



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL

**“INFLUÊNCIA DE FRAGMENTOS FLORESTAIS NATIVOS SOBRE
OS PARÂMETROS QUÍMICOS, FÍSICOS E MICROBIOLÓGICOS DE SOLOS
CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR”.**

LUDMILA DE FREITAS

RIO CLARO

2011



**“INFLUÊNCIA DE FRAGMENTOS FLORESTAIS NATIVOS SOBRE
OS PARÂMETROS QUÍMICOS, FÍSICOS E MICROBIOLÓGICOS DE SOLOS
CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR”.**

LUDMILA DE FREITAS

Exame de dissertação
apresentado ao Instituto de
Biociências do Campus de Rio
Claro, Universidade Estadual
Paulista Júlio de Mesquita
Filho, como parte dos requisitos
para obtenção do título de
Mestre em Ciências Biológicas
- Área: Biologia Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Casagrande

RIO CLARO

2011

631.4 Freitas, Ludmila de
F866i Influência de fragmentos florestais nativos sob os
parâmetros químicos, físicos e microbiológicos de solos
cultivados com cana-de-açúcar / Ludmila de Freitas. - Rio
Claro : [s.n.], 2011
112 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: José Carlos Casagrande

1. Solos (Agricultura) 2. Influência da vegetação nativa
sobre as áreas cultivadas. 3. Matéria orgânica do solo. 4.
Efeito de borda. 5. Mata nativa. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

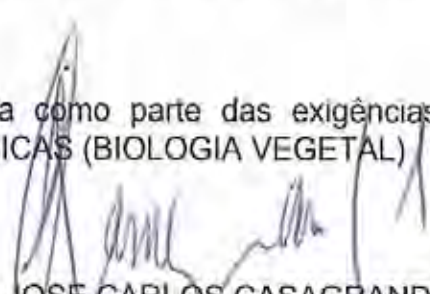
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

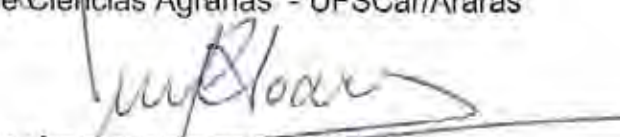
TÍTULO: Influência de fragmentos florestais nativos sobre os parâmetros químicos, físicos e microbiológicos de solos cultivados com cana-de-açúcar.

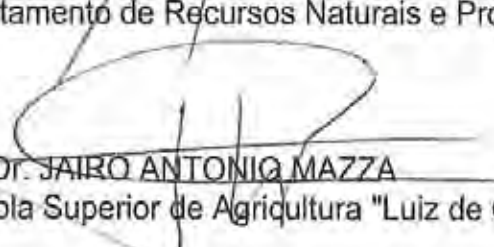
AUTORA: LUDMILA DE FREITAS

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE CARLOS CASAGRANDE

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGIA VEGETAL) pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSE CARLOS CASAGRANDE
Centro de Ciencias Agrárias - UFSCar/Araras


Prof. Dr. MÁRCIO ROBERTO SOARES
Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental / Universidade Federal de São Carlos


Prof. Dr. JAIRO ANTONIO MAZZA
/ Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Usp

Data da realização: 22 de julho de 2011.

DEDICO

Aos **meus pais**, Valtair e Angela, que através da simplicidade e amor de Deus, tiveram a sabedoria para orientar os meus passos por todo o esforço incondicional, dedicação, carinho, amor, paciência e estímulo que me ofereceram, dedico-lhes a conquista de mais um objetivo como gratidão.

A **minha irmã**, Larissa, pela amizade e carinho dedicados durante todo o caminho percorrido em nossas vidas.

Agradecimentos

A Deus, por mais esta conquista e a iluminação durante essa jornada.

Ao Prof. Dr. José Carlos Casagrande, pela orientação, amizade, apoio, e principalmente pela confiança depositada e, sobretudo pelo seu amor naquilo que faz e acredita. Agradeço também a toda paciência dispensada nas revisões de trabalhos, relatórios e dissertação. Muito obrigada!!!

Ao MSc Ivan, pela amizade, colaboração, por estar sempre disposto a me ajudar e por me salvar nas análises estatísticas, sem a sua dedicação esse trabalho não seria terminado.

Ao grupo COSAN - Unidade Bonfin pela concessão das áreas experimentais e suporte de campo.

Aos funcionários do grupo COSAN, em especial, ao Sr. Joaquim, Sr. Wilson e os meninos do viveiro, pela disposição nas coletas de campo e pelas incansáveis e divertidas histórias.

Aos Laboratórios do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental da UFSCar, Campus de Araras pelas análises físicas, químicas e microbiológicas de solo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por fomentar esse trabalho por meio da bolsa de mestrado.

Aos professores da Pós de Biologia Vegetal da UNESP – Campus de Rio Claro, pela contribuição à minha formação profissional, em especial aos professores Reinaldo Monteiro e Marcos Antônio de Assis pelo auxílio no projeto de pesquisa;

As meninas da Seção de Pós, em especial a Rose, por sempre estar disposta a esclarecer minhas dúvidas;

Aos amigos que fiz durante a minha estada em Rio Claro, em especial a Cibele e Viviane, pela amizade, pelos momentos de descontração e companhia durante todo o período do curso;

As minhas eternas amigas que tive a oportunidade de conhecer e conviver durante os anos de faculdade e que perduram até os dias de hoje, Monica, Nádia e Veronica, que embora distantes, sempre presentes, dando apoio, companheirismo, pelo incentivo durante todo o decorrer do curso e paciência, fundamentais nas horas difíceis principalmente em compreenderem a minha ausência. Obrigado por fazerem parte da minha vida. Amo vocês!!

Aos meus pais Valtair e Angela, pela vida, amor, carinho, educação, formação moral e religiosa, pelo apoio, incentivo e dedicação em todos os momentos da minha vida.

A minha irmã Larissa, pelo convívio, amizade e força nos momentos mais difíceis.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para o sucesso desse trabalho, e que embora não estejam citados, nunca serão esquecidos.

**"O solo não é uma herança que recebemos de nossos pais,
mas sim um patrimônio que tomamos emprestado de nossos filhos"**

Lester Brown

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Ilustração do sistema radicular da cana-de-açúcar (adaptado de Miller e Lentini, 2002). ...	16
Figura 4.1. Localização das coletas do local da Área 1, mata nativa (MN) e cana-de-açúcar (CANA). Fonte: Google Earth, 2011.	33
Figura 4.2. Representação das condições estudadas na Área 1. A) Área de mata e cana adjacentes. B) Área de amostragem: entrelinha da cana-de-açúcar. C) Área de mata.	34
Figura 4.3. Localização das coletas na da Área 2, mata nativa (MN) e cana-de-açúcar (CANA). Fonte: Google Earth, 2011.	35
Figura 4.4. Representação das condições estudadas na Área 2. A) Vista geral da área estudada. B) Área de mata e cana-de-açúcar adjacentes.	35
Figura 4.5. Localização das coletas na da Área 3, mata nativa (MN) e cana (CANA). Fonte: Google Earth, 2011.	36
Figura 4.6. Representação das condições estudadas na Área 3. A) Área de cana estudada. B) Área de mata.	37
Figura 4.7. Localização das coletas na da Área 4, mata nativa (MN) e cana (CANA). Fonte: Google Earth, 2011.	37
Figura 4.8. Representação das condições estudadas na Área 4. A) Área de mata e cana adjacentes. B) Área de mata.	38
Figura 4.9. Modelo para amostragem para análises químicas, físicas e microbiológicas do solo.	39
Figura 4.10. Coleta para análise física	40
Figura 4.11. Coleta de amostras para análises químicas: A) material coletado nas duas profundidades; B) amostra acondicionada em sacos plásticos devidamente identificados para as análises de solo.	41
Figura 5.1. Comparação das distâncias dos pontos amostrados nos dois ambientes, conforme resultado das Distâncias generalizadas de Mahalanobis (Área 1).	67
Figura 5.2. Comparação das distâncias dos pontos amostrados nos dois ambientes, conforme resultado das Distâncias generalizadas de Mahalanobis (Área 2).	69
Figura 5.3. Mata nativa com intensa degradação demonstrando o efeito de borda.	69
Figura 5.4. Comparação das distâncias dos pontos amostrados nos dois ambientes, conforme resultado das Distâncias generalizadas de Mahalanobis (Área 3).	71
Figura 5.5. Comparação das distâncias dos pontos amostrados nos dois ambientes, conforme resultado das Distâncias generalizadas de Mahalanobis (Área 4).	72
Figura 5.6. Mata nativa com intensa degradação demonstrando o efeito de borda.	73
Figura 5.7. Análise dos componentes principais 1 e 2 das médias das variáveis comparando a área de cana-de-açúcar com mata (Área 1).	76
Figura 5.8. Análise dos componentes principais 1 e 2 das médias das variáveis comparando a área de cana-de-açúcar com mata (Área 2).	79
Figura 5.9. Análise dos componentes principais 1 e 2 das médias das variáveis comparando a área de cana-de-açúcar com mata (Área 3).	82
Figura 5.10. Análise dos componentes principais 1 e 2 das médias das variáveis comparando a área de cana-de-açúcar com mata (Área 4).	85
Figura 5.11. Distribuição da população de fungos e bactérias (UFC), na profundidade de 0-10 cm nas áreas estudadas.	88
Figura 5.12. Agrupamento das áreas pela Análise Discriminante Canônica 1 e 2 das variáveis químicas e físicas.	90
Figura 5.13. Distâncias generalizadas de Mahalanobis com os valores de p para comparação entre as áreas estudadas.	92
Figura 5.14. Distâncias generalizadas de Mahalanobis com os valores de p para comparação de todas as áreas em uma só linha.	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Metodologia para as análises físicas do solo dos parâmetros estudados.	41
Tabela 4.2. Metodologia para as análises químicas do solo dos parâmetros estudados.	42
Tabela 5.1. Valores da estatística descritiva das variáveis químicas e físicas dos solos das áreas de mata (P0) e cultivada com cana-de-açúcar (P1 a P11), encontrados na Área 1.	47
Tabela 5.2. Atributos químicos e físicos sob os usos com mata e cana-de-açúcar nas profundidades de solo 0 a 10 cm e 10 a 20 cm com seus respectivos valores de p para cada variável analisada (Área 1)...	49
Tabela 5.3. Valores médios das variáveis químicas e físicas sob os usos com mata e cana-de-açúcar, encontrados na Área 1.	51
Tabela 5.4. Valores da estatística descritiva das variáveis químicas e físicas dos solos das áreas de mata (P0) e cultivada com cana-de-açúcar (P1 a P11), encontrados na Área 2.	54
Tabela 5.5. Atributos químicos e físicos sob os usos com mata e cana-de-açúcar nas profundidades de solo 0 a 10 cm e 10 a 20 cm com seus respectivos valores de p para cada variável analisada (Área 2)...	56
Tabela 5.6. Valores médios das variáveis químicas e físicas sob os usos com mata e cana-de-açúcar, encontrados na Área 2.	57
Tabela 5.7. Valores da estatística descritiva das variáveis químicas e físicas do solo da área cultivada com cana-de-açúcar (P1 a P11) e da mata (P0) encontrados na Área 3.	59
Tabela 5.8. Atributos químicos e físicos dos solos sob mata e cultivado com cana-de-açúcar nas profundidades de solo 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, com seus respectivos valores de p para cada variável analisada (Área 3).	60
Tabela 5.9. Valores médios das variáveis químicas e físicas do solo sob e mata e cultivado com cana-de-açúcar, encontrados na Área 3.	61
Tabela 5.10. Valores da estatística descritiva das variáveis químicas e físicas do solo da área cultivada com cana-de-açúcar (P1 a P11) e da mata (P0) encontrados na Área 4.	62
Tabela 5.11. Atributos químicos e físicos sob os usos com mata e cana-de-açúcar nas profundidades de solo 0 a 10 cm e 10 a 20 cm com seus respectivos valores de p para cada variável analisada (Área 4)...	63
Tabela 5.12. Valores médios das variáveis químicas e físicas sob os usos com mata e cana-de-açúcar, encontrados na Área 4.	64
Tabela 5.13. Distâncias generalizadas de Mahalanobis e respectivos valores de p para comparação entre os pontos amostrados, encontrados na Área 1.	66
Tabela 5.14. Distâncias generalizadas de Mahalanobis e respectivos valores de p para comparação entre os pontos amostrados, encontrados na Área 2.	68
Tabela 5.15. Distâncias generalizadas de Mahalanobis e respectivos valores de p para comparação entre os pontos amostrados encontrados na Área 3.	70
Tabela 5.16. Distâncias generalizadas de Mahalanobis e respectivos valores de p para comparação entre os pontos amostrados, encontrados na Área 4.	72
Tabela 5.17. Autovalores e % da variância pela Análise dos Componentes Principais para as análises físicas e químicas do solo da Área 1.	74
Tabela 5.18. Correlação entre variáveis originais e componentes principais dos atributos químicos e físicos do solo da Área 1 evidenciando o peso de cada variável.	75

Tabela 5.19. Autovalores e % da variância pela Análise dos Componentes Principais para as análises físicas e químicas do solo da Área 2.	77
Tabela 5.20. Vetores resultantes das Análises de Componentes Principais (PCA) do solo da Área 2, evidenciando o peso de cada variável das componentes.	78
Tabela 5.21. Autovalores e % da variância pela Análise dos Componentes Principais para as análises físicas e químicas do solo da Área 3.	80
Tabela 5.22. Valores resultantes das Análises de Componentes Principais (PCA) do solo da Área 3, evidenciando o peso de cada variável das componentes.	81
Tabela 5.23. Autovalores e % da variância pela Análise dos Componentes Principais para as análises físicas e químicas do solo da Área 4.	83
Tabela 5.24. Valores resultantes das Análises de Componentes Principais (PCA) do solo da Área 4, evidenciando o peso de cada variável das componentes.	84
Tabela 5.25. Resultado da Anova para os fungos e bactérias presentes no solo e respectivos valores de F e p para comparação entre áreas, distâncias entre os pontos e ambiente (mata e cana).	86
Tabela 5.26. Autovalores e % da variância pela análise de discriminante canônica para as análises físicas e químicas do solo.	89
Tabela 5.27. Valores resultantes da análise discriminante canônica, evidenciando o peso de cada variável.	91
Tabela 5.28. Distâncias generalizadas de Mahalanobis e respectivos valores de p para comparação entre os pontos amostrados.	92
Tabela 5.29. Resultado da Anova contrastando as áreas estudadas com todas as variáveis em conjunto.	94
Tabela 5.30. Resultado da ANOVA das áreas estudadas para cada variável estudada.	95

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. Objetivo Geral	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA	15
3.1. A cultura de cana-de-açúcar.....	15
3.1.1. Produção brasileira	15
3.1.2. Sistema radicular da cana-de-açúcar	16
3.1.3. Fatores que influenciam o desenvolvimento do sistema radicular	18
3.2. Relação Solo-Vegetação	18
3.3. Áreas fragmentadas	21
3.4. Atributos Químicos do solo	24
3.5. Atributos Físicos do solo.....	26
3.5.1. Densidade do solo (Ds).....	28
3.5.2. Densidade de partículas (Dp)	29
3.5.3. Porosidade do solo (Pt), macro e microporosidade	29
3.6. Atributos Microbiológicos do solo	30
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	33
4.1. Áreas de estudo.....	33
4.2. Coleta de amostras.....	38
4.3. Análise física do solo	39
4.4. Análise química do solo.....	41
4.5. Análises microbiológicas	42
4.6. Forma de Análise dos Resultados	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1. Comparação da média dos pontos amostrados na mata e na área cultivada com cana-de-açúcar e relação entre as profundidades para cada área estudada	46
5.1.1. Área 1 - Campus CCA.....	46
5.1.2. Área 2 - Fazenda Santa Maria do Turvo	53
5.1.3. Área 3 - Fazenda Terra Nova	58
5.1.4. Área 4 - Fazenda Santa Elisa	61
5.2. Distâncias generalizadas de Mahalanobis para comparação entre os pontos das áreas da mata e da cana para as áreas estudadas	65
5.2.1. Área 1 – Campus CCA	65
5.2.2. Área 2 - Fazenda Santa Maria do Turvo	67
5.2.3. Área 3 – Fazenda Terra Nova.....	70
5.2.4. Área 4 - Fazenda Santa Elisa	71
5.3. Análise de Componentes Principais (PCA) dos ambientes estudados	74
5.3.1. Área 1 – Campus CCA	74
5.3.2. Área 2 - Fazenda Santa Maria do Turvo	77
5.3.3. Área 3 – Fazenda Terra Nova	80
5.3.4. Área 4 - Fazenda Santa Elisa.....	83
5.4. Análises dos dados microbiológicos	85
5.5. Análises conjuntas das áreas estudadas	88
6. CONCLUSÕES	97
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
B	Boro
Ca	Cálcio
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
Cu	Cobre
Fe	Ferro
H+Al	Acidez potencial
K	Potássio
m%	Saturação por alumínio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
M.O	Matéria orgânica do solo
P	Fósforo
S	Enxofre
SB	Soma de bases
V	Saturação por Base
Zn	Zinco
Ds	Densidade do solo
Dp	Densidade de partículas
Pt	Porosidade Total
COT	Carbono Orgânico Total

“INFLUÊNCIA DE FRAGMENTOS FLORESTAIS NATIVOS SOBRE OS PARÂMETROS QUÍMICOS, FÍSICOS E MICROBIOLÓGICOS DE SOLOS CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR”.

RESUMO

No Brasil, o cultivo da cana-de-açúcar destaca-se como uma das mais antigas atividades agroeconômicas, sendo as produções de açúcar e álcool as principais finalidades de sua exploração. Atualmente, é considerada a cultura com maior percentual de crescimento de área cultivada e com perspectivas de maior crescimento nas próximas safras devido à demanda mundial por combustíveis ambientalmente corretos. As vantagens da presença de floresta em áreas agrícolas são raramente discutidas, como, por exemplo, qual é o potencial que a floresta possui de fertilizar o solo ao seu redor. O presente estudo teve por objetivo caracterizar parâmetros físicos, químicos e microbiológicos com a finalidade de explicar a influência de fragmentos florestais nativos sobre a produção e qualidade da cana-de-açúcar cultivada próximo aos fragmentos e, também, comprovar a utilidade da conservação desses fragmentos. O estudo foi realizado em um fragmento no Centro de Ciências Agrárias – Campus de Araras da UFSCar, Estado de São Paulo, e os outros três fragmentos foram realizados na Usina Cosan - Unidade Bonfim, localizada na região Nordeste do Estado de São Paulo, no município de Jaboticabal. Amostras de solo foram coletadas nas profundidades 0-10 e 10 a 20 cm, para análises químicas e físicas, e na profundidade de 0 a 10 cm para as análises microbiológicas, em intervalos de 5m, até a distância de 50m da borda florestal em direção à área agrícola e até 15 m para o interior da mata. Os resultados mostraram que há uma clara distinção entre o ambiente de vegetação nativa e o solo cultivado com cana-de-açúcar nas quatro áreas estudadas, quanto as propriedades químicas e físicas. Os solos com maiores teores de argila tendem a ter, nos primeiros 35 metros da borda para o interior do canavial, melhor qualidade, com toda a probabilidade de ser resultado do efeito da presença da mata sobre os parâmetros químicos e físicos dos solos estudados, fato este não observado em solos com texturas mais arenosas. As análises microbiológicas, por outro lado, não mostraram este gradiente. Assim, salienta-se a importância da presença de fragmentos florestais em áreas agrícolas, principalmente em solos com maiores teores de argila.

Palavras-chave: Fragmentos florestais, matéria orgânica do solo, efeito de borda, cana-de-açúcar, mata nativa.

“INFLUENCE OF NATIVE FOREST FRAGMENTS IN THE CHEMICAL, PHYSICAL AND MICROBIOLOGICAL SOIL PARAMETERS CULTIVATED WITH SUGAR CANE”.

ABSTRACT

In Brazil, the cultivation of sugar cane stands out as one of the oldest agrieconomics activities, and the production of sugar and alcohol are the main aims of its operation. Today, this kind of culture is regarded with the greatest growth percentage in cultivated area and has prospects for further growth in the coming seasons due to global demand for environmentally friendly fuels. The advantages of the presence of forest to agricultural land are rarely discussed, for example, what is the potential of the forest to fertilize the soil around them. This study aimed to characterize physical, chemical and microbiological tests in order to explain the influence of native forest fragments on production and quality of sugar cane grown near the fragments and also prove the usefulness of conservation of these fragments. The study was performed on a fragment in the Agricultural Science Center - UFSCar Campus Araras, São Paulo, and the other three fragments were held in Cosan Plant – Bonfim Unit, located in the northeastern of São Paulo State, in the city of Jaboticabal. Samples were collected with deepness of 0-10 and 10-20 cm for chemical, physical and and in the 0 to 10 cm for microbiological analysis at intervals of 5m to 50m away from the forest edge towards the agricultural area and up to 15 meters into the forest. The results showed a clear distinction between the environment of native vegetation and the sugar cane cultivated soil in the four studied areas in the chemical and physical properties, and that soils with higher clay content tend to have the first 35 meters from the edge into the cane field better soil quality, with almost sure that this result is because of the effect of the presence of forest on the chemical and physical soil parameters, which is not observed in soils with sandier textures. Microbiological analysis, moreover, did not show this gradient. Thus, we stress the importance of the presence of forest fragments in agricultural areas, especially in soils with higher clay

Keywords: Forest fragments, soil organic matter, edge effects, cane sugar, native forest.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o meio rural é dominado pelas grandes áreas intensamente cultivadas com monoculturas, solos descobertos sofrendo intenso processo erosivo, zonas ripárias sem vegetação e pequenos fragmentos florestais isolados e perturbados pelas atividades humanas. Esse modelo mostra-se hoje insustentável, com consequências ambientais graves e irreversíveis.

As vantagens da presença de floresta em áreas agrícolas são raramente discutidas, como, por exemplo, qual é o potencial que a floresta possui de fertilizar (inclui interações físicas, químicas e biológicas) o solo ao seu redor e, assim, funcionar dentro dos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e dos animais. Fisher (1995), enumera cinco maneiras pelas quais as árvores devem melhorar ou recuperar a qualidade de um solo: (1) Algumas espécies podem incrementar o teor de N no solo por meio da fixação de N_2 atmosférico com associações simbióticas com bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* ou actinomicetos de gênero *Frankia*; (2) O extenso sistema radicular permite que as árvores não só acumulem nutrientes que são retirados de grandes volumes do solo, mas também efetuem a sua redistribuição melhorando a fertilidade dos horizontes superficiais; (3) Permitem melhor condicionamento de solo pelo incremento de matéria orgânica; (4) Podem favorecer a melhoria das condições microclimáticas do solo e da superfície; (5) Devido a seu efeito rizosfera, criam condições favoráveis ao desenvolvimento da meso e microfauna e microflora, melhorando características físicas, químicas e biológicas na região do entorno de raízes, resultando em profundo efeito benéfico sobre o crescimento de plantas e de características do solo.

Neste contexto, as florestas proporcionam grandes benefícios ao solo, uma vez que reduzem a compactação e a erosão, aumentam a quantidade de M.O e conseqüentemente a CTC impedindo que os nutrientes sejam lixiviados, diminuem a densidade do solo, aumentam a porosidade, e assim, mantêm a capacidade de sustentar o ambiente.

Áreas ocupadas com vegetação nativa estão cada vez mais fragmentadas devido à ocupação agrícola e ação antrópica, sendo que o uso do solo na agricultura após a retirada da vegetação natural tem freqüentemente mostrado alterações em suas propriedades químicas, físicas e biológicas, as quais são dependentes das condições do

solo, do clima, do tipo de cultura e das práticas culturais adotadas (MARCHIORI JUNIOR; MELO, 2000).

Há, portanto, a possibilidade de viabilizar o plantio de espécies florestais em aléias, por exemplo, junto ao cultivo de cana, sendo importante ressaltar que, como o Estado de São Paulo tem cerca de 4,4 milhões de ha de cana-de-açúcar, grande quantidade de árvores que poderia ser plantada nesse sistema, com impacto positivo no balanço de CO₂, na paisagem e conseqüentemente na biodiversidade. Especialistas afirmam que a maneira mais eficiente de se diminuir o efeito estufa ainda é através do plantio de árvores, visto que seqüestram o carbono em sua biomassa. Além disso, há várias vantagens de se aliar o plantio de culturas com árvores, entre os quais se destacam o efeito das condições climáticas, condições do solo (aumento da matéria orgânica e conseqüentemente CTC) e componentes biológicos do solo.

A magnitude do efeito positivo dos fragmentos florestais sobre os solos cultivados com cana-de-açúcar foi verificada pela comparação dos pontos de amostragens mais próximos e mais distantes dos respectivos fragmentos. Para isso, foi elaborado um gradiente para cada parâmetro estudado a cada 5m, até uma distância de 50m do fragmento florestal. O solo do fragmento florestal foi a referência dos parâmetros mais adequados.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este trabalho teve como principais objetivos caracterizar os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do solo, comprovar a utilidade da conservação das florestas nativas junto ao cultivo de cana de açúcar e indicar a utilidade do plantio de florestas em áreas de cana.

2.2. Objetivos específicos

a- Avaliar a influência do fragmento florestal sobre os parâmetros químicos, físicos e microbiológicos dos solos cultivados com cana-de-açúcar, de 5 em 5 m, até 50 m distante da mata;

b- Avaliar os parâmetros químicos, físicos e microbiológicos dos solos dos fragmentos florestais, de 5 em 5m, até 10m no interior da mata;

c- Em função do efeito do fragmento florestal sobre o solo, indicar a utilidade do plantio de florestas em áreas de cana-de-açúcar;

d- Comparar os efeitos para solos com diferentes texturas.

O presente estudo está fundamentado na hipótese:

“Florestas nativas em fragmentos próximos a cana-de-açúcar provocam melhorias nos parâmetros químicos, físicos e microbiológicos do solo, indicando a utilidade do plantio de florestas em áreas de cana.”

3. REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA

3.1. A cultura de cana-de-açúcar

3.1.1. Produção brasileira

No Brasil, o cultivo da cana-de-açúcar destaca-se como uma das mais antigas atividades agroeconômicas, sendo as produções de açúcar e álcool as principais finalidades de sua exploração. Atualmente, é considerada a cultura com maior percentual de crescimento de área cultivada e com perspectivas de maior crescimento nas próximas safras (IBGE, 2010) devido à demanda mundial por combustíveis ambientalmente corretos.

O agroecossistema da cana-de-açúcar tem sido foco de pesquisas, por possuir relativa expressão econômica e ocupação fundiária, gerando grande impacto pelos subprodutos oriundos da produção de açúcar e álcool. Na região centro-sul a área de cana disponível para colheita na safra 2008/09 foi estimada em 6,53 milhões ha, representando um aumento de 15,7% em relação à safra anterior. São Paulo é o maior produtor de cana com uma área de 4,45 milhões ha disponíveis para colheita, representando mais que 50% de toda área de cana do Brasil, e apresentou um crescimento 12,2% de área em relação à safra passada, atingindo 31,05 milhões de toneladas de açúcar e 27,5 bilhões de litros de álcool. Este montante movimentou mais de 50 bilhões de reais por ano, com faturamentos diretos e indiretos, o que corresponde a mais de 1,5% do PIB brasileiro (ÚNICA, 2011).

Do ponto de vista econômico, energético e ambiental a cana-de-açúcar é a melhor alternativa para a produção de etanol no Brasil (ANDREOLI; SOUZA, 2006), e, segundo Magalhães (2005), com estimativa de duplicação da área plantada até o ano de 2030.

Porém, apesar da relevância da produção de biocombustíveis, muitas críticas são feitas ao cultivo convencional da cultura da cana-de-açúcar. Uma das principais é que ela monotoniza a paisagem devido principalmente a extensão da área plantada afetando diretamente a biodiversidade dos ecossistemas. Isto é consequência do sistema de plantio, baseado na monocultura, fato que por si só traz inúmeras dúvidas sobre a sua sustentabilidade. Do ponto de vista ecológico, a concepção de agricultura sustentável, segundo Rheinheimer, Gonçalves e Pellegrini (2003), deve buscar a convivência de práticas agrícolas e de preservação ambiental da paisagem e especialmente da

biodiversidade e dos mananciais de água, diminuindo dessa forma os impactos negativos no ecossistema natural.

3.1.2. Sistema radicular da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta alógama, pertencente à família Graminae, destacando-se as espécies *Saccharum officinarum* e *Saccharum robustum*. Trata-se de uma gramínea semi-perene, de grande porte, formadora de rizomas e touceiras, cujas formas cultivadas produzem colmos de alguns metros de altura. É uma cultura que proporciona de cinco a seis cortes a cada plantio, sendo a primeira colheita proveniente do plantio a partir das mudas, denominada cana-planta, e as demais colheitas feitas a partir da rebrota da cana-planta, que passa a ser denominada de cana-soca.

As raízes da cana-de-açúcar são classificadas como raízes do tolete (ou de fixação) e raízes do perfilho. De acordo com Dillewijn (1952) citado por Costa (2005) as raízes do tolete são originadas a partir de primórdios radiculares do tolete de plantio, são delgadas e ramificadas. Já as raízes do perfilho são originadas a partir de primórdios radiculares do perfilho, sendo mais espessas, com coloração clara e menos ramificadas (Figura 3.1).

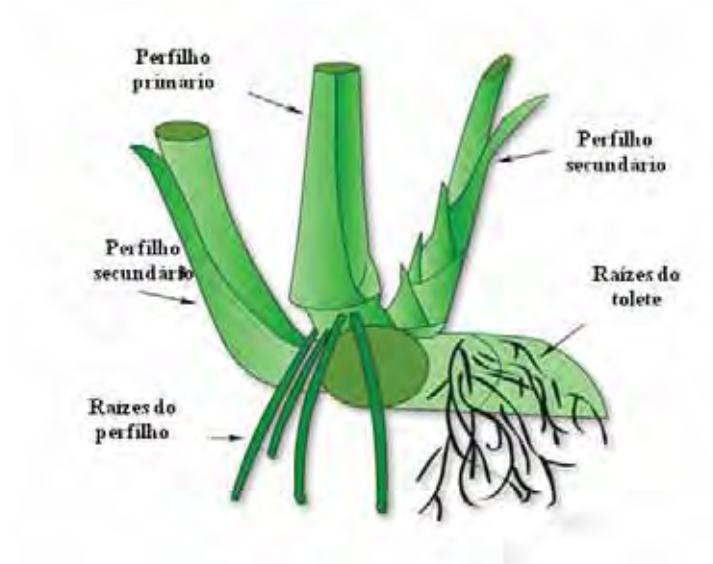


Figura. 3.1. Ilustração do sistema radicular da cana-de-açúcar (adaptado de Miller e Lentini, 2002).

