

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**NÍVEIS DE COBERTURA VEGETAL E QUALIDADE DO SOLO SOB
PASTAGEM EM ÁREAS DE CERRADO**

RODRIGO CARVALHO

ORIENTADOR: WENCESLAU J. GOEDERT

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

PUBLICAÇÃO: 263/2007

**BRASÍLIA/DF
MAIO/2007**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**NÍVEIS DE COBERTURA VEGETAL E QUALIDADE DO SOLO SOB
PASTAGEM EM ÁREAS DE CERRADO**

RODRIGO CARVALHO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO DE DISCIPLINAS GESTÃO DE SOLO E ÁGUA.

APROVADA POR:

WENCESLAU J. GOEDERT, PhD, Professor Associado (Orientador)

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. E-mail: goedert@unb.br

EIYTI KATO, Doutor, Pesquisador Associado Adjunto (Examinador interno)

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. E-mail: kato@unb.br

EDSON EIJI SANO, PhD, Pesquisador (Examinador externo)

Embrapa Cerrados. CPF: 033.617.098-06, E-mail: sano@cpac.embrapa.br

BRASÍLIA/DF, 04 de maio de 2007

FICHA CATALOGRÁFICA

Carvalho, Rodrigo

Níveis de cobertura vegetal e qualidade do solo sob pastagem em áreas de cerrado. / Rodrigo Carvalho, orientação de Wenceslau J. Goedert – Brasília, 2007.

90 p. : il.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2007.

1. Cobertura Vegetal. 2. Qualidade do solo. 3. Cerrado. I
GOEDERT, W. J. II. PhD

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CARVALHO, R. Níveis de cobertura vegetal e qualidade do solo sob pastagem em áreas de cerrado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2007, Nº p 90. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Rodrigo carvalho

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Níveis de cobertura vegetal e qualidade do solo em áreas de cerrado.

GRAU: Mestre

ANO: 2007

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Rodrigo Carvalho
CPF: 906.638.961-34
Tel: (79) 9137-2060
e-mail: rcagro@gmail.com

A meus sobrinhos Pedro, Sophia, Guido e minha afilhada Marina, pois são esperança de um mundo melhor, e a Daniel (in memoriam) pela saudade que sentimos todos os dias.

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre abençoar meus passos em toda minha vida.

A minha mãe, Ester, pela inspiração por trabalhar e de sempre me fazer acreditar na minha capacidade.

A minha esposa Ana Paula pelo amor, compreensão e companheirismo nunca exauridos.

A meus irmãos Wannessa, Michela e Marcos e ao meu cunhado Hugo.

Ao amigo e mestre Wenceslau pelo incentivo e por acreditar no meu potencial e principalmente por me fazer acreditar na conclusão deste trabalho.

Ao professor Eiyti pela disponibilidade e compreensão demonstrada.

Ao pesquisador Édson pelo apoio e pela oportunidade concedida.

À equipe do Laboratório de Geofísica Ambiental do CPAC pela ajuda em todos os momentos.

À Lídia Tarchetti pela boa vontade em auxiliar nas análises laboratoriais.

A Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília.

Ao CNPq pela oportunidade de estágio no CPAC.

À CAPES pela bolsa de estudos recebida no mestrado.

ÍNDICE

Capítulos/Subcapítulos	Página
INTRODUÇÃO GERAL	1
REVISÃO DE LITERATURA	4
1 – Caracterização da Região dos Cerrados	4
2 – O Cerrado e o Cultivo de Pastagem	5
3 – Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Geográficas	5
4 – Geoprocessamento para o estudo das Pastagens	7
5 – Qualidade de Solo	8
<i>5.1 – Indicadores de Qualidade de Solo</i>	12
<i>5.2 – Indicadores Biológicos</i>	12
5.2.1 – Cobertura Vegetal	12
<i>5.2.2 – Microbiologia</i>	13
<i>5.3 – Indicadores Físicos</i>	14
5.3.1 – Compactação do Solo	14
5.3.1.1 – Conceito	14
5.3.1.2 – Efeitos	14
5.3.1.3 – Avaliação	15
5.3.1.4 – Soluções	18
5.3.2 – Estabilidade de Agregados	19
5.3.3 Grau de flocculação (GF)	20
5.4 – Indicadores Químicos	20

Capítulos/Subcapítulos	Página
5.4.1 – Matéria Orgânica (MO)	20
5.4.2 – Capacidade de Troca Catiônica (CTC)	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

CAPÍTULO ÚNICO	
NÍVEIS DE COBERTURA VEGETAL E QUALIDADE DO SOLO SOB PASTAGEM EM ÁREAS DE CERRADO	
RESUMO	29
ABSTRACT	30
1 – INTRODUÇÃO	31
2 – MATERIAL E MÉTODOS	33
2.1 – Áreas Avaliadas	33
2.2 – Coleta de Amostras	33
2.3 – Descrição dos Sítios	34
2.3.1 – Sítio 1	34
2.3.2 – Sítio 2	35
2.3.3 – Sítio 3	35
2.3.4 – Sítio 4	35
2.3.5 – Sítio 5	35
2.3.6 – Sítio 6	35
2.3.7 – Sítio 7	35

Capítulos/Subcapítulos	Página
2.3.8 – Sítio 8	36
2.3.9 – Sítio 9	36
2.4 – Índice de Cobertura Vegetal	38
2.5 – Análises Físicas do Solo	40
2.5.1 – Porosidade Total	40
2.5.2 – Estabilidade de Agregados	41
2.5.3 – Grau de Flocculação	41
2.6 – Análises Químicas do Solo	41
2.6.1 – Matéria Orgânica	41
2.6.2 – CTC	42
2.7 – Análises Estatísticas	42
2.8 – Modelagem Gráfica	42
RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
3.1 – Índice de Cobertura Vegetal	45
3.2 – Análise Granulométrica	46
3.3 – Porosidade Total	47
3.4 – Diâmetro Médio Ponderado	49
3.5 – Grau de Flocculação	51
3.6 – Matéria Orgânica	52
3.7 – CTC	55
3.8 – Modelos	56

Capítulos/Subcapítulos	Página
3.8.1 – Sítio 1	56
3.8.2 – Sítio 2	57
3.8.3 – Sítio 3	59
3.8.4 – Sítio 4	60
3.8.5 – Sítio 5	62
3.8.6 – Sítio 6	63
3.8.7 – Sítio 7	64
3.8.8 – Sítio 8	66
3.8.9 – Sítio 9	67
3.8 – IQS e Correlações	69
3.9 – Discussão Geral	71
4 – Conclusões	72
5 – Referências Bibliográficas	73

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela	Página
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
Tabela 1. Fases de degradação de pastagens segundo os parâmetros limitantes e seu nível de degradação.	13
CAPÍTULO ÚNICO	
Tabela 2. Coordenadas geográficas de áreas sob pastagem cultivada no Vão do Paranã – GO.	33
Tabela 3. Índice de Cobertura Vegetal (ICV) obtido através de fotografias digitais de áreas sob pastagem cultivada no Vão do Paranã – GO.	45
Tabela 4. Granulometria e ADA do solo em áreas sob pastagem cultivada no Vão do Paranã – Goiás.	47
Tabela 5. Porosidade Total (PT), Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e Grau de Floculação (GF) em solos sob pastagem cultivada e vegetação nativa no Vão do Paranã – GO.	48
Tabela 6. Matéria Orgânica (MO) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) em áreas sob pastagem cultivada e vegetação nativa no Vão do Paranã – GO.	53
Tabela 7. Índice de qualidade de solo para áreas sob pastagem cultivada e cerrado nativo no Vão do Paranã – GO.	69
Tabela 8. Valores de r^2 para as regressões lineares entre os parâmetros avaliados.	69
Tabela 9. Valores de r^2 das regressões lineares entre as frações granulométricas do solo e os parâmetros avaliados.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Capítulo Único	
Figura 1. Sítios de amostragem, roteiro de expedição e sede de municípios do Vão do Paranã – GO.	37
Figura. 2. Esquema de distribuição das fotografias em cada sítio.	38
Figura 3. Pontos de amostragem em uma imagem fotográfica de um dos sítios.	39
Figura 4. Mosaico formado após o processamento da imagem fotográfica.	39
Figura 5. Diagrama comparativo da qualidade do solo no sítio 1 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.	56
Figura 6. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 1.	57
Figura 7. Diagrama comparativo da qualidade do solo no sítio 2 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.	58
Figura 8. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 2.	58
Figura 9. Diagrama comparativo da qualidade do solo no sítio 3 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.	59
Figura 10. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 3.	60
Figura 11. Diagrama comparativo da qualidade do solo no sítio 4 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.	61
Figura 12. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 4.	

Figura	Página
Figura 13. Diagrama comparativo da qualidade do solo no sítio 5 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.	62
Figura 14. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 5.	63
Figura 15. Diagrama comparativo da qualidade do sistema no sítio 6 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.	63
Figura 16. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 6.	64
Figura 17. Diagrama comparativo da qualidade do solo no sítio 7 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.	65
Figura 18. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 7.	65
Figura 19. Diagrama comparativo da qualidade do solo no sítio 8 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.	66
Figura 20. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 8.	67
Figura 21. Diagrama comparativo da qualidade do sistema no sítio 9 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.	68
Figura 22. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 9.	68

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	Página
Anexo 1. Dados originais de Análise Textural e Grau de Flocculação do Solo.	78
Anexo 2. Dados originais de Densidade Aparente, Densidade Real e Porosidade Total do solo.	80
Anexo 3. Dados Originais de Diâmetro Médio Ponderado	82
Anexo 4. Dados originais de Análises Químicas: Alumínio (Al^{3+}), Acidez Potencial ($Al^{3+} + H^+$), Cálcio e Magnésio (Ca + Mg), pH em Água (H_2O) e em KCL, Matéria Orgânica (MO), Soma de Bases (S), Capacidade de Troca Catiônica (T), Saturação de Bases (V), Saturação por Alumínio (m) e Fósforo (ppm).	83
Anexo 5. Dados originais de Índice de Cobertura Vegetal (ICV).	85
Anexo 6. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para as áreas sob vegetação nativa.	87
Anexo 7. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 1.	87
Anexo 8. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 2.	87
Anexo 9. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 3.	88
Anexo 10. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 4.	88
Anexo 11. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 5.	88

ANEXO	Página
Anexo 12. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 6.	89
Anexo 13. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 7.	89
Anexo 14. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 8.	89
Anexo 15. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 9.	90

NÍVEIS DE COBERTURA VEGETAL E QUALIDADE DO SOLO SOB PASTAGEM EM ÁREAS DE CERRADO

RESUMO GERAL

O geoprocessamento é uma ferramenta de enorme aplicabilidade na pesquisa agropecuária. Modelos gráficos que permitem a identificação de áreas degradadas com rapidez são úteis para evitar que locais em estágio inicial de degradação atinjam níveis economicamente inviáveis de recuperação e não comprometesse a qualidade da água comprometessem a qualidade da água. Os objetivos deste trabalho foram determinar o Índice de Cobertura Vegetal (ICV) através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), quantificar a porosidade total (PT), Diâmetro Médio Ponderado (DMP), Grau de Floculação (GF), Matéria Orgânica (MO) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) de áreas sob pastagem cultivada, com no máximo 8 anos de uso, no Vão-do-Paraná, Goiás, e propor um modelo de comparação, através do Índice de Qualidade do Solo (IQS), entre as pastagens e o cerrado nativo. Os resultados mostraram que a maioria das áreas analisadas apresenta-se em estágio de degradação física e química, sendo que os atributos químicos mostraram-se mais sensíveis às alterações decorrentes da exploração do solo. Os modelos revelaram que apenas uma pequena parte da qualidade do solo pode ser explicada pela cobertura vegetal, e ao mesmo tempo confirmaram o fácil entendimento proporcionado por tais modelos. Os solos com maiores teores de areia foram os que apresentaram menores valores de (IQS).

Termos para indexação: Degradação do solo, geoprocessamento, modelo gráfico.

VEGETAL COVERING INDEX AND SOIL QUALITY UNDER CULTIVATED PASTURES IN TROPICAL SAVANNA AREAS

ABSTRACT

The geoprocessing is a tool of enormous applicability in the agricultural research. The attainment of models that allow the identification of areas degraded with rapidity would be useful so that the places under anthropic use that if they find in initial period of training of degradation of the soil did not reach impracticable levels of recovery economically and did not compromise the quality of the water. The objectives of this work had been to determine the vegetal covering index through a geographic information system, to quantify the soil porosity, aggregate mean weight diameter, degree of flocculation, organic matter and cation exchange capacity of areas under cultivated pasture, with in the maximum 8 years of use, in the Vão-do-Paraná, Goiás, and to consider a comparison model, through soil quality index, between the cultivated pastures and the native tropical savanna. The results had shown that the models had disclosed that only one small part of the quality of the soil can be explained by the vegetal covering, and at the same time had confirmed the easy proportionate agreement for such models. The majority of the analyzed areas is presented in period of training of physical and chemical degradation, being that the chemical attributes had revealed more sensible to the decurrently alterations of the exploration of the soil. The sandy soils had been the ones that had presented minors values of soil quality index.

Index Terms: Tropical savanna, soil, geoprocessing, pastures, graphical model.

INTRODUÇÃO GERAL

O emprego de técnicas de geoprocessamento na pesquisa agropecuária é cada vez mais comum e abrange inúmeras linhas de pesquisa. No cerrado, devido à sua extensão, os sistemas de informações geográficas (SIG), softwares desenvolvidos inicialmente para o uso do Sensoriamento Remoto, têm tido êxito na quantificação de áreas e determinação da qualidade de pastagens cultivadas.

Sabe-se que o solo é o requisito básico para a produção agropecuária e também é um dos agentes mais importantes no ciclo hidrológico do planeta. Por contribuir para que o movimento da água ocorra de forma contínua entre oceanos, atmosfera e continentes as alterações ocorridas nas unidades pedológicas afetam a disponibilidade de água e interferem nas atividades antrópicas ligadas à produção de comida e insumos industriais, como é o caso do agronegócio.

A atividade antrópica que mais demanda área no cerrado é a pecuária extensiva e atualmente ocupa mais de 50% da área utilizada. Desde a década de 70 as inovações tecnológicas transformaram o bioma no celeiro brasileiro. A elevada produtividade obtida com os primeiros anos de uso do solo atraiu produtores que rapidamente alcançaram as maiores produtividades de grãos e de carne bovina. Porém, tais atividades sempre mostraram pouca preocupação com os recursos naturais e com a conservação do solo.

Este fato associado ao baixo preço das terras, à melhoria da genética do rebanho e à utilização de espécies forrageiras mais adaptadas fazia com que o declínio da capacidade produtiva, resultante da degradação do solo, só importasse ao produtor no momento em que a produção de carne e leite fosse afetada drasticamente e, na maioria dos casos, isto acontecia quando o nível de degradação atingido tornava a recuperação de tal área economicamente inviável. Como consequência destes processos tinha-se o abandono da propriedade e abertura de novas áreas para o cultivo de pastagens.

Quando ocorre a redução da porosidade do solo, ocasionada pela compactação, sua capacidade de infiltração também é comprometida e o resultado disto é o início do processo de erosão hídrica. A degradação desencadeada por este fenômeno diminui a qualidade e a quantidade de água exigida para a manutenção de mananciais ao mesmo tempo em que proporciona o declínio da produtividade agropecuária.

A conservação dos recursos naturais tornou-se uma prática importante à partir do momento em que a humanidade se deu conta de que as alterações causadas pelas atividades antrópicas alterou o equilíbrio natural de tal maneira que a existência do próprio homem está ameaçada e que a conservação das áreas sob vegetação natural é tão importante para a sociedade quanto a produção de alimentos.

A busca por metodologias não destrutivas, baratas, de fácil utilização e eficazes para o monitoramento da qualidade do solo sob pastagem cultivada no cerrado, tornaria mais fácil a identificação de áreas em estágio inicial de degradação e mais viável a recuperação do potencial produtivo destas forragens. Desta forma a conservação dos recursos naturais estaria associada à conservação dos recursos naturais o que fortaleceria a economia do país e garantiria a qualidade de vida para as futuras gerações.

Atualmente a pesquisa agropecuária busca formas de produção menos impactantes, seja pela adoção de sistemas de produção que imitam o ambiente natural ou adaptações nos sistemas já praticados, sempre buscando a conservação do solo. Isto porque o ambiente natural representa o equilíbrio entre os processos existentes na biosfera e as características de seu solo devem ser alcançadas para que haja sustentabilidade. Desta forma, quando se avalia se o manejo de uma área é sustentável, compara-se este com um ambiente nativo.

Dentre as características mais avaliadas para verificar a qualidade do solo têm-se as propriedades físicas, químicas e biológicas alteráveis a médio prazo como: compactação; estabilidade de agregados; matéria orgânica e cobertura vegetal. Quando avaliados juntos, em forma de modelos gráficos, estes atributos não só representam a qualidade do solo como também dão idéia da interação existente entre os parâmetros analisados.

A cobertura vegetal de um solo é derivada da atividade biológica das plantas. Esta atividade por sua vez resulta da capacidade do solo em proporcionar um ambiente favorável para que as raízes se desenvolvam. Quanto mais benéfico for este ambiente maior e melhor será a cobertura vegetal, protegendo o solo dos impactos da chuva e fornecendo matéria orgânica através de seus resíduos. Têm-se assim uma interação onde estes dois agentes proporcionam mútuos benefícios. O geoprocessamento para análise de imagens é, atualmente, uma ferramenta acessível e prática para determinar a cobertura vegetal de um solo.

A existência de uma alta correlação entre a cobertura vegetal de um solo com seus atributos físicos e químicos já foi observada por alguns autores e a partir deste pressuposto propõem-se que o índice de cobertura vegetal é um bom indicador da qualidade de um solo.

Com base no que foi apresentado buscou-se através deste trabalho, como objetivo geral, avaliar o grau de cobertura vegetal de áreas sob pastagem cultivada no Vão do Paranã, microrregião do estado de Goiás, e sua relação com a qualidade do solo. Como objetivos específicos teve-se: Determinar o Índice de Cobertura Vegetal através de um SIG; Quantificar a Porosidade Total (PT), Diâmetro Médio Ponderado (DMP), Grau de Floculação (GF), Matéria Orgânica (MO) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo em áreas selecionadas; e Propor um modelo de comparação da qualidade do solo, correlacionando suas propriedades físicas e químicas com o índice de cobertura vegetal obtido com técnicas de geoprocessamento.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 – CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DOS CERRADOS

A região dos cerrados localiza-se basicamente no Planalto Central do Brasil. O cerrado é o segundo maior bioma do País, superado apenas pela Floresta Amazônica. O bioma é caracterizado por tipos específicos de vegetação. É cortado por três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul, com índices pluviométricos regulares que lhe proporcionam alta biodiversidade.

O Ecossistema Cerrado, com 204 milhões de hectares, ocupa a quarta parte do território nacional: expande-se desde a região Central do Brasil até as regiões ecofisiográficas limítrofes (Spehar, 2001).

O clima é classificado como continental tropical semi-úmido. A temperatura média é de 25°C, registrando máximas de 40°C no verão. A estação seca começa em abril e continua até setembro. Nesta estação os ventos predominantes são de leste ou de sudeste e as tempestades são muito raras. Os meses mais frios são junho e julho, com temperaturas que variam de 20 a 10°C. Em agosto a temperatura é mais alta. Os meses mais chuvosos são novembro, dezembro e janeiro (Ambiente Brasil, 2007).

A pluviosidade, via de regra, é suficiente para a produção anual de grãos, ocorrendo, entretanto em alguns anos verânicos que são a ausência de chuvas num período suficiente para prejudicar a produção. Os valores médios de precipitação ficam entre 1000 a 2000 mm, concentrados entre setembro a maio.

Um dos fatores limitantes no Cerrado é a deficiência hídrica, que ocorre devido à má distribuição das chuvas, à intensa evapotranspiração e às características do solo que apresentam baixa capacidade de retenção de água e alta velocidade de infiltração (Ambiente Brasil, 2007).

De um modo geral a CTC (capacidade de troca catiônica) efetiva é baixa e os solos são ácidos. Além disso, a maioria das cargas componentes da CTC é dependente da matéria orgânica. Desde o início da ocupação agrícola do Cerrado, essa região vem apresentando desenvolvimento excepcional.

2 – O CERRADO E O CULTIVO DE PASTAGEM

Atualmente, a ocupação dos solos do Cerrado é a mais extensiva e significativa em termos nacionais. Cerca de 40% da sua vegetação original já foi convertida em áreas de pastagens cultivadas e áreas agrícolas. Os números impressionam: 50 milhões de hectares de pastagens cultivadas, 28 milhões de hectares de pastagens nativas e 15 milhões de áreas agrícolas. Estima-se que quase 80% dessas pastagens cultivadas apresentam algum grau de degradação. O Cerrado contribui com cerca de 55% de toda a produção nacional de carne bovina. Municípios como Rio Verde (GO), Rondonópolis, Sorriso e Lucas do Rio Verde (Mato Grosso) e Luís Eduardo Magalhães (BA) têm sido bastante destacados pela mídia por causa da sua elevada produção e produtividade de grãos (Sano & Ferreira, 2005).

O uso indiscriminado das áreas de pastagem com elevada carga animal e a desatenção às necessidades do requerimento na correção e fertilização dos solos, impôs um processo de extrativismo, pela exportação de produto animal, condicionando a perda da capacidade produtiva das pastagens. Entende-se por degradação de pastagens o processo evolutivo de perda de vigor, de produtividade, de capacidade de recuperação natural das pastagens para sustentar os níveis de produção e de qualidade exigidos pelos animais, assim como, a de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras, culminando com a degradação avançada dos recursos naturais, em razão de manejos inadequados (Macedo & Zimmer, 1993).

3 – SENSORIAMENTO REMOTO E OS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Com o lançamento em 1972, do ERTS (Earth Resources Technology Satellite) – Landsat 1, primeiro satélite colocado em órbita pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) com o objetivo de permitir a aquisição de dados da superfície terrestre de forma global, sinóptica e repetitiva, os Estados Unidos da América deram o passo inicial para o desenvolvimento dos satélites de levantamentos ambientais da superfície do Planeta.

Com o final da Guerra Fria, muitas das tecnologias empregadas para aquisição de dados de interesse militar perderam a classificação de segredo estratégico e vieram a público, favorecendo o desenvolvimento das ciências ligadas às áreas de levantamento, planejamento e monitoramento do uso de recursos naturais.

Os dados de sensoriamento remoto têm ampla aplicação na descrição quantitativa de bacias hidrográficas e redes de drenagem. Assim, uma série de estudos morfométricos, antes realizados a partir de dados extraídos de cartas topográficas, passaram a ser feitos com base em dados de sensoriamento remoto, ou seja, nas imagens coletadas por sensores remotos (Novo, 1992). A extensão do território brasileiro e o pouco conhecimento dos recursos naturais, aliados ao custo de se obter informações por métodos convencionais, foram os fatores decisivos para o país entrar no programa de sensoriamento por satélite (Rosa, 1995).

Para o manuseio e análise dos dados provenientes de sensores remotos, os aplicativos mais usados atualmente são os de processamento digital de imagens e os denominados Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Estes aplicativos são capazes de armazenar, analisar e localizar espacialmente dados de um fenômeno. Além disso, permitem o manuseio e a saída de dados já analisados e tratados.

O primeiro sistema a reunir as características básicas de um SIG foi implementado no Canadá, em 1964, chamado de *Canadian Geographic Information System* (Teixeira et al., 1992). Desde então, com a evolução dos equipamentos (*hardware*) e aplicativos (*softwares*) ocorreram avanços consideráveis, com o desenvolvimento de sistemas cada vez mais potentes e com muitas novas aplicações.

Os SIGs são, conforme Calijuri & Röhn (1994), uma excelente ferramenta para investigação de fenômenos diversos, relacionados à engenharia urbana, meio ambiente, pedologia, vegetação e bacias hidrográficas. Além disso, na área ambiental, a tomada de decisões requer um conhecimento multidisciplinar. Desta forma, o computador veio resolver grande parte dos problemas de tempo, mão-de-obra e da pouca precisão quando o volume de informações é grande (Pereira et al., 1995).

