



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS**

**ESTOQUES DE CARBONO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS  
PARAIBANOS: DIFERENÇAS ENTRE AMBIENTES**

José Deomar de Souza Barros

Campina Grande – PB

2011

**JOSÉ DEOMAR DE SOUZA BARROS**

**ESTOQUES DE CARBONO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS  
PARAIBANOS: DIFERENÇAS ENTRE AMBIENTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais.

Área de Concentração: Processos Ambientais  
Linhas de Pesquisa: Transferência de energia e massa na biosfera

**Orientadora:**

Profa. Dra. Lúcia Helena Garófalo Chaves

Campina Grande – PB

2011

## FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

B277e      Barros, José Deomar de Souza  
              Estoques de Carbono em Solos dos Tabuleiros Costeiros Paraibanos:  
diferenças entre ambientes / José Deomar de Souza Barros. — Campina  
Grande, 2011.  
              106 f.: il. col.

              Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Universidade Federal  
de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.  
              Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lúcia Helena Garófalo Chaves

Referências.

1. Cana-de-açúcar. 2. Vinhaça. 3. Efeito estufa. I. Título.

CDU 633.61 (043)

ESTOQUES DE CARBONO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS  
PARAIBANOS: DIFERENÇAS ENTRE AMBIENTES

APROVADA EM: 11/02/2011

**BANCA EXAMINADORA**

  
**Dra. LÚCIA HELENA GARÓFALO CHAVES**  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

  
**Dr. JOSÉ DANTAS NETO**  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

  
**Dr. CARLOS HENRIQUE DE AZEVEDO FARIAS**  
Pesquisador da Destilaria Miriri S/A

Feliz do homem que encontrou a sabedoria,  
daquele que adquiriu a inteligência, (Pr. 3,13).  
Adquirir a sabedoria vale mais que o ouro;  
antes adquirir a inteligência que a prata. (Pr.  
16,16).

Aos meus pais **Rosa Luiz de Souza** e Pedro Barros de Oliveira, a minha esposa Maria de Fátima e aos meus irmãos: Genival, Maria das Dores, Liberalina, Sebastião, Luiz, Terezinha e Cleonice, pelo amor, incentivo e contribuições para mais uma conquista acadêmica.

Dedico

## AGRADECIMENTOS

A **Deus** por tudo que tenho e sou.

À Universidade Federal de Campina Grande e ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, pela oportunidade da minha formação como pesquisador.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

A orientadora Professora Dra. Lúcia Helena Garófalo Chaves, pela valiosa orientação, apoio e dedicação durante estes dois anos de trabalho.

Ao professor Iêde de Brito Chaves, pela colaboração e acompanhamento na condução deste trabalho.

Aos professores/pesquisadores, Carlos de Azevedo Farias, Iêde de Brito Chaves, José Dantas Neto e Vera Lúcia Antunes de Lima, pelas contribuições para o aprimoramento do projeto de pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais pelo excelente trabalho desenvolvido no transcorrer das disciplinas.

Aos técnicos do laboratório de irrigação e salinidade, Wilson, Francisco (Doutor), seu Pedro e José Maria, pela colaboração nas execuções dos trabalhos laboratoriais.

À Miriri Alimentos e Bioenergia S/A, pela oportunidade de amostragem de solo, com a ajuda de Carlos Henrique e Antonio Emídio.

Ao professor, Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira, pelo auxílio na análise estatística.

À Cleide, secretária do Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, pelo auxílio nas atividades burocráticas do programa.

A minha esposa Maria de Fátima Pereira da Silva, pelo auxílio nas correções gramaticais.

Ao amigo Renato por ter me recebido na cidade de Campina Grande – PB.

Por fim, a todas as pessoas que, apesar de aqui não citadas, contribuíram de alguma forma durante essa trajetória.