Durante os primeiros 30 dias de brotação das gemas a planta vive das reservas de nutrientes contidas no tolete e, parcialmente, do suprimento de água e nutrientes proporcionadas por essas raízes de fixação (BACCHI, 1983). Após esse período inicia-

se o desenvolvimento dos perfilhos primários, posteriormente dos secundários e assim sucessivamente. Na medida em que novas raízes vão se desenvolvendo, as de fixação vão perdendo sua função e a cana-planta passa a depender exclusivamente das raízes do perfilho (ROCHECOUSTE, 1967). Estas também apresentam funcionalidade por tempo limitado. Entretanto, como cada novo perfilho forma raízes, o sistema radicular esta em contínua renovação, (DILLEWIJN, 1952, citado por COSTA, 2005).

Após o corte da cana-planta, o sistema radicular antigo mantém-se ainda em atividade por algum tempo, período em que é substituído pelas raízes dos novos perfilhos da soqueira, sendo esse processo lento e gradual. Devido os perfilhos da soqueira brotarem mais próximo da superfície do que os da cana-planta, as raízes da soqueira são mais superficiais do que as da cana-planta. Assim, quanto maior o número de cortes, mais superficial torna-se o sistema radicular das soqueiras (BACCHI, 1983) e, conseqüentemente, menos água e nutrientes a planta irá absorver.

Diversos trabalhos abordaram a distribuição radicular da cana-de-açúcar no perfil do solo. Em seu estudo nas Ilhas Havaianas, Lee (1926), verificou que a maioria das raízes na cultura encontrava-se nos 20 cm superficiais do solo (65%), e que 85% encontravam-se até 60 cm de profundidade, sendo que a aeração do solo constitui o principal fator para que as raízes da cana-de-açúcar tivessem boa superfície de absorção.

Estudando o sistema radicular da cana-de-açúcar em Cuba, Jensen (1951), verificou que todas as raízes emitem em grande quantidade na superfície do solo. Em todos os casos estudados, mais de 50% das raízes da planta madura foram encontradas nos 20 cm superficiais do solo.

Sampaio e Salcedo (1987) identificaram para as condições do nordeste brasileiro, que 75% da massa radicular da cana-de-açúcar estava localizada nos primeiros 20 cm superficiais e 50% estavam distantes a menos de 30 cm do centro da touceira. De forma geral, segundo Alvarez, Castro e Nogueira (2000), na cana crua há maior acúmulo de raízes em superfície, e na cana queimada em profundidade, devido à maior umidade em solo coberto com palha, que não estimula o sistema radicular até camadas mais profundas, devido a necessidade da planta em se readaptar à procura de umidade em camadas mais profundas.

O sistema radicular é essencial para a rebrota das soqueiras após a colheita, já que ele cumpre o papel de reserva orgânica de energia e nutricional (TRIVELIN et al., 1988; CAMARGO, 1989; MALAVOLTA, 1994; TRIVELIN et al., 2002). Ao mesmo tempo em que ocorre a brotação das socas, um novo sistema radicular é formado e

algumas raízes vivas seriam importantes para alimentar os rebentos na fase inicial de desenvolvimento (CASAGRANDE, 1991).

3.1.3. Fatores que influenciam o desenvolvimento do sistema radicular

O desenvolvimento do sistema radicular tem influência direta sobre algumas características da planta, tais como: resistência à seca, eficiência na absorção dos nutrientes do solo, tolerância ao ataque de pragas do solo, capacidade de germinação e/ou brotação, porte (ereto ou decumbente), tolerância à movimentação de máquinas, aeração do solo, presença de elementos químicos tóxicos, além do sistema e do manejo da cultura. De tais fatores depende a produtividade final.

Alguns autores (BALL-COELHO; SAMPAIO; TIESSEN, 1992), estudando a ciclagem radicular após desfolha em diversas espécies revelaram que a extensão da morte e crescimento de raízes varia com a espécie vegetal. Se se aplicar esta teoria às variedades de cana-de-açúcar, tem-se a explicação para as diferenças encontradas na literatura quanto à ciclagem de raízes após a colheita.

Vasconcelos et al. (2003) verificaram que o sistema radicular da cana-de-açúcar é extremamente dependente e específico para cada variedade, principalmente quanto a quantidade e a distribuição de raízes no perfil do solo. Segundo o mesmo autor, algumas variedades apresentam redução em seu sistema radicular em condições de déficit hídrico, já outras, sob o mesmo estresse, não apresentam variações.

Deve ser ressaltado, também, que o sistema radicular da cana-de-açúcar varia de acordo com o ciclo e o corte no qual se encontra a cultura. Isso é devido ao elevado tráfego de máquinas e veículos a cada corte, o que causa um aumento na densidade do solo, diminuição da aeração e maior força de resistência à penetração das raízes, acarretando em uma menor absorção de água e nutrientes para as plantas, prejudicando o seu desenvolvimento.

3.2. Relação Solo-Vegetação

O conhecimento de como o solo interfere na vegetação nativa e vice-versa, é fundamental para a definição e caracterização de mecanismos que influenciam o desenvolvimento e distribuição das espécies dentro de uma floresta, assim como, a determinação da sua resiliência e sustentabilidade.

Segundo Cooper (2009), vários trabalhos realizados em diferentes florestas no mundo têm mostrado que existe uma estreita relação entre as características edáficas do

local, a riqueza, distribuição e variedade de espécies de uma floresta. É importante adicionar aos estudos das relações solo-vegetação, o estudo do funcionamento ou comportamento do solo para se ter um panorama bem mais amplo de como a dinâmica natural do solo interfere na vegetação e como ele interfere na plantação de uma cultura. Deve-se lembrar que o solo não é um corpo estático e sim dinâmico e que este influência muitos ciclos da natureza. Por isso, a inclusão de estudos sobre o funcionamento do solo visa conhecer como os atributos físicos, químicos e biológicos que caracterizam diferentes solos influenciam a dinâmica da água e de nutrientes, a fertilidade do solo, assim como a capacidade de sustentação de uma floresta, dentre outros.

Vieira (1988) ressaltou a importância da penetração do sistema radicular das plantas na litosfera, que provoca transformações mecânicas das rochas e minerais, devido à deposição de materiais em suspensão (por excretarem certas substâncias, como o CO₂), além de absorverem substâncias minerais e as translocarem para o caule e as folhas. Com a morte da planta os processos de humificação e mineralização libertam os ácidos orgânicos e inorgânicos que irão se combinar com as substâncias minerais. Na movimentação destas substâncias no perfil, alguns elementos são fixados pelo complexo do solo e outros são lixiviados para o lençol freático. Assim, pode ser verificado que como a vegetação de um local interfere na formação dos solos, eles também influenciam a formação e diferenciação da vegetação (CARVALHO, 2008), sendo a topografia um dos mais importantes, pois condiciona diferenças no regime hídrico (REICHARDT; TIMM, 2004).

Rodrigues et al. (2007) estudaram as correlações entre as variações da estrutura da comunidade arbórea e as variáveis ambientais relacionadas ao conjunto de variáveis topográficas e pedológicas em uma floresta estacional semidecidual em Luminárias, MG, verificando que as espécies *Lithraea molleoides*, *Guazuma ulmifolia*, *Chrysophyllum marginatum*, *Machaerium hirtum*, *Rollinia dolabripetala* e *Albizia polycephala* se encontravam em um grupo relacionado às parcelas sobre Argissolo Vermelho, com média fertilidade, indicando uma correlação positiva com soma de bases e pH. Algumas dessas espécies têm sido consideradas como indicadoras de solos férteis ou ocorrem preferencialmente em solo com fertilidade média a alta. No lado oposto dos diagramas, estão as espécies *Clethra scabra*, *Faramea cyanea*, *Sclerolobium rugosum* e *Tapirira obtusa*, relacionadas às parcelas sobre Cambissolo Háplico, indicando alta correlação com drenagem, areia e Al. A maior ou menor correlação com

as variáveis, em geral, refletiu-se na distribuição das espécies em função da fertilidade e textura do solo ao longo de um gradiente topográfico. A topografia está frequentemente relacionada às variações físicas e químicas do solo que, muitas vezes, são refletidas pela vegetação.

Em trabalho realizado por Carvalho et al. (2005), com o mesmo objetivo de estudar correlações entre vegetação e solo em matas ciliares, verificaram que os Neossolos Litólicos apresentaram maior densidade de indivíduos baixos e finos; os Cambissolos, maior densidade dos de porte e diâmetro intermediários, enquanto os Neossolos Flúvicos mostraram maior densidade de árvores mais altas e mais grossas. O trabalho mostrou também preferência de certas espécies, como *Trichilia elegans*, *Zollernia ilicifolia*, *Talisia esculenta*, *Erythroxylum cuneifolium*, *Bauhinia forficata* e *Sweetia fruticosa*, tenderem a ser mais abundantes nas áreas adjacentes ao rio com drenagem mais deficiente e com predominância de Neossolos Flúvicos, relativamente mais férteis. No outro extremo do gradiente, correspondente aos sítios com drenagem mais forte, distantes da margem do rio e com predominância dos Neossolos Litólicos, de menor fertilidade, concentraram-se espécies como *Callisthene major*, *Sebastiania brasiliensis*, *Magonia pubescens*, *Callisthene fasciculata*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Terminalia phaeocarpa* e *Pseudobombax tomentosum*. Em condições intermediárias do gradiente, ou indiferentes ao mesmo, foram relacionadas espécies como *Aspidosperma cuspa*, *Casearia sylvestris*, *C. rupestris*, *Copaifera langsdorffii*, *Myracrodruon urundeuva* e *Tabebuia roseo-alba*. Apesar das variações significativas na fertilidade química dos solos com o relevo, é bem possível que seja o regime de água o principal fator ambiental associado à distribuição das espécies arbóreo-arbustivas na área.

Conclui-se que um dos principais fatores que atuam na composição e estrutura dos ecossistemas é a heterogeneidade ambiental. Essa heterogeneidade é o resultado da diversidade de fatores que interagem nas comunidades, e a resposta das espécies a esses fatores faz com que cada local tenha características próprias e características que são comuns a outros locais, possibilitando observar tendências (RODRIGUES et al., 2007). Tendências essas que podem esclarecer algumas perguntas e ao mesmo tempo gerar diversas dúvidas, possibilitando novas pesquisas.

3.3. Áreas fragmentadas

Florestas nativas vêm sendo gradativamente transformadas em mosaicos de uso da terra de domínio humano como pequenos fragmentos florestais inseridos em uma matriz agrícola ou pastagem (HOUGHTON, 1994).

Quando uma floresta é fragmentada, forma-se uma margem entre o interior da floresta e a matriz ao seu redor, delineando uma transição repentina entre floresta e pastagens, lavouras, estradas e cidades; é o chamado efeito de borda, o conjunto de características associadas à junção destes habitats (MURCIA, 1995). Espécies florestais adaptadas à floresta contínua são obrigadas a adaptar-se não só à estrutura da floresta como também aos fatores físicos e químicos da mesma, muitas vezes sofrendo extinção (FEARNSIDE, 1999), enquanto outras espécies mais generalistas tornam-se abundantes. Invasões de novas espécies também podem ocorrer, e essas competirão por recursos com espécies originais da floresta.

A borda florestal pode exercer efeitos diretos e indiretos na agricultura. Os efeitos diretos são: competição por luz, água e nutrientes. E os efeitos indiretos ocorrem através de intermediários, como insetos benéficos ou pragas, que se associam com plantas da borda. A borda florestal pode proteger os plantios adjacentes dos ventos (MARSHALL; MOONEN, 2002, citado por CUNHA, 2007). O efeito de borda geralmente é descrito em termos de uma função relacionando fatores e distância da borda (RODRIGUES, 1998).

Fragmentos de tamanho reduzido são muito sujeitos aos efeitos de borda, sendo que a melhor forma de conservar a biodiversidade seria manter áreas suficientemente grandes para se auto-perpetuarem (OERTLI et al., 2002). Entretanto, segundo o mesmo autor, a conservação dos fragmentos pequenos é fundamental para a conservação da biodiversidade, especialmente porque vários fragmentos pequenos podem apresentar maior riqueza de espécies do que um único fragmento grande com área correspondente. Mas a viabilidade de conservação das espécies em áreas reduzidas é questionada, pelo fato dos fragmentos menores possuírem pequenas populações muitas vezes inviáveis para a sobrevivência das espécies, tornando o tamanho do fragmento um importante fator para a dinâmica populacional das espécies nativas.

Os ecossistemas naturais apresentam uma integração harmoniosa entre a cobertura vegetal e os atributos do solo, decorrente de processos essenciais de ciclagem de nutrientes, acumulação e decomposição da matéria orgânica. Entretanto, substituição de

florestas por culturas agrícolas causa, invariavelmente, mudanças nas características físicas, químicas e microbiológicas do solo que, em muitos casos, levam a uma degradação e, conseqüentemente, à perda de qualidade do solo. Podem ocorrer alterações drásticas tanto na camada arável quanto nas subjacentes, sendo que os nutrientes e teor de matéria orgânica tendem a diminuir à medida que aumenta o tempo de cultivo, causado principalmente à erosão (GREENLAND, 1981). Ademais, Da Ros e Aita (1996) afirmam que pela erosão ocorrem perdas expressivas de solo e nutrientes, sendo o nitrogênio o nutriente mais afetado nesse processo, o que provoca limitações da produtividade das culturas, em função da principal fonte desse elemento no solo ser a matéria orgânica da camada superficial, a qual sofre perda seletiva durante a erosão hídrica. Assim, o nível de matéria orgânica do solo é um dos principais fatores condicionantes da sua produtividade e equilíbrio do sistema e que a taxa de sua decomposição é dependente das práticas de cultivo empregadas.

No caso da cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, áreas cobertas por mata natural foram gradativamente substituídas por canaviais e têm sido mantidas com monocultura por períodos de mais de 60 anos. Esta substituição, em conjunto com cultivo contínuo, prolongado e, mais recentemente, intensivo, pode causar mudanças nas características do solo, e, na maioria das vezes, promovem um impacto ambiental negativo, em geral, perdendo a sustentabilidade. O grau de impacto está relacionado com o manejo do sistema produtivo, como o sistema plantio direto e uso de coberturas de vegetais apropriadas para a região, que propiciam menor degradação do solo e maior sustentabilidade da agricultura (KAISER; MARTENS; HEINEMEYER, 1995). Tratando-se da influência do solo na ocorrência de espécies florestais, Silva Junior (1998), estudando comunidades de árvores e sua relação com os solos da mata, concluiu que as diferenças nas propriedades dos solos ao longo do gradiente topográficos, foram responsáveis por grande parte das variações na distribuição espacial das espécies arbóreas.

Uma das vantagens mais conhecidas da agrofloresta é o seu potencial para conservar o solo e manter sua fertilidade e produtividade (NAIR, 1993). As espécies arbóreas, normalmente por possuírem raízes mais longas que exploram maior volume de solo, são capazes de absorver nutrientes e água que os cultivos agrícolas não conseguiriam, uma vez que, geralmente, suas raízes absorventes estão concentradas na camada superior do solo até 20 cm de profundidade.

O dossel de copas formado pela diversidade de espécies vegetais proporciona cobertura do solo por meio da deposição de camada densa de material orgânico, gerada continuamente pela queda de folhas e ramos das diferentes culturas. Isso aumenta a proteção do solo contra a erosão, diminui o escoamento superficial da água de chuva e, aumentando o seu tempo de infiltração, reduz a temperatura do solo, aumenta a quantidade de matéria orgânica e, conseqüentemente, melhora as suas propriedades químicas, físicas e biológicas (MULLER; ALMEIDA; SENA-GOMES, 2003).

De acordo com o levantamento da cobertura florestal realizado pelo Instituto Florestal (SMA, 2007) no Estado de São Paulo, existem 3, 398 milhões de hectares cobertos por vegetação nativa, considerando as diferentes fitofisionomias, o que representa 13,9% de área total do Estado. A vegetação remanescente, no entanto, encontra-se distribuída de forma heterogênea, sendo bastante concentrada na Serra do Mar e no Litoral, regiões onde se encontram as principais unidades de conservação e onde as características das terras, principalmente o relevo acidentado inviabiliza a cultura da cana-de-açúcar.

Muitos produtores agrícolas reconhecem os aspectos negativos de se possuir florestas dentro de propriedade rurais, como a redução da área disponível para cultivo, a possibilidade de a floresta servir de fonte de inóculo para pragas, ou mesmo por absorver parte dos nutrientes aplicados nos campos agrícolas. Por este motivo, as políticas para aumento de área florestal, em sua grande maioria baseadas em métodos punitivos (legislação, fiscalização e aplicação de multas) têm apresentado resultados insatisfatórios. Por outro lado, os benefícios que a floresta pode trazer para as propriedades rurais são pouco conhecidos, como a possibilidade dela servir de fonte de parasitóides para pragas agrícolas, ou de depositar matéria orgânica no solo próximo a elas (CUNHA; RODRIGUES; YABE, 2003).

Levando em consideração todos estes fatores, verifica-se que o problema de sustentabilidade depende de medidas conservacionistas que precisam ser tomadas, capazes de utilizar os recursos naturais de forma racional e que promova o desenvolvimento de práticas de conservação do solo, baseada em uma visão holística do processo agrícola, onde os recursos naturais (solo, água e biodiversidade) são utilizados de forma mais sustentável (FERNANDES, 2004). A reversão da maioria dos processos de degradação, originados da interferência humana na dinâmica da paisagem, requer dos agentes sociais uma maior consciência político-ambiental, integrada à educação e ao cumprimento das leis de proteção à vida e ao meio ambiente (BORGES et al., 2005).

3.4. Atributos Químicos do solo

Os sistemas agrícolas que associam a monocultura contínua ao uso de equipamentos inadequados de preparo do solo resultam em rápida degradação do solo. Após a retirada da vegetação natural, o solo tem, freqüentemente, mostrado alterações em seus atributos químicos, que são dependentes do clima, do tipo de cultura e das práticas culturais adotadas. A interação desses fatores estabelece uma nova condição de equilíbrio no sistema solo (MARCHIORI JUNIOR; MELO, 2000). Essas alterações dependem de vários fatores, como a cultura implantada e o manejo utilizado, a classe e a fertilidade inicial do solo, o comportamento físico-químico de cada nutriente e suas interações com o meio (SANCHES, 1998). Em diversos trabalhos, foi constatada acumulação dos cátions trocáveis na camada superior de solos cultivados, sendo esse acréscimo atribuído à aplicação de matéria orgânica (SILVA; RIBEIRO, 1995) e calcário (CENTURION; DEMATÊ; FERNADES, 1985).

As principais modificações nos solos cultivados, em relação às condições originais, decorreram do aumento do pH e dos teores de cátions, os quais foram dependentes da fertilidade inicial, ou seja, solos eutróficos diminuíram a fertilidade e os álicos aumentaram, além da redução do alumínio trocável e da saturação por alumínio (GOLDIN; LAVKULICH, 1988).

Sanchez (1985) e Silva e Ribeiro (1995) encontraram aumentos do pH do solo com o tempo de cultivo e atribuíram este fato à aplicação de calcário ou à queima (CADIMA; SILVA; LOBÃO, 1982 e 1985), já que esta operação propicia aumento nos conteúdos de Ca, Mg e K do solo (NYE; GREENLAND, 1964). Essas modificações nas propriedades dos solos ocorrem devido a processos químicos: depleção e deficiência de nutrientes, lixiviação excessiva, diminuição do pH, toxidez de alumínio, salinização e diminuição da capacidade de troca de cátions (CTC) devido à diminuição do teor de matéria orgânica do solo.

Quando o ecossistema natural é substituído por uma cultura submetida a um manejo intensivo, como a cana-de-açúcar, o estoque de carbono (C) do solo decresce substancialmente em relação ao sistema natural, não sendo recuperado (CERRI, 1986). Mais de 50% da matéria orgânica previamente acumulada é perdida por diversos processos nos primeiros anos de cultivo, entre eles a decomposição microbiana e a erosão (GREENLAND; WILD; ADAMS, 1992). Concomitantemente à perda de C, tem-se observado redução na CTC de solos cultivados, quando comparados a áreas

adjacentes sob mata (CASAGRANDE; DIAS, 1999). Em algumas condições de manejo, entretanto, Silva e Ribeiro (1995 e 1998) observaram que o teor de C do solo diminuiu apenas nos anos subseqüentes à substituição da mata pelo cultivo de cana-de-açúcar, alcançando, posteriormente, novo equilíbrio, com teores de carbono do solo próximos aos originais.

Trabalhando com a cultura da cana-de-açúcar na Nova Guiné, Hartemink (1998) encontrou que o uso do solo durante 17 anos com a cultura provocou alterações em propriedades químicas e físicas do solo, indicando um sistema insustentável ao longo do tempo. Suas principais alterações foram diminuições nos teores de matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), CTC (capacidade de troca de cátions) e aumento na densidade do solo (Ds).

Portugal et al. (2008) e Portugal et al. (2010) observaram modificações nos atributos químicos do solo em diferentes usos na Zona da Mata Mineira, na qual o principal efeito observado foi o declínio no estoque de M.O após conversão de florestas nativas em cultivo de cana-de-açúcar. Em sistemas agrícolas, a dinâmica da M.O é influenciada não só pelo manejo, por meio da seleção de culturas e formas de preparo do solo, mas também pela adição de fertilizantes e materiais orgânicos, que influem positivamente nos processos de decomposição e mineralização da M.O do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Corrêa, Consolini e Centurion (2001), além de verificarem em seu estudo maiores valores de P disponível no solo sob a cana, principalmente na camada arável, devido à aplicação de fertilizantes fosfatados que, em geral, resulta no aumento de P disponível em solos sob cultivos prolongados (SCHWAB; OWENSBY; KULYINGYONG, 1990).

O tipo de solo, o relevo, os sistemas de cultivo e os fatores climáticos também possuem influência na fertilidade do solo. Quando a topossequência de vegetação nativa é convertida para cultivada, pode haver perda líquida de nutrientes por mineralização ao longo do declive, em decorrência de práticas agrícolas inadequadas, sem planejamento e conhecimento das reais possibilidades de uso do solo. Com a continuação do cultivo, o solo fica suscetível aos processos erosivos, de modo que as áreas convexas das encostas apresentam perdas progressivas de material, enquanto as áreas côncavas atuam inicialmente como áreas de deposição. Entretanto, com a continuidade da erosão as áreas côncavas também sofrem perdas líquidas de nutrientes para outros locais (GREGORICH et al., 1998).

A variação dos atributos do solo sob vegetação nativa é muito menor quando se compara com solos de usos agrícolas, e por isso a vegetação nativa é um referencial para avaliação de solos incorporados a sistemas agrícolas. Nessa comparação, podem-se observar as alterações de atributos do solo após a utilização agrícola, bem como comparar os usos agrícolas, verificando-se qual apresenta maior sustentabilidade. As avaliações de usos agrícolas de solos utilizando-se atributos do solo como indicadores é um trabalho constante na avaliação de sistemas produtivos, com o objetivo de adaptar sistemas ou propor usos do solo mais sustentáveis.

O conhecimento das modificações químicas do solo, causadas pelo cultivo contínuo, pode fornecer subsídios para a adoção de práticas de manejo que permitam incrementar o rendimento das culturas, garantindo a contínua sustentabilidade e conservação dos ecossistemas.

3.5. Atributos Físicos do solo

A física de solos estuda e define qualitativa e quantitativamente, as propriedades físicas, bem como sua medição, predição e controle, com o objetivo principal de entender os mecanismos que governam a funcionalidade dos solos e seu papel na biosfera. A importância prática de se entender o comportamento físico do solo está associada ao seu uso e manejo apropriado, ou seja, orientar irrigação, drenagem, preparo e conservação de solo e água. (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003).

Segundo Neves et al. (2007), as propriedades físicas do solo são as que merecem maior importância, pois influenciam a produtividade, através do desenvolvimento das plantas. Muitas dessas propriedades físicas têm sido utilizadas para quantificar as alterações provocadas pelos diferentes sistemas de manejo ou até mesmo como indicadores da sua qualidade.

A qualidade física do solo para o crescimento das plantas é determinada não só pela disponibilidade de água, aeração e temperatura, mas também pela resistência que a matriz do solo oferece à penetração das raízes (HAMBLIN, 1985; LETEY, 1985). Num solo degradado, além da redução da quantidade de água disponível, a taxa de difusão de oxigênio e a resistência do solo à penetração podem limitar o crescimento das plantas na faixa de potenciais que determina a disponibilidade de água no solo. Desta forma, a caracterização dos efeitos dos sistemas de uso e manejo sobre a degradação e qualidade física do solo é mais bem quantificada por medidas integradoras destas modificações (ARAÚJO; TORMENA; SILVA, 2004).

A degradação da estrutura do solo afeta negativamente o desenvolvimento vegetal e o predispõe à erosão hídrica. Spera et al. (2004) afirmaram que à medida que se intensifica o uso agrícola as propriedades físicas do solo sofrem alterações geralmente desfavoráveis ao crescimento vegetal, sendo essas alterações mais nítidas quando os sistemas de uso do solo são comparados com a vegetação natural, pois, geralmente essas áreas revelam favoráveis propriedades físicas (CAVENAGE, et al., 1999). Propriedades como densidade, porosidade total (Pt), macro e microporosidade têm sido usadas como indicadores da restrição do solo ao desenvolvimento de plantas (CORSINI; FERRAUDO, 1999).

A compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade física são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (DEXTER, YOUNGS, 1992). As avaliações das modificações no solo decorrentes do cultivo deveriam ser feitas submetendo um solo sob vegetação natural às explorações agrícolas desejadas e analisando suas propriedades periodicamente. No entanto, o tempo necessário para a realização desse tipo de experimento é um fator limitante. A comparação entre áreas cultivadas e vegetação nativa, num mesmo solo, é uma alternativa viável para fazer estimativas mais apropriadas das alterações nas propriedades do solo. Alternativamente, estes estudos podem ser feitos utilizando solos cultivados e sob mata nativa, desde que mantidos os critérios genéticos e topográficos relacionados com a formação dos solos (ARAÚJO; TORMENA; SILVA, 2004). No Brasil têm sido feitos alguns estudos avaliando as mudanças nas propriedades dos solos utilizando o solo sob mata como referência (DIAS JUNIOR; ESTANISLAU, 1999; SANCHES et al., 1999; BORGES; KIEHL; SOUZA, 1999; CUNHA; RODRIGUES; YABE, 2003).

Segundo os autores Araújo, Tormena e Silva (2004), estudando as propriedades físicas do solo e comparando solo cultivado com cana-de-açúcar e com mata nativa, observaram que a densidade de solos cultivados foi significativamente superior que a mata nativa. Resultados semelhantes foram encontrados por Islam e Weil (2000), que constatarem um valor médio da densidade significativamente maior em área cultivada quando comparada com solo sob floresta natural, possivelmente pelo fato dos solos cultivados estarem relacionados com a compactação do solo pelo tráfego de máquinas e implementos, com a redução dos teores de M.O e com a menor estabilidade da estrutura do solo. Os mesmos autores observaram que os valores de macroporos e de porosidade total do solo foram significativamente menores no solo cultivado em comparação com

os do solo sob mata nativa. Resultados similares, em solo cultivado com cana-de-açúcar, foram obtidos por Silva e Ribeiro (1992). A drástica redução da macroporosidade nos solos cultivados decorre do aumento da compactação do solo, que é evidenciada pelo aumento da densidade do solo.

A definição de um solo fisicamente ideal é difícil devido ao tipo e natureza das variações físicas dos solos que ocorrem ao longo da profundidade do perfil, na superfície da paisagem e ao longo do tempo. Um solo é considerado fisicamente ideal para o crescimento de plantas quando apresenta boa retenção de água, bom arejamento, bom suprimento de calor e pouca resistência ao crescimento radicular. Paralelamente, boa estabilidade dos agregados e boa infiltração de água no solo são condições físicas importantes para qualidade ambiental dos ecossistemas.

Os impactos do uso e manejo na qualidade física do solo têm sido quantificados, utilizando diferentes propriedades físicas relacionadas com a forma e com a estabilidade estrutural do solo, tais como, densidade e porosidade do solo.

3.5.1. Densidade do solo (D_s)

A densidade do solo é um atributo variável e depende da estruturação e compactação do solo. O material constituinte do solo tem grande influência sobre o valor da densidade, assim como os sistemas de uso e manejo e tipo de cobertura vegetal. Os valores de densidade do solo podem, portanto, ser extremamente variáveis. Pode-se ter para solos de mesma textura densidades diferenciadas no perfil. A densidade tende a aumentar com a profundidade, variando em função de diversos fatores, como teor reduzido de matéria orgânica, menor agregação, porcentagem de argila, maior compactação e conseqüentemente diminuição da porosidade do solo, dentre outros.

A degradação da estrutura do solo pode afetar o desenvolvimento de plantas, particularmente com a formação de camada compactada próxima à superfície do solo. Esse fato tem sido apontado como um dos principais indicadores de degradação do solo e causa de decréscimo da produtividade de culturas. A camada compactada é conseqüência da intensidade de revolvimento de solo ou trânsito de máquinas, do tipo de implementos, dos sistemas de manejo do solo, da presença de resíduos vegetais e das condições hídricas no momento do preparo (STONE; SILVEIRA, 2001).