May et al. (1997), ao estudarem a eficiência de imagens do mapeador Thematic Mapper (TM) para o mapeamento de arbustos e campinas na Califórnia (EUA), conseguiram bons resultados para a separação de arbustos de campinas; no entanto, não conseguiram eficiência para separação de tipos de campinas. Alves et al. (1998) comentam que o uso de imagens de satélite tem possibilitado o estudo do desflorestamento em várias regiões do Planeta, particularmente em regiões tropicais, onde extensões significativas de florestas não poderiam ser monitoradas facilmente sem o recurso dos satélites de sensoriamento remoto.

Valério Filho et al. (1997), ao utilizarem dados digitais do TM/Landsat e geoprocessamento para o monitoramento da dinâmica do uso agrícola e vegetação natural em microbacias, concluíram que, mesmo não sendo possível um maior detalhamento das classes de uso e cobertura vegetal das terras, face às limitações dos produtos de sensoriamento remoto ao nível orbital, as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são ferramentas úteis para o monitoramento da dinâmica de uso e cobertura vegetal e a adequação de uso das terras ao nível de microbacias hidrográficas, pelo fato de propiciar maior frequência na atualização de dados, agilidade no processamento e ser economicamente viável.

4 – GEOPROCESSAMENTO PARA O ESTUDO DAS PASTAGENS

As propriedades espectrais da vegetação podem ser utilizadas para o monitoramento das condições de crescimento da vegetação ao longo do ano, assim como a estimativa da produtividade das espécies, por meio de técnicas de sensoriamento remoto (Fonseca 2002).

Diferenças nos níveis de N nas plantas podem ser detectadas por meio de sensores remotos. O N influencia tanto a taxa de expansão quanto a divisão celular, determinando, assim, o tamanho final das folhas, o que faz com que o N seja um dos fatores determinantes da taxa de acúmulo de biomassa (Jensen et al., 1990). Um acréscimo no suprimento de N estimula o crescimento, atrasa a senescência, e muda a morfologia das plantas. Além disso, o aumento nos níveis de adubação nitrogenada causa um aumento significativo no conteúdo de clorofila das folhas (Fernández et al., 1994).

Utilizando as imagens TM Landsat e a classificação supervisionada por regiões, foi possível identificar pastagens com 5 níveis de degradação. É importante ressaltar que muitas vezes as áreas destinadas a implantação de pastagens são restritas ou inaptas para essa utilização, o que as tornam inadequadas ao desenvolvimento de agricultura convencional (Moreira & Assad, 2000).

Em virtude das mudanças que ocorrem na reflectância do dossel, e em razão da quantidade de N disponível, a biomassa pode ser monitorada por meio de técnicas de sensoriamento remoto, sendo necessário, para tanto, um estudo detalhado da interação entre N, biomassa e reflectância em nível terrestre. A análise da reflectância é um bom indicador das mudanças que ocorrem em um dossel (Fonseca et al., 2002).

A técnica de segmentação, em associação com dados de radiometria, é promissor na identificação e quantificação dos principais tipos de pastagens cultivadas do Cerrado, pois estudando diferentes espécies de forrageiras na região de Cerrado encontrou-se características espectrais diferentes entre *Andropogon*, *Panicum* e *Braquiária*, permitindo a diferenciação destas através da análise de imagens de LANDSAT TM (Chaves et al., 2001).

5 – QUALIDADE DE SOLO

No tocante à agricultura, qualidade de solo é talvez o conceito mais palpável dessa sustentabilidade almejada. É consensual que a produção sustentável deve melhorar ou pelo menos manter a qualidade inicial do solo.

Contudo, definir e, principalmente, qualificar e quantificar a qualidade de solo não é uma tarefa fácil. A dificuldade advém do fato de que qualidade de solo depende de suas características intrínsecas, de interações do ecossistema, do uso e manejo, e de prioridades sócio econômicas e políticas (Santana e Bahia Filho, 1998).

Qualidade de solo não pode ser medida diretamente, mas sim inferida pelas propriedades indicadoras de solo. Inicialmente a avaliação da qualidade de solo levava em consideração propriedades químicas e físicas devido à maior facilidade de mediação. Mais recentemente tem sido sugerido que as propriedades biológicas e bioquímicas podem ser indicadores muito sensíveis aos estresses nos agroecossistemas.

Larson e Pierce (1991) sugerem que a qualidade de um solo deve ser considerada como composta de suas propriedades físicas, químicas e biológicas de maneira que: 1) provenha meio para o crescimento das plantas; 2) regule a distribuição da água no meio ambiente; 3) sirva como um tampão ambiental na formação, atenuação e degradação de produtos danos ao ambiente.

A qualidade de solo deve ser avaliada pelo monitoramento de vários indicadores. Esses indicadores são propriedades, processos e características físicas, químicas e biológicas que podem ser medidas para monitorar mudanças na qualidade de solo.

Indicadores de qualidade de solo, para uso agrícola, devem ser considerados como ferramentas para orientar o planejamento e a avaliação de práticas de manejo utilizadas. As informações obtidas no monitoramento podem ser usadas na melhoria das recomendações conservacionistas.

Dessa forma a busca da simplicidade e praticidade dos indicadores e processos selecionados deve orientar a pesquisa em qualidade de solo.

Nenhuma propriedade deve ser usada isoladamente como um índice de qualidade de solo. É na integração e interrelação entre indicadores físicos, químicos e biológicos para avaliar a qualidade de solo que está o objetivo da pesquisa em qualidade de solo hoje.

Preferencialmente, os atributos do solo usados como indicadores de qualidade devem além de demonstrar claramente a perda de qualidade, ser detectado antes que o processo se torne irreversível. Assim o fenômeno erosão do solo, sem dúvida indica perda de qualidade, entretanto a reversão desse processo é muito cara e as vezes ineficaz. É importante, portanto, utilizar indicadores anteriores a esse fenômeno para se evitar que se chegue a esse estágio.

Mensurar e acompanhar a qualidade de solo traz esses conceitos para um campo real, permitindo a avaliação dos efeitos que o manejo pode provocar no solo. Como e quanto o manejo afeta a qualidade de solo? De que modo a qualidade de solo pode aumentar a sustentabilidade da exploração agrícola?

Numa forma mais moderna de se pensar a agronomia, acredita-se que a qualidade de solo deva ser mantida ou melhorada pelo manejo em relação à condição nativa.

A degradação do solo, o declínio da produtividade e a capacidade reguladora do meio ambiente de suportar o manejo inadequado podem ser quantificados através das mudanças provocadas nas propriedades do solo ou nos processos relacionados a essas propriedades.

A quantificação da sustentabilidade é essencial para medir o impacto dos sistemas de manejo da produtividade atual e potencial e a sustentabilidade pode ser associada a um ou vários índices.

Além disso, a medida de sustentabilidade deve estar em uma escala adequada. Um bom indicador é aquele que permite medir a magnitude e intensidade do estresse ambiental experimentado pelas plantas e animais.

Os atributos selecionados, como indicadores da qualidade de solo devem apresentar boa performance na distinção dos efeitos proporcionados pelos sistemas de manejo em relação aos sistemas em equilíbrio, contribuindo para o monitoramento do manejo sustentável de solos da região do cerrados.

Um atributo indicador da qualidade de solo deve ser sensível às variações do manejo ao qual está sendo submetido. Deve estar incluído em um banco de dados para que possa realizar comparações temporais. É também necessário que existam padrões de comparação com valores críticos bem definidos para as várias classes de solo, climas e sistemas de manejo e devem ser de preferência quantitativos (Doran e Parkin, 1994).

Islam e Weil (1979) consideram três grupos de atributos na avaliação da qualidade de solo: o primeiro grupo está relacionado com os atributos denominados efêmeros, que são aqueles que apresentam oscilações em curto espaço de tempo, dentre os quais podem ser citados: temperatura, pH, conteúdo de água, respiração do solo e teores de nutrientes; o segundo grupo engloba atributos intermediários os quais são alterados com o manejo após alguns anos, dentre estes se incluem conteúdo de matéria orgânica, resistência à penetração do solo e permeabilidade do solo à água, e, por último têm-se os atributos definidos como permanentes, atributos inerentes ao solo e que não sofrem alterações em curto prazo, dentre estes podem ser citados componentes mineralógicos, textura, profundidade do solo, camadas de impedimentos e pedoclima.

Qualidade de solo é a capacidade que o solo tem de, dentro dos limites naturais ou controlados do ecossistema, sustentar a produtividade das culturas e dos animais, mantendo ou melhorando a qualidade do ar e da água, dando suporte à saúde e a habitação humana (Lal, 1994).

Durante muito tempo a qualidade do solo esteve ligada unicamente à capacidade do solo de sustentar as culturas com altas produtividades. Foi a partir dos trabalhos de Lal (1994) que se passou a ver o solo como exercendo várias funções essenciais: regulador hídrico, sustentáculo da biodiversidade vegetal e animal, filtragem e degradação de poluentes, ciclagem e transformação de nutrientes, suporte de construções.

Para alguns atributos de natureza química e física, já existem limites de sustentabilidade definidos, entretanto para vários atributos importantes, esse limite é desconhecido. Por outro lado, embora exista um conjunto grande de informações acerca de vários tipos de solo e estudos comparativos de solos submetidos a diferentes usos, existe uma indefinição dos indicadores mínimos com seus limites claros de sustentabilidade.

A compreensão da qualidade de solo significa avaliar o solo e manejá-lo de modo a maximizar a produção, mas mantendo-o em condições produtivas para as gerações futuras. Monitorando as mudanças na qualidade de solo, o agricultor poderá determinar quais as práticas agrícolas serão melhores para a manutenção da sustentabilidade.

A qualidade de solo é uma avaliação da capacidade do solo de exercer bem todas as suas funções. Essa qualidade não pode ser determinada utilizando-se um único indicador, por exemplo, produtividade das culturas ou qualidade da água. A qualidade de solo tem que levar em consideração o exercício de todas as funções do solo simultaneamente e a manutenção para o futuro.

A finalidade final de pesquisar e de avaliar a qualidade de solo não é conseguir a manutenção ou melhora de nenhum atributo do solo, mas sim manter as áreas agrícolas produtivas, a qualidade da água e garantir a sobrevivência de plantas e animais e dos povos em longo prazo.

A pesquisa em qualidade de solo é motivada por dois objetivos: melhorar o manejo do solo nas propriedades rurais e monitorar o solo em uma escala nacional e regional. O primeiro objetivo envolve a avaliação e a tomada de decisão local-específicas, assim a ligação entre a pesquisa e o agricultor é fundamental para o sucesso da pesquisa.

O segundo objetivo envolve decisões governamentais criando mecanismos de avaliação e monitoramento envolvendo além dos órgãos de pesquisa, órgãos ambientais e de extensão rural.

5.1 – INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO

Os indicadores de qualidade de solo são atributos mensuráveis que fornecem indícios sobre a qualidade de solo. Esses indicadores podem ser físicos, químicos ou biológicos devendo ter as seguintes características: serem facilmente mensuráveis, serem acessíveis a muitos usuários e de fácil aplicação e serem sensíveis às variações climáticas e ao manejo.

5.2 – INDICADORES BIOLÓGICOS

5.2.1 – COBERTURA VEGETAL

A cobertura viva protege o solo dos agentes climáticos, mantém ou aumenta o teor de matéria orgânica do solo, mobiliza e recicla nutrientes e favorece a atividade biológica do solo (Guerra & Teixeira, 1997; Perin, 2001; Duda et al., 2003).

Alvarenga et al. (1995) destacam que uma cobertura uniforme de 20% do terreno é capaz de reduzir as perdas de terra em aproximadamente 50%, quando comparado com solo descoberto.

Segundo Dedecek et al. (1986) em ambiente de Cerrado os solos descobertos podem perder até 59 toneladas de solo/ha/ano, enquanto as pastagens, quando bem formadas, representam o sistema de maior proteção aos riscos de erosão.

De acordo com Spain & Gualdrón (1988) e Barcellos et al. (1997) o parâmetro cobertura vegetal representa um dos elementos de discriminação da fase de degradação das pastagens. A cobertura do solo, associada a outros componentes bióticos como revegetação por espécies nativas e exóticas e termiteiros constitui indicador do processo de perda da capacidade produtiva das pastagens. As fases de degradação de pastagem, segundo Spain & Gualdrón (1988) estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Fases de degradação de pastagens segundo os parâmetros limitantes e seu nível de degradação.

Fases de Degradação	Parâmetros limitantes	Deterioração
1	Vigor e qualidade	LEVE
2	Fase 1 + baixa população	MODERADO
3	Fase 1 + 2 + e invasoras	FORTE
4	Fase 1 + 2 + 3+ formigas e cupins	MUITO FORTE
5	Fase 1 + 2 + 3 + 4 e baixa cobertura do solo	MUITO FORTE

FONTE: Adaptado de Spain & Gualdrón (1988).

5.2.2 – MICROBIOLOGIA

A fração orgânica do solo consiste de uma ampla variedade de compostos formando uma matriz bioquímica contínua de frações celulares, originados de plantas superiores, animais e microrganismos (Silva & Resck, 1997).

Em torno de 98% do carbono orgânico do solo encontra-se como matéria orgânica morta, principalmente na forma de húmus.

A fração viva geralmente não ultrapassa 5%, deste 60 a 80% são microrganismos, representando a biomassa microbiana que é definida como parte viva da matéria orgânica do solo, composta por todos os organismos menores que $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^3$, como fungos, bactérias, actinomicetos, leveduras e outros componentes da microfauna.

A biomassa microbiana é a principal fonte de enzima, sendo assim responsável pela quase totalidade da atividade biológica no solo, catalisando as transformações bioquímicas, representando fonte e dreno de carbono e troca de nutrientes entre a atmosfera e o ecossistema solo-planta (Moreira & Siqueira, 2002).

Mudanças significativas na quantidade de biomassa podem ser detectadas muito antes que alterações na matéria orgânica total possam ser percebidas, possibilitando a adoção de medidas de correção antes que a perda da qualidade do solo seja mais severa. Assim, o monitoramento das alterações nos níveis de biomassa microbiana do solo é uma medida adequada para determinar se um conjunto de práticas é sustentável (Tótola & Chaer, 2002).

As propriedades biológicas e bioquímicas do solo, tais como: a atividade enzimática, a taxa de respiração, a diversidade e a biomassa microbiana, são indicadores

sensíveis que podem ser utilizados no monitoramento de alterações ambientais decorrentes do uso agrícola, sendo ferramentas para orientar o planejamento e a avaliação das práticas de manejo utilizadas (Turco et al., 1994; Santana & Bahia Filho, 1998; Doran & Parkin, 1996).

A microbiota do solo é a principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo, exercendo influência tanto na transformação da matéria orgânica, quanto na estocagem do carbono e nutrientes minerais (Jenkinson & Ladd, 1981).

5.3 – INDICADORES FÍSICOS

5.3.1 – COMPACTAÇÃO DO SOLO

5.3.1.1 – CONCEITO

A compactação do solo pode ser definida como a alteração no arranjo das partículas tornando-o mais denso em resposta a aplicação de uma determinada energia mecânica (Mendes, 1989).

O processo de compactação é basicamente a mudança de volume de massa do solo. É uma alteração na densidade do solo, que reflete na relação de vazios ou na porosidade.

5.3.1.2 – EFEITOS

Nas condições tropicais as culturas não produzem satisfatoriamente em solos adensados ou compactados por estes não oferecerem condições exigidas para a absorção de água e nutrientes em temperaturas elevadas.

Provavelmente o fator mais importante seja o efeito causado pelas máquinas pesadas que trabalham sobre o solo cultivado particularmente em condições de terra molhada. Este trabalho pode causar danos consideráveis para o solo, refletindo na produção final das culturas.

Segundo Jorge (1986) até 1940 um trator pesava, em média, menos de três toneladas, enquanto que as máquinas que trafegam sobre os solos cultivados atualmente, podem pesar mais de quinze toneladas como acontece comumente com os caminhões e colhedoras carregadas. O peso do veículo, agindo sobre a superfície do solo, dá origem à uma força externa que causa uma reorganização de suas partículas, que passam a ocupar menor volume.

Nos solos argilosos, constituídos de partículas menores, com uma porosidade total maior, o efeito da pressão é mais severo, dando origem a maiores problemas de compactação do que nos solos arenosos. Quando uma carga ou pressão é aplicada sobre os solos argilosos, as partículas de argila rolam para os espaços deixados pelas partículas grosseiras, como as areias, causando uma diminuição no seu volume com conseqüente aumento da densidade do solo, característica da compactação.

5.3.1.3 – AVALIAÇÃO

Os sintomas da compactação podem ser observados tanto na planta como no próprio solo. Sendo que em plantas cultivadas os sintomas mais freqüentes são: (1) emergência lenta da plântula; (2) plantas com tamanho variado, tendo mais plantas pequenas que normais; (3) plantas com coloração deficiente; (4) sistema radicular raso e (5) raízes mal formadas e com maior incidência de pêlos absorventes. Quanto aos sintomas do solo, podem ser citados: (1) formação de crosta superficial; (2) fendas nas marcas das rodas do trator; (3) zonas compactadas de subsuperfície; (4) empoçamento de água; (5) erosão excessiva pela água; (6) aumento da necessidade de potência pelas máquinas e (7) presença de resto de resíduo não decompostos meses após a incorporação (Camargo & Alleoni, 1997).

A Porosidade Total, composta por todos os espaços porosos do solo, pode ser calculada pela razão entre a Densidade do Solo e a Densidade de Partícula conforme se observa na tabela abaixo:

$$N[\%] = 100 \times [(D_p [\text{g cm}^{-3}] - (D_s \text{ g cm}^{-3})) / D_p [\text{g cm}^{-3}]] \quad \text{Equação (6)}$$

Onde: N = Porosidade; D_p = Densidade de partícula; D_s = Densidade do solo

Pode-se dizer, com certa restrição, que a densidade do solo ou aparente (D_s) é a medida quantitativa mais direta da compactação. Podendo ser definida como a razão entre a massa de terra seca (m_s) e o volume total do solo (V_t), conforme a equação abaixo (Camargo & Alleoni, 1997):

$$D_s[\text{g cm}^{-3}] = m_s[\text{g}] / V_t[\text{cm}^3] \quad \text{Equação (7)}$$

Dentre os métodos mais utilizados para calcular a densidade do solo, destaca-se o anel volumétrico. Este método fundamenta-se no uso de um anel de aço, conhecido por anel de Kopeck, de bordas cortantes e capacidade interna conhecida, geralmente de 100 cm^3 . Crava-se o anel na parede do perfil ou no próprio solo, por pancadas ou por pressão, removendo-se a seguir com o excesso de terra, a qual será retirada com o auxílio de uma faca cortante, até que o volume ocupado pelo solo seja exatamente o volume do anel (Camargo & Alleoni, 1997; EMBRAPA, 1997).

Obtida a amostra de terra com 100 cm^3 de volume e com estrutura natural, indeformada, transfere-se para um recipiente, no próprio campo, o conteúdo do anel, podendo o mesmo ser utilizado para coleta de outras amostras. Secando em estufa a 105°C por 24 horas e pesando-se a amostra, pode-se calcular a densidade do solo pela fórmula descrita acima (Camargo & Alleoni, 1997; EMBRAPA, 1997).

A razão entre a massa de terra seca (m_s) e o volume de sólidos (V_s) (sem considerar a parte porosa do solo) é chamada de densidade de partículas (D_p), sendo representada pela equação abaixo (Camargo & Alleoni, 1997; EMBRAPA, 1997):

$$D_p [\text{g cm}^{-3}] = m_s[\text{g}] / V_s [\text{cm}^3] \quad \text{Equação (8)}$$

Um dos métodos utilizados para se obter a densidade de partículas (D_p) é o método do balão volumétrico, o qual consiste na tomada de 20 g de solo seco em estufa a 105^0 C por 24 horas, o qual é passado para balão volumétrico de 50 ml. Em seguida, completa-se o volume do balão, agitando-se ocasionalmente, com a finalidade do álcool melhor penetrar no solo, expulsando o ar que por ventura esteja nele aprisionado. Sendo que a densidade de partícula é obtida pela relação entre a massa da amostra de solo (m_p) e o volume de álcool utilizado (V_a), descrita pela equação a seguir:

$$D_p [\text{g cm}^{-3}] = m_p [\text{g}] / (50 - V_a [\text{cm}^3]) \quad \text{Equação (9)}$$

Como método secundário na avaliação da compactação, destacam-se os métodos de resistência do solo à inserção de um penetrômetro e a capacidade de infiltração de água. O exame de trincheiras pode ser utilizado para diagnosticar o perfil do solo após o cultivo com determinadas culturas (Camargo & Alleoni, 1997).

O uso do penetrômetro é uma maneira rápida e fácil de medir a resistência à penetração em várias profundidades e o aparelho é muito utilizado para relacionar fatores de resistência do solo à elongação radicular (Camargo & Alleoni, 1997). O princípio do penetrômetro é baseado na resistência do solo à penetração de uma haste, quando na parte superior desta, é exercida uma força, por uma distância conhecida, normalmente 40 cm (Camargo & Alleoni, 1997).

A capacidade de infiltração de água é outro método para verificação de compactação no terreno, consiste em verificar um dos problemas associados à compactação do solo que é a redução da condutividade hidráulica. A taxa de infiltração de água no solo, que serve como indicação de sua condutividade hidráulica, é influenciada por outros fatores do solo, tais como a formação de crostas na superfície que provocam sensível diminuição na quantidade de água que penetra no perfil.

Quando o solo se encontra seco, a pressão de contato de máquinas ou implementos afeta muito pouco a taxa de infiltração. Entretanto, à medida que o conteúdo de água vai aumentando, a infiltração vai diminuindo até um valor mínimo, a partir do qual passa novamente a subir, devido ao efeito da água no volume do solo, de maneira semelhante ao exposto para a curva de compactação do solo.

Reveste-se de importância o fato de que o decréscimo na infiltração é mais acentuado quanto maior for a pressão aplicada (Camargo & Alleoni, 1997).

A análise de trincheiras é feita objetivando verificar além do crescimento e distribuição das raízes no perfil, no qual procura-se observar se há alguma camada compactada, impedindo a elongação das raízes. O exame de trincheira permite avaliar atributos do solo e a mensuração da quantidade de raízes presentes. Desta forma, pode-se relacionar e explicar, com maior clareza, os efeitos da compactação na produção das culturas. As raízes podem ser quantificadas por meio de um quadro reticulado afixado ao perfil, através da contagem do número de retículos com presença do sistema radicular.

Pode-se também empregar uma câmera fotográfica, para se obter fotos do perfil, e depois determinar a presença ou ausência de raízes com uma máscara reticulada. Em algumas situações a aplicação de esmalte sintético, na forma de spray, permite uma melhora significativa no contraste raiz-solo, pois após a secagem, o perfil é lavado com água, promovendo a lavagem da camada de solo aderida ao esmalte (Camargo & Alleoni, 1997).

5.3.1.4 – SOLUÇÕES

Após a identificação de um solo compactado, a utilização de pequenas trincheiras possibilita a determinação de profundidade de ocorrência de compactação, através da observação de aspecto morfológico da estrutura do solo, ou da verificação da resistência oferecida pelo solo com o uso do penetrômetro. Normalmente, o limite inferior da camada compactada não ultrapassa 30 cm de profundidade.

O rompimento da camada compactada pode ser feito com um implemento que alcance profundidade imediatamente abaixo do seu limite inferior. Podem ser empregados, com eficiência, arado, subsolador ou escarificador, desde que sejam utilizados na profundidade adequada.

Leandro et al. (1995), verificam os efeitos de diferentes níveis de compactação no crescimento de raízes e parte aérea em três coberturas verdes com potencial para utilização em cultivo de segunda época (safrinha) para as condições de Cerrado. Concluíram que todas as coberturas estudadas (Nabo forrageiro, Lab Lab e Crotalária) apresentam potencial

para recuperação de solos compactados, pois conseguem penetrar suas raízes em densidade elevadas.

