. J. Retenção da água em solo sob diferentes usos no ecossistema tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.49-54, 2001.

PRADO, R. M.; NATALE, W. Alterações na granulometria, grau de floculação e propriedades químicas e de um Latossolo Vermelho distrófico, sob plantio direto e reflorestamento. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 45-52, 2003.

PRADO, R. M.; CENTURION, J. F. Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.36, p.197-203, 2001.

RAO, C.R. **Advanced statistical methods in biometric research**, John Wiley & Sons, 1952. 390 p.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. United States Department of Agriculture, 1954. 160 p. (Agriculture Handbook – n. 60).

ROSA JUNIOR, E. J. et al. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo, **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p 37-44, 2006.

ROSOLEM, C. A. et al. Root growth and cotton nutrition as affected by liming and soil compaction. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 29, n. 2, p. 169-192, 1998.

SALCEDO, I.H.; TIESSEN, H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient availability in soil samples from shifting cultivation sites in the semi-arid Caatinga of NE Brazil.

Agriculture, Ecosystems and Environment, Amsterdam, v. 65, p. 177-186, 1997.

SALES, L.E.O. et al. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.34, n.11, p.2091-2095, nov. 1999.

SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 115-122, 1998.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; SILVA, F.B.R. Fertilidade de solos do semi-árido do Nordeste. In: PEREIRA, J.R.; FARIA, C.M.B., (Ed). **Fertilizantes: insumos básicos para a agricultura e combate à fome**. Petrolina: Embrapa, 1995. p. 51-71.

SANTANA, D.P.; BAHIA FILHO, A.F.C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16, 1998, Montpellier. Montpellier: ISSS, 1998. CD-ROM.

SCHOLES, R.J.; BREEMEN, N. van. The effects of global change on tropical ecosystems. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, p.9-24, 1997.

SETA, A.K. et al. Reducing soil erosion and agricultural chemical losses with conservation tillage. **Journal of Environment Quality**, Madison, v. 22, p. 661-665, 1993.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, London, v. 52, p. 591-611, 1965.

SILVA, P.C.M. da; CHAVES, L.H.G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.431-436, 2001.

SILVA, M. A. S. et al. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência. Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.544-552, 2005.

SILVA, C.A. **Mineralização de nitrogênio e enxofre e caracterização de substâncias húmicas em solos brasileiros por ¹³C-RMN e cromatografia por exclusão de tamanho**. 1997. 82f. (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, p. 113-117, 1997.

SILVA, C.A.; VALE, F.R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.35, n.12, p.2461-2471, 2000.

SILVA, A.J.N. et al. Alterações físicas e químicas de um Argissolo amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.76–83, 2006.

SIMÕES, W.L. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 1061-1068, 2006

SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Land use effects on soil organic matter properties of chromic luvisols in semi-arid northern Tanzania: carbon, nitrogen, lignin and carbohydrates. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 78, p. 203-213, 2000.

SOUZA, Z.M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo o de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande v.8, n.1, p.51-58, 2004.

SOUZA, G.S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear**. EMBRAPA, 2001. 489 p.

SOUZA, A.L.L. de. **Meio ambiente e desenvolvimento sustentável: uma reflexão crítica**. Belém: FCAP, Serviço de documentação e informação, 1996. 50 p.

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**, Brasília, DF, v.40, n.11, p.1135-1139, nov. 2005.

STIRZAKER, R.J.; PASSIOURA, J.B.; WILMS, Y. Soil structure and plant growth: impact of bulk density and biopores. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 185, p. 151-162, 1996.

STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.207-212, 2002.

SU, Y. Z. Soil carbon and nitrogen sequestration following the conversion of cropland to alfalfa forage land in northwest China. **Soil & Tillage Research**, Madison, v. 92, p. 181–189, 2007.

SU, Y. Z. et al. Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi-arid sandy grassland in northern China. **Soil & Tillage Research**, Madison, v. 75, p. 27–36, 2004.

SUASSUNA, J. **A pequena irrigação no nordeste: algumas preocupações**. [199?] Disponível em <<http://www.fundaj.gov.br/index.html>>. Acesso em 01 out. 2006.

TAYLOR, H.M.; BRAR, G.S. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, Madison, v.19, p.111-119, 1991.

TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agriculture Ecosystems Environment**, Amsterdam, v.38, p. 139-151, 1992.

TIESSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P. The role of organic matter in sustaining soil fertility. **Nature**, London, v. 371, p. 783-785, 1994.

TIESSEN, H.; FELLER, C.; SAMPAIO, E.V.S.B. Carbon sequestration and turnover in semiarid savannas and dry forest. **Climatic Change**, v. 40, p. 105-117, 1998.

TILMAN, D. Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. **Proceedings of the National Academy Science of the USA**, Washington, US, v. 96, p. 5995-6000, 1999.

THEMAG. **Relatório de estudos edafoclimáticos dos projetos Chesf da Borda do Lago de Itaparica – margem esquerda**, Recife, 1986. 214 p.

TISDALE, S.I.; NELSON, W.I.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. 4.ed. New York: Macmillan, 1985. 754p.

TOGNON, A.A.; DEMATTÊ, J.A.M.; MAZZA, J.A. Alterações nas propriedades químicas de Latossolos roxos em sistemas de manejo intensivos e de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.21, p.271-278, 1997.

WALKER, J. et al. Catchment health indications: an overview. In: WALKER, J.; REUTER, D.J. **Indicators of catchment health: a technical perspective**. Melbourne: CISRO, 1996. cap. 1, p. 3-18,

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. cap. 13, p. 319-344.

WEZEL, A.; RAJOT, J.L.; HERBRIG, C. Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agro-ecosystems in semi-arid Niger. **Journal of Arid Environments**, London, v. 44, p. 383–398, 2000.

XAVIER F. A. S. et al. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v 30, p. 247-258, 2006.