Segundo Camargo e Alleoni (1997), a compactação do solo determina, de certa maneira, as relações entre ar, água e temperatura, e estas influenciam a germinação, a brotação e a emergência das plantas, o crescimento radicular e, praticamente, todas as

fases do seu desenvolvimento. O tráfego de máquinas e implementos, principalmente quando efetuado em determinadas condições de umidade, provoca alterações no arranjo das partículas do solo, diminuindo, geralmente, o volume ocupado por determinada massa de terra e o tamanho dos poros do solo que permitem livre circulação de ar e água – os chamados macroporos. Por conseguinte, outros atributos físicos do solo – aeração, temperatura e resistência mecânica à penetração – são modificados, afetando também atributos químicos (disponibilidade dos nutrientes para as plantas), biológicos (condições do solo para o desenvolvimento dos microorganismos) e a região ocupada pelas raízes – a rizosfera.

O aumento excessivo da densidade do solo acarreta diminuição do volume total de poros, redução da permeabilidade e da infiltração de água, quebra dos agregados e aumento da resistência mecânica à penetração, o que ocasiona prejuízo à qualidade física do solo (EFFGEN, 2006).

3.5.2. Densidade de partículas (Dp)

Expressa a relação entre a quantidade de massa de solo seco por unidade de volume de sólido do solo; portanto, não inclui a porosidade do solo e não varia com o manejo do solo. Depende primariamente da composição química e composição mineralógica do solo.

Os componentes que predominam em solos minerais apresentam valores de Dp em torno de $2,65 \text{ g cm}^{-3}$, exceção quando tem teor de matéria orgânica ou óxidos de Fe e Al altos. Pelo fato da densidade da matéria orgânica variar de 1,0 a $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$, e a densidade da parte mineral variar de 2,50 a $5,20 \text{ Mg m}^{-3}$ (FERREIRA; DIAS JÚNIOR, 1996), valores próximos a estes podem indicar dominância de partículas orgânicas ou minerais em sua fase sólida (MENDES; MELLONI; MELLONI, 2006).

3.5.3. Porosidade do solo (Pt), macro e microporosidade

O espaço do solo não ocupado por sólidos e ocupado pela água e ar compõe o espaço poroso, definido como sendo a proporção entre o volume de poros e o volume total de um solo. É inversamente proporcional à Ds e de grande importância direta para o crescimento de raízes e movimento de ar, água e solutos no solo (REINERT; REICHERT, 2006).

Segundo os mesmos autores, a classificação mais usual da porosidade refere-se à sua distribuição por tamanho, em duas classes: micro e macroporosidade. A microporosidade é uma classe de tamanho de poros que, após ser saturada em água, a retém contra a gravidade. Os macroporos, ao contrário, após serem saturados com água não a retém, ou são esvaziados pela ação da gravidade. A funcionalidade desses poros fica evidente quando se considera que os microporos são os responsáveis pela retenção e armazenamento da água no solo e os macroporos responsáveis pela aeração e pela maior contribuição na infiltração de água no solo.

A habilidade das plantas em explorar o solo, em busca de água e nutrientes, depende da distribuição de raízes no perfil do solo. Esta, por sua vez, depende das condições físicas e químicas, as quais são passíveis de alterações em função do manejo aplicado (ROSOLEM et al., 1992).

Sistemas que podem levar à compactação dos solos fazem com que ocorra um aumento na densidade e conseqüente redução da porosidade, principalmente, macroporosidade ou porosidade de aeração (REINERT, 1997). Algumas práticas agrícolas têm causado problemas de compactação, com conseqüente diminuição da porosidade total, principalmente a macroporosidade, refletindo negativamente nas trocas gasosas, no desenvolvimento de raízes e no movimento da água no perfil do solo.

3.6. Atributos Microbiológicos do solo

A microbiota do solo é importante para a manutenção da vida no planeta. Entre os organismos, bactérias e fungos apresentam altos valores de biomassa e metabolismo respiratório e têm grande participação no processo de decomposição da M.O (TOLEDO, 2003; LEJON et al., 2005). Esses organismos participam da ciclagem de nutrientes através da decomposição da M.O, auxiliam na manutenção da estrutura física e química do solo, mantendo-o, de certa forma, fértil, além de possuírem elevado potencial de uso na indústria biotecnológica (KENNEDY; PAPENDICK, 1995).

O componente biológico apresenta-se assim, uma inter-relação com os componentes físicos e químicos, por isso todos os fatores que afetam negativamente os microorganismos e promovem a perda de M.O provocam, também, deterioração dos atributos físicos e químicos do solo. O solo tem grande capacidade de responder de forma quase imediata às alterações do ambiente causada por mudanças no seu manejo, e, assim, a atividade microbiana do solo reflete a influência conjunta de todos os fatores

que regulam a degradação da M.O e a transformação dos nutrientes (KENNEDY; PAPENDICK, 1995; STENBERG, 1999).

Algumas propriedades biológicas do solo – enfatizando as de natureza microbiológica – têm sido propostas como mais sensíveis às mudanças quando os solos são submetidos a diferentes tipos de manejo e, portanto, seriam mais adequadas como indicadores de qualidade do solo (TÓTOLA; CHAER, 2002). Segundo Bottomley (2005), os microorganismos do solo influenciam diretamente a fertilidade e a produtividade vegetal por meio da ciclagem de nutrientes, supressão de fitopatógenos e produção de fitormônios. Também, Das, Debnath e Mukherjee (2003) e Tótola e Chaer (2002) enfatizaram que as atividades dos microorganismos estão envolvidas no ciclo biogeoquímico, visto que influenciam diretamente a disponibilidade de nutrientes e elucidam melhor as mudanças do funcionamento do ecossistema do solo.

Os microrganismos constituem ainda fonte e depósito de nutrientes em todos os ecossistemas e participam ativamente em processos benéficos como na degradação de compostos persistentes aplicados ao solo, em associações micorrízicas (KENNEDY & PAPENDICK, 1995; KENNEDY & SMITH, 1995), na fixação biológica de nitrogênio, solubilização de nutrientes para as plantas (GEORGE; MARSCHNER; JAKOBSEN, 1995; TIMONEN et al., 1996), na redução de patógenos e pragas de plantas (SRIVASTAVA et al., 1996; FILION, ST-AMAUD; FORTIN 1999; SMITH ;GOODMAN, 1999), na estruturação do solo (WRIGHT; UPADHYAYA, 1998; DODD et al., 2000), na sua fertilidade (YAO et al., 2000; O'DONNELL et al., 2001) e em outras propriedades edáficas que afetam o crescimento vegetal.

Pôrto et al.(2009) avaliaram indicadores biológicos de qualidade de um Latossolo Amarelo distrófico submetido a diferentes sistemas de uso no Brejo Paraibano, e verificaram que áreas sob cana-de-açúcar apresentaram teores similares a mata nativa de carbono orgânico total (COT). Resultados obtidos por outros autores também evidenciaram a eficiência das gramíneas na manutenção do COT do solo, podendo, em determinadas situações, ser observada uma tendência de acúmulo de C em relação à condição natural de cobertura, em decorrência, principalmente, da elevada geração de resíduos e intensa ciclagem de raízes nesses sistemas (MORAES et al., 2002; ANDRÉA et al., 2004).

Outros fatores que influenciam a comunidade microbiana são a umidade do solo e a temperatura (ROSA, 2006), constituição física do solo (DORAN, 1987) e interações com a fauna edáfica (BEARE et al., 1992). A diminuição da diversidade microbiana no

solo pode resultar em problemas na ciclagem de nutrientes e crescimento das plantas (REBER, 1992).

Dessa forma, um solo de alta qualidade possui atividade biológica intensa e contém populações microbianas balanceadas, sendo vários os indicadores microbiológicos que podem fornecer uma estimativa da qualidade do solo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Áreas de estudo

As áreas estudadas estão localizadas em duas regiões do interior do Estado de São Paulo, divididas em quatro áreas, na qual a mata e a cultura da cana-de-açúcar são adjacentes, com solos homogêneos, separadas por um carreador, sendo cultivada há aproximadamente 50 anos. A classificação climática para ambas as regiões, segundo Köeppen, é do tipo Cwa, ou seja, clima mesotérmico de inverno seco, em que a temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C e a do mês mais frio inferior a 18 °C. A precipitação média anual varia de 1.100 mm a 1.700 mm. A média anual da umidade relativa do ar é de aproximadamente 71%, ocorrendo concentração de chuvas no período de outubro a março e o período mais seco estende-se de abril até setembro. A topografia das áreas é plana, com pequena declividade.

ÁREA 1:

A área está localizada no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, no Município de Araras - São Paulo, localizada sob as coordenadas geográficas 22°18'31"S e 47°23'13"O. (Figura 4.1).



Figura 4.1. Localização das coletas do local da Área 1, mata nativa (MN) e cana-de-açúcar (CANA). Fonte: Google Earth, 2011.

A área cultivada com cana-de-açúcar possui aproximadamente 4 ha e a mata natural, razoavelmente conservada, representa cerca de 10 ha e se constitui em floresta Estacional (Figura 4.2). É cana de segundo corte, sendo a RB92-5345 a variedade plantada. As duas situações escolhidas estão em uma área de solos homogêneos, classificado como Latossolo Roxo Eutrófico, contendo cerca de 50% de argila.

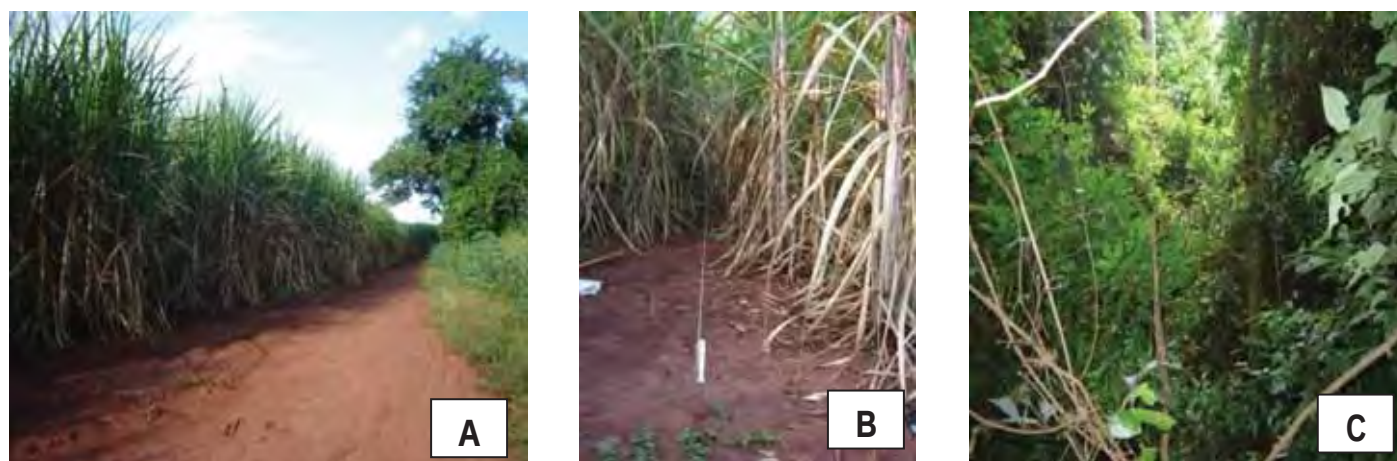


Figura 4.2. Representação das condições estudadas na Área 1. A) Área de mata e cana adjacentes. B) Área de amostragem: entrelinha da cana-de-açúcar. C) Área de mata.

As outras três áreas estão localizadas na Usina Cosan - Unidade Bonfim, localizada na região Nordeste do Estado de São Paulo, compreendendo os municípios de Jaboticabal, Taquaritinga, Santa Ernestina, Dobrada e Guariba, cuja vegetação natural remanescente possui representantes arbóreos da Floresta Estacional Semidecidual e do Cerrado por estarem em uma região de transição entre essas formações.

AREA 2:

Área localizada no município de Santa Ernestina na Fazenda Santa Maria do Turvo, sob as coordenadas 21° 31' 42"S e 48° 34' 31" O (Figura 4.3).

O fragmento contendo a monocultura de cana-de-açúcar possui 11,4 ha e o fragmento florestal com vegetação natural apresenta aproximadamente 18 ha e se constitui em Floresta Estacional Semidecidual degradada e com efeitos de borda acentuados (Figura 4.4).

A safra da cana é de terceiro corte, sendo a variedade predominante produzida neste talhão a RB92-5345. O solo é classificado como Latossolo Amarelo, contendo cerca de 22% de argila.



Figura 4.3. Localização das coletas na da Área 2, mata nativa (MN) e cana-de-açúcar (CANA). Fonte: Google Earth, 2011.



Figura 4.4. Representação das condições estudadas na Área 2. A) Vista geral da área estudada. B) Área de mata e cana-de-açúcar adjacentes.

ÁREA 3:

A área está localizada no município de Guariba, localizada na Fazenda Terra Nova, com coordenadas 21° 31' 31"S e 48° 19' 25"O (Figura 4.5).



Figura 4.5. Localização das coletas na da Área 3, mata nativa (MN) e cana (CANA).
Fonte: Google Earth, 2011.

A área de estudo com a plantação de cana-de-açúcar possui 27,3 ha e a área contendo o fragmento de mata nativa cerca de 25 ha, com uma mata relativamente conservada (Figura 4.6).

O solo é classificado como Latossolo Vermelho, contendo 27% de argila. A safra da cana é de quarto corte, sendo a variedade predominante produzida a SP83-2847.



Figura 4.6. Representação das condições estudadas na Área 3. A) Área de cana estudada. B) Área de mata

ÁREA 4:

A área está localizada no município de Guariba, localizada na Fazenda Santa Elisa com coordenadas de 21° 29' 55" S e 48° 25' 23" O (Figura 4.7).



Figura 4.7. Localização das coletas na da Área 4, mata nativa (MN) e cana (CANA).
Fonte: Google Earth, 2011.

A área com a produção de cana-de-açúcar possui 17 ha e a vegetação nativa representa cerca de 5 ha, sendo a área com mata nativa relativamente conservada (Figura 4.8).

O solo é classificado como Argissolo vermelho contendo cerca de 20% de argila. A safra da cana é de quarto corte, sendo a variedade predominante produzida a RB86-7515.



Figura 4.8. Representação das condições estudadas na Área 4. A) Área de mata e cana adjacentes. B) Área de mata.

4.2. Coleta de amostras

Foram analisados parâmetros químicos, físicos e microbiológicos do solo. As coletas foram realizadas em uma única época do ano para todas as análises.

Foram feitas 4 repetições em cada área estudada (L1, L2, L3 e L4) nos dois ambientes, e a cada 5m coletou-se uma amostra (P1 a P11 na cana e P0 na mata, visto que neste ambiente os pontos não diferiram estatisticamente, assim tem-se um valor médio para cada linha. O solo foi coletado na profundidade de 0-10 e 10-20 cm por meio de mini trincheiras na borda da floresta e a cada 5 m, até 50 m de distância, adentrando a área cultivada com cana, e 10 m no interior da mata. Na floresta, a cada 5 m, foram coletadas quatro sub-amostras para compor uma amostra (Figura 4.9). As amostras foram levadas ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo para a realização de análise química de rotina, ao Laboratório de Física do Solo para as análises físicas, e para as análises microbiológicas para o Laboratório de Microbiologia. Estas análises foram realizadas nos laboratórios pertencentes ao Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de São Carlos, Campus de Araras, estado de São Paulo.

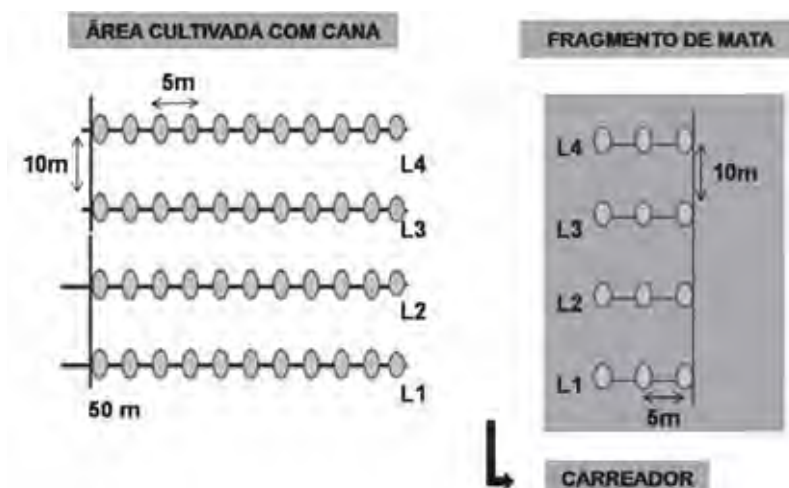


Figura 4.9. Modelo para amostragem para análises químicas, físicas e microbiológicas do solo.

4.3. Análise física do solo

As propriedades físicas do solo analisadas foram: macro e microporosidade, densidade do solo e densidade das partículas do solo das amostras para cada profundidade, conforme apresentado na Figura 4.10. Para essa determinação, foi coletado amostras indeformadas com anéis volumétricos de 0,03 m de altura e 0,05 m de diâmetro. Os métodos adotados para os parâmetros estudados, assim como as referências, são apresentados na Tabela 4.1.

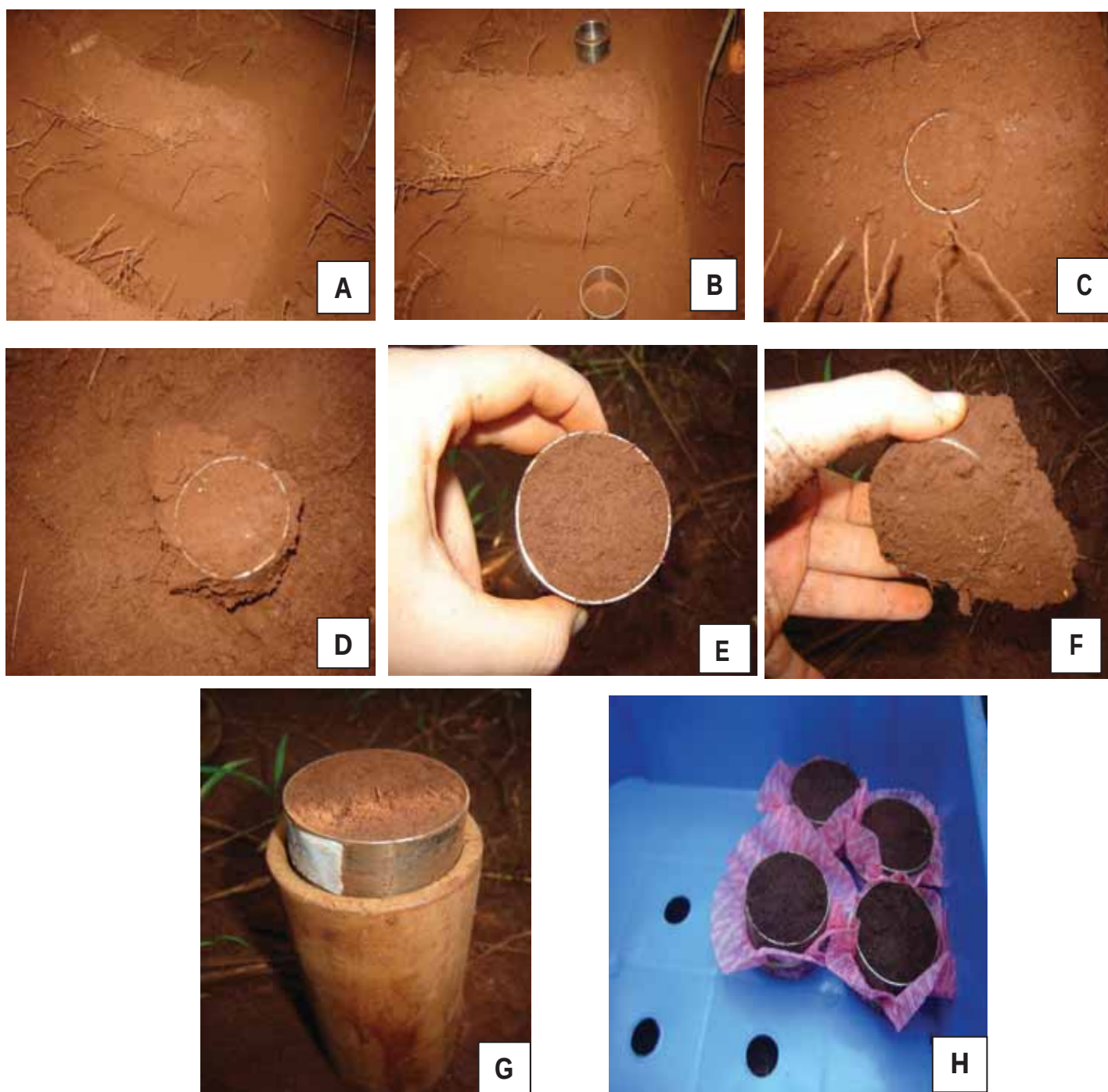


Figura 4.10. Coleta para análise física: a) mini trincheiras para coleta de solo para as análises químicas e físicas nas duas profundidades estudadas. b) coleta de amostra com anel volumétrico para a análise física. c) preenchimento do anel volumétrico na profundidade 10 – 20 cm. d) retirada do anel volumétrico para a análise física. e) retirada do anel volumétrico com excesso de solo em seu entorno. f) anel volumétrico com solo para análise. g) anel volumétrico no suporte de madeira. h) anéis volumétricos armazenados em uma caixa para transporte das amostras, pronto para análise física.

Tabela 4.1. Metodologia para as análises físicas do solo dos parâmetros estudados.

Atributo	Método	Referência
Densidade do solo	Anel volumétrico	Blake & Hartage (1986)
Densidade das partículas	Massa em gramas/volume que os solos ocupam	-
Volume total de poros, macro e microporosidade	Mesa de tensão	Embrapa (1997)

4.4. Análise química do solo

Para as determinações dos parâmetros químicos dos solos foram realizadas análises de pH, matéria orgânica (M.O), P (fósforo), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio), S (enxofre), Al (alumínio), H+Al (acidez potencial), B (boro), Fe (ferro), Mn (manganeês), Zn (zinco), m% (saturação por alumínio), SB (soma de bases), CTC (capacidade total de trocas de cátions) e V (saturação por bases) (Figura 4.11). Os métodos adotados são apresentados na Tabela 4.2, segundo metodologia da EMBRAPA (1999).



Figura 4.11. Coleta de amostras para análises químicas: A) material coletado nas duas profundidades; B) amostra acondicionada em sacos plásticos devidamente identificados para as análises de solo.

Tabela 4.2. Metodologia para as análises químicas do solo dos parâmetros estudados.

VARIÁVEL	MÉTODO OU EXTRATOR
P Resina, K, Ca e Mg	Resina
Fe, Cu, Mn e Zn	Extrator DTPA
M.O	Dicromato de potássio
pH	Cloreto de Cálcio
H+Al	Solução SMP
Al	Cloreto de Potássio
SB	Somatória dos teores de Ca, Mg e K
CTC	Somatória dos teores de H+Al, Ca, Mg e K
V%	$(Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+} / CTC) \times 100$
S	Extrator acetato de cálcio
B	BaCl ₂ em microondas
m%	$[Al^{+3} / (Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+} + Al^{+3})] \times 100$

4.5 Análises microbiológicas

O número de bactérias e fungos presentes nos solos foi determinado por meio de unidades formadoras de colônias (UFC), utilizando-se o método de inoculação em meios de cultura específicos (Agar Nutriente e Martin) respectivamente, com três repetições por diluição. Foram coletadas quatro sub-amostras para compor uma amostra próxima a vegetação na camada superficial do solo em cada ponto. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, colocadas em caixa térmica e transportadas até o laboratório. Sub-amostras de 10g foram transferidas para frascos de Erlenmeyers contendo 90 mL de solução salina e agitadas por 15 minutos. A partir destas suspensões foram realizadas diluições seriadas, semeando-se alíquotas de 0,1mL, em duplicata, nos

meios de cultura. As placas foram incubadas a 28 °C para o desenvolvimento de colônias de fungos e a 35 °C para as bactérias. As avaliações foram realizadas após 24 horas para bactérias totais e 48 horas para fungos, determinando-se o número de unidades formadoras de colônias (UFC. g⁻¹ solo).

Os meios de cultura e soluções foram esterilizados em autoclave a 120°C e 1 atm por 15 minutos, sendo eles:

- Solução Salina - 0,85% de NaCl, dissolvidos em água destilada

- Meio de Martin seletivo para fungos e leveduras

KH ₂ PO ₂	1gr
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,5 gr
Peptona	0,5 gr
Dextrose	10,0 gr
Rosa Bengala	0,03 gr
Barto Ágar	20,0 gr
Água Destilada	1000 ml
Estreptomicina*	0,1 gr

*Adicionar a estreptomicina ao meio após a esterilização, dissolvida em 10 ml da água destilada. Conservar o meio em frasco escuro.

- Meio de Ágar Nutriente seletivo para bactérias

Ágar Nutriente	23,0 gr
Água Destilada	1000 ml
Nistatina*	0,042 gr

*Adicionar a nistatina ao meio de cultura após a esterilização, dissolvida em 10 ml da água destilada.

4.6. Forma de Análise dos Resultados

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SAS 9.2[®]. A partir dos dados brutos foram obtidas as médias e os desvios padrões da cada variável e foram padronizados a fim de eliminar o problema de estarem em escalas diferentes. Os dados escalonados foram submetidos a uma análise exploratória utilizando-se o módulo "*Guided Data Analysis*", disponível no software estatístico SAS 9.2[®]. Em tal análise as variáveis foram transformadas e os outliers foram analisados e, se necessário, eliminados de tal forma que os dados atendessem os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias. Com o mesmo intuito também foram realizadas as análises dos resíduos. As correlações parciais foram obtidas para verificar a existência ou não de correlações entre as variáveis medidas.

Uma vez verificada a presença de correlações significativas entre as variáveis analisadas optou-se por uma abordagem multivariada. A partir das médias de cada variável por ponto amostrado e por profundidade, foi construído um Biplot Interativo utilizando-se o método de Componentes Principais (PCA), como forma de visualizar a existência de algum padrão entre os pontos analisados. Este procedimento foi realizado para cada área estudada. Tal análise, baseada na matriz de correlações existentes entre as variáveis e permite a construção de um gráfico bidimensional onde as variáveis (colunas da matriz de dados e, representados no gráfico pelos vetores) e as observações (as linhas da matriz de dados e, representados no gráfico pelos pontos) podem ser representadas simultaneamente, e, desta forma, cada observação pode ser facilmente caracterizada, bem como sua relação com as variáveis e a correlação entre as mesmas. A análise de Biplot foi conduzida utilizando-se a macro BILOT 1.1 para Excel (Biplot Program, 2010).

A seguir foi realizada uma *three-way* MANOVA (análise da variância multivariada fatorial) através do procedimento PROC GLM do SAS 9.2[®]. Os seguintes fatores foram analisados: (1) áreas (com 4 solos, representados com teores de argila com porcentagens diferentes), (2) ponto (com 11 níveis, representados pelos pontos amostrados) e (3) profundidade (com 2 níveis, representados pelas amostras de solos nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm). Também foi verificada a significância da interação Ponto/Profundidade, como componente do modelo estatístico utilizado. O objetivo desta análise foi o de verificar se vetores formados pelas médias das variáveis analisadas conjuntamente diferiram entre os grupos para os fatores citados acima.

Havendo diferenças significativas em alguns dos fatores analisados, procederam-se as análises univariadas através das ANOVAs fatoriais.

Para as comparações entre médias, *a posteriori* foi utilizado o ajuste de Bonferroni através da opção /BON, para evitar o erro do tipo I, uma vez que múltiplas comparações foram testadas simultaneamente. Quando a abordagem não exigia comparações múltiplas o teste *a posteriori* utilizado foi o de tukey.

A fim de se comparar os perfis das diferentes áreas utilizando todas as variáveis conjuntamente, foi realizada uma análise discriminante canônica através do PROC CANDISC. A partir desta análise é possível definir o quão distintas são as áreas estudadas, sendo estas representadas em um gráfico (scatterplot canônico) onde é possível verificar a separação entre elas. Os eixos deste gráfico representam as variáveis canônicas, que são novas variáveis multivariadas criadas a partir do conjunto original de variáveis. Através da análise dos coeficientes canônicos é possível definir a natureza da diferença entre os grupos e desta forma justificar o grau de separação obtido. É importante ressaltar que, para facilitar a interpretação dos resultados optou-se em realizar o procedimento de escolha das variáveis mais importantes para discriminar as áreas, e, neste caso, utilizou-se o procedimento *forward stepwise* durante a análise discriminante. Para a escolha das variáveis mais discriminantes foi utilizada a opção SLENTY=0.15, que especifica que o valor de significância para a adição de variáveis ao modelo, neste caso, indica que variáveis com um valor de $p > 0.15$ foram removidas do modelo indicando que estas têm pouca importância na discriminação entre os grupos.

O efeito da distância do fragmento de mata sobre a composição do solo cultivado com cana-de-açúcar foi medido através das distâncias generalizadas de Mahalanobis, extraídas a partir da análise citada acima. Tais distâncias são multivariadas e de fácil interpretação: pequenos valores de D^2 entre dois pontos significam que estes pontos são similares entre si, considerando as 22 variáveis conjuntamente; grandes valores de D^2 informam que dois pontos apresentam composições de solos distintas. Pelo fato destas distâncias serem estatísticas estão associadas ao um valor de p , o que permite determinar se as distâncias entre dois pontos são ou não estatisticamente semelhantes.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Comparação da média dos pontos amostrados na mata e na área cultivada com cana-de-açúcar e relação entre as profundidades para cada área estudada

Com o auxílio do Programa SAS, foi realizada a estatística descritiva da média dos pontos para cada uma das quatro áreas de mata e nas linhas dos 50 metros para o canavial. Foram analisados estatisticamente os dois ambientes estudados e nas duas profundidades pela análise de variância.

5.1.1. Área 1 - Campus CCA

Na Tabela 5.1 estão registrados os valores da média e do desvio padrão para as variáveis no ambiente mata e cana, de acordo com as distâncias entre os pontos.

Analisando esta Tabela, podemos observar que os valores dos atributos químicos e físicos do solo apresentaram variação sob o uso da mata e cana para algumas das variáveis analisadas. Todas as variáveis analisadas no solo sob mata possuem níveis mais altos, com exceção da densidade, Al, H + Al, m% e Cu, como esperado. Algumas variáveis apresentam diferenças estatística entre o solo com mata e cana, evidenciando que há diferenças em profundidade (0-10 cm e 10-20 cm) nos ambientes estudados. Para tanto, efetuou-se análise de variância (Tabela 5.2 e 5.3), cujos dados evidenciam que o manejo do solo provocou decréscimo nos níveis dos macronutrientes e de matéria orgânica e aumento da acidez do solo, o que indica degradação das propriedades químicas e físicas (pela interação da M.O com os componentes minerais) do solo em relação à vegetação nativa.