Borges et al. (1995), avaliam o efeito da incorporação superficial de misturas de gesso mais matéria orgânica num Latossolo submetido à compactação, e obtiveram a confirmação que a compactação do solo, originada pela mecanização e/ou dispersão química simulada no experimento alterou desfavoravelmente a relação volumétrica sólidos/porosidade do solo, considerada adequada ao crescimento de plantas. Contudo, a aplicação de gesso mais massa seca de crotalária reduziu a compactação do solo, aumentando a porosidade total.

5.3.2 – ESTABILIDADE DE AGREGADOS

O uso intensivo dos solos, com práticas de manejo inadequadas, tem causado a desagregação estrutural evidenciada pela diminuição do conteúdo de matéria orgânica e redução do tamanho dos agregados (Kluthcouski, 1998).

Um dos métodos utilizados para avaliar a estabilidade de agregados em água, é o método de Yoder (porcentagem de agregados em via úmida), o qual consiste no peneiramento de uma amostra de solo em peneiras de 4 a 2 mm, utilizando-se o solo que passa pela peneira de 4mm e fica retido na de 2mm, do qual retira-se três subamostras com 50g cada, sendo que destas, duas irão ser peneiradas em água por 4 minutos (em peneiras de 2; 1; 0,5 e 0,25mm) e uma irá para estufa a 105⁰ C por 24 horas. As amostras peneiradas em água, serão colocadas para secar em estufa a 105⁰ C por 24 horas, conforme a peneira em que ficaram retidas. A porcentagem de agregados (teor de agregados) de cada diâmetro de peneira é dada pela equação abaixo (EMBRAPA, 1997):

$$\% \text{ de agregados} = \frac{\text{Peso de agregados retidos na peneira avaliada [g]}}{\text{Total [g]}} \times 100 \quad \text{Equação (10)}$$

5.3.3 – GRAU DE FLOCULAÇÃO (GF)

O Fenômeno da Dispersão-floculação é influenciado pela matéria orgânica do solo (Oades, 1988), o qual afeta o desenvolvimento da estrutura e relaciona-se com o balanço das cargas elétricas do solo (Gomes et al., 1994).

O grau de floculação dá uma idéia indireta do estado de agregação do solo, sendo um índice relativamente fácil de ser mensurado.

5.4 – INDICADORES QUÍMICOS

5.4.1 – MATÉRIA ORGÂNICA (MO)

A matéria orgânica afeta diretamente a movimentação de água e nutrientes no solo, além de interferir na flora e fauna do solo.

Nos solos mais intemperizados, a CTC depende principalmente do teor de matéria orgânica, o que demonstra a importância desse atributo. Além disso, a matéria orgânica interfere na agregação do solo e na retenção de água.

O teor de matéria orgânica no solo é resultado do balanço entre a deposição de resíduos orgânicos no solo e a sua decomposição. Quando os solos não estão sob cultivo ocorre um acúmulo de resíduos que permite o aumento no teor de matéria orgânica. O cultivo normalmente diminui a entrada de resíduos orgânicos no sistema e, por outro lado aumenta a taxa de sua decomposição. A taxa de decomposição da matéria orgânica é dependente do tipo de solo, clima e também do manejo.

A matéria orgânica desempenha papel importante na qualidade do solo para o crescimento das plantas. Os sistemas de manejo do solo e dos resíduos culturais influenciam os teores de matéria orgânica. Nos sistemas com cultivo mínimo revolvimento do solo, verifica-se o aumento dos teores de matéria orgânica do solo e a concentração na superfície (Franzluebbers, 2002).

A influência da matéria orgânica na agregação do solo é um processo dinâmico, sendo necessário o acréscimo contínuo de material orgânico para manter a estrutura adequada ao desenvolvimento das plantas. Sistemas de manejo de solo e de cultura, adequadamente conduzidos, proporcionam o aporte de material orgânico por meio de

resíduos vegetais, além da ação benéfica das raízes das plantas e a proteção oferecida à superfície do solo (Campos et al., 1995).

5.4.2 – CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA (CTC)

É definida como a capacidade do solo de reter elementos com cargas positivas (cátions) em sítios localizados em suas partículas componentes, sejam elas minerais ou orgânicas.

Os cátions retidos na superfície das partículas tendem a se manter em equilíbrio com a solução do solo.

A soma dos cátions trocáveis ($\text{Al}^{3+} + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$) ao pH natural do solo é definida como a capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe). Os solos de cerrado por serem altamente intemperizados e haver predomínio de argila, caulinita e óxidos de Ferro e Alumínio apresentam baixa CTCe.

Para que haja retenção de cátions (íons carregados positivamente) é necessária a existência de cargas negativas nas partículas do solo. Essas cargas são formadas de duas maneiras: pela substituição isomórfica e pela variação do pH do meio.

Na substituição isomórfica, durante o processo de intemperização, o Si^{4+} pode ser substituído pelo Al^{3+} nos tetraedros de Silício e o Al^{3+} ser substituído por Fe^{2+} e Mg^{2+} nos octaedros de alumínio, gerando cargas negativas permanentes. Essas cargas não dependem do pH (Oliveira et al., 2001).

Quando se varia o pH do meio, se formam cargas chamadas de cargas dependentes do pH. Essas cargas são formadas na matéria orgânica e nos hidróxidos de Al e Fe e são responsáveis pela CTC nos solos de cerrado (Oliveira et al., 2001).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M. da; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 30, n. 1, p. 175-185, jan. 1995.

ALVES, D.S.; PEREIRA, J.L.G.; SOUZA, C.L. Análise comparativa de técnicas de classificação de imagens do sensor Landsat/TM para caracterização de áreas desflorestadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 1998, Santos, SP. Anais... Santos : INPE, 1998. Publicado em CD-ROM.

AMBIENTE BRASIL. Ambiente Brasil. Acessado em 10/02/2007. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br>.

BARCELLOS, A. O.; VIANA FILHO, A.; BALBINO, L. C.; OLIVEIRA, I. P.; YOKOYAMA, L. P. Produtividade animal em pastagens renovadas em solo arenoso de cerrado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34.,1997. Juiz de Fora, Anais. Juiz de Fora: SBZ, 1997, v.4, p.207-209.

CALIJURI, M.L.; RÖHM, S.A. Sistemas de informações geográficas. Viçosa: CCET/DEC - Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1994. 34p.

CAMARGO, O. A. & ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Escola Superior de Agronomia Luís de Queiroz – ESALQ, Piracicaba – SP, 1997. 132p.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R., RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. Rev. Bras. Ci. Solo, 19: 121-126, 1995.

CHAVES, J. M.; MOREIRA, L.; SANO, E.E.; BEZERRA, H. S.; FEITOZA, L. Uso da Técnica de Segmentação na Identificação dos principais tipos de pastagens cultivadas do Cerrado. Anais X SBSR. Foz do Iguaçu, 21-26 abril 2001, INPE, p. 31-33, Sessão Pôster.

DEDECEK, R. A.; RESCK, D. V. S.; FREITAS JÚNIOR, E. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em latossolo vermelho escuro dos cerrados e de manejo da palhada do milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.10, p. 265-272, 1986.

DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D.F. e STEWART, B.A. eds. Defining soil quality for sustainable environment. Madison: SSA, 1994. p 3-21.

DUDA, G. P.; GUERRA, J. G. M.; MONTEIRO, M. T.; DE-POLLI, H.; TEIXEIRA, M. G. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N and P of the microbial biomass. Scientia Agricola, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 139-147, 2003.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de solos, Embrapa – CNPS, Rio de Janeiro, RJ, 2^a edição, 1997. 212p.

FERNÁNDEZ, S.; VIDAL, D.; SIMÓN, E.; SOLÉ-SUGRAÑES, L. Radiometric characteristics of *Triticum aestivum* cv. Astral under water and nitrogen stress. International Journal of Remote Sensing, London, v. 15, n. 9, p. 1867-1884, 1994.

FONSECA, E. L.; ROSA, L. M. G.; FONTANA, D. C. Caracterização espectral de *Paspalum notatum* em diferentes níveis de adubação nitrogenada. Pesq. agropec. bras., mar. 2002, vol.37, no.3, p.365-371.

FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. Soil Till Res., 66: 95-106, 2002.

GOMES, P. C.; MOURA FILHO, W.; COSTA, L. M.; FORTES, M. P. F. Influência da cobertura vegetal na formação e evolução de húmus e sua relação com grau de floculação em um Latossolo Vermelho-Amarelo de Município de Viçosa, Minas Gerais. Revista Ceres, Viçosa, v. 41, n. 235, p. 223-233, 1994.

GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G. Avaliação inicial de algumas leguminosas herbáceas perenes para utilização como cobertura viva permanente de solo. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1997. 7 p (Comunicado Técnico, 16).

ISLAM, D.R. & WEIL R. R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. Journal of soil and water conservation. 1979.

JENKINSON, D.S. & LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A. & LADD, J.N., eds., Soil Biol. Biochem., 5:415-471, 1981.

JENSEN, A.; LORENZEN, B.; ØSTERGAARD, H. S.; HVELPLUND, E. K. Radiometric estimation of biomass and nitrogen content of barley grown at different nitrogen levels. International Journal of Remote Sensing, London, v. 11, n. 10, p. 1809-1820, 1990.

JORGE, J. A. Física e Manejo dos Solos Tropicais. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986.

KLUTHCOUSKI, J. Efeito de manejo em alguns atributos de um Latossolo Roxo sob cerrado e nas características produtivas do milho, soja, arroz e feijão, após oito anos de plantio direto. Tese de doutorado. Escola Superior de Agronomia Luís de Queiroz – ESALQ, Piracicaba – SP, 1998. 179p.

LAL, R. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. Department of Agronomy The Ohio State University Columbus, Ohio, 1994, 73 p.

LARSON, W. E. & PIERCE, F. J. Conservation and enhancement of soil quality. In: International Board for soil research and management (Bangkok, Thailand) Evaluation for sustainable land management in the developing world. Bangkok, 1991. v. 2.

LEANDRO, W. M.; FILHO, D. T.; MAGALHÃES, R. T. de; BERNARDES, P. H. M.; BARBOSA, R. C.; SPINNEW, A. C. V.; OLIVEIRA, L. C.; SOUZA, J.; OLIVEIRA JR, J. P. Efeito da Compactação do Solo no Crescimento de Raízes e Partes Aéreas em três coberturas Verdes. XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 23 a 29 de julho de 1995, Viçosa-MG.

MACEDO, M.C.M.; ZIMMER, A.H. Sistema pasto-lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DE PASTAGENS, 2, 1993, Jaboticabal. Anais... Jaboticabal: FUNEP, UNESP, 1993. p.216-245.

MAY, A.M.B; PINDER, J.E.; KROH, G.C. A comparison of Landsat Thematic Mapper and SPOT multi-spectral imagery for the classification of shrub and meadow vegetation in northern California, U.S.A. International Journal of Remote Sensing, v.18, n.18, p.3719-28., 1997.

MENDES, R. C. A. Restrições Físicas ao Crescimento Radicular em Latossolo muito Argiloso. Tese de Mestrado, UnB, 1989. 81p.

MOREIRA, F. M . S. & SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Bioquímica do solo. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626 p.

MOREIRA, L.; ASSAD, E. D. Segmentação e classificação supervisionada para identificar pastagens degradadas. In: Anais II Workshop Brasileiro de GeoInformática. – 2000, São Paulo, Brasil.

NOVO, E.M.L. Sensoriamento remoto, princípios e aplicações. São Paulo : Blucher, 1992. 308p.

OADES, J. M. The retentions of organic matter in soils. *Biogeochemistry*, Dordrecht, v. 5, p. 35-70, 1988.

OLIVEIRA, S. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Fertilidade de solos. In: *Curso Plantio Direto*. ABEAS; Brasília: Universidade de Brasília/ Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2001.

PEREIRA, R.S.; MADRUGA, P.R. de A.; HASENACK, H. Geoprocessamento aplicado ao planejamento de uso de recursos naturais - Curso. Santa Maria : UFSM-CCRFATEC, 1995. 40p.

PERIN, A. Desempenho de leguminosas herbáceas perenes com potencial de utilização para cobertura viva e seus efeitos sobre alguns atributos físicos do solo. 2001. 144 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001.

ROSA, R. Introdução ao sensoriamento remoto. Uberlândia : Edufu, 1995. 117p.

SANO, E. E.; FERREIRA, L. G. In: *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3309-3316.

SANTANA, D.F. & BAHIA FILHO, A. F. C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. In: *World Congress of soil science*, 16, 1998. Montpellier, France. *Proceedings*, Montpellier; ISSS, 1998. CD ROM.

SILVA, J. E. & RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T. & HUNGRIA, M. *Biologia dos solos dos Cerrados*. Planaltina: EMBRAPA – CPAC, 1997. 524 p.

SPAIN, J. M.; GUALDRÓN, R. Degradación y rehabilitación de pasturas. In: VI Reunión del Comité Asesor de la RIEPT. Memórias. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. Veracruz, México 1988. CIAT. p. 269-283.

SPEHAR, C. R. Plantas de Cobertura. In: Curso Plantio Direto. ABEAS; Brasília: Universidade de Brasília/ Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2001.

TEIXEIRA, A.L.de A.; MORETI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. Introdução aos sistemas de informação geográfica. Rio Claro : ed. do Autor, 1992. 80p.

TÓTOLA, M. R. & CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. Tópicos em Ciência do Solo, 2: 195-276, 2002.

TURCO, R.F.; KENNEDY, A.C. & JAWSON, M.D. Microbial indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.73-90.(Special Publication, 35).

VALÉRIO FILHO, M.; DONZELI, P.L.; PINTO, S. A. F. Monitoramento da dinâmica do uso agrícola e vegetação natural em microbacias hidrográficas através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro, RJ. Anais... Rio de Janeiro : SBCS, 1997. Publicado em CD ROM.

CAPÍTULO ÚNICO

Trabalho a ser encaminhado para a revista Pesquisa Agropecuária Brasileira

NÍVEIS DE COBERTURA VEGETAL E QUALIDADE DO SOLO SOB PASTAGEM EM ÁREAS DE CERRADO

R. CARVALHO

RESUMO

O geoprocessamento é uma ferramenta de enorme aplicabilidade na pesquisa agropecuária. Modelos gráficos que permitem a identificação de áreas degradadas com rapidez são úteis para evitar que locais em estágio inicial de degradação atinjam níveis economicamente inviáveis de recuperação e não comprometessem a qualidade da água. Os objetivos deste trabalho foram determinar o Índice de Cobertura Vegetal (ICV) através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), quantificar a porosidade total (PT), Diâmetro Médio Ponderado (DMP), Grau de Floculação (GF), Matéria Orgânica (MO) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) de áreas sob pastagem cultivada, com no máximo 8 anos de uso, no Vão-do-Paraná, Goiás, e propor um modelo de comparação, através do Índice de Qualidade do Solo (IQS), entre as pastagens e o cerrado nativo. Os resultados mostraram que a maioria das áreas analisadas apresenta-se em estágio de degradação física e química, sendo que os atributos químicos mostraram-se mais sensíveis às alterações decorrentes da exploração do solo. Os modelos revelaram que apenas uma pequena parte da qualidade do solo pode ser explicada pela cobertura vegetal, e ao mesmo tempo confirmaram o fácil entendimento proporcionado por tais modelos. Os solos com maiores teores de areia foram os que apresentaram menores valores de (IQS).

Termos para indexação: Degradação do solo, geoprocessamento, modelo gráfico.

VEGETAL COVERING INDEX AND SOIL QUALITY UNDER CULTIVATED PASTURES IN TROPICAL SAVANNA AREAS

ABSTRACT

The geoprocessing is a tool of enormous applicability in the agricultural research. The attainment of graphical models that allow the identification of areas degraded with rapidity would be useful so that the places under anthropic use that if they find in initial period of training of soil degradation did not reach impracticable levels of recovery economically and did not compromise the quality of the water. The objectives of this work had been to determine the vegetal covering index through a geographic information system, to quantify the soil porosity, aggregate mean weight diameter, degree of flocculation, organic matter and cation exchange capacity of areas under cultivated pasture, with in the maximum 8 years of use, in the Vão-do-Paraná, Goiás, and to consider a comparison model, through soil quality index, between the cultivated pastures and the native tropical savanna. The results had shown that the models had disclosed that only one small part of the quality of the soil can be explained by the vegetal covering, and at the same time had confirmed the easy proportionate agreement for such models. The majority of the analyzed areas is presented in period of training of physical and chemical degradation, being that the chemical attributes had revealed more sensible to the decurrently alterations of the exploration of the soil. The sandy soils had been the ones that had presented minors values of soil quality index.

Index Terms: Geoprocessing, soil degradation, graphical model.

1 – INTRODUÇÃO

O Cerrado é o principal bioma brasileiro para a atividade pecuarista. Em seus 200 milhões de hectares se encontram 41% do rebanho bovino do país e são produzidos cerca de 55% da carne bovina nacional.

As reduções da capacidade produtiva das pastagens vêm preocupando produtores e pesquisadores. Estima-se que 70% destas se encontram em algum estágio de degradação. A manutenção da produtividade das forragens cultivadas é fundamental para garantir a sustentabilidade da pecuária nacional.

Inúmeros trabalhos publicados mostram a importância dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) em conjunto com o Sensoriamento Remoto como ferramenta para a agropecuária. Ambos têm sido usados atualmente para o monitoramento das áreas sob cultivo de pastagens e da qualidade das mesmas em todo o mundo, sendo possível inclusive estimar taxa de lotação.

A identificação de áreas em estágio inicial de degradação é útil para evitar que o declínio na produtividade das pastagens alcance um nível no qual a recuperação se torne financeiramente inviável.

A cobertura vegetal é um parâmetro que apresenta alta correlação com a qualidade do solo. À medida que se reduz a quantidade de cobertura vegetal de uma área, aumenta significativamente a possibilidade de que neste local se inicie um processo de degradação, o que pode comprometer a atividade agropecuária e a qualidade da água.

Muitos processos físicos, químicos e biológicos que conferem características benéficas a este são diretamente relacionados com a quantidade e qualidade da cobertura vegetal, seja ela depositada na sua superfície ou não.

Alguns modelos têm sido utilizados com sucesso na avaliação da qualidade do solo. O uso destes modelos baseia-se na análise conjunta de vários parâmetros físicos, químicos e biológicos. A interação entre atributos é o que confere características desejáveis a um determinado solo.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o grau de cobertura vegetal de áreas sob pastagem cultivada no Vão do Paraná – GO e sua relação com a qualidade do solo.

Os objetivos específicos foram:

- a. Determinar o Índice de Cobertura Vegetal através de um SIG;
- b. Quantificar a Porosidade Total (PT), Diâmetro Médio Ponderado (DMP), Grau de Flocculação (GF), Matéria Orgânica (MO) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo em áreas selecionadas;
- c. Propor um modelo de comparação da qualidade do solo, correlacionando suas propriedades físicas e químicas com o índice de cobertura vegetal obtido com técnicas de geoprocessamento.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

2.1 – ÁREAS AVALIADAS

As áreas estudadas se encontram no Vão do Paranã, umas das 18 microrregiões pertencentes ao estado de Goiás. Neste local, a população estimada em 2005 pelo IBGE era de 95.935 habitantes e está dividida em doze municípios. Possui uma área total de 17.389 km² (IBGE, 2007).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é o Cw com temperatura média anual de 24 °C, pluviosidade anual média de 1.500 mm, umidade relativa de 60% e altitude de 400 a 600 m (IBGE, 1994).

A formação Geológica abrange o Subgrupo Paraopeba (calcário, dolomitos, siltitos, folhetos, argilitos e ardósias), recoberto em sua maior extensão por material detrítico. Afloram rochas da Formação Três Marias (siltitos arcoseanos e arcóseos), que podem chegar à cota de 1200m (Nascimento 1991). Predominam nas áreas selecionadas NEOSSOLOS e ARGISSOLOS, porém não se distinguiu a classe com mais precisão.

2.2 – COLETA DE AMOSTRAS

Foram realizados dois trabalhos de campo. Na primeira etapa, em outubro de 2005, foram identificadas áreas onde existiam pastagens cultivadas, situadas próximas às rodovias para facilitar o acesso. As coordenadas geográficas referentes a estes locais foram coletadas com o auxílio de um GPS marca GARMIM, modelo GPSMAP[®] 76S. No Laboratório de Biofísica Ambiental da EMBRAPA Cerrados (CPAC) foram realizadas análises das imagens das áreas correspondentes aos pontos coletados em dois períodos distintos, correspondentes aos anos de 1997 e 2005, respectivamente.

As áreas que em 1997 apresentavam-se sob vegetação nativa e que em 2005 eram utilizadas para cultivo de pastagem foram selecionadas, de forma que nenhuma das áreas possuísse mais do que oito anos de uso. Desta forma, nove áreas, denominadas como sítios, foram selecionadas (Tabela 2). Retornou-se ao campo, em março de 2006 para a coleta de amostras de solo e imagens fotográficas da cobertura vegetal (Figura 1).

Tabela 2. Coordenadas geográficas de áreas sob pastagem cultivada no Vão do Paranã – GO.

Sítio	COORDENADAS (LATLON)	
	LATITUDE	LONGITUDE
1	-14,58411	-47,01946
2	-14,45725	-47,00361
3	-14,44139	-46,94370
4	-14,43610	-46,90317
5	-14,39910	-46,57368
6	-14,11365	-46,73049
7	-13,99031	-46,65473
8	-13,87931	-46,62125
9	-13,88636	-46,57015

Procedeu-se a coleta de 4 amostras de solo, em cada sítio, e em duas camadas: 0 a 5 e 5 a 10 cm. Para a determinação das propriedades químicas, grau de floculação, diâmetro médio ponderado e densidade de partícula foram obtidas amostras deformadas. As amostras indeformadas permitiram a determinação da densidade do solo e, posteriormente, da porosidade total. As amostras de solo de cerrado nativo foram coletadas vizinhas aos sítios 1, 2, 5, 6, 7 e 8, pois só nestes havia presença de remanescentes de vegetação natural.

2.3 – DESCRIÇÃO DOS SÍTIOS

Para a descrição do tipo de solo dos sítios utilizou-se o Levantamento realizado por Lepisch & Oliveira (2002). O relevo foi classificado de forma expedita com as observações em campo. A vegetação foi identificada através de amostras retiradas em cada um dos sítios e posteriormente identificadas em Laboratório, e também pelas imagens fotográficas das áreas.

2.3.1 – SÍTIO 1

O solo neste local foi classificado como Neossolo e o relevo mostrou-se plano. Foi possível identificar uma grande quantidade de invasoras e de plantas de arroz, estas últimas provavelmente remanescentes de um período de cultivo no local, o que é comum na região neste tipo de solo. A pastagem mostrou presença de Andropógon (*Andropogon gayanus*) e Capim-Jaraguá (*Hyparrhenia rufa* (Ness) Stapf.), porém em baixa densidade.

2.3.2 – SÍTIO 2

Assim como no sítio 1 o solo pertence à classe dos Neossolo. O relevo no local é Plano. A pastagem foi identificada como sendo Capim-Jaraguá e estava em maior densidade populacional que o primeiro sítio.

2.3.3 – SÍTIO 3

O local, segundo o levantamento utilizado com referência, apresenta uma associação entre Neossolo, Argissolo e Plintossolo, sendo que é provável que se trate de um Plintossolo pela presença de cascalho observada no local. O relevo foi classificado como Levemente Ondulado e a espécie forrageira predominante era o Andropógon.

2.3.4 – SÍTIO 4

Este sítio apresentou um ARGISSOLO, com um relevo levemente ondulado, A pastagem do local é o Braquiarião (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) e apresentou maior uma cobertura do solo bem uniforme.

2.3.5 – SÍTIO 5

Para este sítio foi encontrado Neossolo com relevo classificado como plano. A espécie cultivada era o Andropógon e a pastagem no local estava bem formada e limpa.

2.3.6 – SÍTIO 6

O sítio também apresentou uma associação de solos do tipo Argissolo e Plintossolo. O relevo no local não apresentou variação em relação ao sítio 5. A espécie era composta por espécie do gênero *Panicum maximum* cv. Mombaça e Capim-Jaraguá.

2.3.7 – SÍTIO 7

Novamente encontrou-se um Argissolo e em um local com relevo levemente ondulado. A forragem foi identificada como sendo *Panicum maximum* cv. Mombaça e em situação de elevado vigor.