Meus sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
2.1. Solos dos Tabuleiros Costeiros.....	3
2.1.1. Solos presentes na área de estudo.....	4
2.1.1.1. Neossolo Quartzarênico.....	4
2.1.1.2. Argissolos.....	5
2.2. Matéria orgânica do solo.....	6
2.3. Uso da vinhaça na cultura de cana-de-açúcar.....	11
2.4. Estoque de carbono e nitrogênio no solo.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1. Localização e descrição da área de estudo.....	22
3.2. Escolha e caracterização das áreas de estudo.....	23

3.3. Amostras do solo.....	24
3.4. Análise físico-química do solo.....	25
3.5. Determinação do estoque de carbono e nitrogênio no solo.....	25
3.6. Distribuição de raízes.....	27
3.7. Análise estatística.....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
4.1. Caracterização química das amostras de solo dos diferentes ambientes.....	28
4.1.1. pH do solo.....	28
4.1.2. Condutividade elétrica do Solo.....	32
4.1.3. Cálcio do solo.....	34
4.1.4. Magnésio do solo.....	35
4.1.5. Sódio do solo.....	37
4.1.6. Potássio do solo.....	38
4.1.7. Alumínio do solo.....	40
4.1.8. Acidez potencial do solo.....	42
4.1.9. Fósforo presente no solo.....	44
4.2. Densidade e estoque de carbono e de nitrogênio dos diferentes ambientes.....	47

4.2.1. Densidade do solo.....	48
4.2.2. Teor de carbono orgânico do solo.....	52
4.2.3. Nitrogênio total do solo.....	55
4.2.4. Estoques de carbono e nitrogênio no solo.....	57
4.3. Distribuição do sistema radicular no solo.....	63
5. CONCLUSÕES.....	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
APÊNDICES.....	80
Apêndice 1.....	81
Apêndice 2.....	84
Apêndice 3.....	88

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Anéis volumétricos fixados no solo (a); Retirada do anel volumétrico para amostragem indeformadas de solo (b).....	24
Figura 2.	Preparo do solo (a); Coleta de amostras de raízes (b).....	27
Figura 3.	pH do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça(CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	31
Figura 4.	Condutividade elétrica do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	33
Figura 5.	Teor de cálcio no solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	35
Figura 6.	Teor de magnésio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	37
Figura 7.	Teor de potássio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	40
Figura 8.	Teor de alumínio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	41
Figura 9.	Acidez potencial do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	44
Figura 10.	Teor de fósforo do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	46
Figura 11.	Densidade do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	50
Figura 12.	Teor de carbono orgânico do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	52
Figura 13.	Teor de nitrogênio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	56

Figura 14.	Estoque de carbono no solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	60
Figura 15.	Estoque de nitrogênio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	61
Figura 16.	Variação do estoque de carbono nos sistemas de cana-de-açúcar com e sem vinhaça em relação à mata nativa em Argissolo Acinzentado distrófico.....	62
Figura 17.	Estudo de regressão para os teores de alumínio e massa de raízes.....	65
Figura 18.	Densidade das raízes do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	66
Figura 19.	Peso das raízes em gramas para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Granulometria do solo (%) para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades .....	22
Tabela 2.	Localização Geográfica dos pontos de coleta de solo .....	23
Tabela 3.	Resumos das análises de variância dos atributos químicos minerais do solo.....	28
Tabela 4.	Resultados da análise estatística descritiva de pH do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	29
Tabela 5.	Valores médios dos atributos químicos do solo em função do tipo de atividade (ou área).....	30
Tabela 6.	Valores médios dos atributos químicos do solo em função da profundidade.....	31
Tabela 7.	Resultados da análise estatística descritiva da condutividade elétrica do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	32
Figura 8.	Resultados da análise estatística descritiva de cálcio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	34
Tabela 9.	Resultados da análise estatística descritiva de magnésio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	36
Tabela 10.	Resultados da análise estatística descritiva de sódio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	38
Tabela 11.	Resultados da análise estatística descritiva de potássio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	39
Tabela 12.	Resultados da análise estatística descritiva de alumínio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	40
Tabela 13.	Teores médios de alumínio ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) em função da profundidade em diferentes ambientes.....	42

Tabela 14.	Resultados da análise estatística descritiva de acidez potencial do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	42
Tabela 15.	Valores médios de acidez potencial ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) nos ambientes (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	43
Tabela 16.	Resultados da análise estatística descritiva de fósforo do solo para cada área Mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	45
Tabela 17.	Valores médios de fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) em função da profundidade em diferentes ambientes .....	46
Tabela 18.	Resumos das análises de variância dos atributos químicos orgânicos (teores de carbono, teores de nitrogênio, estoque de carbono e estoque de nitrogênio) e da densidade do solo.....	47
Tabela 19.	Resultados da análise estatística descritiva da densidade do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	48
Tabela 20.	Valores médios de densidade em função da profundidade em diferentes ambientes .....	49
Tabela 21.	Resultados da análise estatística descritiva para o carbono orgânico do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	52
Tabela 22.	Valores médios dos atributos químicos orgânicos do solo em função do tipo de atividade (ou área).....	53
Tabela 23.	Valores médios dos atributos químicos orgânicos do solo em função da profundidade.....	54
Tabela 24.	Resultados da análise estatística descritiva para o nitrogênio total do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	55
Tabela 25.	Resultados da análise estatística descritiva para o estoque de carbono no solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	57
Tabela 26.	Resultados da análise estatística descritiva para o estoque de nitrogênio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	58