Os valores de P encontrados nas camadas de 0-10 e 10-20 cm não diferiram em função do uso do solo (Tabela 5.2). Os teores de P disponível possuem maiores valores no canavial, enquanto a mata apresentou os menores valores (Tabela 5.3), que deve ser função das adições de fósforo nos cultivos sucessivos da cana-de-açúcar. O fósforo é considerado um elemento essencial para as plantas e se encontra em baixa quantidade nos solos brasileiros (Bastos et al., 2008).

Tabela 5.1. Valores da estatística descritiva das variáveis químicas e físicas dos solos das áreas de mata (P0) e cultivada com cana-de-açúcar (P1 a P11), encontrados na Área 1.

MÉDIA/ DESVIO PADRÃO DAS VARIÁVEIS NOS PONTOS												
AMOSTRADOS/ PONTOS												
VARIÁVEIS	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
P resina	8,2 1,3	9,0 4,8	10,0 6,5	11,7 8,9	10,2 4,6	9,2 6,1	10,0 5,8	9,8 3,7	11,1 8,5	8,9 2,3	9,1 6,1	7,7 2,7
M.O	72,7 12,8	28,7 4,3	27,3 2,0	26,7 1,4	24,9 4,7	27,6 2,6	28,0 2,2	28,3 1,3	30,9 3,9	30,5 2,1	28,7 2,1	29,5 2,3
pH	5,2 0,1	4,9 0,4	4,8 0,5	5,0 0,5	5,0 0,5	4,7 0,5	4,6 0,2	4,6 0,2	4,5 0,3	4,5 0,2	4,8 0,5	4,5 0,2
K	3,6 0,3	2,2 0,8	1,1 0,2	1,3 0,4	1,0 0,2	1,1 0,2	1,1 0,2	1,3 0,3	1,5 0,6	1,3 0,4	1,6 0,4	1,8 0,3
Ca	58,0 7,8	27,7 6,9	28,0 6,4	29,8 7,0	29,7 6,6	26,7 7,8	25,9 6,2	25,2 5,3	23,4 2,9	24,4 4,5	27,4 5,7	24,2 3,0
Mg	14,2 1,5	11,1 2,7	11,6 2,5	12,7 2,8	13,2 2,7	12,0 3,2	10,6 2,7	10,7 3,2	9,4 1,9	9,5 2,1	12,1 3,7	9,9 2,5
H+Al	35,3 1,9	45,7 12,7	45,6 15,5	41,2 14,1	42,1 12,4	49,6 13,2	52,0 7,3	52,5 7,1	57,2 10,2	60,6 5,6	49,1 15,8	60,2 10,3
Al	1,6 0,1	2,5 2,2	2,6 2,4	1,7 1,3	1,6 1,9	4,1 4,1	3,6 2,9	2,9 1,9	3,9 3,6	4,9 2,8	3,0 3,1	5,5 4,3
SB	75,9 9,6	41,0 9,4	40,7 8,9	43,8 9,9	44,0 9,1	39,8 11,1	37,7 9,1	37,3 8,4	34,2 4,9	35,4 6,6	41,1 9,2	36,2 5,3
CTC	111,2 7,7	86,8 10,1	86,4 11,3	85,1 6,1	86,1 4,0	89,4 5,2	89,7 5,0	89,8 5,0	91,5 6,6	96,1 4,4	90,2 7,9	96,4 8,2
V	66,9 3,9	47,8 11,6	48,2 14,2	52,2 14,9	51,5 2,3	44,8 13,7	41,7 8,7	41,4 8,1	37,8 7,3	37,1 6,6	46,5 14,0	37,8 6,5
S	20,7 0,6	9,5 2,1	8,7 1,8	8,2 2,4	7,9 2,3	8,5 1,7	10,0 1,8	10,4 2,1	11,5 3,2	11,5 1,6	10,5 3,5	9,5 1,4
B	2,1 0,4	0,4 0,2	0,4 0,1	0,3 0,1	0,3 0,2	0,3 0,1	0,3 0,2	0,3 0,2	0,4 0,2	0,4 0,2	0,4 0,2	0,3 0,1
Cu	2,2 0,1	3,3 0,6	2,9 0,2	3,0 0,2	3,1 0,4	3,0 0,2	3,1 0,5	3,2 0,4	3,1 0,2	3,2 0,3	3,1 0,3	3,2 0,4
Fe	59,8 0,1	38,9 9,0	36,5 5,9	35,2 4,9	36,5 8,7	37,4 8,7	40,4 11,2	41,3 14,6	43,5 10,6	47,6 16,2	38,9 6,0	44,6 13,5
Mn	239,1 17,0	64,2 13,6	51,4 12,3	50,1 10,3	43,7 8,0	46,6 9,3	50,2 11,2	48,5 6,7	48,9 5,5	55,4 9,1	46,5 8,0	54,0 7,2
Zn	3,2 0,7	1,0 0,3	0,8 0,2	0,8 0,2	0,8 0,1	0,9 0,4	1,1 0,5	1,9 1,6	1,1 0,4	1,3 0,2	1,1 0,3	1,5 0,9
m%	2,1 0,1	6,5 6,6	6,4 6,0	4,4 3,7	4,2 5,5	10,8 11,7	10,0 8,1	7,3 5,4	12,6 0,4	13,1 7,5	7,8 8,3	13,1 9,4
Densidade	1,1 0,0	1,4 0,1	1,4 0,1	1,4 0,2	1,4 0,1	1,4 0,1	1,3 0,1	1,3 0,1	1,3 0,1	1,3 0,1	1,4 0,1	1,4 0,1
Porosidade Total	61,0 0,3	50,2 4,9	51,3 4,9	49,5 5,6	51,6 4,4	52,2 4,9	52,6 3,3	53,7 3,8	54,3 4,7	53,0 2,1	52,2 2,2	52,2 2,3
Macroporosidade	30,9 1,6	24,2 1,4	25,0 1,7	24,7 1,3	25,8 2,1	26,3 1,7	26,6 1,5	26,9 3,1	26,5 1,0	25,8 0,8	25,2 1,1	26,2 0,7
Microporosidade	30,1 1,3	26,0 4,0	26,3 3,5	24,7 4,9	25,8 2,8	25,9 3,8	26,0 2,8	26,8 3,4	27,8 4,0	27,1 2,6	26,9 1,8	25,9 2,2

Os principais fatores que afetam a sua disponibilidade no solo são o teor de M.O, o teor e o tipo de argila, a capacidade de troca de cátions, o poder tampão, os teores de Ca, Fe, Al e a umidade, interferindo, conseqüentemente, na sua absorção pelas plantas (KORNDÖRFER; MELO, 2009). Esta condição proporciona, principalmente, redução do teor de M.O do solo, com aumento gradual na retenção de ânions, como o fosfato, o sulfato e o molibdato, entre outros (BENEDITO et al., 2010). Em decorrência disto, os solos mudam gradualmente de fonte para dreno de fósforo inorgânico (NOVAIS; SMYTH, 1999). Isto ocorre principalmente nos Latossolos, ricos em óxidos de Fe e Al, como é o caso da área de estudo.

Os teores de cálcio foram significativamente maiores na mata que na cana, como verificado na Tabela 5.3. Isso pode ser explicado pelo fornecimento deste elemento ao solo via M.O, o que explica, também, sua variação em profundidade, maior quantidade presente na camada 0-10 cm (Tabela 5.2). Um comportamento similar foi observado para Mg e K, uma vez que, nas áreas cultivadas, estão mais relacionados com a CTC, sendo estes nutrientes incorporados ao solo por práticas agrícolas (normalmente, a calagem).

Os valores de M.O foram estatisticamente maiores na mata, nas duas profundidades avaliadas, indicando que a retirada da mata e a utilização agrícola reduziram os teores de C orgânico no solo, como pode ser observado, por meio das Tabelas 5.2 e 5.3. Devido ao revolvimento dos solos sob cultivo, a aeração é maior sendo a mineralização de M.O favorecida, o que explica os resultados observados e também um maior acúmulo de restos vegetais, proporcionando o acúmulo de M.O no solo (RANDO, 1981). Esses resultados também estão de acordo com Portugal et al., (2010), Houghton, Skole e Lefkowitz (1991), segundo os quais há um declínio no estoque de M.O após a conversão de florestas nativas em sistemas agrícolas. Segundo esses autores, essa redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo, aos processos mais acelerados de mineralização da M.O do solo e a menores quantidades de aportes orgânicos em sistemas manejados comparativamente às florestas nativas, o que provavelmente está ocorrendo em maior intensidade nas áreas com o cultivo de cana-de-açúcar.

Tabela 5.2. Atributos químicos e físicos sob os usos com mata e cana-de-açúcar nas profundidades de solo 0 a 10 cm e 10 a 20 cm com seus respectivos valores de *p* para cada variável analisada (Área 1).

Variáveis	Mata			Cana		
	Profundidade		ANOVA	Profundidade		ANOVA
	1	2	p	1	2	p
P resina	13,3	5,6	0,19	10,7	8,4	0,207
M.O.	91,6	51,7	<.0001	29,0	27,7	<.0001
pH	5,5	5,2	1,00	4,8	4,7	1,00
K	5,4	4,0	0,006	1,6	1,2	0,03
Ca	74,4	49,3	<.0001	27,6	25,4	0,71
Mg	18,7	12,2	0,008	11,5	10,8	1,00
H+Al	31,8	34,7	1,00	49,3	51,9	<.0001
Al	1,4	1,3	1,00	3,0	3,8	0,92
SB	98,6	65,5	<.0001	40,7	37,5	0,55
CTC	130,4	100,3	<.0001	90,1	89,4	1,00
V	75,4	64,1	0,94	45,7	42,6	1,00
S	22,8	16,8	0,0064	8,9	10,4	0,047
B	2,9	1,1	<.0001	0,4	0,3	0,12
Cu	2,4	2,8	0,82	3,1	3,1	1,00
Fe	43,1	43,6	1,00	39,5	40,8	1,00
Mn	228,1	162,0	<.0001	53,5	48,1	0,83
Zn	3,9	1,7	0,0002	1,3	0,9	0,13
m%	1,0	1,4	1,00	3,2	4,2	0,75
Densidade	1,0	1,1	1,00	1,3	1,4	0,08
Porosidade	63,1	60,6	1,00	53,1	51,0	0,08
Microporosidade	34,1	30,2	0,006	26,3	25,2	0,007
Macroporosidade	28,9	30,6	1,00	26,8	25,8	1,00

Valores significativos para $p < 0.0001$

A CTC é responsável pela retenção de Na, K, Ca, Mg, além dos nutrientes que são cátions metálicos como cobre, ferro, manganês e zinco. Na Tabela 5.2 observa-se a dependência da CTC em função da M.O, tendência também observada por Casagrande e Dias (1999), que estudaram a influência do cultivo de cana-de-açúcar sobre as propriedades químicas do solo. Segundo Brams (1971), o decréscimo da CTC pode ser atribuído à diminuição da quantidade de M.O e do pH. A CTC do solo também teve seus maiores valores encontrados na área com mata nativa, na profundidade de 0-10 cm, havendo diferença significativa entre as duas profundidades neste ambiente, mas não na área cultivada.

O pH do solo da mata é de cerca de 5,4 e o da cana 4,8 ao longo dos perfis, caracterizando todos como ácidos (Tabela 5.3). O pH não diferiu em profundidade para os dois ambientes estudados. As reduções do pH em consequência do cultivo foram significativas, como é freqüentemente observado alguns anos após o desmatamento e queima em ambiente tropical.

O Al trocável não variou significativamente entre os ambientes e entre as profundidades, provavelmente, por não haver correção e adubação do solo e se tratar de solos originalmente distróficos.

A acidez potencial não apresentou mudanças em função da profundidade na área com mata, enquanto na área cultivada com cana os valores foram significativamente mais elevados em profundidade, como decorrência da aplicação de calcário em superfície.

A saturação por alumínio apresentou maiores valores na área com cana-de-açúcar.

A SB, que é a soma dos teores de Ca, Mg e K, foi maior na mata, justificando-se devido ao teor mais elevado de M.O e, conseqüentemente, maior CTC neste ambiente, fato não ocorrido na área com cana.

A área com mata apresentou valor médio de saturação por bases de 69%, enquanto a cana possui baixos valores, 44%, sendo classificados, segundo a Embrapa (1999), como solos distróficos, porém não diferindo estatisticamente para as profundidades analisadas. Os resultados do perfil de mata comparado com o solo cultivado com cana indicam que a saturação por bases diminui com o desmatamento e o cultivo, mesmo recebendo possíveis aplicações de corretivos e fertilizantes. A acentuada redução em bases trocáveis pode estar associada à redução da M.O e à remoção de cátions, principalmente o Ca e o Mg. Os valores de V% foram descendentes à medida que aumentou a profundidade das camadas avaliadas na área com mata nativa e com cana.

Tabela 5.3. Valores médios das variáveis químicas e físicas sob os usos com mata e cana-de-açúcar, encontrados na Área 1.

Variáveis	Média dos valores dos ambientes	
	Mata	Cana
P resina	9,5 a	9,6 a
M.O.	71,7 a	28,3 b
pH	5,4 a	4,7 b
K	4,7 a	1,4 b
Ca	61,9 a	26,5 b
Mg	15,5 a	11,5 b
H+Al	33,3 b	50,6 a
Al	1,4 a	3,4 a
SB	82,0 a	39,1 b
CTC	115,4 a	89,7 b
V	69,7 a	44,2 b
S	19,8 a	9,6 b
B	2,0 a	0,3 b
Cu	2,6 a	3,1 b
Fe	43,4 a	40,2 a
Mn	195,0 a	50,8 b
Zn	2,8 a	1,1 b
m%	1,2 b	3,7 a
Densidade	1,1 b	1,4 a
Porosidade	61,9 a	52,1 b
Microporosidade	32,2 a	25,8 a
Macroporosidade	29,7 a	26,3 b

Valores seguidos das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Os valores de S são maiores na mata em relação à cana, e em ambas as áreas diferem estatisticamente em profundidade, havendo maior disponibilidade na camada arável, variando de 19,83 mg dm⁻³ na mata para uma média de 9,63 mg dm⁻³ na cana (Tabela 5.2 e 5.3). Se analisarmos em ambas as profundidades, houve diferença estatisticamente significativa, devido à maior disponibilidade de M.O na camada superficial. A manutenção de teores adequados de M.O garante o suprimento gradual de

S às plantas pela mineralização. Entretanto, o uso do solo de forma inadequada, resulta em diminuição do teor de M.O, que associado ao uso de corretivos em superfície e fertilizantes concentrados, sem S, e às exportações deste elemento pelas colheitas, reduzem sua disponibilidade.

Dentre os micronutrientes que mais problemas de deficiência têm causado em culturas brasileiras, incluem-se o boro e o zinco. A M.O constitui a principal fonte de boro nos solos e, considerando os baixos teores normalmente presentes, aumentam as chances de ocorrerem deficiências (BUZETTI et al., 1990 a,b). Assim, há teores mais elevados de boro na mata, com níveis mais baixos em profundidade (Tabela 5.2).

O Zn encontra-se, também, principalmente armazenado na forma orgânica. A presença da M.O pode controlar não apenas a retenção, mas, também, a especiação iônica na solução do solo, sendo a formação de complexos solúveis o mecanismo responsável pela manutenção dos níveis de zinco em solução. Maior retenção de zinco tem sido observada em solos com pH mais básico. Assim, o ambiente de mata, possui níveis maiores de Zn, como pode ser observado na Tabela 5.3, o que explica, também, sua variação em profundidade na mata (Tabela 5.2). Embora os teores de Zn na área com cana-de-açúcar seja adequado, na mata é cerca de 2,5 vezes maior.

A deficiência de Cu geralmente ocorre em solos com teores muito altos de M.O, com capacidade de formar quelatos estáveis. Assim, em solos que há grandes teores de M.O o Cu é complexado em formas orgânicas insolúveis, permanecendo indisponível para as plantas, explicando, possivelmente, os teores semelhantes entre as áreas com mata e com cana

Os altos valores de Mn e de Fe presentes na mata, provavelmente, são decorrentes dos elevados teores de M.O encontrados nas amostras coletadas, uma vez que esta é uma das principais fontes destes nutrientes no solo, o que também justifica sua variação em profundidade nos ambientes.

A Ds foi maior na área cultivada em comparação com a área sob mata nativa (Tabela 5.3), embora não difiram estatisticamente em profundidade. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Islam e Weil (2000) e Araújo, Tormena e Silva (2004), que constataram um valor médio da Ds significativamente maior em área cultivada comparada com solo sob floresta natural. Também Silva e Ribeiro (1992) e Portugal et al. (2010) obtiveram resultados similares, comparando solo cultivado com cana e sob mata nativa. A maior Ds nos solos cultivados está relacionada com a compactação do solo pelo tráfego de máquinas e implementos (HAJABBASI;

JALALIAN; KARIMZADEH, 1997; HARTEMINK, 1998; CAVENAGE et al., 1999), principalmente para solo argiloso, como é o caso dessa área, com teores de argila de 50% ,com redução dos teores de M.O (SILVA;KAY, 1997; DALAL;CHAN, 2001) e com a menor estabilidade da estrutura do solo (HORN et al., 1995). O aumento da densidade do solo na área cultivada também pode ser explicado pela redução nos teores de M.O em comparação com o solo sob mata nativa. Segundo Assis e Lanças (2005), tal fato se deve ao maior teor de M.O nesta camada (Tabela 5.2), o que favorece a diminuição da densidade do solo, pela sua menor estruturação. Assim, o tempo de cultivo da cana-de-açúcar proporcionou aumento na densidade do solo

Os valores de macroporos e de porosidade total do solo foram significativamente menores no solo cultivado em comparação com os do solo sob mata nativa, embora não difiram em profundidade. Resultados similares, em solo cultivado com cana-de-açúcar, foram obtidos por Silva e Ribeiro (1992). A drástica redução da macroporosidade nos solos cultivados decorre do aumento da compactação do solo, que é evidenciada pelo aumento da densidade do solo (BORGES; KIEHL; SOUZA, 1999; KAY e ANGERS, 1999). A porosidade total (Pt) se comportou da mesma maneira que os valores da macroporosidade do solo e inversamente proporcional a Ds, sendo influenciada significativamente pelos diferentes usos do solo, nas duas profundidades, com os maiores valores sendo encontrados nas áreas de mata nativa.

A microporosidade do solo mostrou valor mais alto na mata, em contraste com a cana, diferindo em profundidade em ambos ambientes. Silva e Kay (1997) verificaram que a microporosidade do solo é fortemente influenciada pela textura, teor de carbono orgânico e muito pouco influenciada pelo aumento da densidade do solo, originada do tráfego de máquinas, implementos, etc. Este parâmetro é de suma importância para o desenvolvimento das plantas, uma vez que é responsável pelo armazenamento da água do solo.

5.1.2. Área 2 - Fazenda Santa Maria do Turvo

As variáveis analisadas no solo com 22% de argila sob mata que possuem níveis mais altos do que na área cultivada foram: M.O, K, H+Al, Al, CTC, S, B, Cu, Fe, Mn, m%, Pt, a macro e a microporosidade, como pode ser verificado na Tabela 5.4, que apresenta os valores da média e do desvio padrão para as variáveis no ambiente mata e cana, de acordo com as distâncias entre os pontos.

Tabela 5.4. Valores da estatística descritiva das variáveis químicas e físicas dos solos das áreas de mata (P0) e cultivada com cana-de-açúcar (P1 a P11), encontrados na Área 2.

MÉDIA/ DESVIO PADRÃO DAS VARIÁVEIS NOS PONTOS												
AMOSTRADOS/ PONTOS												
VARIÁVEIS	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P 8	P9	P10	P11
P resina	5,0 1,4	11,7 9,4	11,9 6,0	16,1 8,3	14,1 7,8	11,2 4,8	13,4 4,1	11,4 5,1	12,5 3,1	9,9 2,7	9,0 3,8	11,9 8,1
M.O	19,8 4,8	5,7 1,0	8,0 2,5	9,1 1,0	10,0 1,4	9,2 2,0	10,6 1,7	10,1 1,5	10,1 1,7	9,6 2,2	11,5 4,3	9,4 1,5
pH	4,3 0,2	4,8 0,5	5,3 0,3	5,5 0,8	5,1 0,3	5,3 0,4	5,0 0,8	4,9 0,6	4,9 0,5	5,0 0,3	5,2 0,6	4,8 0,4
K	1,9 0,8	1,0 0,3	1,2 0,6	1,2 0,3	1,2 0,5	1,1 0,4	1,2 0,4	1,2 0,7	1,2 0,6	1,2 0,8	1,2 0,6	1,4 1,0
Ca	9,6 4,1	11,2 3,2	19,2 2,4	19,5 4,7	17,2 2,5	19,1 2,6	15,2 6,7	16,2 5,8	15,9 4,8	16,0 2,2	17,2 3,8	14,0 4,1
Mg	6,4 2,2	6,5 2,0	8,7 2,2	9,5 3,4	8,4 1,5	9,2 2,2	8,1 4,1	6,9 2,4	7,6 2,4	7,9 1,4	7,6 2,5	6,4 2,2
H+Al	42,2 6,9	23,8 5,8	20,2 3,6	20,4 7,9	23,6 4,3	19,6 2,9	27,7 11,0	25,5 6,8	26,0 6,8	23,0 3,2	23,6 6,2	27,2 6,0
Al	6,7 3,1	2,3 2,4	0,8 0,4	1,3 2,1	1,0 0,7	0,5 0,1	2,9 3,6	2,7 1,5	1,8 1,7	1,1 0,4	1,1 0,9	1,6 1,2
SB	17,0 6,4	18,8 5,0	29,2 4,3	30,2 8,1	26,8 3,9	29,4 4,8	24,6 10,7	24,3 8,7	24,7 7,1	25,1 3,4	2,2 6,1	21,7 5,4
CTC	60,2 5,9	42,6 3,2	49,4 1,8	50,5 4,5	50,4 3,4	49,1 2,5	52,4 2,8	49,8 3,9	50,7 4,1	48,1 3,5	49,6 1,8	49,0 2,9
V	29,7 10,4	44,2 12,0	58,9 7,6	59,7 14,3	53,2 7,3	59,8 6,9	47,1 19,9	49,4 14,2	48,6 13,0	52,1 5,8	52,4 12,2	44,5 11,2
S	5,7 1,0	2,6 1,3	2,5 1,4	2,9 1,2	6,2 10,5	2,5 1,3	2,2 1,2	2,5 1,1	1,7 1,1	2,4 2,1	2,1 1,2	2,2 1,5
B	0,6 0,1	0,3 0,2	0,3 0,2	0,3 0,1	0,4 0,1	0,5 0,2	0,4 0,1	0,4 0,2	0,3 0,2	0,3 0,1	0,3 0,1	0,3 0,2
Cu	0,4 0,1	0,2 0,0	0,3 0,1	0,4 0,2	0,3 0,1	0,3 0,2	0,3 0,1	0,3 0,1	0,3 0,3	0,3 0,1	0,3 0,1	0,3 0,1
Fe	66,2 18,0	22,7 5,0	19,2 4,7	21,5 7,9	26,0 6,0	20,0 4,6	26,2 11,3	25,1 9,3	24,0 7,9	25,7 8,4	23,7 9,0	32,2 10,7
Mn	35,8 11,7	10,1 1,7	14,8 3,6	14,0 2,3	13,8 4,6	13,8 3,7	11,9 2,2	14,7 4,4	12,3 4,2	12,8 4,3	14,6 3,7	15,8 4,3
Zn	0,4 0,1	0,2 0,1	0,2 0,1	0,3 0,1	0,4 0,6	0,3 0,1	0,4 0,1	0,3 0,1	0,3 0,1	0,5 0,6	0,5 0,8	0,4 0,4
m%	11,2 5,5	5,3 5,3	1,6 0,7	2,6 3,7	1,9 1,4	1,0 0,1	5,4 6,4	3,4 3,0	3,6 3,3	2,2 0,8	2,2 1,8	3,3 2,3
Densidade	1,3 0,1	1,6 0,0	1,7 0,1	1,6 0,1	1,6 0,1	1,6 0,1	1,6 0,1	1,6 0,1	1,6 0,1	1,6 0,1	1,6 0,0	1,6 0,1
Porosidade Total	51,3 4,7	40,5 2,1	38,1 4,3	39,3 4,2	38,4 3,5	39,4 3,1	41,3 3,0	40,4 3,1	40,9 3,6	39,4 4,2	38,7 1,5	40,0 3,6
Macroporosidade	16,9 1,5	13,6 1,1	14,2 0,7	14,2 0,6	14,1 0,5	14,8 0,5	14,9 0,7	14,4 0,6	15,0 0,7	14,8 1,2	14,7 0,5	15,0 1,1
Microporosidade	34,3 4,2	26,8 1,5	23,9 34,0	25,1 4,0	24,3 3,3	25,4 2,8	26,3 2,7	25,9 3,2	25,9 3,4	24,6 3,21	24,0 1,4	25,0 3,3

Considerando-se a Tabela 5.5, a análise de variância mostrou que somente na área com cana algumas variáveis apresentaram diferenças em profundidade: pH, Ca, K e V. As maiores variações em profundidade foram evidenciadas para pH e saturação por bases (V%), validando a forte correlação entre estas duas propriedades do solo, conforme relatado por vários autores (RAIJ; SACCHETTO; IGUE, 1968; CAIRES; BANZATTO; FONSECA, 2000; SILVA; CENTURION; MELLIS, 2004), e demonstrando a influência da M.O sobre essas propriedades. O comportamento da V% está fortemente associado à CTC e aos cátions Ca, K e Mg.

A presença de maiores teores de M.O e valores mais elevados de CTC na mata nativa, como já referido no subitem anterior, é devido às áreas cultivadas possuírem um revolvimento intenso e contínuo do solo, que favorece a decomposição do material orgânico, além de pequeno aporte de resíduos vegetais durante a condução da cultura, sendo a maior parte exportada pela colheita. Canellas et al., (2003), encontram maiores valores de CTC nos manejos que mantiveram e/ou aumentaram o teor de M.O do solo. A contribuição da matéria orgânica para a CTC dos solos é importante e foi estimada entre 56 e 82 % da CTC da camada superficial de solos sob condições tropicais (RAIJ, 1981), o que favorece a retenção de cátions e diminui as perdas por lixiviação (RANGEL; SILVA, 2007; CARNEIRO et al., 2009). Neste tipo de solo, os latossolos brasileiros, a M.O é a principal geradora de cargas negativas na superfície (FONTES; CAMARGO; SPOSITO, 1996; SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007), sendo natural a maior CTC encontrada na área com mata, onde se encontram os maiores teores de M.O. Resultados similares também foram obtidos por Portugal et al. (2010).

Os teores de Al variaram significativamente, com os maiores valores ocorrendo na mata e os menores na cana, acompanhando as variações de pH, já que o Al tóxico às plantas é reduzido à medida que o pH aumenta.

Tabela 5.5. Atributos químicos e físicos sob os usos com mata e cana-de-açúcar nas profundidades de solo 0 a 10 cm e 10 a 20 cm com seus respectivos valores de *p* para cada variável analisada (Área 2).

Variáveis	Mata			Cana		
	Profundidade		ANOVA	Profundidade		ANOVA
	1	2	p	1	2	p
P resina	5,0	5,1	1,00	12,3	11,9	0,19
M.O.	20,7	19,5	1,00	9,9	8,9	0,32
pH	4,3	4,2	1,00	5,0	4,4	0,015*
K	2,0	1,8	1,00	1,4	1,0	0,0015**
Ca	10,2	9,2	1,00	16,2	16,6	0,011*
Mg	6,8	6,1	1,00	8,2	7,6	1,00
H+Al	41,5	43,8	1,00	21,3	24,1	1,00
Al	6,1	7,2	1,00	1,5	1,4	1,00
SB	10,0	17,1	1,00	25,8	25,2	0,14
CTC	60,5	61,0	1,00	49,2	49,1	1,00
V	31,4	27,8	1,00	52,3	51,1	0,002**
S	5,8	5,7	1,00	2,3	3,1	1,00
B	0,6	0,6	1,00	0,3	0,3	1,00
Cu	0,4	0,4	1,00	0,3	0,3	1,00
Fe	66,5	70,0	1,00	24,2	24,3	1,00
Mn	37,5	34,6	1,00	13,7	13,4	1,00
Zn	0,4	0,3	1,00	6,3	0,3	1,00
m%	10,1	12,1	1,00	3,1	2,8	0,78
Densidade	1,3	1,3	1,00	1,6	1,6	0,95
Porosidade	50,9	51,2	1,00	39,5	39,8	0,87
Microporosidade	17,0	17,0	1,00	14,3	14,5	0,92
Macroporosidade	33,8	34,2	1,00	25,1	25,3	0,86

(*) Valores significativos para <0,05

(**) Valores significativos para <0,01

Os valores de H + Al na área de mata foram maiores nas duas profundidades (Tabela 5.6), além da menor concentração de Ca, Mg em relação à área com cana, a qual não recebeu correção e adubação do solo no ano anterior e se trata de solos originalmente distróficos.

Os teores de P foram estatisticamente maiores na área de canavial que na mata (Tabela 5.6) e justificam-se pelo uso de adubações fosfatadas, cujo fósforo, pela sua

baixa mobilidade nos solos, permanece adsorvido aos colóides e em equilíbrio com a solução do solo. Não houve diferença significativa em profundidade.

Tabela 5.6. Valores médios das variáveis químicas e físicas sob os usos com mata e cana-de-açúcar, encontrados na Área 2.