2.3.8 – SÍTIO 8

Encontrou-se neste local uma associação entre Argissolo e Neossolo com relevo plano. O pasto deste sítio estava bastante sujo, ou seja, com elevada população de invasoras entre o Andropógon e o Capim-Jaraguá.

2.3.9 – SÍTIO 9

O solo neste sítio foi classificado como Neossolo e com relevo plano. Existia neste local a presença de Andropógon e Mombaça, porém este último em menor quantidade.

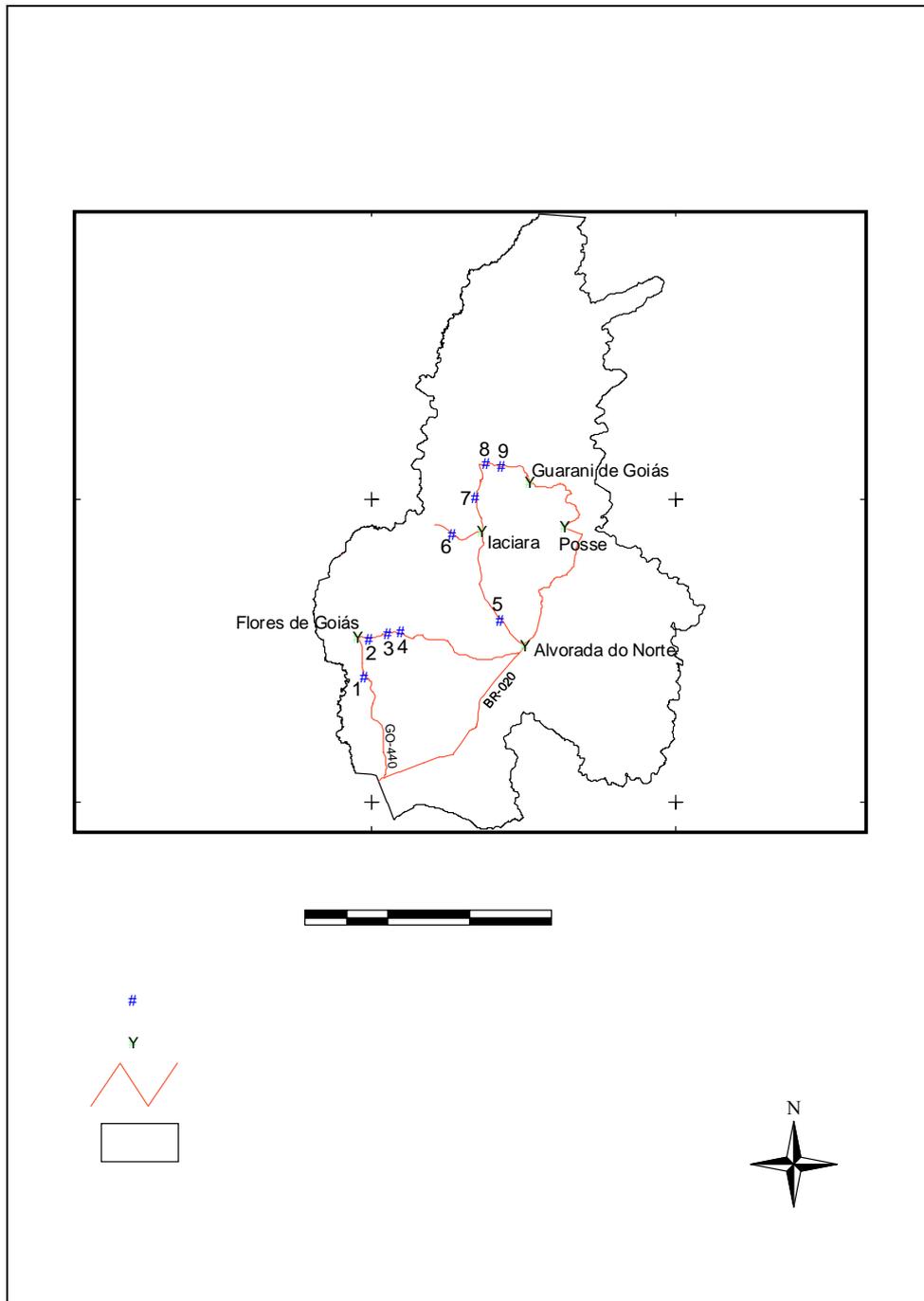


Figura 1. Sítios de amostragem, roteiro de expedição e sede de municípios do Vão do Paranã – GO.

2.4 – ÍNDICE DE COBERTURA VEGETAL

Através de uma câmera SONY, modelo DSC-W5 de 5.1 megapixels de resolução e com a configuração padrão, foram obtidas fotos com 1m de altura e paralelas ao solo. Com o auxílio de uma bússola de bolso, caminhou-se um metro para o Norte, para o Sul, Leste e Oeste a partir do ponto da primeira imagem e obtiveram-se mais 4 fotos, somando 5 imagens de cada área, totalizando 45 fotos. Na Figura 2, observa-se como foram retiradas as fotografias.

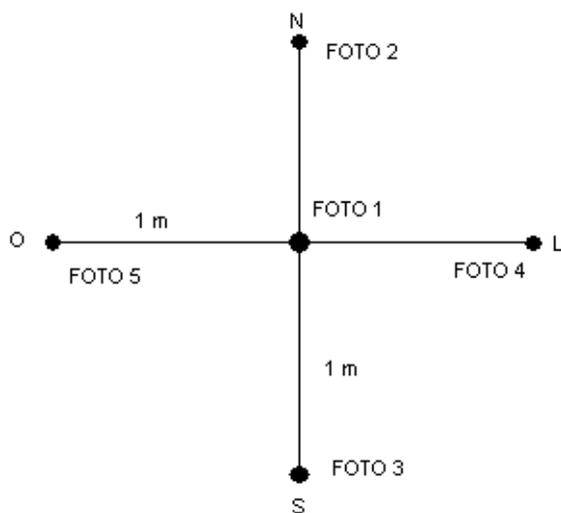


FIGURA 2. Esquema de distribuição das fotografias em cada sítio.

As imagens foram analisadas com o Software ENVI 4.0 através da classificação supervisionada e com a opção máxima verossimilhança, sem realce nas imagens.

Locais nas imagens onde existia vegetação verde, vegetação seca, solo exposto e sombra foram identificados através de pontos de coloração vermelha, azul, verde e amarela, respectivamente (Figura 3).

Desta maneira, constituiu-se um mosaico sobre a imagem e estes quatro parâmetros foram quantificados automaticamente pelo programa (Figura 4).

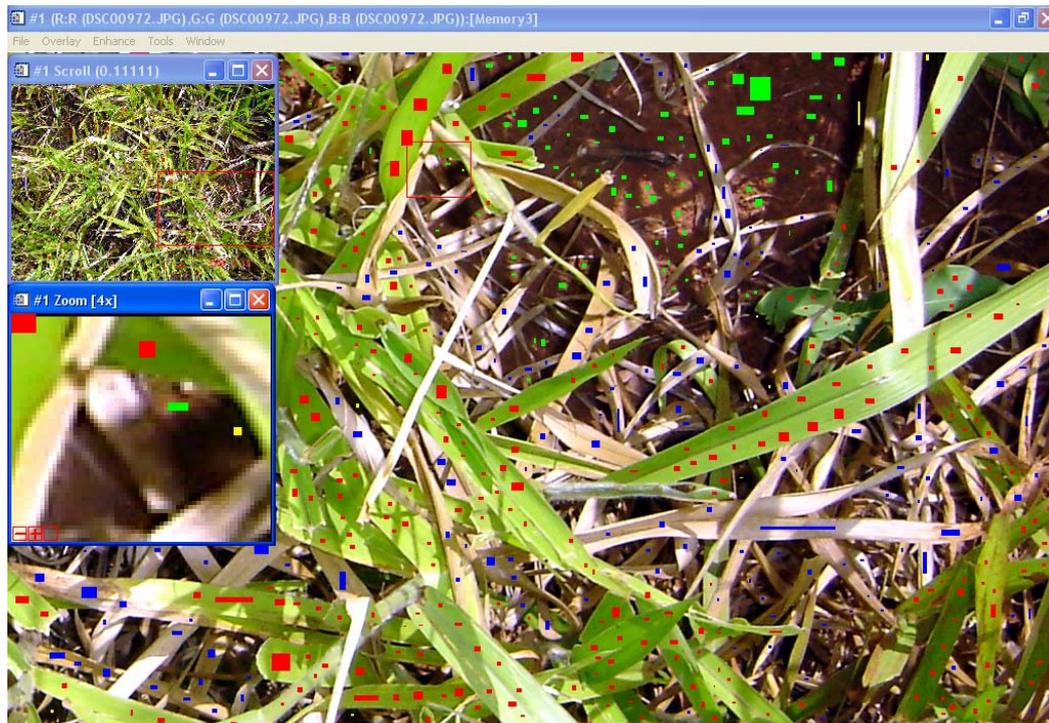


FIGURA 3. Pontos de amostragem em uma imagem fotográfica de um dos sítios.

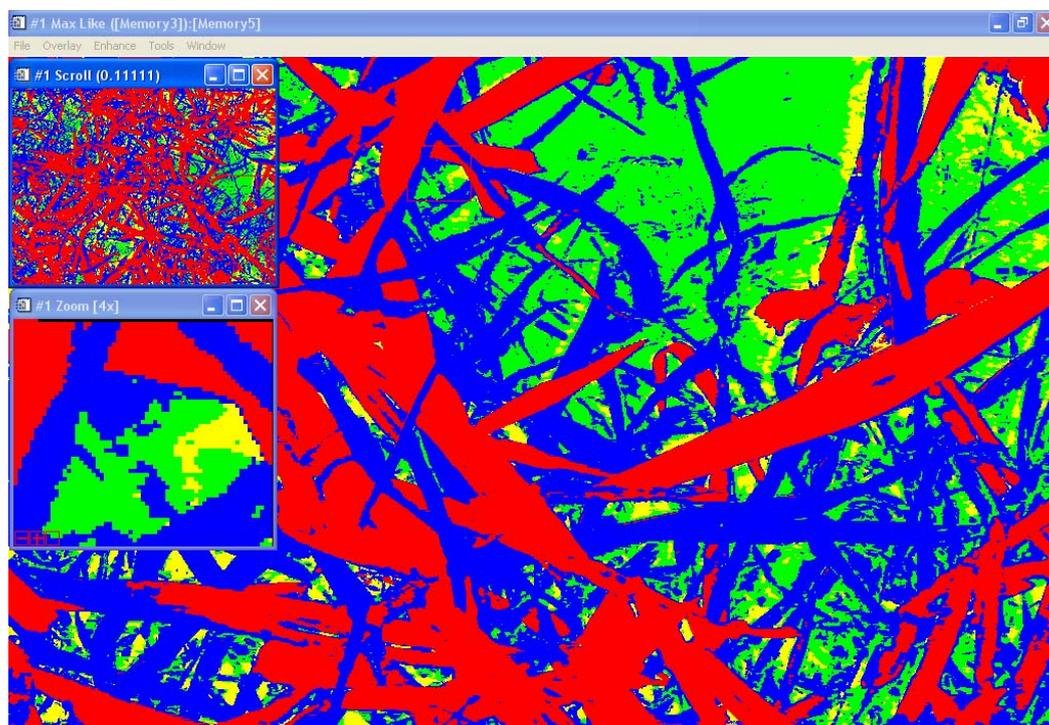


FIGURA 4. Mosaico formado após o processamento da imagem fotográfica.

Após esta classificação foi feita uma correção a fim de que a área sob sombreamento fosse eliminada dos cálculos da seguinte forma:

Para uma imagem que apresentou os valores de Verde = 45%; Solo = 20%; Palha = 25% e Sombra = 10%, tem-se:

$$\text{Verde Total} = (\text{Verde} * T) / TS = (45 * 100) / 90 = \underline{50\%}; \quad \text{Equação (11)}$$

$$\text{Solo Total} = (\text{Solo} * T) / TS = (20 * 100) / 90 = \underline{22.22\%}; \quad \text{Equação (12)}$$

$$\text{Palha Total} = (\text{Palha} * T) / TS = (25 * 100) / 90 = \underline{27.78\%}; \quad \text{Equação (13)}$$

Onde: T é o total da área da imagem com sombra (Verde = 45, Solo = 20, Palha = 25 e Sombra = 10) e TS é o total da área da imagem sem sombra (Verde + Solo + Palha = 90).

Após estas correções somou-se o valor de Verde Total e Palha Total, permitindo obter o Índice de Cobertura Vegetal (ICV) já que a cobertura vegetal do solo é dada pelas frações viva e morta que a compõe.

2.5 – ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO

2.5.1 – POROSIDADE TOTAL (PT)

Para a densidade do solo foi utilizado o método do anel (EMBRAPA, 1997), sendo utilizado anéis volumétricos com volume de 100 cm³ e coletadas amostras indeformadas em duas camadas, 0 a 5 e 5 a 10 cm, coletadas de forma vertical ao plano do terreno, sendo realizadas quatro repetições por sítio e uma repetição por trincheira.

Para densidade de partículas foi utilizado o método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997), sendo aproveitadas as amostras volumétricas, após secagem na estufa. A porosidade total foi obtida através do cálculo, utilizando-se a relação matemática entre as densidades do solo e de partículas.

2.5.2 – ESTABILIDADE DE AGREGADOS

Para análise de estabilidade de agregados foram analisadas amostras da camada superficial, de 0 a 5cm de profundidade. Cada amostra foi analisada pelo método de Yoder (estabilidade de agregados, por via úmida), segundo o procedimento descrito em EMBRAPA (1997). Para representar a distribuição do tamanho dos agregados utilizou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados que facilita a comparação entre agregação de diferentes solos e horizontes de um mesmo solo. Para o cálculo do DMP utilizou-se da equação proposta por Youker & McGuiness (1956), descrita abaixo:

$$DMP = \sum p.d \quad \text{Equação (14)}$$

Onde: p é o peso do solo retido em cada peneira e d é a média do diâmetro entre a peneira que deteve a amostra e a que não deteve.

2.5.3 – GRAU DE FLOCULAÇÃO

Determinou-se a textura do solo, a argila total (AT), areia total e silte pelo método da proveta utilizando-se o NaOH como dispersante, conforme descrito em Embrapa (1997). Posteriormente, determinou-se a argila dispersa em água (ADA) pelo mesmo método, porém usando água destilada no lugar do NaOH. O Grau de Floculação (GF) é calculado usando-se a seguinte relação:

$$GF = \frac{(AT-ADA)*100}{AT} \quad \text{Equação (15)}$$

2.6 – ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO

2.6.1 – MATÉRIA ORGÂNICA

O teor de matéria orgânica foi obtido pelo teor de carbono orgânico, encontrado por oxidação via úmida com $K_2Cr_2O_7$ 0,4 N e titulação pelo $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$ a 0,1 N com difenilamina como indicador (Embrapa, 1997).

2.6.2 – CTC

Para a obtenção da CTC foi adotada metodologia descrita em Embrapa (1997), sendo utilizada a soma de cátions trocáveis (S) somada a acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$).

Para a extração do $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ foi utilizado o KCl 1N e para sua determinação foi utilizado EDTA 0,0125N, com o indicador eriochrome black. Para a extração do K^+ utilizou-se HCl 0,05N e para sua determinação foi utilizado espectrofotometria de chama.

Para a extração do ($H^+ + Al^{3+}$) foi utilizado como extrator o acetato de cálcio 1N a pH 7,0 sendo utilizada para a sua determinação, solução de NaOH, em presença de fenolftaleína como indicador.

2.7 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A amostragem foi completamente casualizada e na avaliação estatística dos resultados das amostras foi utilizado o programa de computador Statistics Analysis System (SAS). Através deste software, foi possível realizar o teste F e o teste de Tukey (teste de média), ambos a 1 e 5%. Os fatores avaliados foram os sítios (de 1 a 9) e profundidades. Quando os resultados não foram significativos a 1%, foram analisados novamente a 5%. Também foram realizadas Correlações de Pearson (regressão linear) e obtidos os respectivos r^2 através do Microsoft Excel 2003.

2.8 – MODELAGEM GRÁFICA

Para a avaliação das interações entre solo e cobertura vegetal em cada sítio, foi utilizado um modelo baseado em Araújo (2004), com modificações. Para a montagem do modelo foram adotadas as premissas:

1. Admitiu-se que a cobertura vegetal seria o atributo biológico da qualidade do solo que integraria o modelo gráfico.
2. Os indicadores da qualidade do solo para o Cerrado nativo foram utilizados como referência, pois nele é esperada a maximização das principais características consideradas favoráveis à conservação do ecossistema e principalmente que estejam em equilíbrio com a estabilidade ecológica da região, sendo, portanto considerada sua qualidade igual a 100%.

3. As três categorias de atributos, físicos, químicos e biológico são igualmente importantes para a determinação da qualidade do solo, sendo atribuído a cada categoria o mesmo peso no modelo.
4. Os indicadores de qualidade do solo de cada categoria têm a mesma relação de importância, sendo o peso atribuído a cada indicador resultante da razão entre o peso de cada categoria pelo número de indicadores que compõe a categoria.
5. Para a construção do modelo adotou-se o ICV 100% no solo sob vegetação natural.

Os indicadores de qualidade do solo de natureza física foram: porosidade total, diâmetro médio ponderado e grau de flocculação. Os indicadores de qualidade do solo de natureza química foram os teores de matéria orgânica e a capacidade de troca catiônica e o indicador biológico foi o ICV.

O cálculo da qualidade do solo foi realizado individualmente para cada área. Para cada categoria de atributos foi atribuído o valor de 100%. Dentro de cada categoria, este percentual foi dividido uniformemente para cada indicador, sendo este valor atribuído ao valor obtido pelo cerrado nativo. Para a avaliação da contribuição do valor de cada indicador em uma área, foi calculada, a soma da porcentagem dos desvios de cada indicador em relação ao solo de cerrado. As fórmulas para cálculos são as seguintes:

$\Delta = \sum ZG_1 + \sum ZG_2 + \sum ZG_3$. Equivale ao perímetro do triângulo formado pelas arestas correspondentes aos atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.

$\sum ZG$ = Soma dos grupos de atributos (1 = ICV; 2 = PT + DMP + GF; 3 = MO + CTC).

Cada $\sum ZG$ corresponde a uma aresta do triângulo.

$Z = x + x(N-S)/Ny$ (valor do atributo na aresta do grupo).

$x = 100/n^\circ$ de parâmetros do atributo (ex.: atributos físicos → 3 parâmetros, logo $x = 33,33$).

N = valor do atributo no solo sob vegetação nativa.

S = valor do atributo na área avaliada.

y = fator de conversão (caso o aumento do atributo seja desejável $\rightarrow y = -1$, senão $y = 1$).

Os dados de cada categoria de atributos são colocados em um diagrama com três vértices representando as variáveis físicas, químicas e a cobertura vegetal, variando de 0 a 100 %, podendo atingir valores maiores que 100% em casos onde o conjunto de atributos for superior à área de referência, exceto para o ICV, onde só podem ocorrer, no máximo, valores de 100%.

No diagrama, é delimitada uma linha correspondente a 100%, a qual representa o cerrado nativo, sistema considerado sustentável, e que quanto mais próximo a ela mais próximo da sustentabilidade a área sob pastagem cultivada em análise se encontrará.

Para o cálculo do Índice de Qualidade do Solo (IQS), que agrega os três tipos de atributos do solo, foi considerado que este seria a razão entre a área do triângulo formada entre os três vértices do diagrama para cada sítio dividido pela área calculada para o cerrado nativo.

Para adequação das análises estatísticas, foram excluídas as amostras de Cerrado nativo que apresentaram respectivamente o maior e o menor valor dos atributos físicos e químicos dentre os seis sítios de vegetação nativa amostrados. Desta maneira a vegetação natural foi considerada como um único ponto de amostragem.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – ÍNDICE DE COBERTURA VEGETAL

Na tabela 4 encontram-se os resultados do ICV para as áreas analisadas e ao observá-la nota-se que o sítio 6, apesar de mostrar maior cobertura dentre os nove sítios, estatisticamente manteve-se igual aos 2, 3, 4 e 5. De maneira geral os sítios se mostraram bem homogêneos. Destaque para os sítios 1 e 9 que apresentaram ICV menor que 80%. Isto provavelmente é reflexo da degradação da pastagem, pois de acordo com Barcellos et al. (1997), a cobertura vegetal é um parâmetro que auxilia na discriminação do estágio de degradação das pastagens.

Tabela 3. Índice de Cobertura Vegetal (ICV) obtido através de fotografias digitais de áreas sob pastagem cultivada no Vão do Paranã – Goiás.

Área	ICV
	%
1	71,52c
2	88,84ab
3	94,60ab
4	95,87ab
5	88,65ab
6	97,04ab
7	85,28bc
8	91,73ab
9	72,41c
N	100,00a

Letras significam diferença pelo teste Tukey a 5%. Houve diferença significativa entre os sítios pelo teste F a 1%.

Um baixo valor de ICV pode também estar relacionado com a arquitetura da espécie cultivada. Por apresentar um crescimento ereto, as imagens da cobertura vegetal em tais locais mostraram uma porcentagem considerável de solo exposto, indicando que mesmo uma espécie de forragem com alto potencial produtivo de matéria seca, mas com este hábito de crescimento expõe o solo e submete a superfície da área descoberta do solo aos impactos das gotas de chuva e ao pisoteio animal, reduzindo a estabilidade de agregados, a porosidade, a retenção de água e a aeração.

Coser et al. (2002) avaliaram metodologias para estimar a produção de matéria seca e concluiu que as equações de regressão que utilizam o índice Altura x Cobertura apresentaram maiores coeficientes de determinação, sendo este índice mais eficiente do que as mesmas variáveis (altura da planta e cobertura do solo) usadas isoladamente. Isto quer dizer que a cobertura vegetal sozinha pode igualar pastagens bem manejadas, com elevado potencial produtivo, com uma pastagem degradada.

Isto ocorre porque estas variáveis se complementam e em conjunto fornecem melhor noção de densidade de forragem. A arquitetura das espécies de forragem não foi avaliada, com isso não houve diferenciação da altura das pastagens.

Outro ponto a ser considerado, segundo Costa et al. (1999) é que uma maior cobertura do solo pode ser inversamente proporcional à produção de forragem. Isto ocorre quando a população de plantas invasoras se aproxima ou supera a de pastagem cultivada. É possível que as áreas que não mostraram diferença significativa apresentem densidades distintas de forragem e invasoras, mas que devido a não diferenciação de tais espécies vegetais mostraram ICV semelhantes.

3.2 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os resultados correspondentes à granulometria do solo se encontram na tabela 3. Os sítios 4 e 7 mostraram uma textura muito diferente dos outros sete sítios. Isto é explicado pela classe de solo existente nestes locais, conforme a classificação descrita por Lepisch & Oliveira (2002), derivada de materiais de origens e processos pedogenéticos diferentes.

Existe um aumento no teor de argila, apesar da baixa porcentagem deste componente, concomitantemente com a profundidade.

Isto indica, com exceção do Sítio 1, um gradiente textural que influencia características físicas e químicas, pois a argila interfere na porosidade e estabilidade de agregados enquanto reage quimicamente com a matéria orgânica.

A quantidade de areia foi elevada e, na média, mostra que tais solos poderão apresentar porosidade baixa e elevada susceptibilidade à erosão por apresentar menor estabilidade de agregados e menor retenção de umidade quando comparado com solos argilosos.

Tabela 4. Granulometria e ADA do solo em áreas sob pastagem cultivada no Vão do Paranã – GO.