Tabela 27.	Resultados da análise estatística descritiva para o peso das raízes para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	64
Tabela 28.	Resultados da análise estatística descritiva para a densidade das raízes para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.....	64

BARROS, J. D. de S. **Estoques de carbono em solos dos Tabuleiros Costeiros Paraibanos: diferenças entre ambientes.** 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais)- Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2011.

## RESUMO

A substituição de ambientes de mata por cana-de-açúcar leva a importantes mudanças no estoque de carbono e de nitrogênio do solo e, conseqüentemente, na ciclagem global desses elementos. O estudo foi realizado em área situada no município de Capim, Estado da Paraíba, teve por objetivo quantificar os efeitos de diferentes ambientes sobre os estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) nos Tabuleiros Costeiros paraibanos. Os solos estudados foram Argissolo Acinzentado distrófico e Neossolo Quartzarênico. As amostragens de solo foram efetuadas em cinco repetições, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. Os ambientes selecionados foram, a saber: mata natural; cana-de-açúcar com vinhaça e cana-de-açúcar sem vinhaça. Os valores de pH, bases trocáveis e P, foram variáveis, refletindo o efeito de cada ambiente. Os teores e estoques de carbono e nitrogênio diminuíram após a mudança de mata nativa para o plantio de cana-de-açúcar. Em geral, não houve diferença significativa para os teores e estoques de carbono do solo entre os ambientes de cana-de-açúcar nas diferentes profundidades de solo avaliadas. Mas, houve diferença significativa nos teores e no estoque de carbono e de nitrogênio do sistema de cultivo da cana sem aplicação da vinhaça em relação à mata nativa. Os resultados deste estudo mostram que o tratamento com aplicação da vinhaça promoveu melhorias nos atributos químicos do solo como o aumento do pH e da disponibilidade de K e P nas camadas superficiais do solo. Este manejo proporcionou o aumento aparente no estoque de carbono e nitrogênio. Diante disso, o manejo do solo com aplicação de vinhaça pode tornar-se uma alternativa para mitigar as emissões dos gases de efeito estufa, contribuindo para a sustentabilidade do sistema de produção canavieira.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, vinhaça, efeito estufa.

BARROS, J. D. de S. **Carbon stock in soils of the Tabuleiros Costeiros Paraibanos: differences between environments.** 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais)- Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2011.

### ABSTRACT

The replacement of rain forest for sugar cane leads to significant changes in carbon stock and soil nitrogen and, consequently, the global cycling of these elements. The study was conducted in an area located in the municipality of Capim, Paraíba State, quantify the effects of different environments on the stocks of carbon (C) and nitrogen (N) in the Tabuleiros Costeiros Paraibanos. The soils were Argissolo Acinzentado distrófico típico e Neossolo Quartzarênico. The soil samples were performed in five replicates, at 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm. The environments were selected, namely: natural forest, sugar cane vinasse and cane sugar without vinasse. The pH, exchangeable bases and P, were variable, reflecting reflecting the effect of each environment. The concentrations and pools of carbon and nitrogen decreased after the change of native forest to plant sugar cane. In general, no significant difference in the levels and stocks of soil carbon between the environments of cane sugar in the different soil depths evaluated. But there were differences in the amounts and stock of carbon and nitrogen in cropping system without cane vinasse application in relation to native forest. The results of this study show that treatment with vinasse application promotes improvements in soil chemical properties such as pH increases and the availability of K and P in the surface layers of soil. This gave management the apparent increase in carbon storage and nitrogen. Thus, the management of soil with vinasse application can become an alternative to mitigate emissions of greenhouse effect, contributing to the sustainability of sugar cane production.

Keywords: cane sugar, vinasse, the greenhouse effect.