Variáveis	Média dos valores	
	Mata	Cana
P resina	5,1 b	12,1 a
M.O.	20,1 a	9,4 b
pH	4,2 b	5,1 a
K	1,9 b	1,2 a
Ca	9,7 b	16,4 a
Mg	6,5 a	7,9 a
H+Al	42,6 a	23,7 b
Al	6,7 a	1,5 b
SB	18,1 b	25,5 a
CTC	60,7 a	49,2 b
V	29,6 b	51,7 a
S	5,8 a	2,7 b
B	0,6 a	0,3 b
Cu	0,4 a	0,3 b
Fe	68,1 a	24,2 b
Mn	36,1 a	13,5 b
Zn	0,4 a	0,3 a
m%	11,1 a	3,0 b
Densidade	1,3 b	1,6 a
Porosidade	51,0 a	39,7 b
Microporosidade	17,0 a	14,4 b
Macroporosidade	34,0 a	25,2 b

Valores seguidos das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Na mata, os teores baixos de nutrientes explicam-se, em parte, pelo fato de que nesse ambiente grande parte dos nutrientes está alocada na vegetação, além da pobreza química do Latossolo e do alto grau de intemperismo dele no ambiente (REZENDE;

RESENDE, 1996; ABRAHÃO et al., 2000; SANTOS et al., 2007; PORTUGAL et al., 2008).

Os altos valores de S, B, Cu, Fe, Mn, presentes na mata, provavelmente, são decorrentes dos maiores teores de M.O encontrados nas amostras coletadas, uma vez que esta é uma das principais fontes destes nutrientes no solo.

Nesta área, também foi verificado que os valores dos atributos físicos do solo foram significativamente maiores no solo sob vegetação nativa em comparação com solo sob cultivo, exceto a densidade, em virtude do teor de argila.

Observou-se ainda, considerando apenas as diferenças de ambiente, na Tabela 5.6, que apenas o Mg e o Zn não obtiveram diferenças significativas entre os ambientes. Os resultados mostram claramente, como os ambientes mata e cana são diferentes, pois o solo com mata nativa mantém mais a qualidade, em função da manutenção de maior teor de M.O e nível mais elevado da CTC, que resulta em maior retenção de nutrientes, maior diversidade microbiológica e maior retenção de água, pela maior estruturação do solo. A retenção de água está relacionada com a porosidade, principalmente com a microporosidade.

5.1.3. Área 3 - Fazenda Terra Nova

Na Tabela 5.7 estão registrados os valores da média e do desvio padrão para as variáveis no ambiente mata e cana, de acordo com as distâncias entre os pontos. O solo contém 27% de argila, portanto, considerado de textura média.

Analisando a Tabela 5.7, pode-se observar que os valores dos atributos químicos e físicos do solo apresentaram variação sob o uso da mata e cana para algumas das variáveis analisadas. As variáveis analisadas no solo com 27% de argila sob mata que possuem níveis mais altos do que na área cultivada foram: M.O, H+Al, Al, CTC, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, m%, Pt, macro e microporosidade, os mesmos encontrados no solo com 22%, na área 2, justificados no subitem 3.1.2, com exceção do K e do Zn.

Tabela 5.7. Valores da estatística descritiva das variáveis químicas e físicas do solo da área cultivada com cana-de-açúcar (P1 a P11) e da mata (P0) encontrados na Área 3.

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS VARIÁVEIS NOS PONTOS AMOSTRADOS/ PONTOS												
VARIÁVEIS	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P 8	P9	P10	P11
P resina	5,3 1,9	8,6 7,3	9,1 6,3	8,0 7,0	8,2 5,4	4,0 2,0	6,9 9,5	4,7 3,0	6,5 2,8	8,4 6,0	8,9 5,8	15,1 17,0
M.O	17,0 2,2	12,2 2,25	12,0 2,2	12,6 1,8	12,9 2,1	12,7 3,5	11,4 1,8	12,6 2,1	13,4 2,6	12,9 3,6	12,5 1,8	14,7 2,0
pH	3,8 0,1	5,1 0,6	5,0 0,5	5,3 0,3	4,9 0,4	4,8 0,2	5,2 0,4	5,3 0,4	5,4 0,4	5,1 0,5	5,0 0,4	5,5 0,3
K	1,4 0,3	1,5 0,6	2,3 1,2	2,4 0,5	1,7 0,4	2,4 0,8	2,2 0,9	2,1 0,5	2,3 0,2	2,3 0,7	2,4 0,7	2,6 0,5
Ca	2,5 1,5	14,2 3,4	12,9 3,3	16,1 2,3	14,4 3,3	14,0 2,6	15,2 3,8	16,4 4,2	15,1 4,0	13,6 3,3	13,0 3,4	16,5 3,3
Mg	2,5 0,8	9,7 2,5	9,4 2,4	11,1 1,5	10,1 1,8	9,2 1,7	10,0 2,3	10,9 2,4	10,9 2,8	9,1 2,3	9,2 2,1	12,4 2,3
H+Al	67,8 8,2	26,4 9,6	27,1 7,9	23,5 3,7	27,1 5,5	28,7 4,2	22,5 5,0	23,4 3,9	22,7 6,1	25,9 6,9	26,9 6,8	21,2 2,9
Al	17,0 2,4	2,8 4,5	2,5 2,3	1,3 1,1	2,4 2,1	2,2 1,8	1,7 1,5	1,0 0,5	1,7 1,8	2,6 2,2	2,3 2,5	0,7 0,4
SB	6,5 2,3	25,5 6,2	24,5 6,5	29,7 3,4	26,2 5,0	25,6 4,3	27,4 5,8	29,3 6,7	28,3 6,8	25,0 5,6	24,6 5,9	31,5 5,2
CTC	74,1 7,2	51,1 5,3	51,6 2,9	53,2 2,4	53,3 3,7	54,4 3,5	49,9 3,4	52,7 4,0	51,0 3,1	50,9 2,6	51,5 3,0	53,3 3,1
V	8,9 3,7	46,7 13,6	47,7 13,2	55,7 6,2	49,2 9,3	47,2 7,2	54,8 9,8	55,3 8,7	55,2 11,6	49,5 12,1	48,0 11,8	58,8 6,9
S	10,3 2,4	7,6 5,0	8,7 5,6	7,7 4,0	5,7 1,6	6,7 1,5	7,2 5,7	5,5 1,2	5,0 1,8	5,2 0,9	5,1 1,4	6,0 1,5
B	0,6 0,2	0,5 0,2	0,4 0,2	0,4 0,2	0,5 0,2	0,5 0,2	0,5 0,3	0,5 0,3	0,5 0,1	0,5 0,2	0,5 0,1	0,4 0,2
Cu	0,9 0,2	0,7 0,1	0,7 0,1	0,7 0,1	0,7 0,1	0,7 0,1	0,7 0,1	0,8 0,2	0,7 0,1	0,7 0,1	0,7 0,1	0,7 0,1
Fe	146,3 21,5	50,5 16,1	49,1 12,1	44,1 12,4	48,1 10,7	54,2 8,1	46,9 14,4	46,9 8,8	42,6 9,8	51,2 14,5	49,7 17,2	41,4 7,7
Mn	21,6 9,6	11,8 2,8	13,7 4,1	14,9 3,3	13,5 3,3	16,1 5,4	13,4 4,4	16,7 4,2	19,3 3,7	18,0 3,9	18,9 2,2	20,4 2,6
Zn	0,4 0,1	0,3 0,1	0,3 0,1	0,2 0,0	0,5 0,3	0,3 0,1	0,3 0,1	0,3 0,1	0,3 0,1	0,2 0,1	0,2 0,1	0,2 0,1
m%	23,0 2,6	4,8 7,1	4,8 4,1	2,5 2,1	4,6 6,0	4,1 3,5	3,3 2,8	2,0 1,0	3,4 3,5	5,0 4,2	4,3 4,6	1,3 0,7
Densidade	1,3 0,1	1,6 0,0	1,5 0,1	1,5 0,1	1,6 0,1	1,5 0,1	1,6 0,1	1,6 0,1	1,6 0,1	1,6 0,1	1,7 0,0	1,6 0,1
Poros Total	53,1 3,5	41,7 1,7	43,2 2,5	45,4 4,9	40,1 2,8	45,1 3,1	40,1 5,6	41,9 2,6	40,0 4,0	40,3 2,4	38,0 1,7	40,8 3,3
Macroporosidade	16,4 1,1	14,4 1,0	15,7 0,9	16,4 1,7	14,5 1,3	16,4 1,1	15,2 1,8	15,9 0,9	15,5 0,9	15,9 0,9	15,1 0,7	15,9 1,4
Microporosidade	36,7 3,61	27,4 1,7	27,5 2,8	29,0 5,0	25,7 2,7	28,7 2,9	24,9 3,9	26,0 3,2	24,5 3,6	24,4 3,6	22,9 1,6	24,9 3,0

Na Tabela 5.8, por meio da análise de variância, os resultados mostraram que nenhuma das variáveis estudadas, tanto no ambiente da mata como na cana-de-açúcar, apresentou diferença estatística em relação à profundidade. Isto pode ser entendido para a área com cana em função do menor tempo de cultivo (segundo corte ou primeira cana-soca), do que resulta menor entrada de máquinas e equipamentos, consequentemente com menor possibilidade de apresentar diferença significativas com a profundidade.

Essa diferença de ambiente observado pelos atributos químicos e físicos entre as áreas demonstra que o cultivo de cana-de-açúcar produz modificações acentuadas no solo, fazendo com que o mesmo se torne diferente do solo originalmente coberto por floresta, diminuindo sua qualidade produtiva.

Tabela 5.8. Atributos químicos e físicos dos solos sob mata e cultivado com cana-de-açúcar nas profundidades de solo 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, com seus respectivos valores de *p* para cada variável analisada (Área 3).

Variáveis	Mata			Cana		
	Profundidade		ANOVA	Profundidade		ANOVA
	1	2		1	2	
P resina	5,2	5,4	1,00	7,9	8,1	1,00
M.O.	17,0	16,7	1,00	12,8	12,6	1,00
pH	3,8	3,8	1,00	5,2	5,1	1,00
K	1,4	1,4	1,00	2,1	2,2	1,00
Ca	2,4	2,3	1,00	15,1	14,2	1,00
Mg	2,5	2,4	1,00	10,5	9,9	1,00
H+Al	66,8	67,6	1,00	24,3	25,9	1,00
Al	16,8	17,2	1,00	1,6	2,3	0,82
SB	6,4	6,1	1,00	27,8	26,3	1,00
CTC	73,2	73,7	1,00	52,1	52,2	1,00
V	9,0	8,5	1,00	53,4	50,5	1,00
S	10,3	10,4	1,00	5,7	7,1	0,26
B	0,6	0,6	1,00	0,5	0,5	1,00
Cu	0,8	0,9	1,00	0,7	0,7	0,82
Fe	146,0	143,9	1,00	45,8	49,6	0,87
Mn	21,4	21,5	1,00	15,7	16,4	1,00
Zn	0,4	0,4	1,00	0,3	0,3	0,8
m%	23,0	23,3	1,00	3,0	4,3	0,69
Densidade	1,2	1,3	1,00	1,6	1,6	1,00
Porosidade	53,4	53,1	1,00	41,2	41,9	1,00
Microporosidade	16,2	16,5	1,00	15,5	15,4	1,00
Macroporosidade	37,2	36,6	1,00	25,5	26,4	1,00

Valores significativos para $p < 0.0001$

Visando estudar apenas as diferenças de ambiente, é possível observar na Tabela 5.9, que apenas o P, a M.O, o Zn e a microporosidade não diferiram entre os ambientes. Isto demonstra novamente, como os ambientes estudados são diferentes, pois das 22 variáveis analisadas, apenas três possuem valores próximos.

Tabela 5.9. Valores médios das variáveis químicas e físicas do solo sob e mata e cultivado com cana-de-açúcar, encontrados na Área 3.

Variáveis	Média dos valores	
	Mata	Cana
P resina	12,1 a	8,0 a
M.O.	16,9 a	12,7 a
pH	3,8 b	5,1 a
K	1,4 b	2,2 a
Ca	2,4 b	14,7 a
Mg	2,5 b	10,2 a
H+Al	67,2 a	25,1 b
Al	17,0 a	1,9 b
SB	6,3 b	27,1 a
CTC	73,4 a	52,2 b
V	8,7 b	51,9 a
S	10,4 a	6,4 b
B	0,6 a	0,5 b
Cu	0,8 a	0,7 b
Fe	144, a	47,7 b
Mn	21,4 a	16,1 b
Zn	0,4 a	0,3 a
m%	23,1 a	3,6 b
Densidade	1,2 b	1,6 a
Porosidade	53,3 a	41,5 b
Microporosidade	16,4 a	15,5 a
Macroporosidade	36,9 a	26,0 b

Valores seguidos das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

5.1.4 Área 4 - Fazenda Santa Elisa

Na Tabela 5.10 estão apresentados os valores da média e do desvio padrão para as variáveis no ambiente da mata e cana, de acordo com as distâncias entre os pontos.

Tabela 5.10. Valores da estatística descritiva das variáveis químicas e físicas do solo da área cultivada com cana-de-açúcar (P1 a P11) e da mata (P0) encontrados na Área 4.

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS VARIÁVEIS NOS PONTOS AMOSTRADOS/ PONTOS												
VARIÁVEIS	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
P resina	11,2 13,6	6,0 3,0	15,2 27,3	5,2 2,6	7,1 4,5	44,6 30,2	10,6 11,0	9,4 8,9	5,7 3,5	4,4 3,3	4,9 3,4	5,1 1,9
M.O	32,3 6,5	10,0 4,4	8,7 2,6	9,5 3,5	8,5 2,0	8,0 1,7	8,4 1,7	8,6 3,5	9,0 2,1	9,6 1,8	10,4 0,7	9,0 1,2
pH	5,9 0,4	4,7 0,4	4,7 0,4	4,5 0,4	4,9 0,3	4,9 0,2	4,8 0,6	4,7 0,5	4,4 0,2	5,0 0,5	5,3 0,5	4,6 0,3
K	5,5 2,3	1,7 0,7	1,7 1,1	1,7 0,5	1,2 0,4	4,2 2,8	1,0 0,3	2,0 0,8	2,1 0,7	1,6 0,3	1,8 0,6	2,0 0,8
Ca	41,7 9,7	15,5 5,5	12,2 3,5	12,7 4,5	16,2 2,7	16,5 8,5	13,1 6,8	13,1 7,3	9,4 4,0	15,5 3,8	18,0 2,6	14,5 2,6
Mg	21,8 5,3	6,6 3,0	7,0 2,1	6,2 3,1	7,6 2,1	8,0 3,7	7,0 3,4	7,5 4,2	5,4 2,1	9,0 2,7	10,9 1,5	7,1 1,1
H+Al	23,5 5,3	29,7 3,3	30,7 6,2	32,9 4,0	30,0 3,9	20,4 4,2	33,1 10,7	32,1 6,3	35,0 3,7	28,6 5,1	26,5 3,6	33,6 2,4
Al	0,5 0,2	1,8 1,5	2,5 2,0	3,5 2,1	2,1 1,2	1,7 1,3	3,6 3,7	3,0 2,2	4,6 1,6	1,8 1,4	1,0 0,8	3,2 1,8
SB	69,1 14,1	23,9 8,4	20,9 6,0	20,7 7,4	25,1 4,8	29,2 10,3	21,1 10,2	22,6 12,0	16,9 6,2	26,1 6,7	30,6 3,9	23,6 3,4
CTC	92,5 13,5	53,6 6,7	51,7 8,9	53,6 3,9	55,1 1,7	58,6 7,4	54,3 4,8	54,8 6,9	51,9 5,4	54,7 7,5	57,2 3,3	57,2 3,3
V	74,1 7,0	43,6 10,0	40,2 9,0	38,0 10,8	45,4 7,9	48,5 12,0	39,1 18,5	39,8 15,8	31,9 9,5	47,4 8,7	53,6 5,9	41,2 4,5
S	6,9 2,2	9,9 6,6	6,7 4,9	14,5 12,3	6,0 3,7	90,9 65,3	8,4 3,5	26,6 17,2	18,0 4,2	14,1 12,8	6,9 1,6	7,9 5,2
B	1,1 0,3	0,4 0,1	0,4 0,2	0,4 0,2	0,3 0,2	0,4 0,1	0,4 0,2	0,3 0,2	0,5 0,2	0,5 0,2	0,4 0,2	0,4 0,2
Cu	0,6 0,3	0,8 0,2	0,7 0,1	0,7 0,2	0,7 0,1	0,7 0,1	0,6 0,1	0,6 0,1	0,7 0,2	0,6 0,1	0,6 0,1	0,7 0,2
Fe	38,9 10,1	42,4 6,6	36,6 9,1	41,1 5,7	33,5 5,5	37,2 6,0	34,2 7,4	32,4 2,4	34,0 3,0	30,5 7,2	28,5 3,3	35,0 4,0
Mn	159,1 47,0	59,2 12,2	37,5 9,3	44,1 6,7	34,1 16,1	47,7 7,5	36,7 6,0	38,9 8,3	37,0 3,4	37,6 8,4	36,2 7,2	38,6 9,2
Zn	1,2 0,4	0,5 0,1	0,3 0,1	0,4 0,3	0,3 0,1	0,3 0,0	0,2 0,0	0,2 0,0	0,2 0,1	0,2 0,1	0,3 0,1	0,2 0,0
m%	0,6 0,2	3,6 3,0	5,0 4,4	6,8 4,2	3,7 2,3	3,1 2,6	6,7 6,7	5,9 4,4	9,0 3,8	3,5 2,8	1,8 1,2	5,6 3,1
Densidade	1,2 0,1	1,7 0,1	1,6 0,1	1,7 0,1	1,7 0,1	1,7 0,0	1,6 0,0	1,6 0,1	1,6 0,1	1,7 0,1	1,6 0,1	1,7 0,1
Porosidade Total	56,8 3,3	40,0 2,6	41,2 2,5	40,9 3,9	40,9 2,5	40,0 1,4	40,7 1,5	42,0 2,6	41,7 1,6	41,6 3,6	40,5 3,0	39,9 2,3
Macroporosidade	17,1 2,2	13,03 1,4	13,3 1,3	12,3 0,7	13,5 2,2	11,8 1,4	12,6 1,4	13,2 0,5	12,7 1,8	12,8 0,8	13,6 0,7	13,5 0,9
Microporosidade	39,6 3,3	26,8 1,9	28,4 2,1	28,6 4,4	27,3 1,5	28,0 1,9	28,2 2,1	28,7 2,7	30,0 3,5	26,8 2,1	28,6 2,2	25,9 2,2

Todas as variáveis analisadas no solo sob mata possuem níveis mais altos, com exceção da densidade, Al, H + Al, m% e Cu, como encontrado na área 1, e justificados no subitem 3.1.1, com exceção do Cu.

A Tabela 5.11, mostra que nenhuma das variáveis estudadas tanto no ambiente da mata como na cana-de-açúcar apresentam diferenças estatísticas em relação à profundidade, como observado na área 3, Fazenda Terra Nova.

Tabela 5.11. Atributos químicos e físicos sob os usos com mata e cana-de-açúcar nas profundidades de solo 0 a 10 cm e 10 a 20 cm com seus respectivos valores de *p* para cada variável analisada (Área 4).

Variáveis	Mata			Cana		
	Profundidade		ANOVA	Profundidade		ANOVA
	1	2	p	1	2	p
P Resina	11,3	8,3	1,00	12,5	9,0	1,00
M.O.	22,8	21,5	1,00	9,3	8,8	1,00
pH	5,4	5,3	1,00	4,8	4,7	1,00
K	3,4	3,8	1,00	2,0	1,9	1,00
Ca	30,3	27,8	1,00	14,3	14,2	1,00
Mg	15,0	14,6	1,00	7,7	7,3	1,00
H+Al	26,8	27,2	1,00	31,2	30,9	1,00
Al	1,2	1,9	1,00	2,6	2,7	1,00
SB	48,7	46,2	1,00	24,1	23,3	1,00
CTC	75,5	73,5	1,00	55,3	54,2	1,00
V	59,7	58,8	1,00	42,9	42,4	1,00
S	7,1	10,2	1,00	17,1	21,1	1,00
B	0,7	0,8	1,00	0,4	0,4	1,00
Cu	0,6	0,6	1,00	0,7	0,6	1,00
Fe	41,8	37,7	1,00	35,3	34,9	1,00
Mn	120,6	100,1	1,00	41,2	40,1	1,00
Zn	1,0	0,8	1,00	0,3	0,3	1,00
m%	2,2	3,3	1,00	4,8	5,1	1,00
Densidade	1,4	1,4	1,00	1,6	1,6	1,00
Porosidade	49,0	49,7	1,00	40,6	41,1	1,00
Microporosidade	14,8	15,5	1,00	12,9	13,0	1,00
Macroporosidade	34,9	34,2	1,00	28,0	27,9	1,00

Estas características estão, possivelmente, relacionadas à textura arenosa, com 20% de argila, onde o acúmulo de M.O é mais difícil de ocorrer pelo ambiente mais favorável à sua oxidação, o que confere aos solos mais arenosos menores teores de

M.O, reduzindo a sua capacidade de reter água e cátions. Em comparação, solos argilosos apresentam menores taxas de decomposição da matéria orgânica e, conseqüentemente, maior estabilidade química e física desta (MIELNICZUK et al., 2003). Por outro lado, a intensa degradação ocorrida na mata deve ter contribuído decisivamente para que os atributos químicos e físicos da área com mata e com cana sejam parecidos.

Considerando-se apenas as diferenças de ambiente, é possível observar na Tabela 5.12 que apenas P, Cu, Al e Fe não obtiveram diferenças significativas entre os ambientes.

Tabela 5.12. Valores médios das variáveis químicas e físicas sob os usos com mata e cana-de-açúcar, encontrados na Área 4.

Variáveis	Média dos valores	
	Mata	Cana
P resina	9,8 a	10,8 a
M.O.	22,2 a	9,0 b
pH	5,3 a	4,8 b
K	3,6 a	2,0 b
Ca	29,0 a	14,3 b
Mg	14,8 a	7,5 b
H+Al	27,0 b	31,1 a
Al	1,5 a	2,6 a
SB	47,5 a	23,7 b
CTC	74,5 a	54,8 b
V	58,9 a	42,6 b
S	8,6 a	19,1 b
B	0,8 a	0,4 b
Cu	0,6 a	0,7 a
Fe	39,7 a	35,1 a
Mn	110,4 a	40,7 b
Zn	0,9 a	0,3 b
m%	2,8 a	5,0 b
Densidade	1,4 b	1,6 b
Porosidade	49,4 a	40,8 b
Microporosidade	15,2 a	12,9 b
Macroporosidade	34,5 a	27,9 b

Valores seguidos das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Ao final da análise individual das quatro áreas estudadas, constata-se que a análise dos parâmetros físicos e químicos são relevantes, embora devamos considerar o solo do ponto de vista qualitativo e quantitativo. Qualitativamente, os principais parâmetros a serem considerados são M.O, CTC e densidade do solo, que definem o potencial de produtividade. A M.O, por estar relacionada com os aspectos químicos, físicos e microbiológicos do solo, a CTC por definir a retenção de nutrientes, e a densidade por estar relacionada com a retenção de água, uma vez que interfere com a porosidade do solo. Por outro lado, quantitativamente é levado em conta o suprimento de nutrientes, que pode ser manejado imediatamente para a solução de uma possível deficiência. Dessa forma, as maiores atenções devem estar voltadas para os parâmetros quantitativos do solo.

5.2. Distâncias generalizadas de Mahalanobis para comparação entre os pontos das áreas da mata e da cana para as áreas estudadas

Conforme o pressuposto de haver efeito positivo dos fragmentos florestais sobre o solo cultivado com cana-de-açúcar, esperava-se encontrar gradientes nas condições físicas e químicas do solo, em relação ao distanciamento da mata nativa para a área adjacente de cana, para o seu interior, seguindo as distâncias amostradas (0, 5 e 10 m na mata e 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 m na cana).

Para este propósito procedeu-se a análise de correlação através das distâncias generalizadas de Mahalanobis e respectivos valores de p para comparação entre os pontos amostrados. Esta análise permite verificar a possível existência de um gradiente, conjugando os dados de todos os elementos analisados.

Como se trata de uma área cultivada, não se pode esquecer que a avaliação do solo representa o momento da coleta da amostra, podendo sofrer variações ao longo do ciclo da cultura da cana-de-açúcar em função do manejo cultural empregado (aplicação de fertilizantes e colheita, principalmente).

5.2.1. Área 1 – Campus CCA

A análise de correlação da área de cana e mata revelou a existência de um significativo gradiente positivo entre as distâncias da mata para o interior da área cultivada com cana, considerando a mata como o referencial (ponto zero) para as análises. Analisando a Tabela 5.13, podemos observar que na borda da cana (distância 0

m) houve uma diferença de ambiente de 189,41 comparando-se com a mata; na distância de 5 m, uma diferença de 192,79; em 10m, 196,19; em 15 m 200,66 em 20 m, 204,08; 25 m 213,84; em 30 m 217,18 e em 35 m 225,23. A partir desta distância, podemos perceber que os pontos tendem a não ser mais tão significativos. Podemos afirmar que quanto menor for a distância, menor será a diferença entre os dois ambientes estudados. Assim, há uma propensão, nos primeiros 35 metros da borda para o interior da cana, de melhor qualidade do solo nesta área, com toda a probabilidade de ser resultado do efeito da presença da mata sobre os parâmetros químicos e físicos do solo estudado.

Tabela 5.13. Distâncias generalizadas de Mahalanobis e respectivos valores de p para comparação entre os pontos amostrados, encontrados na Área 1.

PONTOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0		189,41	192,79	196,19	200,66	204,08	213,84	217,18	225,23	220,17	211,46	232,59
1	<0,0001		0,11	0,19	0,01	0,01	0,01	<0,0001	0,001	0,01	0,05	0,01
2	<0,0001	0,11		0,99	0,64	0,39	0,31	0,01	0,08	0,01	0,26	0,01
3	<0,0001	0,19	0,99		0,68	0,45	0,22	0,01	0,01	0,01	0,17	0,01
4	<0,0001	0,01	0,64	0,68		0,92	0,69	0,13	0,05	0,05	0,08	0,01
5	<0,0001	0,01	0,39	0,45	0,92			0,41	0,29	0,06	0,31	0,1
6	<0,0001	0,01	0,31	0,22	0,69	0,96		0,95	0,74	0,37	0,23	0,07
7	<0,0001	<0,0001	0,01	0,05	0,13	0,41	0,95		0,95	0,6	0,48	0,22
8	<0,0001	0,001	0,08	0,01	0,02	0,29	0,74	0,95		0,92	0,87	0,5
9	<0,0001	0,01	0,01	<0,0001	0,01	0,06	0,37	0,6	0,92		0,25	0,41
10	<0,0001	0,05	0,26	0,17	0,01	0,31	0,23	0,48	0,87	0,25		0,59
11	<0,0001	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,22	0,50	0,41	0,59	

Todos os valores são significativos para $p < 0.0001$

Além disso, foi possível verificar (Figura 5.1) que, apesar da relação entre os ambientes variar com a distância, houve uma clara distinção entre o ambiente de vegetação nativa e o cultivado. A distância mais próxima, isto é, a que mais se assemelhou com a mata foi de 189,41, uma distância relativamente baixa, se comparada com as áreas 3 e 4, como veremos a seguir.

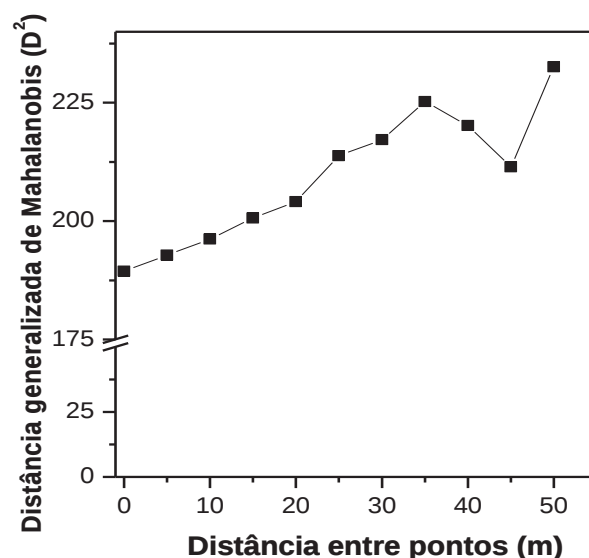


Figura 5.1. Comparação das distâncias dos pontos amostrados nos dois ambientes, conforme resultado das Distâncias generalizadas de Mahalanobis (Área 1).

Observa-se que os dados obtidos nos pontos da área de cana-de-açúcar deferiram pouco entre si, medidos pela distância generalizada (Tabela 5.13): a maior diferença foi de 18,56%, indicando pequena variação dos dados na linha de 50m. No entanto, considerando a mata como distância generalizada “zero”, o ponto de menor distância da cana-de-açúcar foi de 189,41 e o maior de 232,59, demonstrando diferença significativa entre os ambientes.

5.2.2. Área 2 - Fazenda Santa Maria do Turvo

No caso da área 2, observando a Tabela 5.14, podemos notar que não existe um gradiente positivo entre as distâncias da mata para o interior da área cultivada com cana, o que pode ser explicado pelo tipo de textura do solo. Na Figura 5.2, podemos verificar que o ponto mais próximo da mata é o mais diferente. Esses resultados indicam que provavelmente os processos de mecanização ultrapassaram os limites do carreador, o que intensificou o efeito de borda nessa área, tornando-a distante dos valores tidos como referência de qualidade do solo. Observa-se ainda que a partir da distância de 10 m, os pontos tendem à uniformidade, variando entre si 17,6% em média. Porém, a distância mais próxima, isto é, a que mais se assemelhou com a mata, é de 118,25, com uma

variação dos pontos da cana com 43,39%, indicando a área com maior variação dos dados.

Solos arenosos tendem a ter menor quantidade de M.O, possuem menor capacidade de retenção de cátions e assim, perdem facilmente os nutrientes por lixiviação. Além da classe de solo, as condições climáticas, os sistemas de culturas utilizados, o tempo de uso dos diferentes sistemas de manejo e a condição de umidade do solo em que são realizadas as operações de campo determinam a magnitude dos efeitos do manejo sobre as propriedades físicas do solo, que costumam ter menor impacto em solos arenosos.

Tabela 5.14. Distâncias generalizadas de Mahalanobis e respectivos valores de p para comparação entre os pontos amostrados, encontrados na Área 2.

PONTOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0		220,61	155,71	125,57	140,05	143,51	137,47	122,89	134,87	137,91	118,25	119,3
1	<0,0001		<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
2	<0,0001	<0,0001		0,62	0,01	0,07	<0,0001	0,01	0,01	0,1	0,01	0,01
3	<0,0001	<0,0001	0,62		0,05	0,19	0,01	0,58	0,02	0,25	0,10	0,01
4	<0,0001	<0,0001	0,001	0,05		0,50	0,21	0,43	0,01	0,52	0,03	0,01
5	<0,0001	<0,0001	0,07	0,19	0,50		0,01	0,28	0,005	0,36	0,02	0,1
6	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,001	0,21	0,01		0,17	0,38	0,05	0,01	0,001
7	<0,0001	<0,0001	0,01	0,58	0,43	0,28	0,17		0,46	0,36	0,52	0,20
8	<0,0001	<0,0001	0,001	0,02	0,01	0,05	0,38	0,46		0,17	0,01	0,1
9	<0,0001	<0,0001	0,01	0,25	0,52	0,36	0,05	0,36	0,17		0,11	0,45
10	<0,0001	<0,0001	0,01	0,10	0,05	0,5	0,01	0,52	0,01	0,11		0,49
11	<0,0001	<0,0001	0,01	0,10	0,01	0,01	0,01	0,20	0,01	0,45	0,49	

Todos os valores são significativos pra $p < 0.0001$

Embora os ambientes não tenham variado com as distâncias estabelecidas nesta área, no solo com 22% de argila, como pode ser verificado na Figura 5.2, há uma distinção entre o ambiente de vegetação nativa e o cultivado.

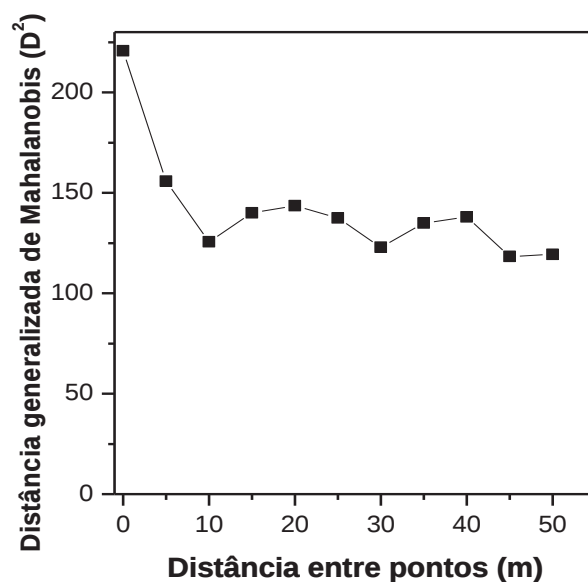


Figura 5.2. Comparação das distâncias dos pontos amostrados nos dois ambientes, conforme resultado das Distâncias generalizadas de Mahalanobis (Área 2).

Por outro lado, a intensa degradação ocorrida na mata nativa (Figura 5.3) da Fazenda Santa Maria do Turvo deve ter contribuído decisivamente para que os atributos químicos e físicos da área com mata e com cana sejam parecidos.



Figura 5.3. Mata nativa com intensa degradação demonstrando o efeito de borda.

5.2.3. Área 3 – Fazenda Terra Nova

Na área 3, com solo contendo 27% de argila, a análise de correlação da área de cana e mata revelou a existência de um significativo gradiente positivo praticamente contínuo entre as distâncias da mata para o interior da área cultivada com cana, como observado na área 1 (subitem 3.2.1), como pode ser verificado na Tabela 5.15. Isto demonstra que solos com textura mais argilosa mantêm o gradiente positivo da área de mata para o interior da área cultivada com cana-de-açúcar, com toda a probabilidade de ser resultado da presença de maior quantidade de M.O, maior CTC, maior capacidade de reter nutrientes e água e, assim, evitar a perda destes por lixiviação ou por processos erosivos, mantendo as propriedades do solo mais próximas da floresta nativa.

Tabela 5.15. Distâncias generalizadas de Mahalanobis e respectivos valores de p para comparação entre os pontos amostrados encontrados na Área 3.

PONTOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0		828,55	841,45	847,05	850,68	849,80	859,41	875,19	874,09	876,8	868,07	912,43
1	<0,0001		0,16	0,01	0,04	0,001	0,04	0,01	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
2	<0,0001	0,16		0,65	0,08	0,69	0,70	0,28	0,01	0,01	<0,0001	0,0001
3	<0,0001	0,01	0,65		0,01	0,95	0,07	0,59	0,01	0,01	<0,0001	0,05
4	<0,0001	0,4	0,08	0,01		0,02	0,13	0,01	0,01	0,01	<0,0001	<0,0001
5	<0,0001	0,01	0,69	0,95	0,02		0,09	0,65	0,01	0,01	<0,0001	0,01
6	<0,0001	0,4	0,71	0,07	0,13	0,09		0,15	0,01	0,05	<0,0001	0,01
7	<0,0001	0,01	0,2	0,59	0,01	0,65	0,15		0,14	0,16	0,01	0,32
8	<0,0001	<0,0001	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,14		0,86	0,90	0,37
9	<0,0001	<0,0001	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,16	0,86		0,66	0,39
10	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,01	0,9	0,66		0,22
11	<0,0001	<0,0001	0,01	0,05	<0,0001	0,01	0,01	0,32	0,37	0,39	0,22	

Todos os valores são significativos pra $p < 0.0001$

É possível verificar na Figura 5.4, que há uma nítida distinção entre o ambiente de vegetação nativa e o cultivado. A distância mais próxima, isto é, a que mais se assemelhou com a vegetação nativa foi de 828,55, uma distância alta se comparadas com as áreas 1 e 2. Este alto valor de diferença de ambiente deve ser devido às alterações sofridas pela área cultivada em relação à vegetação nativa, demonstrando que a introdução de sistemas agrícolas causa um desequilíbrio no ecossistema, modificando as propriedades do solo.

Os dados obtidos nos pontos da área com cana-de-açúcar deferiram pouco entre si, fato este também observado na área 1, medido pela distância generalizada (Tabela 5.15): a maior diferença entre os pontos foi de 9,19% indicando pequena variação dos dados na linha de 50m.

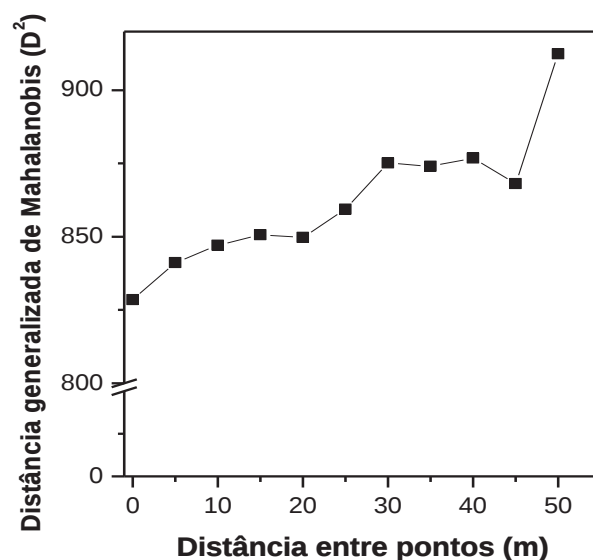


Figura 5.4. Comparação das distâncias dos pontos amostrados nos dois ambientes, conforme resultado das Distâncias generalizadas de Mahalanobis (Área 3).

5.2.4 Área 4 - Fazenda Santa Elisa

É possível verificar, observando a Tabela 5.16, que não existe um gradiente positivo entre as distâncias da mata para o interior da área cultivada com cana, como verificado na área 2, o que pode ser explicado pelo tipo de textura do solo, visto que esses dois tipos de solo possuem menores teores de argila. Na Figura 5.5, podemos verificar que o ponto mais próximo da mata (0 metros) é o que possui maior diferença de ambiente (812,15). No entanto, a partir da distância de 5 m até a de 25 m, os pontos mantêm um gradiente positivo. A partir dos 30 m não é possível mais verificar esse efeito positivo.

Tabela 5.16. Distâncias generalizadas de Mahalanobis e respectivos valores de p para comparação entre os pontos amostrados, encontrados na Área 4.

PONTOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0		812,15	711,42	741,50	754,07	764,32	795,03	707,10	675,53	654,41	707,75	747,53
1	<0,0001		0,01	0,04	0,02	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,01
2	<0,0001	0,01		0,19	0,15	<0,0001	0,01	0,01	0,05	0,01	0,15	0,07
3	<0,0001	0,05	0,19		0,12	<0,0001	0,05	0,01	0,05	0,01	0,01	0,05
4	<0,0001	0,05	0,15	0,12		<0,0001	0,06	<0,0001	0,01	0,001	0,05	0,57
5	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001		<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
6	<0,0001	<0,0001	0,01	0,05	0,06	<0,0001		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
7	<0,0001	<0,0001	0,01	0,01	<0,0001	<0,0001	0,01		0,27	0,28	0,02	0,01
8	<0,0001	<0,0001	0,05	0,05	0,01	<0,0001	0,01	0,27		0,30	0,07	0,05
9	<0,0001	<0,0001	0,01	0,01	0,01	<0,0001	0,01	0,28	0,30		0,33	0,01
10	<0,0001	<0,0001	0,15	0,01	0,05	<0,0001	0,01	0,05	0,07	0,3		0,13
11	<0,0001	0,01	0,07	0,05	0,57	<0,0001	0,01	0,01	0,05	0,01	0,13	

Todos os valores são significativos pra $p < 0.0001$

Estes resultados indicam, novamente, que solos arenosos tendem a sofrer menores variações. Como este solo tem apenas 20% de argila, provavelmente o acúmulo de matéria orgânica seja mais difícil de ocorrer pelo ambiente mais favorável à sua oxidação, o que confere aos solos mais arenosos menores teores de matéria orgânica, reduzindo sua capacidade de reter água e nutrientes, além de possuírem, geralmente, menor microporosidade.

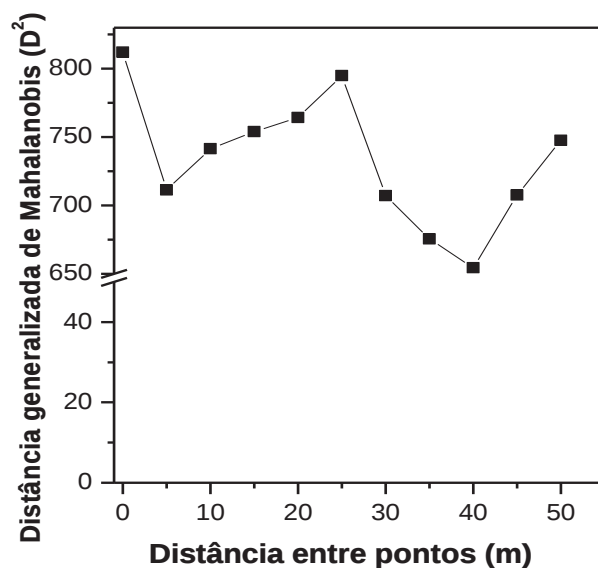


Figura 5.5. Comparação das distâncias dos pontos amostrados nos dois ambientes, conforme resultado das Distâncias generalizadas de Mahalanobis (Área 4).

Considerando-se a intensa degradação ocorrida na mata nativa (Figura 5.6) da Fazenda Santa Elisa, esta deve ter contribuído decisivamente para que os atributos químicos e físicos da área com cana-de-açúcar não tenham resultado no gradiente esperado.



Figura 5.6. Mata nativa com intensa degradação demonstrando o efeito de borda.

Por outro lado, apesar de não ser possível verificar o gradiente positivo na linha dos 50 metros como um todo, no solo com 20% de argila, pode-se verificar uma distinção entre o ambiente de vegetação nativa e o cultivado. A distância mais próxima, isto é, a que mais se assemelhou com a mata, é de 654,41, e a maior diferença foi de 812,15 com uma média de variação dos pontos de 19,42%, nos 50 m. Novamente, como discutido no subitem anterior, este alto valor de diferença de ambiente, provavelmente seja devido às alterações sofridas pela área cultivada em relação à vegetação nativa.

Cunha, Rodrigues e Yabe (2003), avaliaram o efeito da proximidade de florestas na fertilidade do solo (M.O, Ca, K, P, pH) com o mesmo gradiente em áreas contendo milho e trigo com diferentes texturas de solo, de acordo com a intensidade do intemperismo, sendo eles: Latossolo Vermelho Distroférrico, Nitossolo Vermelho Distroférrico e Neossolo Litólico. Verificaram que a presença do fragmento florestal exerceu influência na M.O do solo até dez metros de distância da borda. Após 10 m o manejo agrícola esteve mais evidenciado, fato este diferente do observado em nosso estudo, que mostra que o gradiente positivo influenciado pela mata nativa está relacionado com a textura do solo, presença de argila e M.O do solo.

5.3. Análise de Componentes Principais (PCA) dos ambientes estudados

Nesta etapa buscou-se avaliar qualitativamente as características de cada área nos dois ambientes e verificar as variáveis que mais estão relacionadas com a mata e com a cana-de-açúcar, por meio da ferramenta de análise de componentes principais. Para isso, foram extraídos três componentes principais e correlacionados os pontos da mata com os da área agrícola cultivada com cana-de-açúcar, com as vinte e duas variáveis analisadas. Os demais pouco contribuíram, não sendo considerados na análise.

5.3.1. Área 1 – Campus CCA

A PCA explica 71% da variância na primeira componente principal e 13% na segunda, que de forma acumulada explicam 84% de variabilidade total dos dados, como pode ser verificado na Tabela 5.17.

Tabela 5.17. Autovalores e % da variância pela Análise dos Componentes Principais para as análises físicas e químicas do solo da Área 1.

Componente	Autovalores	% dos Autovalores	% Cumulativas dos Autovalores
1	15,56595151	71	71
2	2,962019992	13	84
3	1,490211798	7	91

A primeira componente principal foi representada pelos autovalores positivos de M.O, pH, K, Ca, Mg, H +Al, SB, CTC, V, S, B, Mn, Zn, densidade, porosidade e microporosidade, as quais praticamente separaram o fragmento mata no primeiro quadrante e a cana localizada principalmente no segundo e no terceiro quadrante, em função da maior influência dessas variáveis (Tabela 5.18) sob o ambiente. Entre os atributos que se correlacionaram com valores negativos tem-se somente o Al. Esses resultados demonstram a dinâmica natural do solo, onde o conteúdo dos cátions nutrientes está relacionado com a CTC e com o conteúdo de M.O.

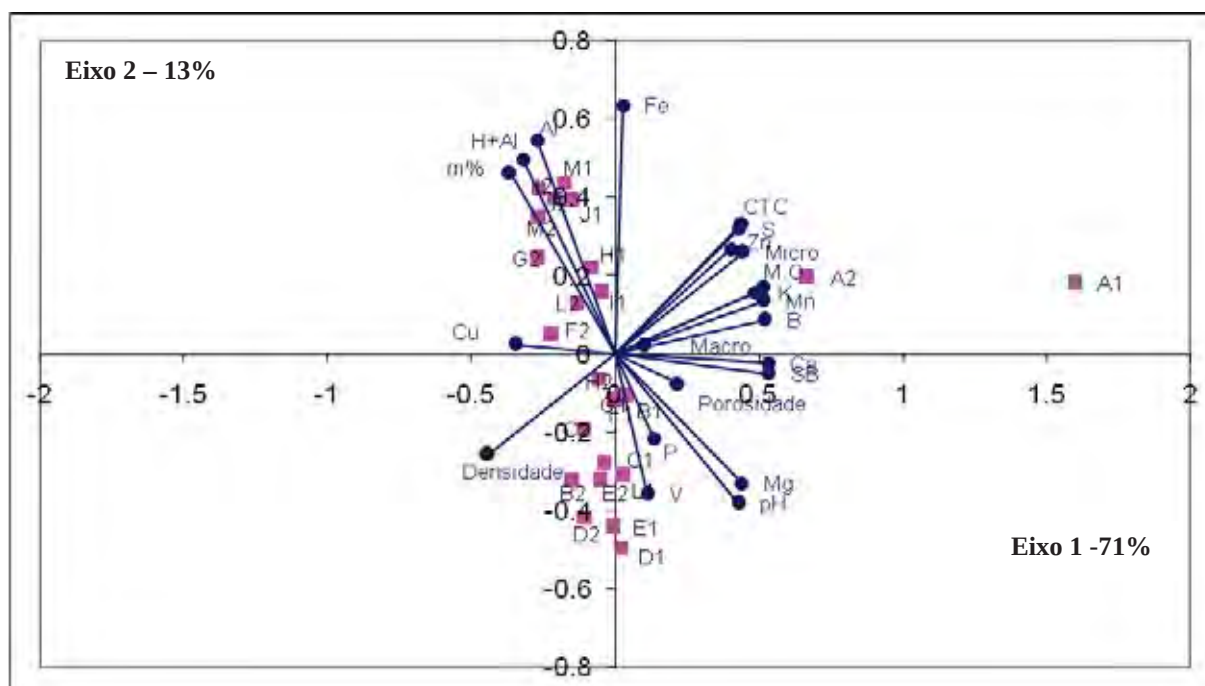
Tabela 5.18. Correlação entre variáveis originais e componentes principais dos atributos químicos e físicos do solo da Área 1 evidenciando o peso de cada variável.

Peso das Variáveis	PC1	PC2	PC3
P resina	0,07	-0,12	0,64*
M.O.	0,24*	0,10	0,12
pH	0,23*	-0,24*	-0,05
K	0,24*	0,09	-0,07
Ca	0,25*	0,00	0,06
Mg	0,22*	-0,18*	0,25*
H+Al	0,20*	0,32*	0,13
Al	-0,16	0,41*	0,17
SB	0,25*	-0,02	0,08
CTC	0,23*	0,20*	0,21*
V	0,24*	-0,17*	-0,04
S	0,22*	0,19	0,03
B	0,24*	0,06	0,18
Cu	0,20	0,02	-0,03
Fe	0,05	0,51*	-0,06
Mn	0,25*	0,08	-0,04
Zn	0,22*	0,17	0,21*
m%	0,19	0,36*	0,15
Densidade	0,23*	-0,14	0,22*
Porosidade	0,22*	0,14	-0,22*
Microporosidade	0,23*	0,13	-0,03
Macroporosidade	0,16	0,13	-0,45

* caracterização principal dos componentes principais

Na segunda componente principal observa-se que os conteúdos de H +Al, Al, CTC, Fe, m%, formam um grupo de características altamente correlacionadas entre si e negativamente com Mg, pH e V que formam um outro grupo. À medida que o pH e a quantidade de Mg diminui a acidez aumenta e, conseqüentemente, existe maior quantidade de H livre na solução do solo, o que caracteriza uma acidez elevada.

A PCA das variáveis mostrou que levando em conta todos os aspectos químicos e físicos analisados houve uma clara distinção entre os ambientes, como pode ser visualizada na Figura 5.7, onde todos os pontos da mata são encontrados no primeiro quadrante e os pontos da cana nos demais quadrantes. Além disso, podemos observar que houve uma separação entre os pontos da cana, na qual, salvo algumas exceções, os pontos cujas distâncias são menores em relação à mata adjacente possuem características mais próximas das variáveis que caracterizam o ambiente mata. Assim, podemos afirmar que quanto menor for a distância, menor será a diferença entre os dois ambientes estudados.



A1 = ambiente mata na profundidade 0-10cm. A2= ambiente mata na profundidade 10-20 cm.

B1 a M1 = ambiente cana nas distâncias de 0 a 50m na profundidade 0-10cm. B2 a M2 = ambiente cana nas distâncias de 0 a 50m na profundidade 10-20cm.

Figura 5.7. Análise dos componentes principais 1 e 2 das médias das variáveis comparando a área de cana-de-açúcar com mata (Área 1).

Essa separação dos pontos da mata com a área cultivada com cana salienta o fato de que o cultivo de cana-de-açúcar deve produzir uma modificação acentuada no solo, fazendo com que o mesmo se torne diferente do solo originalmente coberto por floresta, fato este já discutido no item 3.1, pela análise de variância. As diferenças são devidas às variações de fertilidade natural e melhores condições físicas do solo da mata e aquelas decorrentes de diferentes níveis de adubação da cana. A variação dos atributos do solo na vegetação nativa é muito menor quando se compara com solos de usos agrícolas, e por isso a vegetação nativa é um referencial para avaliação de solos incorporados a sistemas agrícolas. Nesta comparação, podem-se observar as alterações de atributos do solo após a utilização agrícola, verificando, assim, maior sustentabilidade da mata.

Conforme a Figura 5.7, os pontos pertencentes ao ambiente mata encontram-se mais relacionados à M.O, SB, CTC, V, m% e em menor grau ao P resina e à

macroporosidade, enquanto os pontos pertencentes à cana encontram-se mais relacionados ao H +Al, Al, m% e Fe, e em menor grau à SB.

Devido a mata ser um ecossistema natural e possuir teor de M.O mais elevado, tendo o solo maior proteção da cobertura vegetal, evita-se, assim, a rápida lixiviação dos nutrientes. Em solos tropicais, altamente intemperizados ou não, deve-se ressaltar a importância da M.O para a manutenção da CTC do solo, principalmente em superfície (SANCHES et al., 1999). A M.O tem influência direta sobre a CTC do solo. Os valores de macroporos foram menores no solo cultivado em comparação com os do solo sob mata nativa. Resultados similares, em solo cultivado com cana-de-açúcar, foram obtidos por Silva e Ribeiro (1992). A drástica redução da macroporosidade nos solos cultivados decorre do aumento da compactação do solo, que é evidenciada pelo aumento da densidade do solo (BORGES; KIEHL; SOUZA, 1999; KAY; ANGERS, 1999). A menor influência de P em solos naturais já era esperada, devido a não aplicação de fertilizantes fosfatados que, em geral, quando aplicados em áreas cultivadas, resulta no aumento de P disponível. Na cana, a maior influência de H +Al, Al e m% e menor na SB é devido à extração de nutrientes pela cultura, principalmente quando se encontra no final de mais um ciclo de cerca de 4 a 5 cortes (colheitas). As extrações de nutrientes e perdas por lixiviação são responsáveis pela maior acidificação do solo.

5.3.2. Área 2 - Fazenda Santa Maria do Turvo

Pela Análise de Componentes Principais, 69,86% da variabilidade das relações estudadas foram explicados nos dois primeiros eixos. A primeira componente principal apresentou 56,17, e a segunda 13,7% (Tabela 5.19).

Tabela 5.19. Autovalores e % da variância pela Análise dos Componentes Principais para as análises físicas e químicas do solo da Área 2.

Componente	Autovalores	% dos Autovalores	% Cumulativas dos Autovalores
1	12,35834	56,17	56,17
2	3,012519	13,69	69,86
3	1,392365	6,59	76,19

Observa-se na Tabela 5.20, no primeiro componente principal, que os conteúdos de M.O, CTC, Al, H +Al, Fe, Mn, m%, porosidade e macroporosidade formam um grupo de características positivas correlacionadas entre si, e negativamente com os atributos P, pH, Mg, Ca, SB, V e densidade. Tais valores de correlação indicam que quando os níveis de Al, m% e H +Al se elevam ocorre uma redução nos valores dos outros atributos no solo, sendo o inverso verdadeiro. Como a SB é composta pelas bases trocáveis Ca, K e Mg, justifica-se a alta correlação negativa no primeiro componente, indicando, assim, solo de baixa fertilidade, apesar da influência positiva da M.O.

Tabela 5.20. Vetores resultantes das Análises de Componentes Principais (PCA) do solo da Área 2, evidenciando o peso de cada variável das componentes.

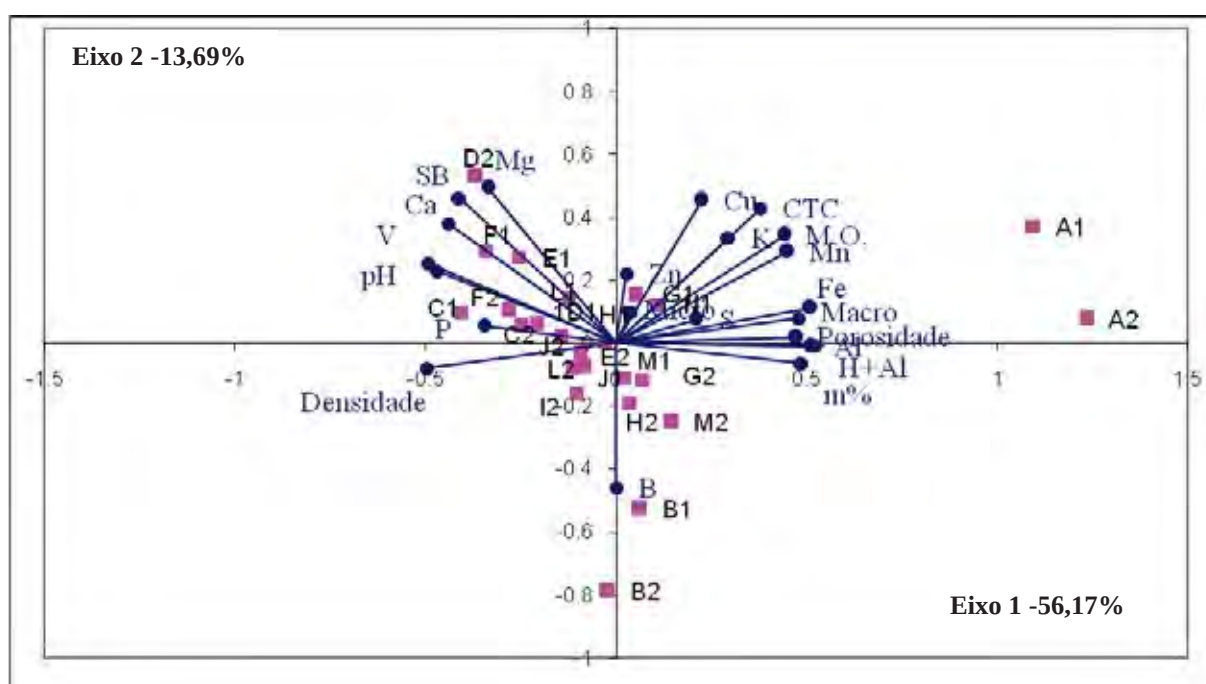
Peso das variáveis	PC1	PC2	PC3
P Resina	-0,18*	0,04	0,38*
M.O.	0,23*	0,26*	-0,08
pH	-0,25*	0,17	0,15
K	0,15	0,25*	-0,08
Ca	-0,23*	0,28*	0,03
Mg	-0,17*	0,37*	0,21
H+Al	0,27*	-0,004	-0,006
Al	0,27*	-0,006	0,09
SB	-0,21*	0,35*	0,09
CTC	0,20*	0,32*	0,05
V	-0,26*	0,19	0,04
S	0,11	0,05	0,29*
B	0,004	-0,3	0,28*
Cu	0,11	0,3	-0,02
Fe	0,27*	0,08	-0,01
Mn	0,23*	0,22*	-0,05
Zn	0,01	0,16	-0,53*
m%	0,25*	-0,04	0,13
Densidade	-0,26*	-0,06	-0,10
Porosidade	0,25*	0,01	0,18
Microporosidade	0,02	0,07	0,40*
Macroporosidade	0,25*	0,05	0,24*

* caracterização principal dos componentes principais

Na segunda componente principal, entre os atributos que se relacionaram de maneira elevada e positiva estão: M.O, K, Ca, Mg, SB, Mn e CTC. Com isso, e como se observa na Figura 5.8, essa componente está mais relacionada com o ambiente cana que,

possivelmente, recebeu calagem antes do plantio, justificando maiores valores para tais variáveis.

Como observado na área 1, a PCA mostra que houve uma nítida distinção entre os ambientes. Observa-se, ainda, que é possível verificar, com exceção do primeiro quadrante, a existência de maior quantidade de pontos coletados na área com cana-de-açúcar, enquanto no primeiro quadrante encontra-se o ambiente mata e poucos pontos pertencentes à cana, que, mesmo assim, estão mais distantes dos atributos que estão mais relacionadas com o ambiente mata (Figura 5.8).



A1 = ambiente mata na profundidade 0-10cm. A2= ambiente mata na profundidade 10-20 cm.

B1 a M1 = ambiente cana nas distâncias de 0 a 50m na profundidade 0-10cm. B2 a M2 = ambiente cana nas distâncias de 0 a 50m na profundidade 10-20cm.

Figura 5.8. Análise dos componentes principais 1 e 2 das médias das variáveis comparando a área de cana-de-açúcar com mata (Área 2).

5.3.3 Área 3 – Fazenda Terra Nova

A PCA explicou 62,9% da variância na primeira componente principal, e 10,08% na segunda, com um total de 72,98% da variância total do conjunto de dados (Tabela 5.21).

Tabela 5.21. Autovalores e % da variância pela Análise dos Componentes Principais para as análises físicas e químicas do solo da Área 3.