Sítio	Areia (%)		Silte (%)		Argila Total (%)		ADA (%)		Classificação Textural*
	0 a 5	5 a 10	0 a 5	5 a 10	0 a 5	5 a 10	0 a 5	5 a 10	
1	21,53	22,64	64,05	63,16	14,42	14,21	10,50	12,17	Franco Argilosa
2	39,56	39,77	44,68	43,38	15,76	16,84	10,87	14,34	Franca
3	58,18	52,67	29,45	29,17	12,37	18,16	8,14	12,18	Franco Arenosa
4	21,05	20,05	21,96	21,27	56,99	58,68	28,10	32,87	Argilosa
5	55,75	53,23	21,57	19,98	22,68	26,78	15,08	17,09	Franco Argilo Arenosa
6	56,61	57,95	24,31	21,41	19,07	20,64	13,49	13,98	Franco Arenosa
7	22,05	21,67	26,94	25,79	51,01	52,54	30,50	32,54	Argilosa
8	25,65	19,66	35,44	34,25	38,91	46,09	30,32	36,05	Franco Argilosa
9	51,96	50,84	15,12	15,28	32,92	33,88	22,51	23,03	Franco Arenosa
Natural	32,36	27,16	31,28	30,94	36,36	41,90	35,31	37,10	Franco Argilosa
Média	38,47	36,56	31,48	30,46	30,05	32,97	20,48	23,14	

*Classificação conforme Embrapa (1999), não houve diferença entre profundidades.

Nos sítios que se localizam sobre solo em transição é possível se aproximar com mais precisão da classe correspondente ao se observar a textura do solo. Desta maneira pode-se admitir que o sítio 3 seja um PLINTOSSOLO, o sítio 6 um NEOSSOLO, e que ocorre um ARGISSOLO no sítio 8.

3.3 – POROSIDADE TOTAL DO SOLO

Os resultados das análises de porosidade total (PT) encontram-se na tabela 5.

Os dados mostram que os pontos que apresentaram maior porosidade são também os que possuem maior teor de argila entre todos os analisados (Tabela 4) e que ocorreu menor disparidade entre as camadas de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm dos mesmos em relação aos outros sítios, resultado de um sistema radicular mais eficiente.

A maior parte dos sítios, seis entre nove, apresentaram valores de porosidade estatisticamente menores do que os solos sob vegetação nativa na camada de 0 a 5cm, levando à conclusão de que o manejo em tais áreas está comprometendo a infiltração de água e a aeração, conforme Baver et al (1972) *apud* Bertol et al. (1998). Também ocorreu diferença significativa entre as profundidades. Os efeitos ocasionados pela macroporosidade foram mais evidentes na camada superficial tornando-a menos compactada.

As médias das amostras foram maiores do que as encontradas por Souza et al. (1995) para Neossolo Quartzarênico, e menores que em Latossolo Vermelho. Já Muller et al. (2001) encontraram valores maiores para Argissolo sob pastagem e afirmaram que houve influência do teor de argila e da matéria orgânica em conjunto.

Tabela 5. Porosidade Total (PT), Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e Grau de Floculação (GF) em solos sob pastagem cultivada e vegetação nativa no Vão do Paranã – GO.

Sítio	PT (%)		DMP* (cm)	GF (%)	
	0 a 5 cm	5 a 10 cm	0 a 10 cm	0 a 5 cm	5 a 10 cm
1	39,23bcd	34,37bc	0,70e	27,10b	14,96a
2	27,56e	27,43cd	1,14de	30,32ab	40,53a
3	28,48e	19,70d	2,96a	32,69ab	33,63a
4	48,68a	48,26a	2,57ab	50,84a	43,36a
5	30,16de	25,74cd	1,41cde	33,34ab	34,12a
6	31,17cde	28,71cd	1,99bcd	28,64b	29,69a
7	45,83ab	48,14a	2,30ab	40,24ab	37,93a
8	40,53ab	39,91ab	2,06bc	22,01b	21,71a
9	40,23abc	40,81ab	2,34ab	31,51ab	31,78a
N	44,34ab	38,36b	2,1abc	29,36b	31,87a
Média	37,62A	35,14B		32,61A	31,96A

* Avaliou-se a camada de 0 a 10 cm de profundidade. Letras minúsculas mostram diferença significativa pelo teste Tukey a 5% entre sítios. Letras maiúsculas mostram diferença significativa entre profundidades a 5 % pelo teste Tukey. As análises apresentaram diferença a 1% pelo Teste F entre sítios.

As características de um solo refletem a interação de vários fatores. A cobertura morta fornece a matéria orgânica que promove a atividade biológica. Esta interação gera um ambiente dinâmico onde os produtos atuam como cimentantes das partículas do solo, aumentando a aeração e conferindo maior porosidade ao mesmo. Tal interação também sofre influência das frações granulométricas do solo.

Muitos autores relatam que a pastagem quando bem manejada aumenta a disponibilidade de matéria seca e mantém a cobertura do solo em um nível que, mesmo com pisoteio animal, não ultrapassa os limites de sustentabilidade. Mas, segundo Pena et al. (1996), qualquer alteração na estrutura original do solo, seja pelo manejo agrícola incorreto, pisoteio de animais, ou por qualquer outra força externa, irá causar diminuição do espaço poroso. Souza et al. (2005) atribui esta redução ao decréscimo da macroporosidade.

Muller et al. (2001) e Anjos et al. (1994) encontraram menores valores de porosidade mesmo em solos sob pastagem com ótimos níveis de matéria seca, quando comparado com solo sob vegetação nativa.

Centurion et al. (2001) encontraram maiores valores de adensamento em pastagem cultivada, mas consideraram que o pisoteio animal foi o fator crucial para reduzir a porosidade do solo. A compressão do solo, ocasionada pelo pisoteio animal, pode ter sido transferida para a camada mais profunda, o que também foi verificado por Gradwell (1960) e Federer et al. (1961) *apud* Bertol et al. (1998).

Os resultados, em média, contrariam Araújo (2004) que em seus trabalhos encontraram maior compactação na camada superficial, o que também é plausível já que o sistema radicular das gramíneas é muito agressivo e explora com eficiência a subsuperfície.

3.4 – DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO

Os resultados obtidos com o peneiramento úmido mostram que a maior parte dos sítios apresentou DMP menores que o ambiente natural e reflete o efeito negativo da atividade pecuarista sobre este atributo do solo (tabela 5).

A construção de agregados é maior e mais estável quanto mais argiloso for o solo, uma interação entre argila e matéria orgânica (Tisdall et al., 1978, *apud* Bertol et al., 1998). Estes mesmos autores atribuíram o menor DMP de sua pesquisa aos menores conteúdos médios de argila, entre outros fatores. Isto pode explicar os valores encontrados para o solo sob vegetação nativa, que se apresentaram menores que os encontrados nos sítios 4 e 7, e por Longo et al. (1999).

O trânsito dos animais que aumenta a compactação ou pelo preparo do solo com aração e gradagem que reduzem o tamanho e a estabilidade dos agregados.

Estes efeitos diminuem a macroporosidade, além de fazer com que as partículas do solo se mantenham separadas, mais susceptíveis à lixiviação e, ao serem transportadas, levem consigo nutrientes do solo adsorvidos, além de contribuírem para a eutrofização de cursos d'água.

Apesar de ainda não serem estabelecidos números para interpretar, através dos resultados de análise de agregados, quando um solo pode ser considerado de boas ou más propriedades físicas, a quantidade de agregados estáveis é um indicador indireto da atividade das raízes e da microbiota do solo.

Longo et al. (1999) encontraram diminuição mais intensa de DMP nas pastagens cultivadas sob cerrado do que na Amazônia, embora estes ecossistemas não apresentassem diferença significativa em áreas naturais para este atributo. Isto indica que os solos sob cerrado apresentam maior sensibilidade às atividades antrópicas, como o preparo do solo com maquinários.

Melo & Silva (1995) observaram que o manejo adotado na pastagem provocou compactação do solo e reduziu a matéria orgânica, aumentando a densidade, reduzindo a macroporosidade e influenciando negativamente o tamanho dos agregados estáveis em água quando comparado ao solo de cerrado nativo.

Por outro lado, o ambiente natural não foi o que apresentou maiores valores de DMP. Para estes pontos, que superaram o cerrado nativo, a explicação pode estar na maior quantidade de cobertura morta encontrada nestas áreas proveniente da reciclagem dos restos de forragem. Isto aumentou o percentual de agregados estáveis, devido à sua proteção contra os impactos das gotas de chuva do ressecamento rápido, promovendo também a produção dos cimentantes das partículas minerais, o que também foi verificado por Mbagwu (1991) *apud* Longo et al. (1999).

Bertol et al.(1998) encontraram valores semelhantes para pastagem em solos de cerrado, já Longo et al. (1999) encontrou valores superiores para ambientes naturais, porém semelhantes em pastagem cultivada.

O manejo diferente das pastagens estudadas pode ter promovido diferença não só na quantidade de cobertura morta, mas também na sua qualidade. Diferentes níveis de oferta de forragem ocasionam distintos perfis de cobertura do solo (Bertol et al., 1998).

Baver et al. (1972) *apud* Bertol et al. (1998) explica que a atividade biológica atuante em tal cobertura tem papel fundamental na estrutura do solo, já que os microrganismos participam da agregação, aproximando as partículas (construção dos agregados) e produzindo polissacarídeos, entre outras substâncias orgânicas, que atuam como goma e cimento na estabilização dos agregados.

Estes autores encontraram uma alta correlação entre oferta de forragem e agregados estáveis e considerou que o material vegetal fornecido pela parte aérea contribuiu para o aumento do sistema radicular, que por sua vez propiciou um ambiente biológico favorável para a construção de uma estrutura mais estável.

A arquitetura da cultura também influencia, pois segundo Bertol et al. (1998) uma pastagem com maior oferta de forragem, mas com crescimento ereto promove um maior trânsito de animais nas áreas de solo exposto, em contrapartida, uma pastagem com baixos valores de oferta de forragem, mas de crescimento cespitoso, cobre mais o solo protegendo-o do pisoteio animal e do impacto das gotas de chuva, evitando que ocorra a destruição dos agregados.

É importante lembrar que a estabilidade de agregados não avalia a qualidade estrutural do solo, quanto à distribuição de tamanho de poros e por isso um solo degradado, com elevados valores de Densidade do Solo e baixa Porosidade Total, pode ser altamente estável em água (Bertol et al., 1998), o que explica os valores obtidos para o sítio 3, pois nesta área ocorre Plintossolo, fazendo com que cascalhos fossem considerados como agregado, sendo que na realidade trata-se de uma fração grosseira do solo. Os baixos valores de Porosidade para o sítio 3, resultado de uma maior densidade do solo, comprovam este resultado. A textura do solo também influencia a sua estrutura. Alguns sítios que mostraram maior quantidade de argila (Tabela 3) também mostraram maiores DMP.

3.5 – GRAU DE FLOCULAÇÃO

Houve diferença significativa pelo Teste F a 1% entre os sítios, mas sem diferença entre profundidades. O Teste Tukey também mostrou diferença significativa, porém, a 5%.

A camada superficial não apresentou um grau de floculação estatisticamente diferente da subsuperfície. Os dados da tabela 5 mostram que as camadas avaliadas não apresentam profundidade suficiente para diferenciá-las.

Oades (1988) *apud* Prado & Centurion (2001) e Chaney & Swift (1984) *apud* Muller et al. (2001) encontraram diferença significativa entre profundidades quando comparando camadas de 0 a 10 e de 10 a 20 cm.

Os maiores valores para este atributo foram encontrados nos solos cultivados com pastagem. A gessagem é uma prática agrícola comum neste tipo de manejo e altera a formação da estrutura do solo, podendo tornar os agregados mais estáveis segundo Rosa Junior et al. (2006). A calagem, por sua vez, ao elevar o pH, distancia o ponto zero de carga (PCZ) e pode aumentar a argila dispersa em água em Latossolos (Rosa Junior et al., 2006).

A substituição do Al e do Fe pelo Ca ocasiona a redução da floculação, pois este possui menor poder floculante que aqueles (Koenings, 1961).

A intensidade e o tempo de uso do solo podem aumentar a porcentagem de argila dispersa em água, reduzindo o grau de floculação. O emprego de grade aradora, entre outros maquinários, destrói os agregados do solo deixando suas partículas soltas (Rosa Junior et al., 2006).

A quantidade de argila no solo também influencia o grau de floculação. Neste estudo verificou-se que os sítios que apresentaram os maiores valores de argila agregada também apresentaram maiores teores de argila total. Em um solo que possui um horizonte Bt, a medida que se aumenta a profundidade também se elevam os teores de argila total e argila dispersa em água. Muller et al. (2001) atribuíram a redução do grau de floculação ao teor de argila já que, em seus estudos, a matéria orgânica não apresentou boa correlação com este atributo.

3.6 – MATÉRIA ORGÂNICA

A vegetação natural resultou, em média, em solos com maior porcentagem de matéria orgânica, permitindo concluir que a pecuária extensiva, nas áreas estudadas, está promovendo a degradação das propriedades químicas do solo (Tabela 6).

Os sítios 3,4,7 e 8 apresentaram teores de matéria orgânica superiores ao solo sob vegetação nativa, em valores absolutos.

É possível que no sítio 3 esteja ocorrendo um maior número de plantas espontâneas, que favorece um maior crescimento da parte aérea em detrimento do sistema radicular, e por isso, neste ponto, ocorre maior discrepância de MO entre as camadas estudadas. Já no sítio 9 ocorre um maior equilíbrio entre as camadas estudadas, em valores absolutos. Nesta área os benefícios da matéria orgânica alcançam um perfil mais profundo do solo, garantindo maior estabilidade dos compostos orgânicos ocasionada por um sistema radicular mais eficiente.

Muller et al. (2001) verificou em seus estudos que a degradação das pastagens ocasionou redução da parte aérea e conseqüente retrocesso do sistema radicular, fazendo com que a rizosfera se concentrasse na camada mais superficial, diminuindo os teores de matéria orgânica e outras propriedades físicas estudadas.

Fernandes et al. (1999) encontraram redução da MO em solos com pastagem há mais de 20 anos e alteração das frações húmicas em pastagem com 10 anos de uso, remetendo mudanças quantitativas e qualitativas neste sistema de exploração do solo.

Fontana et al. (2001), ao contrário destes, encontrou maior proporção da fração facilmente biodegradável, graças à decomposição constante e menos rápida do material proveniente das raízes das gramíneas em pastagens cultivadas, favorecendo um ambiente com ótimas qualidades químicas para a manutenção do crescimento radicular.

Araújo (2004) encontrou, em média, maiores valores de MO para Latossolo Vermelho do que em solos nativos. Este autor encontrou como justificativa a alta produção de matéria seca por parte das gramíneas analisadas, e também, diferença significativa entre profundidades, sendo que tanto as áreas cultivadas como as nativas mostraram maiores valores de MO na camada superficial. Os resultados foram similares aos encontrados neste trabalho para os sítios 3,4,7 e 8.

Tabela 6. Matéria Orgânica (MO) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) em áreas sob pastagem cultivada e vegetação nativa no Vão do Paranã – GO.

Sítio	Matéria Orgânica (%)		CTC cmol _c Kg ⁻¹	
	0 a 5 cm	5 a 10 cm	0 a 5 cm	5 a 10 cm
1	0,75c	0,37e	3,36f	2,48g
2	1,18c	0,84de	4,98ef	4,32fg
3	6,27a	2,08cd	12,82bc	6,65ef
4	5,32ab	4,10ab	14,97abc	14,43ab
5	1,45c	1,14de	5,02ef	4,94efg
6	3,03bc	2,23cd	8,56de	7,6de
7	6,15a	5,44a	18,01a	16,25a
8	6,36a	4,83a	15,92ab	15,66a
9	4,19ab	4,14ab	11,91cd	11,98bc
N	4,97ab	2,83bc	13,51bc	10,06cd
Média	3,97A	2,80B	10,91A	9,44B

Letras maiúsculas mostram diferença significativa pelo teste Tukey a 5% entre profundidades. Letras minúsculas mostram diferença significativa entre sítios pelo teste Tukey a 5%. Houve diferença significativa entre os sítios a 1% pelo teste F.

O cultivo de gramíneas para forragem pode elevar os teores de matéria orgânica a níveis superiores aos encontrados em áreas com vegetação nativa sobre o mesmo tipo de solo.

Choné et al. (1991) e Cherri & Andreux (1990), *apud* Bernoux et al. (1999), afirmam que a introdução de pastagem, normalmente, nos primeiros anos reduz os teores de matéria orgânica aumentando a seguir, com um manejo adequado, até alcançar quantidade próxima àquela existente em solos sob vegetação natural.

Bernoux et al. (1999) encontraram maiores valores de matéria orgânica em solos cultivados com pastagem há 4 e 15 anos em comparação com solos de áreas nativas e aponta como responsável o Carbono Orgânico (Corg) remanescente da vegetação nativa somado ao Corg oriundo da decomposição da vegetação de pastagem depositada sobre o solo. Os mesmos autores também encontraram maior quantidade de nitrogênio fixado e que foi atribuído à atividade biológica das bactérias em associação com as gramíneas

Xavier et al. (2006) encontraram maiores valores de MO na camada superficial de solos sob pastagem cultivada, e maiores valores em profundidade quando comparado a sistemas orgânicos de cultivo que apresentaram menor quantidade de MO em profundidade, mostrando que algumas gramíneas, usadas como forragem, possuem um potencial significativo na produção de componentes vegetais, tanto da parte aérea como do sistema radicular, e contribuem para o desenvolvimento microbiano em todo o perfil do solo.

Braz et al. (2004) obtiveram maiores valores de matéria orgânica em pastagem cultivada mesmo em condições de superpastejo. Segundo estes autores, é possível que uma pastagem sob estresse nutricional, em um primeiro momento, aumente os teores de matéria orgânica oriundos de uma maior exploração do solo pelo sistema radicular, como forma de compensar a menor oferta nutricional.

O teor de argila pode favorecer a manutenção da matéria orgânica fisicamente protegida uma vez que agregados mais estáveis impedem ou retardam sua oxidação, pois à medida que se eleva o teor de argila também ocorre elevação da área superficial da matriz mineral e do potencial de estabilização da MO (Scott et al., 1996, *apud* Leite & Mendonça, 2003) desde que os sítios de ligação não estejam ocupados (Hassink & Whitnore, 1997, *apud* Leite e Mendonça, 2003), o que caracteriza uma forma de estabilização química.

O tipo de cultivo modifica as características físicas do solo resultando em maior ou menor acesso dos microrganismos aos estoques de MO fisicamente protegido.

Fontana et al. (2001) encontrou maiores teores de MO em pastagens cultivadas sob Latossolo quando comparado com Argissolo e apontou como causa a diferença nos teores de argila entre os solos.

Mann (1986) *apud* Fernandes et al. (1999) encontrou menores perdas de Corg e Moraes (1991) encontrou ganho do mesmo elemento quando comparando solos arenosos com de outras texturas em áreas cultivadas em comparação com áreas nativas (Fernandes et al., 1999). Isso ocorre porque solos inicialmente pobres em matéria orgânica perdem menos com a oxidação, devido à menor área específica desta fração mineral, já o aumento é ocasionado por uma maior liteira proveniente da deposição de restos vegetais, já discutido anteriormente.

Uma pastagem bem manejada pode favorecer a formação de uma liteira que eleva os níveis de matéria orgânica, que associada a boas propriedades físicas do solo, promovem uma reciclagem lenta e constante da matéria orgânica.

3.7 – CTC

Os maiores valores foram encontrados em solos sob pastagem cultivada (Tabela 6) mostrando uma situação em que o manejo na área, provavelmente favorecido pela calagem, pode ter contribuído diretamente através da geração de cargas negativas dependentes de pH, ou indiretamente, por maior deposição de restos vegetais que elevaram os teores de matéria orgânica, melhorando a atividade biológica, que por fim, acelerou o processo de mineralização dos nutrientes.

Os valores apresentaram uma correlação muito alta com a MO, o que também foi encontrado por outros autores como Pereira e Peres (1987) e Araújo (2004).

Nos Solos altamente intemperizados, e sob vegetação natural, a MO é o maior contribuinte para a CTC. Isto pode ser confirmado no presente trabalho, assim como a redução significativa desta com o aumento da profundidade.

Costa (2005) encontrou valores significativamente maiores em sistema de plantio direto (SPD) quando comparado ao plantio convencional, sendo que no SPD houve diferença significativa entre profundidades, fato não observado no plantio convencional e que foi atribuído aos efeitos químicos positivos da deposição de restos vegetais sob a superfície do solo.

Moraes (1993) afirma que dentre as alterações químicas no solo promovidas pelas pastagens, tem-se o evidente aumento da CTC por efeito da elevação do teor de matéria orgânica, quando comparado com outras culturas.

3.8 – MODELOS

3.8.1 – SÍTIO 1

O sítio 1 mostrou redução de todos os atributos avaliados conforme Figura 5, o que resultou no menor IQS encontrado, de apenas 0,16. A redução da qualidade do solo neste local apresentou boa relação com o ICV, pois foi onde ocorreram os menores valores de cobertura vegetal.

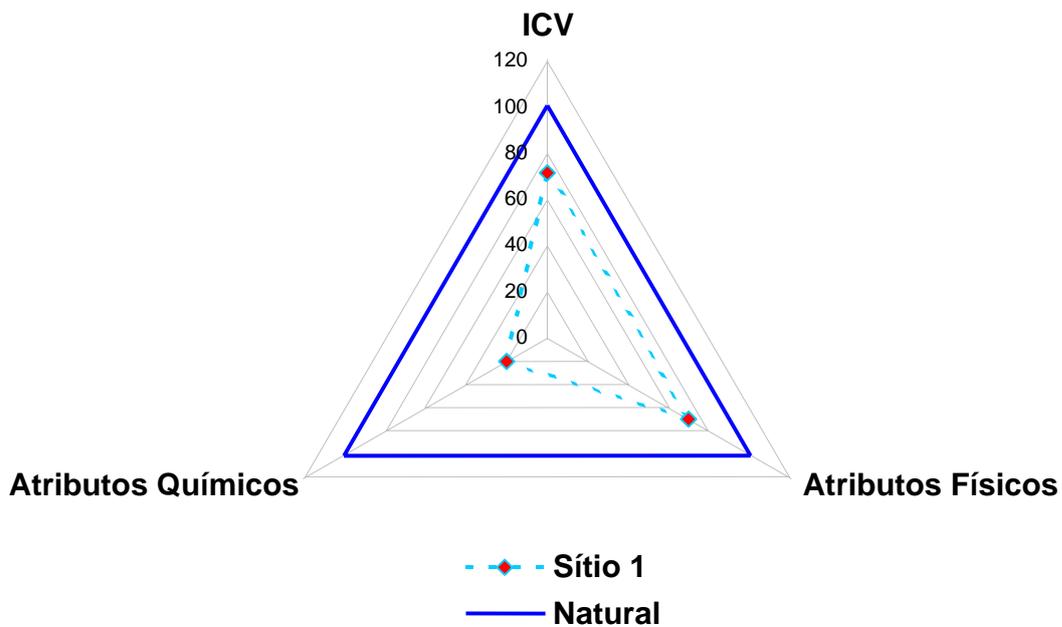


Figura 5. Diagrama comparativo da qualidade do solo no sítio 1 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.

O ICV mostrou maior interação com os atributos físicos. Os baixos valores para os atributos químicos em contraste com os valores maiores dos atributos físicos encontrados neste local pode ser resultado de um estágio avançado de degradação no qual a cultura explora a subsuperfície com mais intensidade, com forma de suprir as necessidades químicas intensificando a atividade radicular e aumentando os benefícios causados por esta.

A elevada população de invasoras explica porque o ICV não teve uma redução mais drástica. A fotografia panorâmica do local (Figura 6) mostra uma cobertura vegetal fraca e pouco desenvolvida.

Através desta e das outras imagens também foi possível identificar uma grande quantidade de invasoras e de plantas de arroz, estas últimas provavelmente remanescentes de um período de cultivo no local, o que é comum na região neste tipo de solo. A pastagem mostrou presença de *Andropogon* e *Capim-Jaraguá*, porém em baixa densidade. O solo neste local é, segundo o mapa de classificação, Neossolo.



Figura 6. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 1.

3.8.2 – SÍTIO 2

O sítio 2 também mostrou degradação mais intensa dos atributos químicos do que os outros dois parâmetros que compõem o diagrama (Figura 7), e em comparação com o diagrama do sítio 1 observa-se um aumento nos atributos químicos estatisticamente significativo para a CTC (Tabela 6).

O ICV mostrou um aumento significativo (Tabela 3). Os atributos físicos visualmente mantiveram-se estáveis.