## 1. INTRODUÇÃO

Com a transformação de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas, ocorre a substituição de sistemas biológicos complexos e estáveis por sistemas simples e instáveis, provocando assim modificação nos estoques dos componentes orgânicos do solo, por alterar, as taxas de adição e decomposição da matéria orgânica. Com isso, o equilíbrio dos ciclos do carbono (C) e do nitrogênio (N) é alterado e, as entradas de C tornam-se inferiores as saídas, o que acarreta à redução da quantidade e modificação da qualidade da matéria orgânica do solo (MOS).

Quando da implantação de sistemas agrícolas, os estoques de carbono orgânico do solo podem sofrer reduções de 20 a 50% dependendo da profundidade. Em regiões tropicais esse processo ocorre de forma mais rápida, devido às condições climáticas que provocam intensa atividade microbiana, acelerando a decomposição dos resíduos orgânicos que estão depositados no solo. Em áreas agrícolas, o revolvimento do solo pelas práticas de cultivo faz acelerar a oxidação da matéria orgânica, provocando a sua mineralização, e, normalmente, são intensificadas as perdas por erosão. No entanto, sistemas agrícolas submetidos a uma prática adequadas de manejo, reduzem a erosão e tendem a apresentar incremento de matéria orgânica na superfície do solo (PORTUGAL et al, 2008).

A adoção de práticas ecológicas no setor de produção canavieira torna-se necessária, tendo em vista que nos últimos anos o setor de produção da cana-de-açúcar apresentou avanços significativos em todo o território nacional, o Brasil tem se mantido como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e derivados. A área plantada e colhida na safra 2008/2009 foi de 8,92 e 8,14 milhões de hectares respectivamente e a produção nacional neste mesmo período foi de 563.638.524 toneladas. O estado da Paraíba neste mesmo período alcançou uma produção de 5.886.152 toneladas, a maior dos últimos anos (BRASIL, 2009). Com esse aumento da produção no Brasil e especificamente no estado da Paraíba, cresce a responsabilidade de que se venha a adotar uma política de racionalidade nas práticas de uso e manejo agrícola das suas terras. Visto que, no Brasil as práticas agrícolas, as mudanças no uso da terra e o desmatamento são as principais fontes dos gases de efeito estufa para a atmosfera.

No campo das mudanças climáticas globais, o solo e suas formas de manejo estão em foco, especialmente pelo fato do solo ser considerado fonte ou seqüestrador de gases de efeito estufa, dependendo do tipo de manejo adotado.

Dessa forma, o solo apresenta capacidade de retardar ou incrementar a transferência de carbono para a atmosfera, permitindo que seja retido no material do solo por tempo mais prolongado, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas, além de melhoria da qualidade do solo pelo aumento na agregação, porosidade, infiltração e retenção de água, aeração, balanço de nitrogênio, entre outras.

O entendimento das modificações nas propriedades químicas do solo, decorrentes do cultivo contínuo de cana-de-açúcar, pode fornecer elementos para produção em bases sustentáveis. Tendo em vista que o conteúdo e a qualidade da matéria orgânica constituem atributos dos solos que podem ser utilizados para avaliar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Apesar das mudanças, que vêm ocorrendo, nos sistemas de produção, e manejo dos solos no Estado da Paraíba, poucas são as pesquisas, realizadas, nas áreas canavieiras, no que diz respeito aos aspectos ambientais, principalmente, aos relacionados à prática da adubação com vinhaça.

Assim, o objetivo geral desta pesquisa foi quantificar os efeitos de diferentes ambientes sobre os estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) nos Tabuleiros Costeiros Paraibanos. Especificamente: 1) Determinar os estoques de C e N no solo sob mata nativa e sob cultivo da cana-de-açúcar com e sem aplicação de vinhaça, ao longo do perfil; 2) Comparar os resultados dos estoques de C e N no solo sob mata nativa com os da área sob cultivo da cana-de-açúcar com e sem aplicação da vinhaça; 3) Avaliar o efeito de diferentes ambientes nas propriedades químicas e densidade do solo em diferentes profundidades; 4) Avaliar o desenvolvimento das raízes da cana-de-açúcar em áreas com e sem aplicação de vinhaça.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Solos dos Tabuleiros Costeiros