Componente	Autovalores	% dos Autovalores	% Cumulativas dos Autovalores
1	12,35834	62,9	62,9
2	3,012519	10,08	72,98
3	1,392365	5,76	78,74

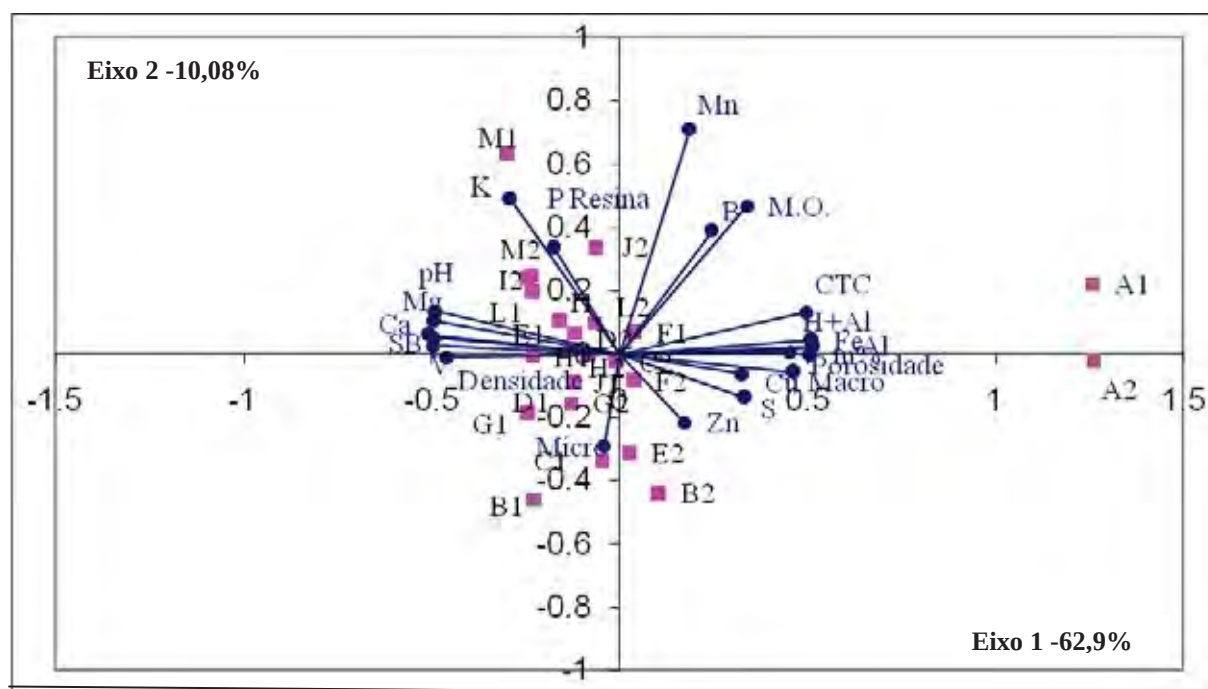
A primeira componente principal foi representada por autovetores positivos, principalmente pela M.O, CTC, H +Al, Al, m%, Fe, Mn, porosidade total e macroporosidade e por autovetores negativos pH, Mg, Ca, SB, V e densidade (Tabela 5.22). Estes resultados corroboram com a área 2 (subitem 3.2.2), e demonstram que quando os níveis de Al ,m% e H +Al se elevam ocorre uma redução nos valores dos outros atributos no solo, sendo o inverso verdadeiro, apesar da influência positiva da M.O.

Tabela 5.22. Valores resultantes das Análises de Componentes Principais (PCA) do solo da Área 3, evidenciando o peso de cada variável das componentes.

Peso das variáveis	PC1	PC2	PC3
P resina	-0,09	0,28*	0,31*
M.O.	0,17*	0,39*	0,26*
pH	-0,25*	0,11	-0,01
K	-0,15	0,40*	-0,31
Ca	-0,25*	0,02	-0,04
Mg	-0,25*	0,08	0,02
H+Al	0,23*	0,01	0,03
Al	0,26*	0,01	0,04
SB	-0,25*	0,04	0,04
CTC	0,25*	0,11	0,02
V	-0,26*	0,05	-0,02
S	0,17*	-0,11	-0,35*
B	0,12	0,32*	-0,24*
Cu	0,17*	-0,05	0,29*
Fe	0,26*	0,03	0,01
Mn	0,09	0,59*	0,18
Zn	0,08	-0,18	0,53*
m%	0,26*	-0,001	0,04
Densidade	-0,23*	-0,008	0,19
Porosidade	0,23*	0,005	-0,21*
Microporosidade	-0,02	-0,24*	0,12
Macroporosidade	0,24*	-0,04	-0,17*

* caracterização principal dos componentes principais

Na segunda componente principal, entre os atributos que se relacionaram de maneira positiva estão: M.O, K, P, Mn e B e, negativamente: microporosidade. Com isso, e como se observa na Figura 5.9, como verificado na área 2, essas variáveis estão mais relacionadas com o ambiente cana, apesar da presença significativa da M.O.



A1 = ambiente mata na profundidade 0-10 cm. A2= ambiente mata na profundidade 10-20 cm.

B1 a M1 = ambiente cana nas distâncias de 0 a 50m na profundidade 0-10 cm. B2 a M2 = ambiente cana nas distâncias de 0 a 50m na profundidade 10-20 cm.

Figura 5.9 Análise dos componentes principais 1 e 2 das médias das variáveis comparando a área de cana-de-açúcar com mata (Área 3).

Como observado nas áreas 1 e 2, a PCA mostra que houve uma nítida distinção entre os ambientes, e que é possível verificar a exceção do primeiro quadrante, a existência de maior quantidade de pontos coletados na área com cana-de-açúcar, o qual estão mais distantes das variáveis que mais estão relacionadas com o ambiente tido como referencial, a mata nativa.

5.3.4. Área 4 - Fazenda Santa Elisa

A PCA revelou que os dois primeiros componentes principais explicaram da variação 67,54%, sendo que a primeira componente principal representou 56,92% da variância e a segunda, 10,62% (Tabela 5.23).

Tabela 5.23. Autovalores e % da variância pela Análise dos Componentes Principais para as análises físicas e químicas do solo da Área 4.

Componente	Autovalores	% dos Autovalores	% Cumulativas dos Autovalores
1	12,5226	56,92	56,92
2	2,337948	10,62	67,54
3	1,907193	8,67	76,21

Pode-se verificar na Tabela 28, na primeira componente principal, que os conteúdos de M.O, K, Ca, Mg, SB, CTC, V, B, Mn, Zn, porosidade total e microporosidade formam um grupo de características altamente correlacionadas entre si, e negativamente com os atributos Al, H+Al, m% e densidade, como verificado na área 1, as quais praticamente separaram o fragmento de mata da cana, em função da maior influência dessas variáveis (Tabela 5.24).

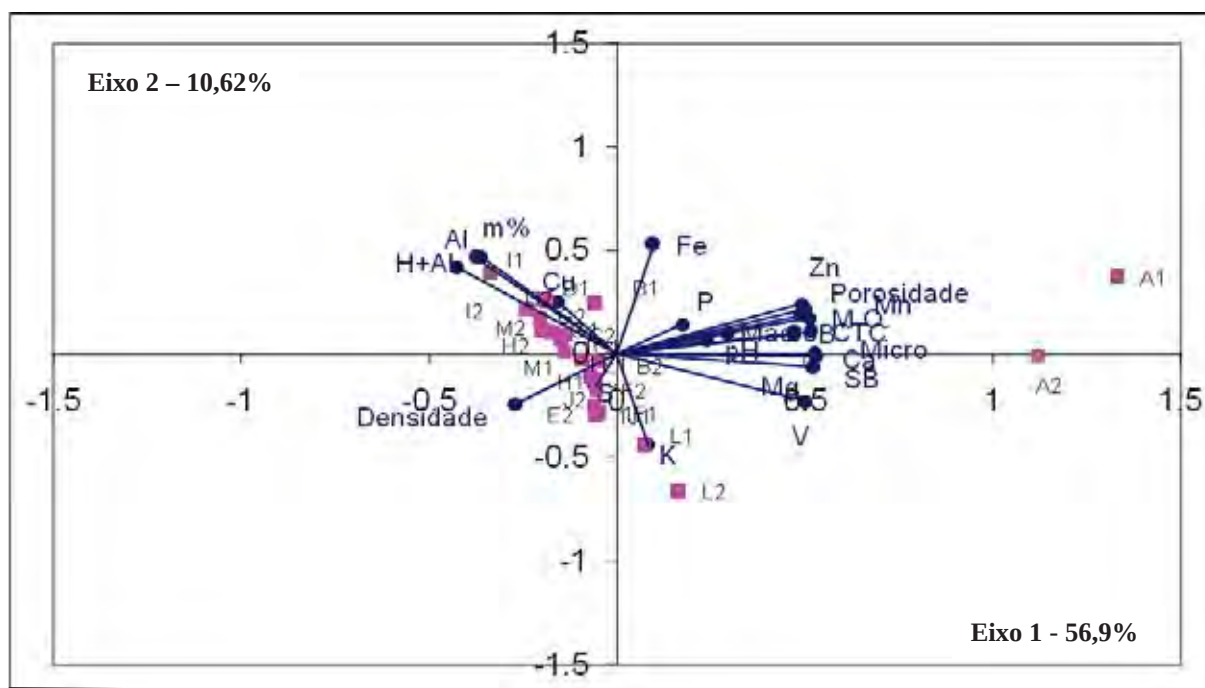
Tabela 5.24. Valores resultantes das Análises de Componentes Principais (PCA) do solo da Área 4, evidenciando o peso de cada variável das componentes.

Peso das variáveis	PC1	PC2	PC3
P Resina	0,09	0,11	0,27*
M.O.	0,27*	0,14	-0,04
pH	0,12	0,05	0,15
K	0,04	-0,35*	-0,10
Ca	0,27*	0,003	0,03
Mg	0,27*	-0,04	-0,03
H+Al	-0,22*	0,33*	-0,08
Al	-0,19*	0,38*	-0,24*
SB	0,28*	-0,009	0,02
CTC	0,27*	0,08	0,006
V	0,26*	-0,18*	0,06
S	-0,03	-0,12	0,31*
B	0,25*	0,08	-0,08
Cu	-0,08	0,20	0,43*
Fe	0,05	0,42*	0,45*
Mn	0,26*	0,17	0,05
Zn	0,26*	0,19	0,12
m%	-0,19*	0,37*	-0,23*
Densidade	-0,14*	-0,19*	0,36*
Porosidade	0,26*	0,15	-0,12
Microporosidade	0,25*	0,07	-0,18*
Macroporosidade	0,15	0,07	-0,23*

* caracterização principal dos componentes principais

A segunda componente encontra-se mais relacionada positivamente com Al, H +Al, m%, e negativamente com o K.

Como observado nas demais áreas já citadas, a PCA mostrou que houve uma clara distinção entre os ambientes. Observa-se ainda, com exceção do primeiro quadrante, a existência de maior quantidade de pontos coletados na área com cana-de-açúcar que o ambiente mata e apenas dois pontos pertencentes à cana, e, mesmo assim, mais distantes dos atributos que estão mais relacionadas com o ambiente mata, como pode ser verificado na Figura 5.10.



A1 = ambiente mata na profundidade 0-10 cm. A2= ambiente mata na profundidade 10-20 cm.

B1 a M1 = ambiente cana nas distâncias de 0 a 50m na profundidade 0-10 cm. B2 a M2 = ambiente cana nas distâncias de 0 a 50m na profundidade 10-20 cm.

Figura 5.10. Análise dos componentes principais 1 e 2 das médias das variáveis comparando a área de cana-de-açúcar com mata (Área 4).

5.4 Análises dos dados microbiológicos

Segundo Brown (2002), de todos os micro-habitats do solo, a serapilheira e a rizosfera são os lugares mais ricos em recursos, sendo estes preferidos pelos organismos edáficos para desenvolver seu ciclo de vida. Nessas regiões, os microrganismos proliferam usando carboidratos, exsudados, ácidos orgânicos, aminoácidos, enzimas e células liberadas por raízes, folhas e outros materiais vegetais. Desse modo, as amostras de solo para as análises microbiológicas foram coletadas na profundidade de 0-10 cm. Esse comportamento é resultado das condições de umidade, aeração, temperatura, pH e suprimento de nutrientes, que favorecem o desenvolvimento desses organismos. Convém ressaltar que, esse comportamento da população de fungos e bactérias pode vir a variar, uma vez que cada ambiente apresenta suas características próprias. Foi adotado fazer as análises microbiológicas isoladas, através de suas médias, devido seus valores

de bactérias e fungos serem discrepantes o que dificultou executar as análises estatísticas.

As análises microbiológicas mostraram que a população bacteriana é muito maior do que a população fúngica, porém a mesma apresentou variação nas áreas estudadas e entre os ambientes mata e cana-de-açúcar (Tabela 5.25 e Figura 5.11). Já o maior número de espécies de fungos encontrado nas áreas cultivadas, comparável à área de vegetação nativa, indica que o manejo adotado nos sistemas agrícolas contribuiu de forma positiva para a manutenção da biodiversidade de fungos do solo, e apresentou variação entre as áreas e ambiente. Neste caso, é importante ressaltar que, nos sistemas permanentes, o aporte de nutrientes do solo é contínuo e as condições estáveis. Assim as oscilações na população fúngicas foram mínimas. As áreas estudadas não apresentaram diferenças entre as distâncias, como proposto no objetivo do trabalho como verificado nos atributos químicos e físicos, mais apresentou diferenças entre as áreas e entre os ambientes, mata e cana-de-açúcar (Tabela 5.25).

No solo sob cultivo de cana-de-açúcar, apesar de ficar descoberto no período que vai do corte até a rebrota, espécies com maior capacidade de esporular podem ter sido favorecidas pelas suas maiores possibilidades de sobrevivência durante os períodos adversos e a eliminação de grupos antagonistas e competidores, enquanto que na mata não houve tal pressão de seleção. A presença da cultura de cana-de-açúcar também pode contribuir para o aumento da população destes microrganismos, já que alguns gêneros de bactérias se encontram associados às gramíneas (CATELLAN; VIDOR, 1990).

Tabela 5.25. Resultado da Anova para os fungos e bactérias presentes no solo e respectivos valores de F e p para comparação entre áreas, distâncias entre os pontos e ambiente (mata e cana).

	Bactérias		Fungos	
	F	p	F	P
Área	4,41	0,0051**	2,13	0,0983
Distância (m)	0,59	0,8293	0,58	0,7659
Ambiente	7,89	0,004**	11,77	0,0007**

* caracterização principal dos componentes principais

Nos ecossistemas naturais, a cobertura vegetal permanente proporciona proteção contínua do solo, além de adicionar grandes quantidades de nutrientes principalmente pela deposição de resíduos. Seus efeitos sobre a comunidade microbiana podem interagir com os efeitos provocados pelas flutuações hídricas e térmicas que ocorrem durante o ano, influenciando em menor ou maior grau essas populações (TSAI; BARAIBAR; ROMANI, 1992). Segundo Ruivo et al. (2002), fatores como temperatura, umidade e pH do solo podem influenciar na densidade dos microorganismos, fator este importante para elevar a atividade metabólica e, conseqüentemente, a multiplicação dos microorganismos.

Em geral, com exceção da área 4, os resultados das contagens de fungos e bactérias, na área de mata nativa, foram inferiores aos das áreas cultivadas (Figura 5.11). Essas diferenças podem estar relacionadas à calagem e à adubação do solo que, ao aumentarem o pH e a disponibilidade de nutrientes nas áreas cultivadas, podem favorecer o desenvolvimento desses organismos (NAHAS; CENTURION; ASSIS, 1994). Entretanto, a interpretação desses resultados também deve levar em conta as limitações do método de contagem em placas, o qual seleciona as espécies que formam colônias e se desenvolvem bem no meio de cultura escolhido (cultiváveis), em detrimento de outras que não se adaptam ou simplesmente não crescem no mesmo meio (KUCEY, 1983). De acordo com Torsvik, Gorsoyr e Dae (1990), apenas pequena parte dos microorganismos do solo (0,1% a 0,5%) cresce em meios de cultura. Por outro lado, o resultado inverso é observado na área 4, devido esta área possuir um menor teor de argila (20%), e sendo um Argissolo, perde-se mais facilmente M.O, CTC, e nutrientes por processos de lixiviação do solo; assim, encontra-se mais microorganismos na área com mata nativa.

Outros estudos também têm apontado a existência de maior quantidade de microorganismos nas áreas cultivadas, devido à eficiência das gramíneas na manutenção do COT do solo, podendo, até mesmo, em determinadas situações, ser observada uma tendência de acúmulo de C em relação à condição natural de cobertura, em decorrência, principalmente, da elevada geração de resíduos e intensa ciclagem de raízes nesses sistemas (MORAES et al., 2002; ANDRÉA et al., 2004). No caso da cana-de-açúcar, além do exposto, a adoção da prática de colheita sem o uso da queima também contribuiu para esses resultados. Tais resultados contrastam com o verificado por Melloni et al. (2001) e Stieven et al. (2009), onde verificaram um aumento na

comunidade microbiana no ecossistema de mata, quando comparado ao solo sob cultivo.

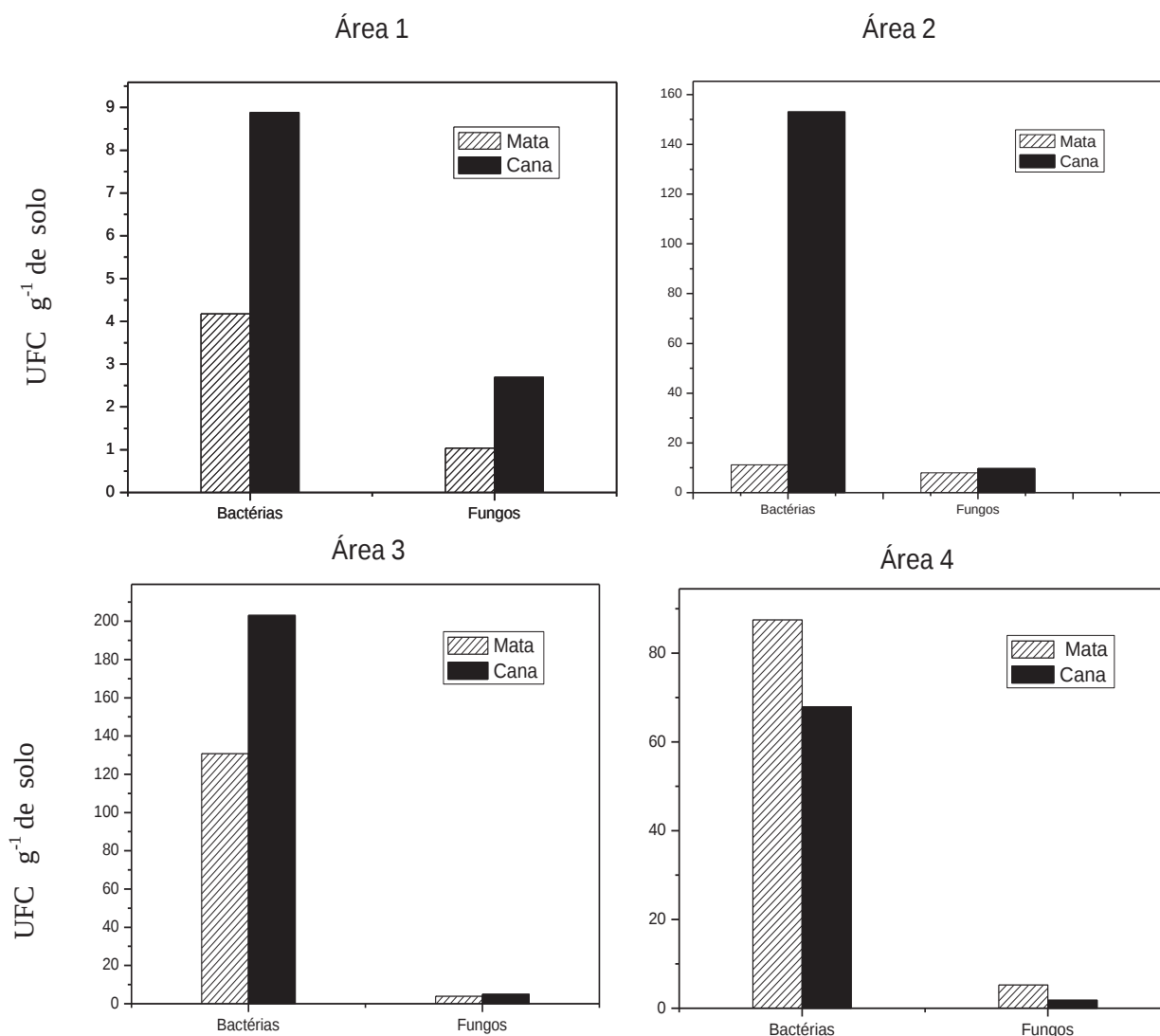


Figura 5.11. Distribuição da população de fungos e bactérias (UFC), na profundidade de 0-10 cm nas áreas estudadas.

5.5 Análises conjuntas das áreas estudadas

A técnica de análise de agrupamento com o uso de análise discriminante canônica permitiu complementar, de maneira mais eficiente, os resultados obtidos para todas as áreas, com o objetivo de verificar as associações existentes entre os grupos de características químicas e físicas. As áreas possuem características diferentes e ao mesmo tempo similares, de acordo com algumas variáveis analisadas. Como os solos possuem texturas diferentes para as diferentes áreas estudadas parece que o conteúdo de

argila foi o fator que mais influenciou na caracterização dos atributos de cada área. Além disso, a intensa degradação ocorrida na mata nativa nas áreas 2, 3 e 4 deve ter contribuído decisivamente para que os atributos destas áreas com mata e com cana sejam parecidos.

Pela análise de discriminante canônica, 98,1% da variabilidade das relações estudadas foram explicados nas duas primeiras raízes. A primeira raiz canônica (Can 1) apresentou 93,56%, e a segunda (Can 2) 4,53% , em que as variáveis escolhidas para tal teste segundo o programa adotado foram: Pres, MO, K, Mg, H +Al, Al, V, S, B, Cu, Mn, m%, Micro (Tabela 5.26).

Tabela 5.26. Autovalores e % da variância pela análise de discriminante canônica para as análises físicas e químicas do solo.

Raiz	Autovalores	% dos Autovalores	% Cumulativas dos Autovalores
1	52.8412	93,56	93,56
2	2.5600	4,53	98,1
3	1.0742	1,9	100

Os resultados desta análise estão ilustrados na Figura 5.12. Nota-se que a área 1 é totalmente diferente das demais se analisarmos o eixo da Can 1. Isto demonstra que a Can 1 é responsável pela separação da área 1 das outras áreas, sendo este solo, com 50% de argila, o mais distante dos demais e o que possui uma maior influência positiva da fertilidade do solo. A análise desta raiz indica que a área 1 é caracterizada por quantidade acima da média de M.O, com maior microporosidade e maior quantidade de Cu e H+Al, como observado na Tabela 5.26. Por outro lado, este solo também é caracterizado por baixa quantidade de Al. Desta forma, a área 1 possui um solo em muito melhor estado que as áreas 2, 3 e 4 em relação às variáveis citadas. O maior conteúdo de M.O na área 1 pode ser explicado pelo maior teor de argila, demonstrando o efeito da argila na manutenção da M.O do solo.

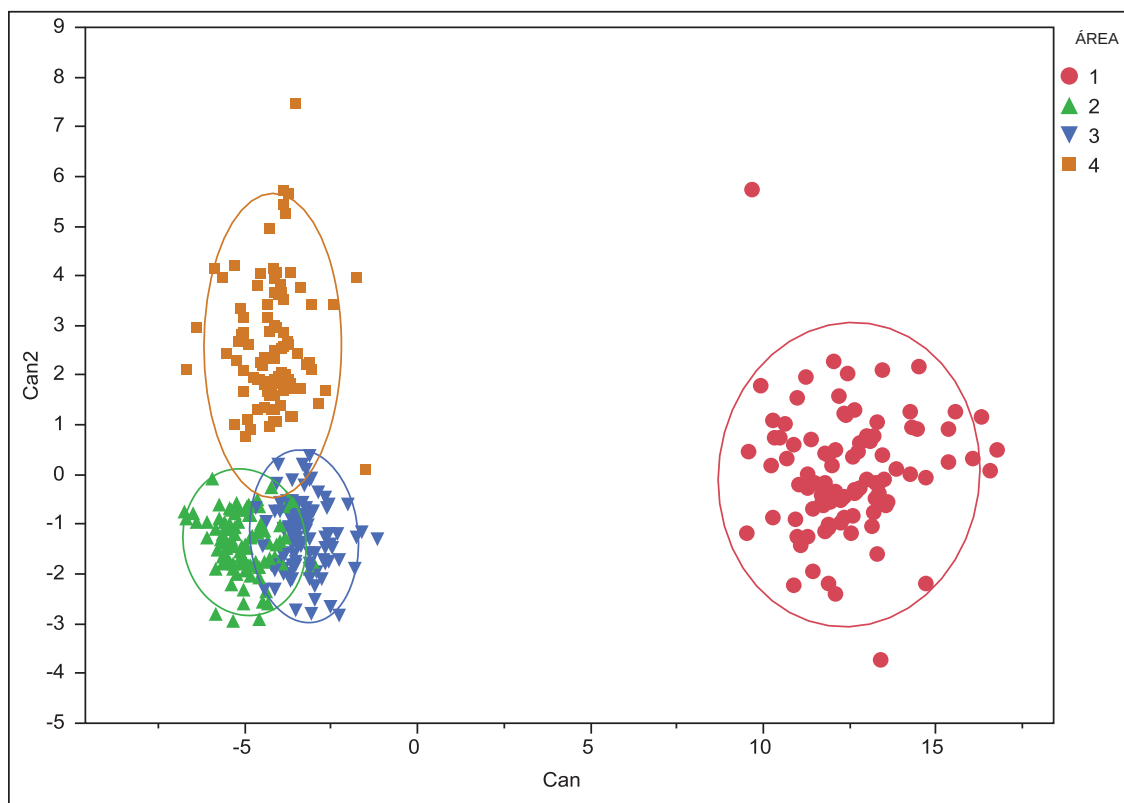


Figura 5.12. Agrupamento das áreas pela Análise Discriminante Canônica 1 e 2 das variáveis químicas e físicas.

As áreas 2, 3 e 4 são muito parecidas e, ao contrário da área 1, possuem pouca quantidade de M.O , Cu e H+Al, baixa microporosidade, e uma quantidade acima da média para Al. Já a área 4 apresenta quase as mesmas características das áreas 2 e 3, entretanto, elas podem ser separadas pela segunda raiz canônica pois possuem quantidades maiores de Mg, Cu e principalmente Mn e V% do que as áreas 2 e 3 (Tabela 5.27).

Tabela 5.27. Valores resultantes da análise discriminante canônica, evidenciando o peso de cada variável.

Variáveis	Raiz 1	Raiz 2	Raiz 3
P resina	0.033962260	-0.136840936	- 0.623625688
M.O	0.922220399 *	-1.597387299*	0.040083184
K	-0.536785232	0.404622954	1.009215157
Mg	0.039699761	0.808625399*	2.190514906
H + Al	1.306264226 *	0.498387810	-3.603101584
Al	-1.044781936*	-0.186045003	3.898575079
V	0.576398844	1.024813016*	-3.799783647
B	-0.236140509	0.111994890	0.310558393
Cu	4.446836688 *	1.225405682*	1.656684519
Mn	-0.231202234	2.318784343*	-0.852908424
m%	0.458419572	-0.452973817	-3.172349831
Micro	1.690680633*	-1.998497256*	-0.646248497

* Caracterização principal das relações canônicas

Os menores teores de M.O foram observados nas áreas 2, 3 e 4 , indicando que nestas a transformação da matéria orgânica ocorre de maneira mais rápida, tal fato sugere que estas áreas são mais suscetíveis à degradação do solo, quando comparado ao solo mais argiloso presente na área 1.

Isto demonstra que as áreas aqui estudadas se comportaram de forma a ser relacionadas com a quantidade de argila presentes em cada solo. O solo com maior teor de argila, presente na área 1, é o mais fértil pois está mais relacionado com a M.O possuindo maiores quantidades da mesma, maior disponibilidade de Cu e microporosidade, devido à presença abundante de M.O neste solo, sendo essas variáveis as que mais influenciam tal característica. As áreas 2 e 3, estão mais próximas e se sobrepõem no gráfico, tanto na Can1, como na Can2, o que demonstra que essas áreas são mais semelhantes (solos com 22 e 27% de argila, respectivamente), que a 1 e a 4.

Na análise de distâncias generalizadas de Mahalanobis, com as mesmas variáveis escolhidas pelo programa estatístico utilizado para as áreas estudadas (Tabela 5.28), é possível verificar que elas mantêm o mesmo padrão, como visto no item 3.2.

Tabela 5.28. Distâncias generalizadas de Mahalanobis e respectivos valores de p para comparação entre os pontos amostrados.

Distâncias	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
Mata	0	0	0	0
0	120,16	194,63	304,67	217,11
5	137,46	155,38	325,15	159,78
10	145,57	135,05	327,54	160,31
15	159,42	129,55	334,26	167,16
20	164,00	134,93	340,47	177,83
25	148,23	119,46	344,32	189,90
30	149,99	126,58	324,09	172,21
35	138,37	135,42	321,28	173,90
40	138,37	134,09	322,27	172,40
45	141,04	127,00	308,93	203,80
50	141,93	128,00	323,26	192,40

Nota-se que as áreas 1 e 3 mantêm de forma positiva o gradiente nos primeiros 35 e 25 m, respectivamente (Figura 5.13). Enquanto as áreas 2 e 4 não mostraram tal gradiente, corroborando com a relação que solos mais argilosos possuem a tendência positiva no gradiente estudado, e que solos arenosos não apresentam tal tendência, como explicado em cada área no item 3.2.

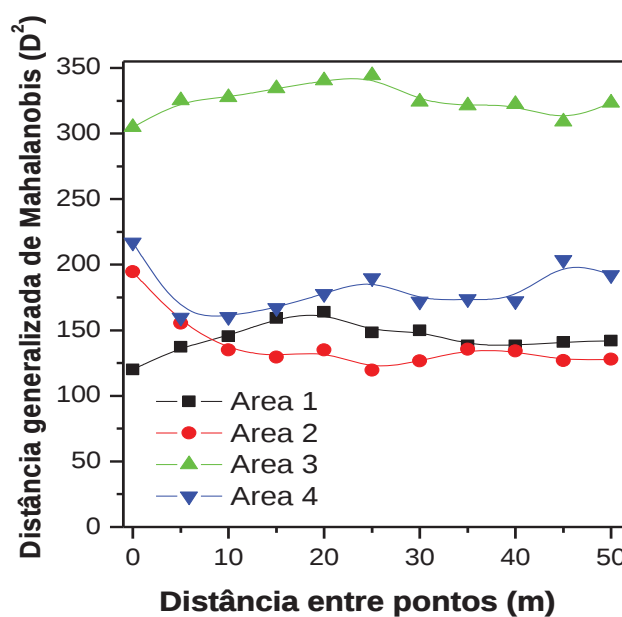


Figura 5.13. Distâncias generalizadas de Mahalanobis com os valores de p para comparação entre as áreas estudadas.

Já na junção de todas as áreas, pode-se verificar que não é possível notar um gradiente positivo (Figura 5.14). Isto se deve provavelmente às diferenças de classes texturais de solo presentes nesse estudo, além da intensa degradação ocorrida na mata nativa que não seguem o gradiente como esperado.