Nesta área o IQS apresentou um aumento em relação a primeira e seu valor foi de 0,23, permitindo afirmar que os atributos químicos e o ICV foram maiores responsáveis por este aumento.

Os fatores que contribuem para a redução da qualidade do solo nesta área foram menos intensos que os do sítio 1, porém são igualmente preocupantes. O solo, segundo o mapa de classificação, é o mesmo do sítio anterior, Neossolo, o que mostra a diferença no manejo da área.

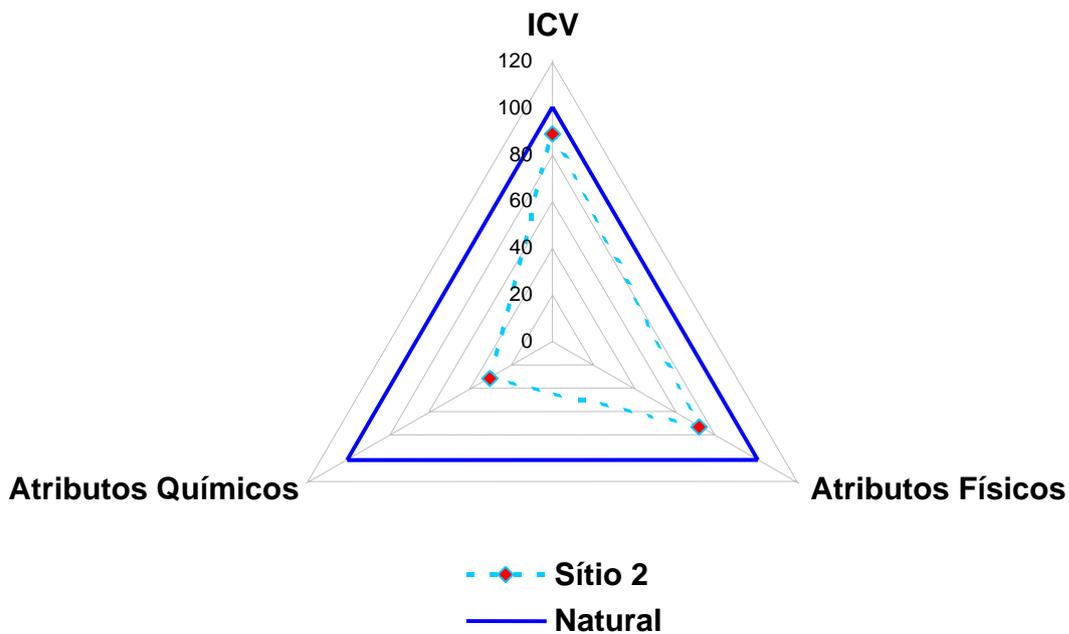


Figura 7. Diagrama comparativo da qualidade do solo no sítio 2 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.



Figura 8. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 2.

A imagem panorâmica da área (Figura 8) mostra uma área mais provida de cobertura vegetal com uma pastagem (capim-jaraguá) mais limpa, ou seja, com menos invasoras.

3.8.3 – SÍTIO 3

A figura 9 apresenta os resultados para o sítio 3. Nesta área o IQS de 1,05 ultrapassou o índice da área de vegetação natural, graças a um incremento nas propriedades químicas e físicas do solo e também no ICVA adoção do ICV de 100% para a vegetação nativa provavelmente influenciou este resultado. Nesta área o IQS foi menos sensível ao ICV.

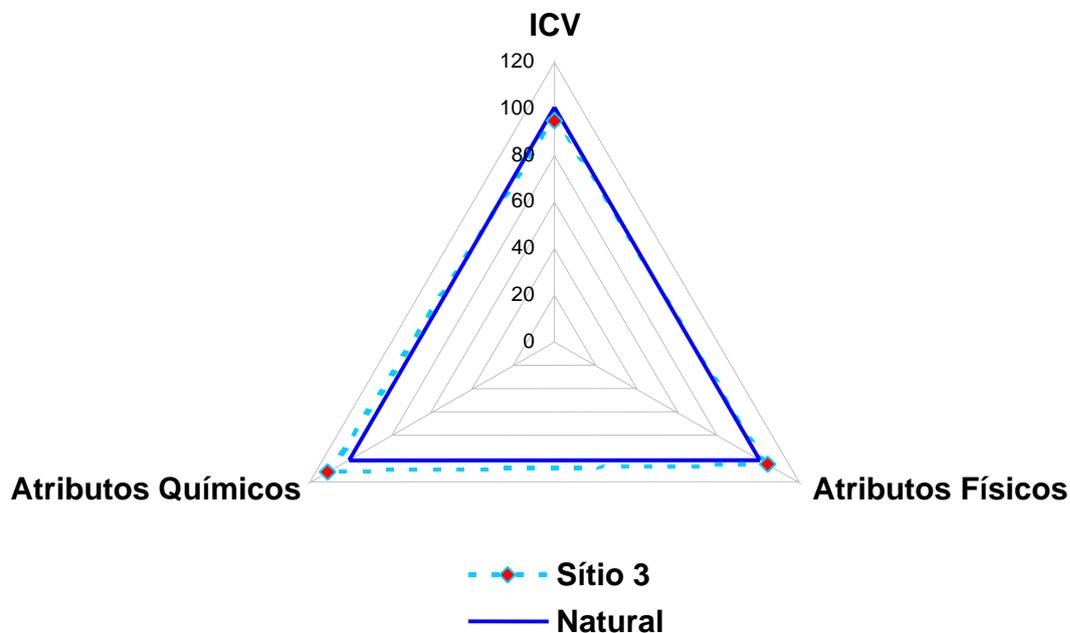


Figura 9. Diagrama comparativo da qualidade do solo no sítio 3 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.

Isto só foi possível de acontecer graças aos resultados obtidos com o DMP que elevaram a contribuição das características físicas no cálculo de IQS. É possível que a produção de forragem aumente a produção de matéria orgânica e atividade da rizosfera, mas especificamente neste caso os resultados das análises das propriedades físicas foram tendenciosos.

A cobertura vegetal não acompanhou o aumento dos atributos químicos da mesma forma, conseqüência do hábito de crescimento do *Andropogon* (figura 10) e não superou o solo sob vegetação natural.

A imagem panorâmica da área mostra uma vegetação mais densa e com presença de árvores que também contribuem para melhoria das condições edáficas. Mas os resultados obtidos para os parâmetros físicos, neste caso, não são confiáveis.



Figura 10. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 3.

3.8.4 – SÍTIO 4

As propriedades químicas não foram superiores a da área anterior. A cobertura vegetal teve um acréscimo em conjunto com as propriedades físicas, mas o aumento deste último não foi acompanhado da mesma forma pela cobertura vegetal.

Houve novamente um equilíbrio entre os atributos. O IQS encontrado para esta área foi de 1,19.

Este solo é classificado como Argissolo, e o elevado valor de argila, não observado nos locais anteriores (tabela 3), também deve ser considerado como responsável pelas características observadas no diagrama.

Na figura 11 observa-se que o sítio 4 superou as áreas anteriores e o solo sob vegetação natural em relação aos atributos físicos e químicos. A Figura 12 mostra uma pastagem bem formada com o Braquiarião

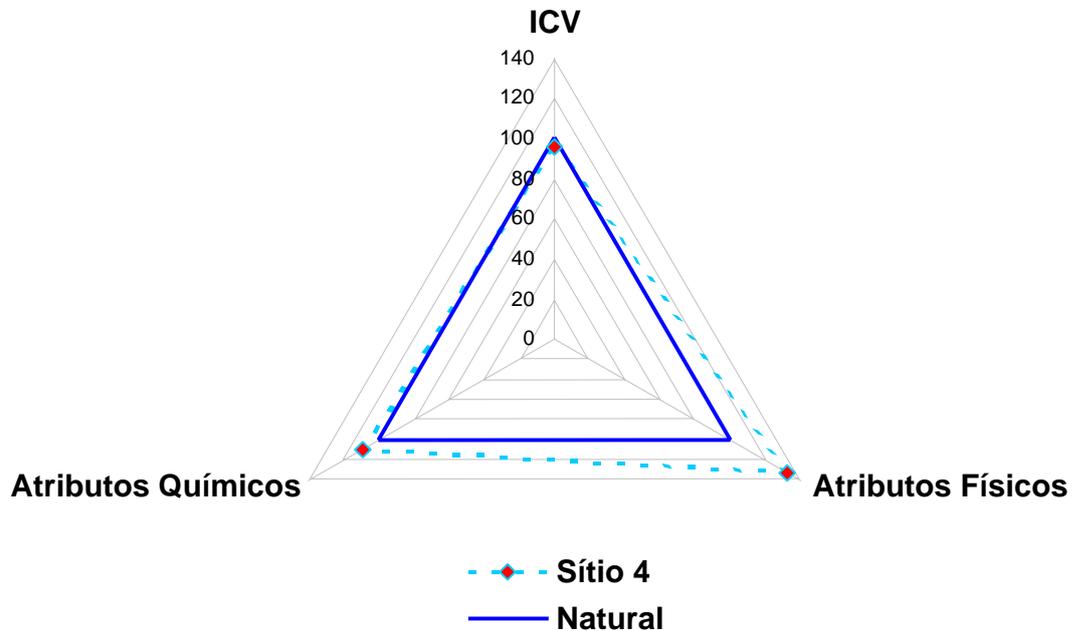


Figura 11. Diagrama comparativo da qualidade do solo no sítio 4 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.



Figura 12. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 4.

3.8.5 – SÍTIO 5

Observa-se no diagrama do sítio 5 (Figura 13) uma redução significativa das propriedades químicas enquanto os atributos físicos e a cobertura vegetal não apresentaram o mesmo decréscimo.

A cobertura vegetal foi o fator que mais contribuiu para um IQS de 0,31, mostrando que o comportamento desta variável possuiu, novamente, uma correlação baixa com os atributos químicos.

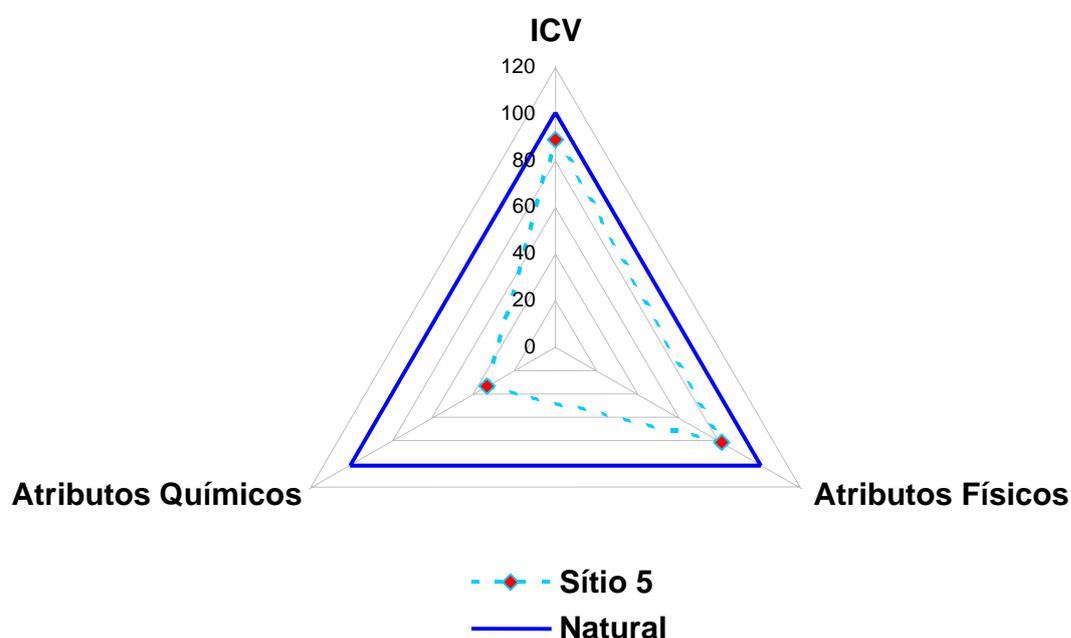


Figura 13. Diagrama comparativo da qualidade do solo no sítio 5 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.

O diagrama do local mostra-se bem similar aos dos sítios 1 e 2, porém a imagem panorâmica (figura 14) retrata uma pastagem de *Andropogon* bem formada e limpa, diferente da imagem panorâmica das outras duas pastagens. Este sítio encontra-se sobre Neossolo.



Figura 14. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 5.

3.8.6 – SÍTIO 6

No sítio 6 (Figura 15) houve incremento nas propriedades químicas assim como na cobertura vegetal, não ocorrendo o mesmo com os atributos físicos, quando comparado ao anterior.

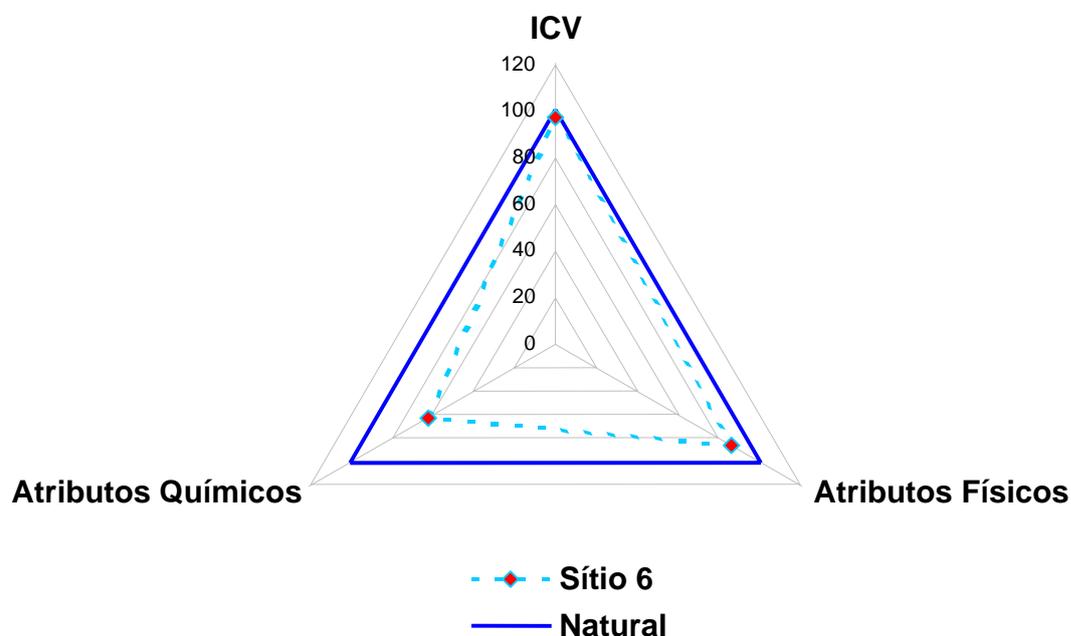


Figura 15. Diagrama comparativo da qualidade do solo no sítio 6 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.

Houve maior influência da cobertura vegetal, que foi a maior encontrada no experimento, apresentando o valor de 97%, mas o IQS foi baixo e apresentou um valor de 0,61.

Novamente as propriedades químicas mostraram pouca interação com os atributos físicos e com a cobertura vegetal.

A área possui uma pastagem (*Panicum* e Jaraguá) bem formada e limpa, como pode ser observado através da fotografia panorâmica do local (figura 16).

O solo mostra transição entre Argissolo e Plintossolo, porém, as características observadas no experimento deixam dúvidas quanto à classificação. O solo apresenta características mais próximas a um Neossolo.



Figura 16. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 6.

3.8.7 – SÍTIO 7

No sítio 7 (Figura 17) os atributos físicos e químicos mostraram-se superiores aos encontrados sob o solo nativo, mas o aumento nos atributos químicos não foi acompanhado da mesma forma pelos atributos físicos e cobertura vegetal.

A arquitetura da planta (*Panicum maximum* cv. Mombaça) influenciou a cobertura vegetal de forma negativa, pois se trata de uma área com produção de biomassa elevada, favorecendo a melhoria das características físicas e químicas, mas que não foi detectado pela análise digital. A área apresentou um IQS de 1,11.

O solo no local é do tipo Argissolo e a interação de suas propriedades físicas e químicas fizeram com que neste local fosse encontrado o segundo melhor IQS.

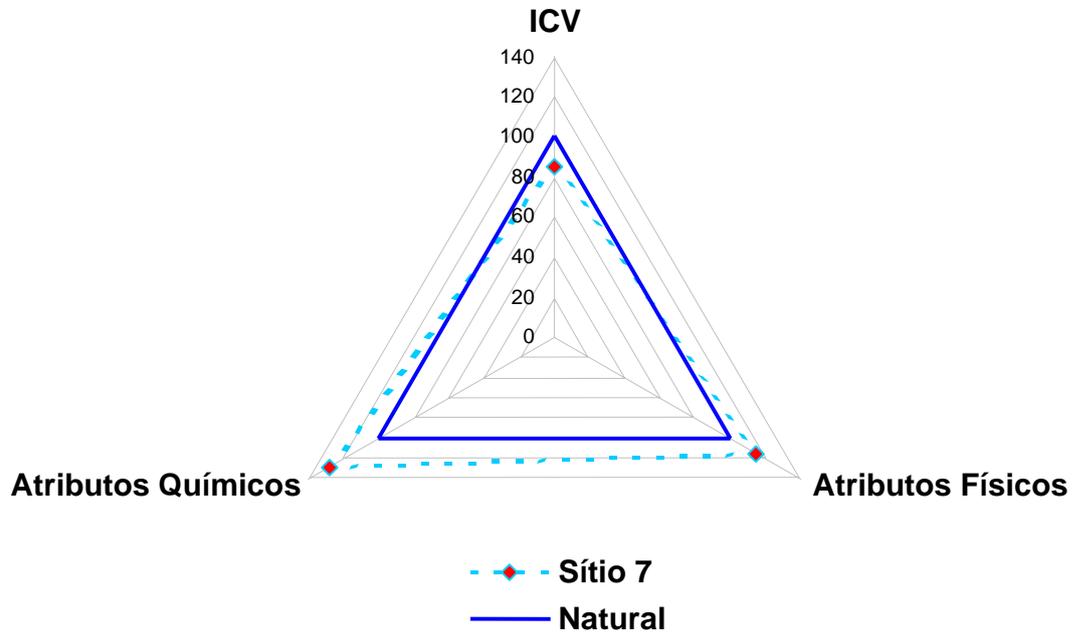


Figura 17. Diagrama comparativo da qualidade do solo no sítio 7 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.

A imagem panorâmica da área (figura 18) apresenta uma pastagem um pouco suja com presença de invasoras, mas em sua maior parte mostrou-se bem conservada.



Figura 18. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 7.

3.8.8 – SÍTIO 8

No sítio 8 (Figura 19) houve um incremento nos atributos químicos, mas que não foi proporcional aos valores acrescidos nas propriedades físicas.

Houve uma tendência da cobertura vegetal em acompanhar o aumento dos valores das propriedades químicas, influenciando o IQS, com maior peso que as propriedades físicas, o que também ocorreu nas áreas 2, 5 e 6.

A atividade radicular das espécies espontâneas encontradas na área fez com que os atributos físicos não fossem beneficiados da mesma forma que os outros parâmetros, já que ocorreram no local a deposição e ciclagem dos restos vegetais juntamente com uma cobertura vegetal satisfatória. O solo no local é resultado da transição entre Argissolo e Neossolo.

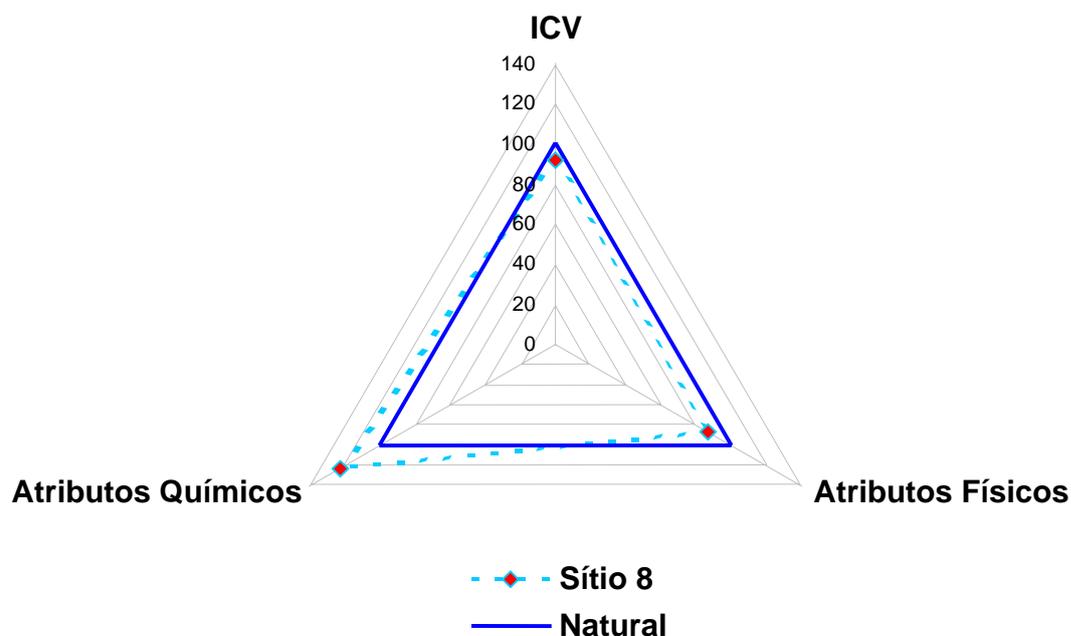


Figura 19. Diagrama comparativo da qualidade do solo no sítio 8 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.

A imagem panorâmica (Figura 20) mostra que a pastagem foi formada com Andropogon e capim-jaraguá (*Hyparrhenia rufa* (Ness) Stapf.) O nível de degradação avançado apresenta elevada presença de invasoras, que não são gramíneas.



Figura 20. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 8.

3.8.9 – SÍTIO 9

Assim como visto anteriormente, estes atributos não se correlacionaram muito bem com as propriedades químicas e com a cobertura vegetal, mas desta vez de forma inversa, já que estes dois parâmetros revelaram menores valores do que as propriedades físicas.

O IQS encontrado neste ponto foi de 0,71. A arquitetura da planta foi o principal fator que contribuiu para o ICV baixo neste ponto quando comparado às outras áreas.

Conforme se observa na fotografia panorâmica (Figura 22) o hábito de crescimento ereto do Andropogon (*Andropogon gayanus*) fez com que não ocorresse uma cobertura vegetal correspondente à biomassa produzida, reduzindo o ICV.

O solo do local é do tipo Neossolo e suas características físicas e químicas foram contribuintes significantes para o valor de IQS encontrado.

Para a o sítio 9 (Figura 21), os atributos físicos representaram o maior contribuinte na formação do diagrama.

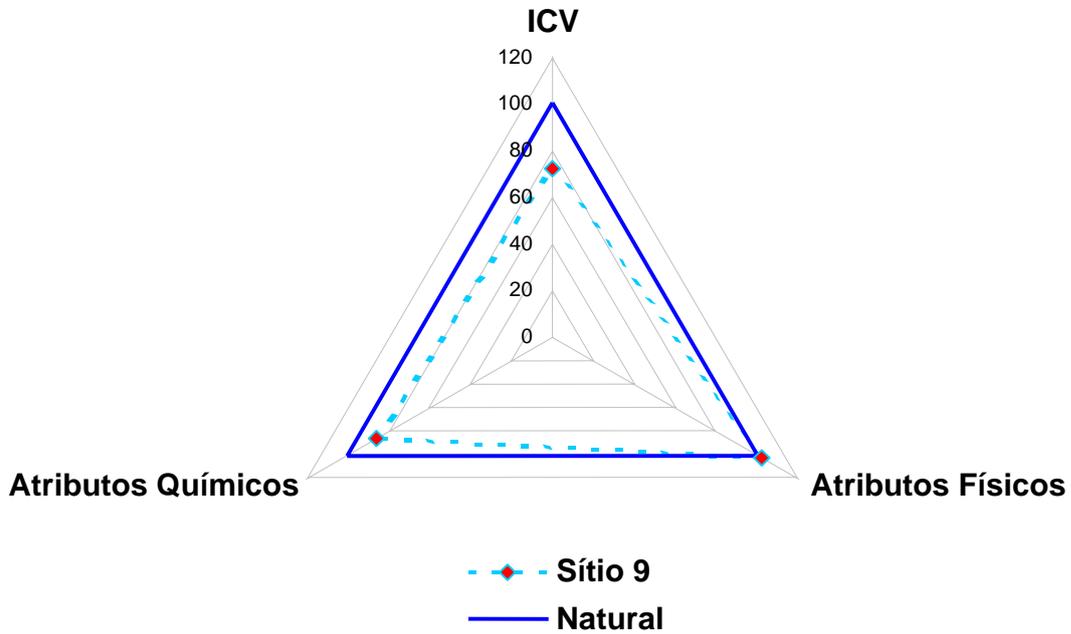


Figura 21. Diagrama comparativo da qualidade do solo no sítio 9 (pastagem cultivada) distribuída em atributos físicos, químicos e cobertura vegetal.