Os tabuleiros costeiros abrangem uma faixa litorânea que compreende desde o estado do Rio de Janeiro até o Amapá, constituindo uma unidade geoambiental. No Nordeste abrange uma área aproximada de 8.420.00 hectares. É formado de platôs sedimentares, variando sua altitude entre 30 a 150 metros. Com relação ao relevo nota-se uma variação entre vales estreitos e encostas íngremes ou vales abertos constituídos de encostas suaves ou podendo apresentar-se fundo com amplas várzeas. A vegetação nativa é a Mata Atlântica. De forma geral, os solos são de baixa fertilidade natural, possuindo pouca aptidão para acúmulo de água, são ácidos, com baixo estoque de matéria orgânica, baixa capacidade de troca catiônica, devido á presença de caulinita na fração argila estes solos contém alumínio trocável e prevalece solos que apresenta saturação por alumínio igual ou maior que 50% e em menor porcentagem apresentam-se também solos distróficos, ou seja solos que apresenta saturação por bases e por alumínio menor que 50%. Verifica-se também que estes solos apresentam baixos teores de fósforo e potássio e a matéria orgânica é quem fornece a maior quantidade de nitrogênio do solo (SOBRAL et al., 2008).

Segundo Cintra et al. (2004) os principais solos presentes nos tabuleiros costeiros são os Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos, além das características anteriormente citadas estes solos apresentam horizontes coesos. Esta denominação dar-se devido à necessidade de se denominar o adensamento de horizontes superficiais associada a diferentes graus de coesão, ou seja, aumento da coesão entre as partículas do solo tornando assim o solo mais denso. Devido ao processo de erosão dos solos submetidos ao cultivo intenso, estes horizontes podem aparecer próximos a superfície, geralmente nos primeiros 10 a 20 cm, já em solos sob floresta nativa, estes horizontes estão localizados em profundidades diferenciadas, normalmente coincidindo-se com os horizontes AB e/ou BA. Nestes solos a umidade é um fator relevante visto que quando secos eles possuem uma consistência dura e quando úmido apresenta uma consistência friável.

A origem dos horizontes coesos ainda é questionável, segundo Pacheco (2010) esta origem pode estar relacionada a diversos fatores, como a presença de compostos orgânicos pouco polimerizados, perda de argilas para camadas superiores, presença de ferro e argila nos micrósoros, utilização intensa de cultivo, mudanças sucessivas de ciclos de umedecimento e

secagem. Outros fatores contribuem para a formação destes horizontes a exemplo dos processos geomorfológicos. Também pode influenciar neste processo a obstrução dos micrósoros do solo pelo deslocamento de matéria leve para horizontes inferiores. Esta coesão produz efeito negativo no fluxo de ar, água, nutrientes, temperatura, microorganismos e no desenvolvimento radicular devido à diminuição do diâmetro dos poros do solo, diminuindo-se assim a produção vegetal.

Neto et al. (2010) pesquisando os atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos de horizontes coesos em tabuleiros costeiros verificaram que a gênese dos horizontes coesos não estão relacionados aos agentes cimentantes, segundo estes autores a sua gênese apresenta duas fases distintas, a iluviação de argila fina, provocando o entupimento dos poros do solo e em seguida perda de ferro na parte superior fazendo com que a estrutura entre em colapso.

Os tabuleiros costeiros apresentam relevante importância econômica e social, fato este devido especialmente a diversidade de produção agrícola com grande ênfase na produção da cana-de-açúcar. Quando estes solos são bem manejados podem proporcionar uma produção agrícola satisfatória (COSTA et al., 2009).

Chaves & Farias (2008) pesquisaram a variabilidade especial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba em um solo cultivado com cana-de-açúcar, constatou que o estoque de carbono na camada superficial correspondeu, em média, a 33,82 Mg ha<sup>-1</sup> enquanto nos demais horizontes foi 26,37 e 21,21 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

## **2.1.1. Solos presentes na área de estudo**

### **2.1.1.1. Neossolo Quartzarênico**

Geralmente, são solos que se formam a partir de depósitos arenosos. São formados especialmente de grãos de quartzo, sendo praticamente desprovidos de minerais primários pouco resistentes ao intemperismo (COSTA, et al., 2009).

Abrangem as Areias Quartzosas não-hidromórficas descoloridas, proporcionando também coloração amarela ou vermelha. A granulometria da fração areia é mutável e, em algumas situações, predominam diâmetros maiores e, em outras, menores. O teor máximo de argila chega a 15%, quando o silte está ausente (CAVALCANTE et al., 2005).