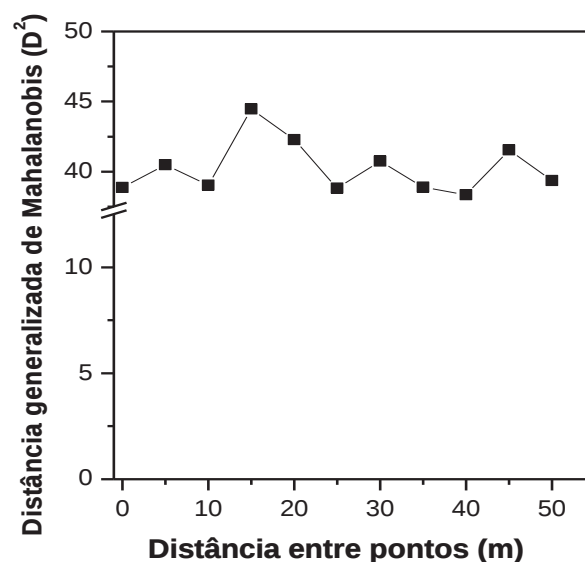


Figura 5.14. Distâncias generalizadas de Mahalanobis com os valores de p para comparação de todas as áreas em uma só linha.

Contrastando as áreas, é possível verificar, por meio da Tabela 5.29, que os maiores valores de F são encontrados quando a área 1 é comparada com as demais, o que demonstra que esta área é a mais diferente, principalmente da área 2, que é um solo com teor de argila de 22%. Já as demais áreas, apesar de serem estatisticamente diferentes, possuem características mais semelhantes, devido aos seus menores valores de F .

Uma explicação provável para este resultado seria o solo da área 1 ter maior teor de argila, com maior teor de M.O e CTC mais elevada.

Tabela 5.29. Resultado da Anova contrastando as áreas estudadas com todas as variáveis em conjunto.

Áreas	ANOVA - F
Área 1 x Área 2	866,97***
Área 1 x Área 3	639,13***
Área 1 x Área 4	639,13***
Área 2 x Área 3	102,48***
Área 2 x Área 4	140,46***
Área 3 x Área 4	183,88***

(***) Todos os valores são significativos para $p < 0.001$

A fim de melhor entender as áreas, na Tabela 5.30, tem-se uma análise de variância das áreas estudadas e suas relações com todas variáveis, segundo o teste de Tukey a 5%. Observa-se, novamente, que a área 1 é a que mais se diferencia dentre as demais, principalmente em se tratando de M.O, CTC, além de micronutrientes.

Tabela 5.30. Resultado da ANOVA das áreas estudadas para cada variável estudada.

VARIÁVEIS	TEXTURAS			
	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
P resina	A	A	B	B
M.O.	A	C	B	C
pH	A	B	B	A
K	B	C	A	A
Ca	A	B	C	B
Mg	A	C	B	C
H+Al	A	D	C	B
Al	A	B	A	A
SB	A	B	B	B
CTC	A	D	C	B
V	AB	A	A	B
S	A	C	B	A
B	AB	B	A	B
Cu	A	D	B	C
Fe	B	D	A	C
Mn	A	D	C	B
Zn	C	A	A	B
m%	B	B	AB	A
Densidade	C	B	B	A
Porosidade	A	C	B	BC
Microporosidade	B	B	B	A
Macroporosidade	A	C	B	D

Variáveis seguidas pela mesma letra na coluna não diferem ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Além dos fatores que foram ressaltados durante os resultados discutidos, na qual as principais diferenças nas áreas estudadas se baseiam em diferenças de texturas do solo e também de intensa degradação da mata nativa em algumas áreas, como foi destacado, é importante dizer que deve-se levar em conta o tamanho dos fragmentos, a diversidade e densidade da vegetação. Apesar de se ter áreas com solos homogêneos para mata e cana, para cada área estudada, e com o mesmo tipo de vegetação, é provável que estas áreas não possuam as mesmas espécies e também a mesma densidade de vegetação, gerando diferenças de uma área para outra.

Os resultados obtidos nos levam a uma posição bem definida ao prosseguimento das investigações quanto à hipótese proposta. Para dar continuidade e complementar os estudos sugere-se avaliar a composição da diversidade florística e a densidade das espécies nos fragmentos florestais, seus diferentes estádios sucessionais e os diferentes padrões de ciclagem, pois apesar de se ter áreas com solos homogêneos (mata e cana para cada área estudada) e com o mesmo tipo de vegetação, é muito provável que estas áreas não possuam as mesmas espécies e também a mesma densidade de vegetação, cujos dados melhorariam a interpretação dos resultados, e verificar a influência do tamanho dos fragmentos florestais na área cultivada.

6. CONCLUSÕES

Conclui-se que:

- O cultivo de cana-de-açúcar, comparativamente à mata, causa acentuada mudança no solo. Tais diferenças são devidas às melhores condições físicas e químicas do solo da mata e aquelas decorrentes dos níveis de adubação da cana;
- As alterações nas condições físicas e químicas do solo, causada pelo cultivo agrícola da cana-de-açúcar, revelou a existência de um significativo gradiente positivo nos primeiros 35 metros, entre as distâncias da mata para o interior da área cultivada, para as áreas com maiores teores de argila;
- As análises microbiológicas não seguem o gradiente encontrado para os parâmetros químicos e físicos das áreas mais argilosas;
- A presença de fragmentos florestais nativos em áreas agrícolas mostrou-se favorável em melhorar as propriedades químicas e físicas de solos com teores mais elevados de argila;
- Deve ser estimulada a plantação de espécies nativas junto às áreas agrícolas em solos com teores mais argilosos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, W.A.P.; FERNANDES FILHO, E.I.; MIRANDA, L.H.F.; RAMILO, G.A.I. Levantamento de solos e aptidão agrícola das terras do município de Ubá - MG. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa/Prefeitura de Ubá, 2000. 136p

ALVAREZ, I.A; CASTRO, P.R de C; NOGUEIRA, M. C. S. Crescimento de raízes de cana crua e queimada em dois ciclos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.4, 2000.

ANDRÉA, A.F. d'; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; GUILHERME, L.R.G. Estoques de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.2, p.179-186, 2004.

ANDREOLI, C.; SOUZA, S. P. Cana-de-açúcar: A melhor alternativa para conversão da energia solar e fóssil em etanol. **Economia & Energia**, v.2, n.59, p. 27-33, 2006.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p. 337-345, 2004.

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K.P. Avaliação da compressibilidade de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29. p.507-514, 2005.

BACCHI, O.O.S. Botânica da cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO J., Coord. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. p.25-37.

BALL- COELHO, B.; SAMPAIO, E. V. S. B; TIESSEN, H.; J. W. B. Root dynamics in plant and tatoon crops of sugar cane. **Plant and soil**, v.142, p.297-305, 1992.

BASTOS, A. L.; COSTA, J. P. V.; SILVA, I. F.; RAPOSO, R. W. C.; SOUTO, J. S. Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.136-142, 2008.

BEARE, M. H.; PARMELEE, R. W.; HENDRIX, P. F.; CHENG W. Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decompositions in agroecosystems. **Ecological Monographs**, v.62, p.569-591, 1992.

BENEDITO, D. S.; PROCHNOW, L. I.; SILVEROL, A. C.; TOLEDO, M. C. M. Eficiência agrônômica de compostos organominerais obtidos pelo Processo Humifert. **Bragantia**, v.69, p.191-199, 2010.

BIPLOT PROGRAM 1.1, disponível em: <http://www.stat.vt.edu/facstaff/epsmith.html> acesso em 28 de maio de 2010.

BLAKE, G.R., HARATGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A, ed. **Methods of soil analysis**. Physical and mineralogical methods. Madison: ASA, 1986. p.363-375.

BORGES, A.L.; KIEHL, J.C.; SOUZA, L.S. Alteração de propriedades físicas e atividade microbiana de um latossolo amarelo álico após o cultivo com fruteiras perenes e mandioca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23. p.1019-1025, 1999.

BORGES, M. J.; VALERI, S.V.; OKUMURA, E.M.; PISSARRA, T.C.T. Reflorestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do Córrego Palmital, Jaboticabal, SP. **Scientia Forestalis**, n.9, p.93-103, 2005.

BOTTOMLEY, P. J. Microbial ecology. In: SYLVIA, D. M. et al., **Principles and applications of soil microbiology**. 2. ed. New Jersey: Upper Saddle River, 2005. p. 463-488.

BRAMS, E. A. Continuous cultivation of West African soils: organic matter diminution and effects of applied lime and phosphorus. **Plant and Soil**, v.35, p.401-414, 1971.

BROWN, G.G. Papel das interações biológicas no funcionamento edáfico: Interações entre a fauna e os microrganismos do solo. In: FERTIBIO, Rio de Janeiro, 2002. **Anais**. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.1-4.

BUZETTI, S.; MURAOKA, T.; SÁ, M. E. Doses de boro na soja, em diferentes condições de acidez do solo: I. Produção de matéria seca e de grão e nível crítico no solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.57-161, 1990a.

BUZETTI, S.; MURAOKA, T.; SÁ, M. E. Doses de boro na soja, em diferentes condições de acidez do solo: II. Níveis críticos nas plantas e nos grãos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.163-166, 1990b.

CADIMA, Z. A.; SILVA, L. F. da.; LOBÃO, D.E.P. Alterações edáficas provocadas por um sistema de agricultura itinerante em solos de tabuleiros no Sul da Bahia. **Revista Theobroma**, v.2, p.267- 272, 1982.

CADIMA, Z.A.; SILVA, L.F. da.; LOBÃO, D.E.P. Efeito da queima e adubação em solos de tabuleiros (Haplorthox) sob consorciação milho-feijão. **Revista Theobroma**, v.15, p.101-112, 1985.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, p.161-169, 2000.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.

CAMARGO, P. B. **Dinâmica dos nitrogênios dos fertilizantes uréia (^{15}N) e aquamônia (^{15}N) incorporados ao solo na cultura de cana-de-açúcar**. 1989. 104 p. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.27. p.935-944, 2003.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F., PEREIRA, H.S. & AZEVEDO, W.C. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 33, p.147-157, 2009.

CARVALHO, A. R. de. **Atributos do solo associados às variações na vegetação em fragmento de cerrado**, Assis, SP. 2008. 83p Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CARVALHO, D. A.; OLIVEIRA – FILHO, A.T.; VILELA, E. A.; CURI, N.; VAN DEN BERG, E.; FONTES, M.A.L.; BOTEZELLI, L. Distribuição de espécies arbóreo-arbustivas ao longo de um gradiente de solos e topografia em um trecho de floresta ripária do rio São Francisco em Três Marias, MG, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.28, n.2, 2005.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana – de açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.

CASAGRANDE, J. C.; DIAS, N. M. P. Atributos químicos de um solo com mata natural e cultivado com cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v.17, p.35-37, 1999.

CATELLAN, A.J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 14, p. 133-142, 1990.

CAVENAGE, A.; MORAES, M.L.T.; ALVES, M.C.; CARVALHO, M.A.C.; FREITAS, M.L.; M.,BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um latossolo vermelho-escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 997-1003, 1999.

CENTURION, G.M.; DEMATÊ, J.L.I.; FERNADES, P.M. Efeito de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.9, p.267-270, 1985.

CERRI, C.C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo no agroecossistema cana-de-açúcar**. 1986. 187p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

COOPER, M. **O funcionamento do solo e a sua influência nas relações entre o solo e a vegetação nativa**. 2009. 103p. Tese (Livre-Docência no Departamento de Ciência do Solo) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CORRÊA, M.C.M.; CONSOLINI, F. CENTURION, J.F. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). **Acta Scientiarum**, Maringá, v.23, n.5, p.1159-1163, 2001.

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.289-298, 1999.

COSTA, M.C.G. **Distribuição e crescimento radicular em soqueiras de cana-de-açúcar: dois cultivares em solos com características distintas**. 2005. 104p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CUNHA, M.E.T. da RODRIGUES, E. **Indicadores do efeito de borda em fragmentos de floresta da região de Londrina – Paraná**. 2007. 64p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Londrina, Paraná.

CUNHA, M.E.T. da; RODRIGUES, E.; YABE, M.J.S. Fertilidade de solos agrícolas próximo a fragmentos florestais nativos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 24, n. 2, p. 225-234, 2003.

DA ROS, C.O.; AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 135-140, 1996.

DALAL, R.C; CHAN, K.Y. Soil organic matter in rainfed cropping systems of the Australian cereal belt. **Australian Journal of Soil Research**, v.39, p.435-464, 2001.

DAS, A. C.; DEBNATH, A.; MUKHERJEE, D. Effect of the herbicides oxadiazon and oxyfluorfen on phosphates solubilizing microorganisms and their persistence in rice fields. **Chemosphere**, v. 53, n.2, p.217-221, 2003.

DEXTER, A.R.; YOUNGS, I.M. Soil physic toward 2000. **Soil Till. Res.**, 24:101-106, 1992.

DIAS JUNIOR, M.S. ; ESTANISLAU, W.T. Grau de compactação e retenção de água de latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.45- 51, 1999.

DILLEWIJN, C. **Botany of sugar cane**. Walthen: Chronica Botanica, 1952. p.136-141. 359 p.

DODD, J.C.; BODDINGTON, C.L.; RODRIGUEZ, A.; GONZALEZ-CHAVEZ, C.; MANSUR, I.; Mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) from different genera: form, function and detection. **Plant and Soil**, v.226, p.131-151, 2000.

DORAN, J. W. Microbial biomass and mineralizable nitrogen distributions in no-tillage and plowed soils. **Biology and Fertility of Soils**, v.5, p.68-75, 1987.

EFFGEN, T.A.M. **Atributos do solo em função de tratos culturais em lavouras de cafeeiro conilon no sul do Estado do Espírito Santo**. 2006. 91p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Espírito Santo- Alegre.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Embrapa-CNPS, 1999. 412p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

FEARNSIDE, P.M. **Biodiversidade nas Florestas Amazônicas Brasileiras: riscos, valores e conservação**. Revista Holos, p. 33-59, 1999.

FERNANDES, C.A.F. **Os agricultores, os mediadores sociais e a sustentabilidade: um estudo na APA Itacaré Serra Grande**. 2004. 52 p. Monografia (Pós Graduação) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetininga. Disponível em: <<http://www.florestaviva.org.br/site/adm/img/artigos.pdf>>. Acesso em: 06 jun 2011,

FERREIRA, M.M.; DIAS JÚNIOR, M.S. **Roteiro de aulas práticas de física do solo**. Lavras: UFLA, 1996. 35 p.

FILION, M.; ST-AMAUD, M.; FORTIN, J.A. Direct interaction between the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and different rhizosphere microorganisms. **New Phytology**, v.141, p.525-533, 1999.

FISHER, R.F. Ameriolation of degraded rain forest soils by plantations of native trees. **Soil Science Society of America Journal**, v.59, p.544-549, 1995.

FONTES, M.P.F.; CAMARGO, O.A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola**, v.58, p.627-646, 2001.

GEORGE, E.; MARSCHNER, H.; JAKOBSEN, I. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of phosphorous and nitrogen from soil. **Critical Review of Biotechnology**, v.15, p.257-270, 1995.

GOLDIN, A.; LAVKULICH, L.M. Historical land clearing in the fraser lowland of British Columbia and Washington State: Effects on soil genesis. **Soil Science Society America Journal**, v.52, p.476-473, 1988.

GREENLAND, D.J. Soil management and soil degradation. **Journal of Soil Science**, London, v.31, p.301-322, 1981.

GREENLAND, D.J.; WILD, A.; ADAMS, D. Organic matter dynamics in soils of the tropics-from myth to complex reality. In: LAL, R. (Ed.). **Myths and science of soils of the tropics**. Madison: ASA; SSSA, p.17-33. 1992

GREGORICH, E.G., GREER, K.J., ANDERSON, D.W., LIANG, B.C., 1998. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. **Soil Till. Res.**, 47: 291-302.

HAJABBASI, M.A.; JALALIAN, A.; KARIMZADEH, H.R. Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran. **Plant Soil**, v.190, p.301-308, 1997.

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

HARTEMINK, A.E. Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane in Papua New Guinea. **Geoderma**, v.85, p.283-306, 1998.

HORN, R.; DOMZAL, H.; SLOWINSKA-JURKIEWICZ, A.; VAN OUWERKERK, C. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. **Soil & Tillage Research**, v.35, p.23-36, 1995.

HOUGHTON, R.A. The worldwide extent of land-use change. **Bioscience**, v.44, p.305-315, 1994.

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

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 nov 2010.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems Environmet**, v.79, p.9-19, 2000.

JENSEN, J.H. Some studies of root habits of sugar cane in Cuba. Yonkers, N.Y.: Tropical Plant Research Foundation, 1951. 37p.

KAISER, E.A.; MARTENS, R.; HEINEMEYER, O. Temporal changes in soil microbial biomass carbon in an arable soil. **Plant and Soil**, v.170, p.287-295, 1995.

KAY, B.D.; ANGERS, D.A. **Soil structure**. In: A. SUMNER, M.E., ed. Handbook of Soil Science. Boca Raton, CRC Press, 1999. p.229-276.

KENNEDY, A. C.; PAPENDICK, R. I. Microbial characteristics of soil quality. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.50, p.243-248, 1995.

KENNEDY, A.C. SMITH, K.L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. **Plant and Soil**, v.170, n.1, p.75-86, 1995.

KORNDÖRFER, G.H.; MELO, S.P. Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.92-97, 2009.

KUCEY, R.M.N. Phosphate-solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v.63, p.671-678, 1983.

LEE, H.A. The distribution of the roots of sugar cane in the soil in the Hawaiian Islands. **Plant Physiology**, v.1, p.363-378, 1926.

LEJON, D.P.H.; CHAUSSOD, R.; RANGER, J.; RANJARD, L. Microbial community structure and density under different tree species in an acid forest (Morvan, France). **Microbiol Ecology**, v.50, p.614-625, 2005.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v.1, p.277-294, 1985

MAGALHÃES, P.G. 30 anos de Proálcool no centro de debate. **Jornal da Unicamp**, n. 309, p.11, 2005.

MALAVOLTA, E.; HAAG, N.P. Nutrição e adubação. In: Malavolta, E. (Ed). Cultura e adubação da cana-de-açúcar. São Paulo: Instituto Brasileiro de Potassa, 1964. p.237-278.

MARCHIORI JUNIOR, M.; MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1177-1182, 2000.

MARSHALL, E.J.P.; MOONEN, A.C. Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.89, p.5-21, 2002.

MELLONI, R.; PEREIRA, E.G.; TRANNIN, I.C.B.; SANTOS, D.R. dos; MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Características biológicas de solos sob mata ciliar e campo cerrado no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, p.7-13, 2001.

MENDES, F.G.; MELLONI, E.G.P.; MELLONI, R. Aplicações de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, n.3, p.211-220, julho/set. 2006.

MIELNICZUK, J; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo de solos e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v.3, p.209-248, 2003.

MILLER, J.D.; LENTINI, R.S. **Sugarcane Botany: a brief view**. Florida: Extension. Institution of Food and Agricultural Sciences, 2002, 6p.

MORAES, J.F.L. de; NEILL, C.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.; MELILLO, J.; LIMA, V.C.; STEUDLER, P.A. Soil carbon and nitrogen stocks following forest conversion to pasture in the Western Brazilian Amazon Basin. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.24, n.5, p.1369-1376, 2002.

MÜLLER, M,W.; ALMEIDA, C.M.V.C. de e SENA-GOMES, A.R. Sistemas agroflorestais com cacau como exploração sustentável dos biomas tropicais. Semana do Fazendeiro, 25^a, Urucua, 2002. **Agenda**. Urucua, CEPLAC/CENEX/EMARC, pp. 137-142. 2003.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forest: implications for conservation. **Trends in Ecological Evolution**, v.10, p.58-62, 1995.

NAHAS, E.; CENTURION, J.F.; ASSIS, L.C. Efeito de características químicas dos solos sobre os microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.49-53, 1994.

NAIR, P.K.R. **An introduction to agroforestry**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1993. 499 p.

NEVES, C.M.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; CARDOSO, E.L.; MACEDO, R.L.G.; FERREIRA, M.M. & SOUZA, F.S. Atributos indicadores da qualidade do solo em Sistemas Agrossilvipastoris no Noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, v.74, p.45-53, 2007.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.T. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399p.

NYE, P.H.; GREENLAND, D.J. Changes in the soil after clearing tropical forest. **Plant and Soil**, v.21, p.101-102, 1964.

O'DONNELL, A.G.; SEASMAN, M.; MACRAE, A.; WAITE, I.; DAVIES, J.T. Plants and fertilizers as drivers of change in microbial community structure and function in soils. **Plant Soil**, v.232, p.135-145, 2001.

OERTLI, B.; JOYCE, D.A. CASTELLA, E.; JUGE, R.; CAMBIN, D. ; LACHAVANNE, J.B. Does size matter? The relationship between pond and biodiversity. **Biological Conservation**, v.104 p.59-70, 2002.

PÔRTO, M.L.; ALVES, J. do C.; DINIZ, A.A.; SOUZA, A.P. de; SANTOS, D. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no brejo paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.4, p.1011-1017, 2009.

PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.; DEL'ARCO VINHAS; COSTA, L.M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.575-585, 2010.

PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.V.D.; COSTA, L.M.; SANTOS, B.C.M. Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.249-258, 2008.

RAIJ, B.V.; SACCHETTO, M.T.D.; IGUE, T. Correlações entre o pH e o grau de saturação por bases nos solos com horizonte B textural e horizonte B latossólico. **Bragantia**, Campinas, v.27, p.193-200, 1968.

RAIJ, B.V. **Mecanismos de interação entre solos e nutrientes**. In: RAIJ, B.van, ed. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. p.17-31.

RANDO, E.M. Alterações nas características e propriedades físicas de um Latossolo Roxo distrófico, ocasionadas pelo cultivo convencional. 1981. 161p. Dissertação Mestrado. Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1609-1623, 2007.

REBER, H.H. Simultaneous estimates of diversity and degradative capability of heavy-metal-affected soil bacterial communities. **Biology Fertility Soils**, v.13, p.181-186, 1992.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solos, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Editora Manole, 2004, 478p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n. 27, p.29- 48, 2003.

REINERT, D.J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris; Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo no sistema plantio direto. **Plantio Direto**, v.4, p.25-44, 1997.

REINERT, D.J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, 2006. Disponível em: http://www.cesnors.ufsm.br/professores/vanderlei/fundamentos_da_ciencia_solo/propriedades_fisicas_do_solo_i_semestre_2006.pdf >Acesso em: 12 mai 2011.

REZENDE, S.B.; RESENDE, M. **Solos dos mares de morros: Ocupação e uso**. In: ALVAREZ V., V.H., FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Viçosa, 1996. p.261-289.

RHEINHEIMER, D.C.S.; GONÇALVES, C.S.; PELLEGRINI, J.B.R. Impacto das atividades agropecuárias da qualidade da água. **Ciência em ambiente**, Santa Maria, v. 27, n.1, p.85-96, 2003.

ROCHECOUSTE E. **Weed control in sugar cane**. Réduit: Mauritius Sugar Industry Research Institute, 1967.117p.

RODRIGUES, E. **Edge effect on the regeneration of forest fragments in Londrina, Pr.** 1998.Tese (Ph.D em ecologia) –Harvard University.

RODRIGUES, L.A.; CARVALHO, D.A; OLIVEIRA FILHO, A.T.; CURI, N. Efeitos de solos e topografia sobre a distribuição de espécies arbóreas em um fragmento de floresta estacional semidecidual, em Luminárias, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.1, p.25-35, 2007.

ROSA, M.M.; **Avaliação de diferentes metodologias para extração de DNA de solo sob cultivo de cana-de-açúcar**. 2006. 100 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2006.

ROSOLEM, C.A.; FURLANI JUNIOR, E.; BICUDO, S.J.; MOURA, E.G.; BULHÕES, L.H. Preparo do solo e sistema radicular do trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.1, p.115-120, 1992.

RUIVO, M. L. P.; PEREIRA, S. B.; BUSSETI, E. P.; COSTA, R. F.; QUANZ, B.; NAGAISHI, T. Y.; OLIVEIRA, P. J.; MEIER, P.; MAHLI, Y.; COSTA, A. L.; GRACE, J. 2002. Propriedades do solo e fluxo de CO₂ em Caxiuanã, Pará: Experimento LBA-ESECAFLOR. In: KLEIN, E. L.; VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. **Contribuições à Geologia da Amazônia**, v. 3. Belém, SBG-Núcleo Norte, p. 291- 299. ISBN: 95-88692-02-3.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. Eficiência na utilização de uréia (¹⁵N) por cana-planta e três socos no tabuleiro de Pernambuco. In: CONGRESSO NACIONAL de STAB, 4., CONVENÇÃO DA ACTALAC 7., Olinda, 1987. **Anais** Olinda: STAB, 1987. p 46-49.

SANCHES, A.C. **Alterações nas propriedades de um Podzólico Vermelho Amarelo resultantes da substituição da mata natural pela cultura da laranja**. 1998. 49p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SANCHES, A.C.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; RIGOLIN A.T. Impacto do cultivo de citros em propriedades químicas, densidade do solo e atividade microbiana de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.91-99, 1999.

SANCHEZ, P.A. Fertilizers make continuous cropping possible in the Amazon. **Better Crops International**, v.1, p.12-33, 1985.

SANTOS, G.V.; DIAS, H.C.T.; SILVA, A.P.S.; MACEDO, M.N.C. Análise hidrológica e socioambiental da bacia hidrográfica do córrego Romão dos Reis, Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v.31, p.931-940, 2007.

SCHWAB, A.P.; OWENSBY, C.E; KULYINGYONG, S. Changes in soil chemical properties due to 40 years of fertilization. **Soil Science**, Baltimore, v.149, p.35-43, 1990.

SILVA JUNIOR, M.C. Comunidades de árvores e sua relação com os solos na mata do Pitoco, Reserva Ecológica do IBGE, Brasília-DF. In: **Revista Árvore**, v. 22, p.29-40, 1998.

SILVA, A.J.N; RIBEIRO, M.R. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no estado de Alagoas: propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 22, p.291-299, 1998.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society America Journal**, v.61. p.877-883, 1997.

SILVA, M.A.C.; CENTURION, J.F.; MELLIS, E.V.; Alterações antrópicas nas propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico. **Científica, Jaboticabal**, v. 32, n.2, p.152-157, 2004.

SILVA, M.S.L.; RIBEIRO, M.R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiro no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.397-402, 1992.

SILVA, M.S.L; RIBEIRO, M.R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar nas propriedades químicas de solos argilosos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 389-94, 1995.

SMA – Secretaria do Meio Ambiente. **Inventário Florestal do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2007.

SMITH, K. P.; GOODMAN, R. M. Host variation for interactions with beneficial plant-associated microbes. **Annual Review of Phytopathology**, v.37, p.473-491, 1999.

SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N. ; OLIVEIRA, S.A. **Acidez do solo e sua correção**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 991p

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; TOMM, G.O.; FONTANELI, R.S. Avaliações de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. **Revista Científica Rural**, v.9, n.1, p.23-31, 2004.

SRIVASTAVA, D.; KAPOOR, R.; SRIVASTAVA, S.K.; MUKERJI, K.G. Vesicular arbuscular mycorrhiza – na overview. In: MUKERJI, K. G. (Ed.), **Concepts in Mycorrhizal Research**, Kluwer Academic Publishing, pp.1-39, 1996.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: Microbiological indicators. **Soil and Plant Science**, v.49, p.1- 24, 1999.

STIEVEN, A.C; CAMPOS, D.T.S da; MALHEIROS, C.H; SILVA, M.B.R.C. da; FERREIRA, M.A.F; EVALDO F. de O.; NETO, N.E. População e biomassa microbiana em solo do Pantanal Matogrossense. **Revista Biodiversidade**, v.8, n.1, 2009.

STONE, L.F; P.M. DA SILVEIRA. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 395-401, 2001.

TIMONEN, S.; JORGENSEN, K.S.; HAAHTELA, K.; SEN, R. Bacterial community structure at defined locations of *Pinus sylvestris* - *Suillus bovinus* and *Pinus sylvestris* - *Paxillus involutus* mycorrhizospheres in dry pine forest humus and nursery peat **Canadian Journal of Microbiology**, v.44, n.6, p.499-513, 1996.

TOLEDO, L.O. **Aporte de serrapilheira, fauna edáfica e taxa de decomposição em áreas de floresta secundária no Município de Pinheiral, RJ**. 2003. 80p. (Tese de Mestrado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

TORSVIK, V.; GORSOYR, J.; DAEE, F.L. High diversity in DNA soil bacteria. **Applied and Environmental Microbiology**, v.56, p.782-787, 1990.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2002. v.2, p.195-276.

TRIVELIN, P.C.O.; CAMARGO, P.B.; LIBONDI, P.L.; MORAES, S.O.; LARA CABEZAS, W.A.R.; PALHARES, A.L. Dinâmica dos fertilizantes uréia (^{15}N) e aquamônia (^{15}N) incorporados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba: FEALQ; CENA, 1988. 84p. (Relatório Técnico).

TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W.; GAVA, G.J.C.; SARRIÉS. Utilização de nitrogênio e produtividade de cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.3, p.636-646; 2002.

TSAI, S.M.; BARAIBAR, A.V.L.; ROMANI, V.L.M. Efeitos de fatores físicos e químicos sobre os microrganismos do solo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (eds). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.59-72.

ÚNICA - União da indústria de cana-de-açúcar. Safra 2008/2009.2011. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 27 jan 2011.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; PERECIN, D.; JORGE, L.A.C.; LANDELL, M.G.A. Avaliação do sistema radicular da cana de açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 849 – 858, 2003.

VIEIRA, L.S. **Manual da Ciência do solo: com ênfase aos solos tropicais**. 2 Ed, São Paulo: Editora Agronômica CERES, 1988. 464 p.

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v.198, p.97-107, 1998.

YAO, H.; HE, Z.; WILSON, M. J.; CAMPBELL, C. D. Microbial biomass and community structure in sequence of soils with increasing fertility and changing land use. **Microbiol Ecology**, v.40, p.223-237, 2000.