Figura 22. Fotografia mostrando uma vista panorâmica do sítio 9.

3.9 – IQS E CORRELAÇÕES

As tabelas 7 e 8 mostram os valores do Índice de Qualidade do Solo (IQS) para cada sítio e para o cerrado nativo, e os valores de r^2 das correlações, respectivamente.

O IQS foi obtido através da divisão da área formada pelo triângulo do modelo gráfico de cada sítio pela área formada pelo modelo gráfico do cerrado nativo.

Tabela 7. Índice de qualidade de solo para áreas sob pastagem cultivada e cerrado nativo no Vão do Paranã – GO.

Sítio	IQS
N	1,00
1	0,16
2	0,23
3	1,05
4	1,19
5	0,31
6	0,61
7	1,11
8	0,92
9	0,71

Como se observa na tabela 7, o sítio que apresentou menor qualidade do solo foi o sítio 1, o de maior qualidade foi o 4 e o que se mostrou mais próximo do ambiente nativo foi o sítio 8, já que o sítio 3, por apresentar valores tendenciosos para o DMP acabou influenciando o IQS e por isso não pode ser considerado confiável em relação aos valores destes dois parâmetros.

Tabela 8. Valores de r^2 para as regressões lineares entre os parâmetros avaliados.

	ICV	AF	AQ	PT	DMP	GF	MO	CTC
IQS	0,2384	0,7877	0,9231	0,2980	0,8134	0,2005	0,8550	0,8037
ICV	—	0,0959	0,1414	0,0122	0,1954	0,1021	0,0814	0,0745
AF	—	—	0,6051	0,3941	0,6771	0,5316	0,5868	0,6072
AQ	—	—	—	0,2951	0,7402	0,0826	0,9728	0,9044
PT	—	—	—	—	0,0593	0,0784	0,3660	0,5170
DMP	—	—	—	—	—	0,2071	0,6824	0,5548
GF	—	—	—	—	—	—	0,0755	0,1135
MO	—	—	—	—	—	—	—	0,9616

Índice de Qualidade do Solo (IQS), Índice de Cobertura Vegetal (ICV), Atributos Físicos (AF), Atributos Químicos (AQ), Porosidade Total (PT), Diâmetro Médio Ponderado (DMP), Grau de Flocculação (GF), Matéria Orgânica (MO) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC).

O IQS mostrou maior interação com os atributos químicos (AQ) do que com os atributos físicos (AF). Isto mostra que os atributos químicos foram os maiores responsáveis pelos resultados de qualidade do solo. Destaque para a MO, que foi o maior responsável pelos valores encontrados de IQS. O GF mostrou-se como o atributo que menos influenciou a qualidade do solo no experimento, seguido pelo ICV. A matéria orgânica e a CTC não diferiu muito, em valores absolutos, na correlação com os atributos físicos.

A tabela 9 mostra as correlações entre os parâmetros avaliados e as frações granulométricas do solo e ao observá-la é possível afirmar que argila foi a fração que mais contribuiu para que o solo apresentasse melhor qualidade. A contribuição da argila em conjunto com a matéria orgânica incrementa as propriedades físicas do solo. Ao mesmo tempo fornece condições para que haja a ciclagem de resíduos e mantendo equilibrados os níveis de matéria orgânica, conforme discutido anteriormente. A influência da areia foi superior à do silte, isto porque o silte é uma transição entre a areia e a argila e suas características são intermediárias entre as outras duas frações. Isto permite afirmar que as características genéticas do solo, como a granulometria, interferem tanto quanto o manejo da pastagem.

Tabela 9. Valores de r^2 das regressões lineares entre as frações granulométricas do solo e os parâmetros avaliados.

	IQS	ICV	PT	DMP	GF	MO	CTC
Areia	0,075	0,006	0,578	0,018	0,001	0,096	0,174
Silte	0,271	0,113	0,021	0,491	0,286	0,266	0,258
Argila	0,541	0,049	0,786	0,238	0,261	0,590	0,753

3.10 – DISCUSSÃO GERAL

As técnicas de geoprocessamento aplicadas neste trabalho mostram o potencial desta ferramenta para utilização na pesquisa agropecuária. Embora o ICV tenha apresentado uma correlação baixa com os outros parâmetros, o seu valor positivo indica que uma pequena parte das características físicas e químicas do solo pode ser atribuída à cobertura vegetal. Um estudo mais específico permitiria identificar os sítios avaliados quanto ao nível de degradação conforme a tabela 1. Além disso, a pesquisa estatística para que se busquem fatores de correção pode tornar esta metodologia mais confiável para o estudo do solo no futuro. O histórico mais detalhado das pastagens avaliadas permitiria um agrupamento das áreas sob manejo semelhante, reduzindo o número de variáveis e possibilitaria obter melhores correlações.

O tipo de solo foi tão importante quanto às espécies forrageiras encontradas e mostrou que os solos com maior porcentagem de areia são mais susceptíveis à degradação, ou seja, mais propensos à compactação, à redução da estabilidade de agregados e da fertilidade natural conforme foi observado através dos resultados.

Os maiores valores de IQS observados no experimento correspondem a sítios que se encontram sob Argissolos. Já os Neossolos se mantiveram, em média, abaixo das condições encontradas no ambiente natural comprovando que os solos mais arenosos são mais susceptíveis à degradação física e química e merecem maior atenção na escolha da atividade que se pretende explorar em um determinado local.

As propriedades do solo avaliadas foram bem representativas, com exceção da estabilidade de agregados que mascarou uma característica do solo no sítio 3, e que foi identificada ao se observar a porosidade

4 – CONCLUSÕES

1. O Índice de Cobertura Vegetal apresentou correlação positiva, porém baixa, com os atributos do solo avaliados, revelando que apenas uma pequena parte das características da cobertura vegetal do solo pode ser explicada pelos parâmetros físicos e químicos do solo.
2. Os atributos químicos mostraram maior variação entre as áreas analisadas, quando comparados aos físicos, revelando-se mais sensíveis às alterações decorrentes do uso do solo para o cultivo de pastagem e maior correlação com o ICV quando comparados com as propriedades físicas.
3. A adoção de diagramas comparativos facilitou o entendimento das relações existentes entre os atributos físicos e químicos do solo e o grau de cobertura vegetal.
4. A maior parte das áreas avaliadas apresentou um IQS inferior ao encontrado em solo sob vegetação nativa, mostrando que em oito anos houve degradação das propriedades físicas e químicas provenientes do cultivo de pastagem.
5. As pastagens estabelecidas em áreas com solos de textura arenosa mostraram maior nível de degradação.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, J. T.; UBERTI, A. A. A.; VIZZOTO, V. T.; LEITE, G. B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, Campinas, v. 18, p. 139-145, 1994.

ARAÚJO, R. Avaliação da qualidade do solo em áreas sob diferentes usos. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, 2004, 77p. Dissertação de Mestrado.

BARCELLOS, A. O.; VIANA FILHO, A.; BALBINO, L. C.; OLIVEIRA, I. P.; YOKOYAMA, L. P. Produtividade animal em pastagens renovadas em solo arenoso de cerrado. In: Reunião Anual Da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 34., 1997. Juiz de Fora, Anais Juiz de Fora: SBZ, 1997, v. 4, p. 207-209.

BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; GERALDES, A. P. A.; FERNANDES, S. A. P. Carbono e nitrogênio em solo de uma cronosequência de floresta tropical-pastagem de Paragominas.. *Scientia Agricola*, v. 56, p. 777-783, 1999.

BERTOL, I.; GOMES, K. E.; DENARDIN, R. B. N.; MACHADO, L. A.; MARASCHIN, G. E. Propriedades Físicas do Solo Relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 5, mai. 1998.

BRAZ, S. P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Degradação de pastagens, matéria orgânica do solo e a recuperação do potencial produtivo em sistemas de baixo input tecnológico na região dos cerrados. EMBRAPA. Circular Técnica 9, Seropédica – RJ, dez. 2004.

CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 5, n. 2, p. 254-258, 2001.

COSER, A. C.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, C. A. B. DE.; GERÔNIMO, O. J.; FREITAS, V. DE PAULA.; SALVATI, J. A. Avaliação de Metodologias para a estimativa da disponibilidade de forragem em pastagem de capim-elefante. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 26, n. 3, p. 589-597, mai./jun.,2002.

COSTA, E. A. Avaliação da qualidade de solo submetido a dois sistemas de cultivo: plantio direto e preparo convencional. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, 2005, 113 p. Dissertação de Mestrado.

COSTA, N. L.; THUNG, M.; TOWNSEND, C. R.; MOREIRA, P.; LEÔNIDAS, F. C. Quantificação das características físico-químicas do solo sob pastagens degradadas. Pasturas Tropicales, Cali, Colombia, v. 21, n. 2, p. 74-77, 1999.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Embrapa – CNPS, Rio de Janeiro, RJ, 2ª edição, 1997. 212p.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FERNANDES, F. A.; CERRI, C. C.; FERNANDES, A. B. M. Alterações na matéria orgânica do solo pelo uso com pastagens cultivadas no Pantanal Mato-Grossense. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília - DF, v. 34, 1999.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; NASCIMENTO, G. B.; ANJOS, L. H. C.; EBELING, A. G. Matéria orgânica em solos de tabuleiro na região norte fluminense. *Floresta e Ambiente*, UFRRJ, Seropédica - RJ, v. 8, n. 1, p. 114-119, 2001.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automático. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?z=t&o=4&i=P> . Acessado em 08/05/07.

IBGE Zoneamento Geoambiental e Agroecológico do Estado de Goiás: região nordeste/HILTON LENZI MOREIRA (Coord.). Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Divisão de Geociências do Centro-Oeste. 178 p - (Estudos e pesquisas em Geociências). 1994.

KOENINGS, F. F. R. The mechanical stability of clay soil as influenced by the moisture condutions and some factores. Wageningen Hol Centrum voor Landbouwpublikaties en landbouwdocumentatie, 1961. 171 p.

LEITE, L. F. C.; MENDONCA, E. S. Modelo Century de dinâmica da matéria orgânica do solo: equações e pressupostos. . *Ciência Rural*, Santa Maria - RS, v. 33, n. 4, p. 679-686, 2003.

LEPISCH, I. L.; OLIVEIRA, V. A. In: GEALINKIN, M. (ed). *Geogoiás*. 2002. Goiânia: Agência Ambiental Goiás/Fundação CBRAC/PNUMA/SEMARH, p. 122-129.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R.; RIBEIRO, A. I. Modificações na agregação do solo decorrentes da introdução de pastagem em áreas de cerrado e floresta amazônica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 276-280, 1999.

MELO, V. F.; SILVA, J. R. C. . Propriedades físicas de um latossolo amarelo álico em áreas sob cultivo e vegetação natural de cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. Anais. Viçosa: SBCS/UFV, 1995. p. 1890-1892.

MORAES, J. F. L.; Conteúdos de Carbono e tipologia de horizontes nos solos da bacia Amazônica. Piracicaba: CENA/USP, 1991. 84p. Dissertação de Mestrado.

MORAES, A. de. Pastagem como fator de recuperação de áreas degradadas. In. Simpósio sobre Ecossistema de Pastagem, 2, 1993, Jaboticabal. Anais...p. 191-215,1993.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P. F. S. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1409-1418, nov. 2001.

NASCIMENTO, M. A. L. S. Geomorfologia do estado de Goiás. Boletim Goiano de Geografia. Goiânia: UFG, V.12, n.1. Jan./Dez. 1991.

PENA, Y.A.; GOMES, A.S.; SOUZA, R.O. Influência de diferentes sistemas de cultivo nas propriedades físicas de um solo de várzea cultivado com arroz irrigado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.20, p.517-523, 1996.

PEREIRA, J. & PERES, J. R. R. Manejo da matéria orgânica. In: Goedert, W. J., ed. Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. Brasília, Nobel e Embrapa, 1987. p. 261-284.

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, v. 36, n. 1, p. 197-203, 2001.

ROSA JUNIOR, E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSA, Y. B. C. J.; CREMON, C. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. Pesquisa agropecuária tropical, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 37-44, 2006.

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

XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONCA, E. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas convencional e orgânico na região da Chapada da Ibiapaba-CE. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa - MG, v. 30, p. 247-258, 2006.

YOUKER, R. E.; & MCGUINNESS, J. L. A short method of obtaining mean weight-diameter values of aggregates of soils. Soil Sci.,v. 83, p. 291-294. 1956.

Anexo1. Dados originais de Análise Textural e Grau de Floculação do Solo.

Amostra	Profundidade (cm)	Arcia Total (%)	Teor de Argila (%)	Silte (%)	Argila Natural (%)	Grau de Floculação (%)
S1	0 a 5	23,86	12,68	63,46	9,70	23,51
S1	5 a 10	20,09	14,21	65,69	11,68	17,83
S1a	0 a 5	20,09	16,22	63,69	11,66	28,10
S1a	5 a 10	16,10	16,22	67,69	15,70	3,23
S1b	0 a 5	20,11	14,57	65,32	11,68	19,83
S1b	5 a 10	24,16	14,20	61,63	11,66	17,89
S1c	0 a 5	22,07	14,22	63,71	8,97	36,95
S1c	5 a 10	30,19	12,20	57,61	9,65	20,88
S2	0 a 5	42,31	13,04	44,65	10,37	20,51
S2	5 a 10	44,36	13,40	42,24	11,67	12,92
S2a	0 a 5	33,42	17,46	49,12	10,38	40,55
S2a	5 a 10	34,17	19,47	46,36	12,38	36,40
S2b	0 a 5	36,23	17,44	46,33	12,37	29,07
S2b	5 a 10	34,21	19,46	46,33	10,38	46,68
S2c	0 a 5	46,28	15,07	38,64	10,38	31,15
S2c	5 a 10	46,36	15,05	38,59	10,39	30,97
S3	0 a 5	54,81	13,61	31,58	7,08	47,97
S3	5 a 10	53,68	17,15	29,18	9,16	46,57
S3a	0 a 5	61,54	11,13	27,33	9,19	17,41
S3a	5 a 10	51,67	19,17	29,16	15,20	20,70
S3b	0 a 5	56,49	12,99	30,52	7,61	40,32
S3b	5 a 10	54,18	19,67	26,15	10,67	40,10
S3c	0 a 5	59,86	11,75	28,39	8,67	25,04
S3c	5 a 10	51,17	17,65	31,18	13,69	27,16
S4	0 a 5	16,69	61,82	21,49	25,70	58,43
S4	5 a 10	16,76	58,00	25,25	35,83	38,22
S4a	0 a 5	21,81	57,50	20,69	35,97	37,45
S4a	5 a 10	19,16	65,95	14,89	26,31	60,11
S4b	0 a 5	22,82	58,48	18,69	30,43	47,97
S4b	5 a 10	19,42	60,56	20,02	38,66	36,17
S4c	0 a 5	22,87	50,15	26,98	20,31	59,50
S4c	5 a 10	24,86	50,21	24,94	30,66	38,93
S5	0 a 5	52,55	24,53	22,92	13,73	44,01
S5	5 a 10	52,52	26,57	20,92	15,74	40,77
S5a	0 a 5	61,23	20,83	17,93	13,69	34,27
S5a	5 a 10	57,21	20,83	21,96	15,70	24,64
S5b	0 a 5	55,16	22,86	21,98	18,47	19,22
S5b	5 a 10	53,25	23,82	22,93	18,46	22,48
S5c	0 a 5	54,07	22,48	23,45	14,42	35,87
S5c	5 a 10	49,95	35,92	14,13	18,46	48,61
S6	0 a 5	47,53	22,63	29,84	14,52	35,83
S6	5 a 10	51,76	26,95	21,29	14,47	46,29
S6a	0 a 5	56,89	16,48	26,63	14,45	12,36
S6a	5 a 10	59,89	16,46	23,64	14,44	12,28
S6b	0 a 5	60,43	20,60	18,97	14,52	29,50
S6b	5 a 10	55,61	22,64	21,75	14,52	35,87

S6c	0 a 5	61,61	16,59	21,80	10,47	36,87
S6c	5 a 10	64,53	16,52	18,95	12,50	24,32
S7	0 a 5	22,92	50,11	26,96	29,28	41,58
S7	5 a 10	21,25	51,13	27,62	33,44	34,60
S7a	0 a 5	22,75	50,22	27,02	29,37	41,52
S7a	5 a 10	24,84	50,22	24,94	29,33	41,59
S7b	0 a 5	20,45	51,70	27,85	29,42	43,09
S7b	5 a 10	18,29	60,10	21,62	35,71	40,58
S7c	0 a 5	22,08	52,00	25,92	33,92	34,77
S7c	5 a 10	22,29	48,72	28,98	31,69	34,96
S8	0 a 5	26,01	38,19	35,80	31,74	16,90
S8	5 a 10	20,55	45,28	34,17	36,17	20,13
S8a	0 a 5	26,60	37,15	36,25	27,53	25,90
S8a	5 a 10	22,45	45,95	31,60	35,79	22,12
S8b	0 a 5	22,15	41,14	36,71	29,92	27,29
S8b	5 a 10	20,65	44,62	34,73	36,08	19,13
S8c	0 a 5	27,86	39,14	33,00	32,11	17,95
S8c	5 a 10	14,99	48,49	36,52	36,15	25,46
S9	0 a 5	52,12	30,29	17,59	19,43	35,85
S9	5 a 10	54,20	32,30	13,50	23,51	27,20
S9a	0 a 5	51,92	34,51	13,57	21,52	37,63
S9a	5 a 10	50,00	36,46	13,54	21,53	40,96
S9b	0 a 5	53,74	31,91	14,35	25,59	19,81
S9b	5 a 10	51,89	30,78	17,34	21,49	30,17
S9c	0 a 5	50,06	34,95	14,99	23,50	32,76
S9c	5 a 10	47,29	35,97	16,74	25,61	28,81
N1	0 a 5	15,02	28,75	56,23	20,47	28,81
N1	5 a 10	15,07	32,67	52,26	22,93	29,83
N2	0 a 5	39,20	29,31	31,49	20,28	30,80
N2	5 a 10	19,35	31,11	49,54	21,34	31,42
N3	0 a 5	15,88	56,13	27,98	40,02	28,70
N3	5 a 10	17,97	64,39	17,65	40,00	37,88
N4	0 a 5	17,95	39,42	42,63	27,94	29,11
N4	5 a 10	14,81	47,52	37,67	34,05	28,35

Anexo 2. Dados originais de Densidade Aparente, Densidade Real e Porosidade Total do solo.

Amostra	Profundidade (cm)	Densidade Aparente (g cm⁻³)	Densidade Real (g cm⁻³)	Porosidade Total (%)
S1	0 a 5	1,41	2,38	40,62
S1	5 a 10	1,44	2,35	38,60
S1A	0 a 5	1,47	2,33	36,84
S1A	5 a 10	1,56	2,35	33,89
S1B	0 a 5	1,49	2,33	35,96
S1B	5 a 10	1,57	2,35	33,24
S1C	0 a 5	1,33	2,35	43,48
S1C	5 a 10	1,62	2,38	31,75
S2	0 a 5	1,68	2,33	27,58
S2	5 a 10	1,74	2,35	25,86
S2A	0 a 5	1,68	2,33	27,80
S2A	5 a 10	1,63	2,35	30,67
S2B	0 a 5	1,72	2,35	26,82
S2B	5 a 10	1,73	2,27	23,67
S2C	0 a 5	1,67	2,33	28,03
S2C	5 a 10	1,66	2,35	29,51
S3	0 a 5	1,71	2,41	29,11
S3	5 a 10	1,84	2,44	24,62
S3A	0 a 5	1,80	2,50	27,84
S3A	5 a 10	2,05	2,41	14,77
S3b	0 a 5	1,73	2,42	28,80
S3b	5 a 10	1,89	2,43	22,16
S3c	0 a 5	1,77	2,46	28,16
S3c	5 a 10	1,99	2,41	17,23
S4	0 a 5	1,21	2,27	46,72
S4	5 a 10	1,23	2,35	47,85
S4A	0 a 5	1,18	2,30	48,86
S4A	5 a 10	1,18	2,35	49,93
S4B	0 a 5	1,14	2,30	50,56
S4B	5 a 10	1,16	2,35	50,61
S4C	0 a 5	1,17	2,27	48,57
S4C	5 a 10	1,27	2,30	44,64
S5	0 a 5	1,46	2,33	37,19
S5	5 a 10	1,76	2,33	24,12
S5A	0 a 5	1,66	2,33	28,57
S5A	5 a 10	1,72	2,35	26,93
S5B	0 a 5	1,65	2,35	29,99
S5B	5 a 10	1,64	2,33	29,30
S5C	0 a 5	1,77	2,35	24,89
S5C	5 a 10	1,82	2,35	22,59
S6	0 a 5	1,69	2,35	28,28
S6	5 a 10	1,83	2,38	23,12
S6A	0 a 5	1,75	2,35	25,79
S6A	5 a 10	1,68	2,35	28,72
S6B	0 a 5	1,59	2,35	32,38
S6B	5 a 10	1,59	2,38	33,07
S6C	0 a 5	1,47	2,38	38,23
S6C	5 a 10	1,69	2,41	29,91
S7	0 a 5	1,30	2,33	44,10
S7	5 a 10	1,28	2,33	44,90
S7A	0 a 5	1,25	2,27	44,80

S7A	5 a 10	1,24	2,33	46,49
S7B	0 a 5	1,26	2,27	44,67
S7B	5 a 10	1,24	2,33	46,82
S7C	0 a 5	1,13	2,25	49,74
S7C	5 a 10	1,04	2,27	54,34
S8	0 a 5	1,37	2,25	38,99
S8	5 a 10	1,44	2,35	38,91
S8A	0 a 5	1,37	2,30	40,30
S8A	5 a 10	1,46	2,35	38,14
S8B	0 a 5	1,35	2,30	41,17
S8B	5 a 10	1,41	2,33	39,48
S8C	0 a 5	1,33	2,27	41,64
S8C	5 a 10	1,31	2,30	43,11
S9	0 a 5	1,21	2,33	47,80
S9	5 a 10	1,16	2,33	50,04
S9A	0 a 5	1,38	2,33	40,86
S9A	5 a 10	1,36	2,35	42,29
S9B	0 a 5	1,53	2,38	35,58
S9B	5 a 10	1,46	2,30	36,67
S9C	0 a 5	1,51	2,38	36,66
S9C	5 a 10	1,53	2,33	34,23
N1	0 a 5	1,15	2,22	48,15
N1	5 a 10	1,35	2,27	40,42
N2	0 a 5	1,53	2,35	35,01
N2	5 a 10	1,56	2,38	34,68
N3	0 a 5	1,27	2,38	46,84
N3	5 a 10	1,43	2,35	39,08
N4	0 a 5	1,21	2,30	47,37
N4	5 a 10	1,43	2,35	39,26

Anexo 3. Dados Originais de Diâmetro Médio Ponderado.