Estes solos são caracterizados por apresentar baixa aptidão agrícola. Com isso, a utilização continuada de culturas de ciclo anuais pode conduzir rapidamente à degradação. No entanto, se forem adotadas práticas de manejos ecológicos que promovam o acúmulo de matéria orgânica, especialmente nas camadas superficiais do solo, este problema pode ser mitigado.

Frazão et al. (2010) avaliou estoques de carbono e nitrogênio em Neossolos Quartzarênicos sob uso agrícola, constataram alterações nos estoques de carbono e nitrogênio em função do uso de diferentes sistemas agrícolas. Concluíram também que no cultivo desse solo faz-se necessário a adoção de sistemas agrícolas que promovam maior aporte de resíduos vegetais para que assim ocorram manutenção e incremento da matéria orgânica em Neossolos Quartzarênicos.

As culturas desenvolvidas nesse solo exigem manejos adequados e cuidados intensivos no controle da erosão, fertilização e da irrigação. Se não forem tomadas as medidas necessárias ocorrerá o esgotamento da lavoura, provocando assim deficiências na produtividade (MATIAS et al., 2009).

Para evitar a erosão faz-se necessário a adoção de manejos adequados, no cultivo dos Neossolos Quartzarenios, tendo em vista que esses solos caracterizam-se por serem muito arenosos, apresentam baixa capacidade de agregação de partículas, baixos teores de argila e de matéria orgânica. Observa-se também limitação quanto à capacidade de armazenamento de água disponível, devido à grande quantidade de areia, nesses solos, sobretudo naqueles em que a areia grossa predomina sobre a fina. Nota-se também rápida decomposição da matéria orgânica e sérios problemas quanto à lixiviação de nitrogênio.

### **2.1.1.2. Argissolos**

Os Argissolos são formados com os horizontes A ou E seguidos pelo horizonte B textural, com a nítida diferença entre estes. O horizonte B textural é devido ao acréscimo nas concentrações de argila tornando assim a textura desse horizonte mais argilosa do que o horizonte imediatamente acima. Isto ocorre devido à migração de partículas de argila que migram do horizonte A e depositam-se no B (SALIMON, et al., 2007).

Nesses solos, observa-se alta diversidade nas propriedades relacionadas à fertilidade e uso agrícola sendo difícil generalizar suas qualidades. Verificam-se problemas relevantes relacionados à erosão devido às diferenças relativas à textura entre os horizontes A e B, sendo tanto maior o problema quanto maior for a declividade do terreno (AGUIAR, et al., 2006).

Pesquisando a influência da queima e da manutenção da palhada sobre o solo no cultivo da cana de açúcar em Argissolo Amarelo, Pinheiro et al. (2007) verificaram que na área que é praticada a queima da palha ocorreu menor valor para o estoque de carbono comparado à cana sem queima. A cana sem queima promoveu um aumento de  $13 \text{ Mg C ha}^{-1}$  em relação à cana com queima. Com relação ao estoque de nitrogênio, foi observado que o manejo sem queima da palha foi superior ao manejo com queima. A área que apresentava conservação da palha apresentou maior quantidade do carbono orgânico original do solo quando comparado com o sistema mata.

Leite et al. (2003) avaliando os estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica, verificaram redução nos estoques de carbono orgânico e nitrogênio total com a mudança de Floresta Atlântica para o sistema agrícola.

De acordo com Cechin (2007) torna-se essencial nesses solos a utilização de manejos de conservação do solo para evitar perdas de fertilidade. Tendo em vista que os solos distróficos e álicos, além do entrave da fertilidade, podem até ocasionar problemas relacionados à eficiência da adubação e da calagem se estiverem localizados em relevos de ondulados a forte-ondulados.

## **2.2. Matéria Orgânica do Solo**

Os solos são originados da interação do material parental, clima, seres vivos, topografia e tempo, cujos processos de desenvolvimento (perdas, transformação, adição e translocação) dão origem a formação de solos, pedogeneticamente diferenciados, apresentando horizontes com particularidades distintas de textura, estrutura, presença de material orgânico e grau de alteração (CHAVES & GUERRA, 2006).