Amostra	DMP (cm)	DMP Média (cm)
S1	1,048075	
S1a	0,548254	0,69997
S1b	0,50358	
S1c	0,6997	
S2	1,10816	
S2a	1,565131	1,13766
S2b	1,018968	
S2c	0,85838	
S3	2,973316	
S3a	2,937043	2,95518
S3b	2,96425	
S3c	2,94611	
S4	2,571818	
S4a	2,553713	2,573569
S4b	2,585707	
S4c	2,583039	
S5	1,794756	
S5a	1,375938	1,404813
S5b	1,157689	
S5c	1,29087	
S6	1,721503	
S6a	1,80431	1,990878
S6b	2,307235	
S6c	2,130464	
S7	1,930993	
S7a	2,530821	2,295313
S7b	2,417308	
S7c	2,30213	
S8	2,277681	
S8a	2,074296	2,065239
S8b	1,960442	
S8c	1,948539	
S9	2,141996	
S9a	1,767789	2,335738
S9b	1,714458	
S9c	3,71871	
N1	2,3084	
N2	2,229309	2,091953
N3	1,949598	
N4	1,880508	

Anexo 4. Dados originais de Análises Químicas: Alumínio (Al³⁺), Acidez Potencial (AL³⁺ + H⁺), Cálcio e Magnésio (Ca + Mg), pH em Água (H₂O) e em KCL, Matéria Orgânica (MO), Soma de Bases (S), Capacidade de Troca Catiônica (T), Saturação de Bases (V), Saturação por Alumínio (m) e Fósforo (ppm).

Sítio	Profundidade cm	Al ³⁺	Al ³⁺ + H ⁺	Ca + Mg	pH		K	MO	S	T	V	m	P
		meq/ 100g	meq/ 100g	meq/ 100g	H ₂ O	KCl	cmolc/ kg	g /100g	cmolc/ Kg	cmolc/ Kg	cmolc/ Kg	%	ppm
S1	0 a 5	0,9	3,22	0,7	4,8	3,7	0,07	0,87	0,77	3,99	19,19	54,03	31,69
S1	5 a 10	0,85	2,25	0,5	5,14	3,79	0,03	0,40	0,53	2,78	19,15	61,47	4,87
S1a	0 a 5	0,6	2,25	0,4	5,3	3,87	0,07	0,53	0,47	2,72	17,15	56,30	6,97
S1a	5 a 10	0,8	2,02	0,4	5,33	3,81	0,06	0,47	0,46	2,49	18,59	63,37	3,85
S1b	0 a 5	0,75	2,77	0,3	4,94	3,83	0,06	0,74	0,36	3,13	11,36	67,82	73,32
S1b	5 a 10	0,9	2,17	0,1	5,14	3,78	0,04	0,33	0,14	2,32	6,16	86,32	4,87
S1c	0 a 5	0,85	3,15	0,3	5	3,75	0,14	0,87	0,43	3,58	12,12	66,17	33,22
S1c	5 a 10	0,9	2,17	0,1	4,91	3,68	0,05	0,27	0,15	2,32	6,29	86,05	10,31
S2	0 a 5	0,15	2,17	2	5,72	4,33	0,11	1,14	2,11	4,29	49,26	6,63	8,61
S2	5 a 10	0,55	2,62	1,3	5,37	3,95	0,06	0,87	1,36	3,99	34,17	28,76	5,38
S2a	0 a 5	0,05	2,47	3,7	5,83	4,54	0,16	1,27	3,86	6,34	60,96	1,28	10,31
S2a	5 a 10	0,5	2,4	2,2	5,52	4,18	0,12	0,94	2,31	4,71	49,10	17,76	8,05
S2b	0 a 5	0,4	2,77	1,3	5,24	4,05	0,16	1,14	1,46	4,23	34,44	21,53	4,87
S2b	5 a 10	0,25	1,72	1,7	5,32	4,26	0,10	0,55	1,80	3,52	51,04	12,20	3,35
S2c	0 a 5	0	1,35	3,6	6,24	5,05	0,07	1,16	3,69	5,04	73,21	0,00	12,68
S2c	5 a 10	0	1,27	3,7	6,17	4,99	0,70	1,02	3,77	5,04	74,72	0,00	13,29
S3	0 a 5	0	3,97	11,3	6,38	5,41	0,55	8,87	11,85	15,83	74,88	0,00	21,52
S3	5 a 10	0	2,62	4,9	6,29	5,15	0,35	2,59	5,25	7,88	66,69	0,00	6,43
S3a	0 a 5	0,05	2,55	6,7	6,55	5,42	0,57	3,68	7,27	9,82	74,03	0,68	10,31
S3a	5 a 10	0	2,55	2,6	6,34	4,18	0,27	1,57	2,87	5,42	52,94	0,00	2,86
S3b	0 a 5	0	3,62	10,15	6,43	5,41	0,55	7,57	10,70	14,32	74,70	0,00	9,98
S3b	5 a 10	0	2,60	4,33	6,31	4,35	0,33	2,33	4,66	7,26	64,23	0,00	5,54
S3c	0 a 5	0,05	2,90	7,85	6,50	5,42	0,57	4,98	8,42	11,32	74,39	0,43	9,33
S3c	5 a 10	0	2,56	3,18	6,33	4,85	0,29	1,83	3,47	6,03	57,55	0,00	3,75
S4	0 a 5	0	3,9	10,2	6,4	5,1	0,577	4,36	10,78	14,68	73,43	0,00	3,85
S4	5 a 10	0	2,47	9,3	6,38	5,11	0,22	2,93	9,52	11,99	79,36	0,00	2,86
S4a	0 a 5	0	3,6	9,6	6,37	5,07	0,23	5,05	9,83	13,43	73,20	0,00	4,87
S4a	5 a 10	0,05	4,27	9,3	6,19	4,83	0,26	3,55	9,56	13,84	69,11	0,52	3,35
S4b	0 a 5	0	3,3	11,6	6,64	5,45	0,29	5,52	11,89	15,19	78,27	0,00	4,87
S4b	5 a 10	0	3,15	11,7	6,5	5,32	0,43	4,84	12,13	15,28	79,38	0,00	4,36
S4c	0 a 5	0	3,15	13,1	6,77	5,7	0,32	6,35	13,42	16,57	80,99	0,00	5,38
S4c	5 a 10	0	2,92	13,3	6,74	5,63	0,37	5,08	13,67	16,60	82,38	0,00	5,38
S5	0 a 5	0,3	2,7	2,7	6,28	4,11	0,12	1,74	2,81	5,51	51,04	9,63	4,87
S5	5 a 10	0,55	2,55	2,4	5,74	4,02	0,09	1,20	2,49	5,04	49,36	18,12	3,35
S5a	0 a 5	0,3	2,32	2,3	6,11	4,05	0,18	1,47	2,47	4,79	51,49	10,84	5,90
S5a	5 a 10	0,5	2,62	1,9	5,71	3,92	0,11	1,40	2,01	4,63	43,34	19,93	4,36
S5b	0 a 5	0,1	2,17	3,1	6,21	4,45	0,13	1,54	3,23	5,41	59,77	3,00	5,90
S5b	5 a 10	0,4	2,55	2,4	5,91	4,11	0,07	1,20	2,47	5,02	49,23	13,93	3,85
S5c	0 a 5	0,25	1,87	2,4	6,31	4,14	0,10	1,07	2,50	4,37	57,13	9,10	4,87
S5c	5 a 10	0,55	2,47	2,5	6,04	3,84	0,10	0,74	2,60	5,07	51,19	17,49	4,36
S6	0 a 5	0	2,62	4,9	6,68	5,12	0,43	3,28	5,33	7,95	66,99	0,00	11,48
S6	5 a 10	0	2,4	4,1	6,68	5,17	0,37	2,27	4,47	6,87	65,06	0,00	5,90
S6a	0 a 5	0	1,5	4,4	7,02	5,54	0,43	2,54	4,83	6,33	76,29	0,00	5,90
S6a	5 a 10	0	1,35	3,6	7,2	5,63	0,40	1,20	4,00	5,35	74,78	0,00	5,38
S6b	0 a 5	0	2,55	6,4	7	5,62	0,27	2,53	6,67	9,22	72,33	0,00	7,51
S6b	5 a 10	0	2,62	6,5	7,17	5,81	0,22	3,26	6,72	9,34	71,91	0,00	7,51
S6c	0 a 5	0	0,07	10,2	8,86	7,91	0,46	3,79	10,66	10,73	99,30	0,00	41,19
S6c	5 a 10	0	0,07	8,4	8,94	8,01	0,35	2,19	8,75	8,82	99,15	0,00	35,87
S7	0 a 5	0	1,95	15,8	7,08	5,96	0,54	5,12	16,34	18,29	89,34	0,00	15,17
S7	5 a 10	0	1,5	14,2	7,09	6,07	0,42	5,92	14,62	16,12	90,70	0,00	11,48
S7a	0 a 5	0	1,59	14,3	7,34	6,37	0,57	6,78	14,87	16,46	90,34	0,00	27,61
S7a	5 a 10	0	1,65	13,1	7,03	6,08	0,36	4,39	13,46	15,11	89,08	0,00	12,07
S7b	0 a 5	0	1,95	15,3	7,02	6	0,31	5,32	15,61	17,56	88,90	0,00	17,81
S7b	5 a 10	0	1,95	13,6	7,04	5,88	0,39	5,32	13,99	15,94	87,77	0,00	6,97
S7c	0 a 5	0	1,87	17,4	7,11	6,13	0,46	7,38	17,86	19,73	90,50	0,00	47,98
S7c	5 a 10	0	1,12	16,4	7,3	6,28	0,29	6,12	16,69	17,82	93,69	0,00	6,97
S8	0 a 5	0	1,65	14	7,2	6,24	0,52	6,45	14,52	16,17	89,80	0,00	9,17
S8	5 a 10	0	1,87	13,3	7,07	6	0,37	4,63	13,67	15,55	87,94	0,00	5,38
S8a	0 a 5	0	1,65	14,3	7,07	6,26	0,57	6,62	14,87	16,52	90,01	0,00	10,31
S8a	5 a 10	0	2,1	13,8	7,27	6,01	0,56	4,50	14,36	16,46	87,24	0,00	5,90
S8b	0 a 5	0	2,17	12,4	6,88	5,87	0,37	6,29	12,77	14,95	85,45	0,00	11,48

S8b	5 a 10	0	2,32	11,8	6,55	5,42	0,35	4,50	12,15	14,47	83,93	0,00	6,43
S8c	0 a 5	0	0,82	14,8	7,65	6,82	0,43	6,09	15,23	16,05	94,86	0,00	10,31
S8c	5 a 10	0	0,97	14,6	7,37	6,38	0,56	5,69	15,16	16,14	93,96	0,00	10,89
S9	0 a 5	0	2,85	8,5	6,63	5,52	0,43	4,50	8,93	11,78	75,80	0,00	8,61
S9	5 a 10	0,1	3,75	7,3	6,2	5,02	0,20	3,97	7,50	11,25	66,66	1,32	5,38
S9a	0 a 5	0	2,47	10	6,95	5,97	0,46	5,16	10,46	12,93	80,86	0,00	8,61
S9a	5 a 10	0	3,37	9,4	6,78	5,65	0,51	4,37	9,91	13,28	74,59	0,00	5,90
S9b	0 a 5	0	3,15	8,2	6,52	5,36	0,46	3,64	8,66	11,81	73,33	0,00	6,97
S9b	5 a 10	0	3,07	8,4	6,53	5,38	0,33	5,03	8,73	11,81	73,96	0,00	6,97
S9c	0 a 5	0	3,15	7,4	6,41	5,19	0,56	3,44	7,96	11,11	71,65	0,00	5,90
S9c	5 a 10	0,05	3,6	7,7	6,26	5,08	0,27	3,18	7,97	11,57	68,89	0,62	4,87
N1	0 a 5	0	5,1	10	6,15	5,1	0,45	5,08	10,45	15,55	67,21	0,00	27,22
N1	5 a 10	0,1	4,05	6,1	5,69	4,54	0,33	2,67	6,42	10,47	61,34	1,53	8,054
N2	0 a 5	0	2,02	6,23	7	6	0,36	5,63	11,86	13,89	85,38	0,00	9,73
N2	5 a 10	0	2,25	6,28	6,82	5,68	0,33	3,84	10,12	12,37	81,81	0,00	6,97
N3	0 a 5	0	2,17	6,9	7,04	5,7	0,30	3,19	7,20	9,37	76,79	0,00	10,31
N3	5 a 10	0,05	2,25	4,2	6,42	4,96	0,26	1,86	4,46	6,71	66,45	1,11	6,43
N4	0 a 5	0	3,52	11,3	6,5	5,58	0,41	6,00	11,71	15,24	76,87	0,00	8,61
N4	5 a 10	0,05	3,75	6,6	6,05	4,87	0,33	2,93	6,93	10,68	64,88	0,72	4,87

Anexo 5. Dados originais de Índice de Cobertura Vegetal (ICV).

Amostra	foto	Verde	Solo	Palha	Sombra	Verde Total	Solo Total	Palha Total	ICV
S1	954	32,62	31,79	9,31	26,29	44,25	43,12	12,62	71,56
	955	39,40	28,95	17,93	13,92	45,77	33,63	20,83	
	956	37,35	15,25	19,73	27,67	51,64	21,08	27,28	
	957	36,63	16,00	19,30	28,07	50,92	22,24	26,83	
	958	38,60	14,98	13,53	32,89	57,52	22,33	20,15	
Média		36,92	21,39	15,96	25,77	50,02	28,48	21,54	
S2	960	52,59	8,77	29,25	9,39	58,04	9,68	32,28	88,84
	961	52,48	8,18	29,91	9,43	57,94	9,03	33,02	
	962	55,60	2,90	29,20	12,30	63,40	3,31	33,30	
	963	34,60	24,05	35,88	5,47	36,60	25,44	37,96	
	964	57,58	7,64	26,64	8,14	62,68	8,32	29,00	
Média		50,57	10,31	30,18	8,95	55,73	11,16	33,11	
S3	966	66,52	11,44	6,03	16,01	79,20	13,62	7,18	94,60
	967	77,76	1,55	9,25	11,44	87,80	1,75	10,44	
	968	72,97	0,00	10,11	16,92	87,83	0,00	12,17	
	969	78,36	0,50	11,18	9,96	87,03	0,56	12,42	
	970	59,73	10,08	21,22	8,97	65,62	11,07	23,31	
Média		71,07	4,71	11,56	12,66	81,50	5,40	13,10	
S4	972	43,46	7,96	39,95	8,63	47,56	8,71	43,72	95,87
	973	58,75	3,18	30,01	8,06	63,90	3,46	32,64	
	974	48,02	1,48	41,18	9,32	52,96	1,63	45,41	
	975	54,08	2,49	35,04	8,39	59,03	2,72	38,25	
	Média		51,08	3,78	36,55	8,60	55,86	4,13	
S5	977	53,06	8,75	27,58	10,61	59,36	9,79	30,85	88,66
	978	55,45	5,44	28,71	10,40	61,89	6,07	32,04	
	979	57,76	8,88	22,05	11,31	65,13	10,01	24,86	
	980	56,80	9,63	25,68	7,89	61,67	10,45	27,88	
	981	46,90	19,04	27,61	6,45	50,13	20,35	29,51	
Média		53,99	10,35	26,33	9,33	59,63	11,34	29,03	
S6	983	87,15	0,00	5,63	7,22	93,93	0,00	6,07	97,04
	984	84,07	1,00	7,80	7,13	90,52	1,08	8,40	
	985	73,75	5,04	13,57	7,64	79,85	5,46	14,69	
	986	86,47	0,00	6,29	7,24	93,22	0,00	6,78	
	987	76,93	7,54	6,67	8,86	84,41	8,27	7,32	
Média		81,67	2,72	7,99	7,62	88,39	2,96	8,65	
S7	989	66,79	10,33	16,72	6,16	71,17	11,01	17,82	85,28
	990	66,47	11,16	14,89	7,48	71,84	12,06	16,09	
	991	56,43	15,63	19,33	8,61	61,75	17,10	21,15	
	992	59,43	23,64	11,63	5,30	62,76	24,96	12,28	
	993	69,11	7,84	15,80	7,25	74,51	8,45	17,04	
Média		63,65	13,72	15,67	6,96	68,41	14,72	16,88	
S8	995	57,43	9,53	25,35	7,69	62,21	10,32	27,46	91,73
	996	58,11	10,79	24,90	6,20	61,95	11,50	26,55	
	997	76,87	3,67	12,50	6,96	82,62	3,94	13,44	
	998	56,96	6,52	30,88	5,64	60,36	6,91	32,73	
	999	62,85	8,20	23,51	5,44	66,47	8,67	24,86	
Média		62,44	7,74	23,43	6,39	66,72	8,27	25,01	
S9	1001	79,29	5,53	8,72	6,47	84,77	5,91	9,32	72,41

1002	32,29	32,70	28,03	6,98	34,71	35,15	30,13
1003	30,54	31,84	30,80	6,82	32,78	34,17	33,05
1004	29,78	35,68	29,39	5,15	31,40	37,62	30,99
1005	34,96	23,77	35,88	5,39	36,95	25,12	37,92
Média	41,37	25,90	26,56	6,16	44,12	27,59	28,28

Anexo 6. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para as áreas sob vegetação nativa.

Grupo	x	Natural (N)	Natural (N)	(N-S)N	Y	x(N-S)/Nb	z	$\sum zg$	Δ	Área
ICV	100,00	100	100	0	-1	0	100,00	100		
Físico	33,33	44,58	44,58	0	-1	0	33,33			
Físico	33,33	2,09	2,09	0	-1	0	33,33	100	300	4330,127
Físico	33,33	30,70	30,70	0	-1	0	33,33			
Químico	50,00	4,97	4,97	0	-1	0	50,00	100		
Químico	50,00	13,51	13,51	0	-1	0	50,00			

Anexo 7. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 1.

Grupo	x	Natural (N)	Sítio 1 (S)	(N-S)N	Y	x(N-S)/Nb	z	$\sum zg$	Δ	Área
ICV	100,00	100	71,52	28,48	-1	-28,48	71,52	71,52		
Físico	33,33	44,58	39,23	12,001	-1	-3,999899	29,33			
Físico	33,33	2,09	0,70	66,539	-1	-22,17751	11,15	69,9037	161,404	697,0513
Físico	33,33	30,70	27,10	11,728	-1	-3,908903	29,42			
Químico	50,00	4,97	0,75	84,909	-1	-42,45473	7,55	19,9805		
Químico	50,00	13,51	3,36	75,13	-1	-37,56477	12,44			

Anexo 8. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 2.

Grupo	x	Natural (N)	Sítio 2 (S)	(N-S)N	Y	x(N-S)/Nb	z	$\sum zg$	Δ	Área
ICV	100,00	100	88,84	11,16	-1	-11,16	88,84	88,84		
Físico	33,33	44,58	27,56	38,17856	-1	-12,7249	20,61			
Físico	33,33	2,09	1,14	45,50669	-1	-15,1674	18,16	71,68917	190,7942	982,8051
Físico	33,33	30,70	30,32	1,22572	-1	-0,40853	32,92			
Químico	50,00	4,97	1,18	76,25755	-1	-38,1288	11,87	30,26501		
Químico	50,00	13,51	4,97	63,21244	-1	-31,6062	18,39			

Anexo 9. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 3.

Grupo	x	Natural (N)	Sítio 3 (S)	(N-S)N	Y	x(N-S)/Nb	z	$\sum zg$	Δ	Área
ICV	100,00	100	94,60	5,4	-1	-5,4	94,60	94,6		
Físico	33,33	44,58	28,47	36,13728	-1	-12,0446	21,29			
Físico	33,33	2,09	2,96	-41,4914	-1	13,82908	47,16	103,9393	309,0641	4540,935
Físico	33,33	30,70	32,69	-6,49509	-1	2,164815	35,49			
Químico	50,00	4,97	6,27	-26,1569	-1	13,07847	63,08	110,5248		
Químico	50,00	13,51	12,82	5,107328	-1	-2,55366	47,45			

Anexo 10. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 4.

Grupo	x	Natural (N)	Sítio 4 (S)	(N-S)N	Y	x(N-S)/Nb	z	$\sum zg$	Δ	Área
ICV	100,00	100	95,87	4,13	-1	-4,13	95,87	95,87		
Físico	33,33	44,58	48,68	-9,19695	-1	3,065343	36,40			
Físico	33,33	2,09	2,57	-22,8489	-1	7,615554	40,95	132,543	337,3375	5147,968
Físico	33,33	30,70	50,84	-65,6228	-1	21,87209	55,20			
Químico	50,00	4,97	5,32	-7,04225	-1	3,521127	53,52	108,9245		
Químico	50,00	13,51	14,97	-10,8068	-1	5,403405	55,40			

Anexo 11. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 5.

Grupo	x	Natural (N)	Sítio 5 (S)	(N-S)N	Y	x(N-S)/Nb	z	$\sum zg$	Δ	Área
ICV	100,00	100	88,65	11,35	-1	-11,35	88,65	88,65		
Físico	33,33	44,58	30,16	32,34634	-1	-10,781	22,55			
Físico	33,33	2,09	1,40	33,07839	-1	-11,025	22,30	81,05452	202,8709	1343,311
Físico	33,33	30,70	33,34	-8,61262	-1	2,870585	36,20			
Químico	50,00	4,97	1,45	70,82495	-1	-35,4125	14,59	33,16636		
Químico	50,00	13,51	5,02	62,84234	-1	-31,4212	18,58			

Anexo 12. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 6.

Grupo	x	Natural (N)	Sítio 6 (S)	(N-S)N	Y	x(N-S)/Nb	z	$\sum zg$	Δ	Área
ICV	100,00	100	97,04	2,96	-1	-2,96	97,04	97,04		
Físico	33,33	44,58	31,17	30,08075	-1	-10,0259	23,30			
Físico	33,33	2,09	1,99	4,875717	-1	-1,62508	31,70	86,10633	245,3095	2635,535
Físico	33,33	30,70	28,64	6,698701	-1	-2,23268	31,10			
Químico	50,00	4,97	3,03	39,03421	-1	-19,5171	30,48	62,16313		
Químico	50,00	13,51	8,56	36,63953	-1	-18,3198	31,68			

Anexo 13. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 7.

Grupo	x	Natural (N)	Sítio 7 (S)	(N-S)N	Y	x(N-S)/Nb	z	$\sum zg$	Δ	Área
ICV	100,00	100	85,28	14,72	-1	-14,72	85,28	85,28		
Físico	33,33	44,58	45,83	-2,80395	-1	0,934556	34,26			
Físico	33,33	2,09	2,30	-9,94264	-1	3,313881	36,64	114,601	328,4066	4788,979
Físico	33,33	30,70	40,24	-31,0909	-1	10,36261	43,69			
Químico	50,00	4,97	6,15	-23,7425	-1	11,87123	61,87	128,5256		
Químico	50,00	13,51	18,01	-33,3087	-1	16,65433	66,65			

Anexo 14. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 8.

Grupo	x	Natural (N)	Sítio 8 (S)	(N-S)N	Y	x(N-S)/Nb	z	$\sum zg$	Δ	Área
ICV	100,00	100	91,73	8,27	-1	-8,27	91,73	91,73		
Físico	33,33	44,58	40,53	9,084791	-1	-3,02796	30,30			
Físico	33,33	2,09	2,07	1,051625	-1	-0,35051	32,98	87,18	301,8132	3992,04
Físico	33,33	30,70	22,01	28,29743	-1	-9,43153	23,90			
Químico	50,00	4,97	6,36	-27,9678	-1	13,9839	63,98	122,9032		
Químico	50,00	13,51	15,92	-17,8386	-1	8,919319	58,92			

Anexo 15. Planilha de cálculo do diagrama comparativo de qualidade do solo para o sítio 9.

Grupo	x	Natural (N)	Sítio 9 (S)	(N-S)N	y	y(N-S)/Nb	z	$\sum zg$	Δ	Área
ICV	100,00	100	72,41	27,59	-1	-27,59	72,41	72,41		
Físico	33,33	44,58	40,23	9,757739	-1	-3,25225	30,08			
Físico	33,33	2,09	2,34	-11,8547	-1	3,951166	37,28	101,5725		
Físico	33,33	30,70	31,51	-2,65098	-1	0,88357	34,21		260,2139	3065,65
Químico	50,00	4,97	4,19	15,69416	-1	-7,84708	42,15	86,23138		
Químico	50,00	13,51	11,91	11,84308	-1	-5,92154	44,08			