O solo é um recurso natural essencial à sobrevivência dos seres vivos, visto que, nos ecossistemas contribui para o crescimento das plantas, regulação e participação do fluxo de água no ambiente e tampão ambiental na formação, atenuação e degradação de compostos naturais. O conhecimento da importância e qualidade do solo é relevante para implementar estratégias de manejos sustentáveis. Neste sentido, a matéria orgânica do solo é um importante atributo na definição da qualidade do solo, e é justamente na superfície do solo onde se concentra a maior quantidade da matéria orgânica, sendo que a superfície do solo esta mais exposta à ação antrópica. Devido esta ação, aceleram-se os processos de intemperismo,

perdas por erosão, e contaminação por agroquímicos. Ter conhecimentos a respeito destes fatos é essencial para a conservação ambiental, tendo em vista que, a matéria orgânica da superfície do solo é responsável pela maior parte da emissão e captura dos gases de efeito estufa, sendo essencial também, no controle da erosão, na infiltração da água no solo e na conservação e disponibilização de nutrientes para as plantas. Assim, a função mais importante da matéria orgânica do solo é incorporar e estocar nitrogênio carbono e outros elementos (BERNARDI et al., 2004).

Este processo de estocagem de carbono e nitrogênio, nos ecossistemas terrestres, ocorre basicamente em dois reservatórios de carbono, a biomassa viva (vegetais, animais e microorganismos) e na matéria orgânica do solo. Neste sentido, a matéria orgânica do solo constitui o maior reservatório de carbono terrestre. Segundo Cerri et al. (2004) o solo constitui-se em um compartimento chave no processo de emissão e sequestro de C, evidenciando que, globalmente, há duas ou três vezes mais carbono (C) nos solos (1500-2000 Pg) em relação ao estocado na vegetação (470-655 Pg) e cerca do dobro em comparação com a atmosfera (730 Pg). Portanto, manejos inadequados podem mineralizar a matéria orgânica e transferir grandes quantidades de gases do efeito estufa para a atmosfera. Segundo estimativas de Bernoux et al. (2002), o estoque de C dos solos brasileiros na profundidade 0-30 cm, totalmente cobertos por vegetação nativa, nos anos 70 e 80 foi de 36,4 Pg C que corresponde a aproximadamente 5% do estoque de C nos solos do mundo na mesma profundidade.

Além de promover o estoque de carbono a biomassa microbiana é uma importante fonte de nitrogênio, em virtude do ciclo do nitrogênio estar associado à matéria orgânica. O processo de ciclagem do nitrogênio microbiano se dar, a uma velocidade mais rápida, quando comparado a outros elementos. Assim, a biomassa microbiana tem a função de um tampão de nitrogênio no solo, controlando assim, a disponibilidade desse nutriente por meio dos processos de mineralização e imobilização (BARRETO et al., 2008).

De acordo com Pavinato & Rosolem (2008) no solo estão presentes compostos orgânicos como ácidos húmicos e flúvicos, ácido tânico, aminas, compostos aromáticos, ácidos orgânicos de baixa massa molecular (cítrico, málico, oxálico, tartárico, etc.) e outros. Os ácidos orgânicos de baixa massa molecular aumentam sua concentração no solo rapidamente devido à adição de material vegetal no solo e o carbono orgânico solúvel do solo é composto de 2 a 10% de ácido orgânico de baixa massa molecular. A concentração desses compostos eleva-se durante o período de rápida decomposição dos resíduos orgânicos da planta, após a adição desse material no solo. Observa-se que após o processo de

decomposição ocorre uma diminuição desses ácidos no solo. Com a manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo dificulta a ação de microorganismos em virtude da diminuição da superfície de contato, como isso, a decomposição torna-se mais lenta. Devido a esta proteção exercida por resíduos vegetais torna-se possível produzir de forma contínua os compostos orgânicos de baixa massa molecular, produzindo efeitos positivos na fertilidade, não apenas no período da decomposição logo após a incorporação, como é o caso do preparo convencional. Devido à aplicação de resíduos vegetais verifica-se melhorias nas características químicas do solo, dentre estas características pode-se citar: a sorção de H e Al na superfície do material vegetal, a complexação do Al por compostos orgânicos, a troca de ligantes entre os grupos funcionais OH<sup>-</sup> dos oxihidróxidos de Fe e Al e os ânions orgânicos, e o aumento do potencial de oxidação biológica de ânions orgânicos.

De acordo com Iwata et al. (2010) nos solos tropicais, como é o caso do Brasil, o carbono orgânico do solo (COS) contribui de forma determinante para aprimorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Neste sentido, o COS é uma fonte de energia para a biomassa microbiana, atua no processo de armazenamento e fornece nutrientes para o solo, disponibiliza água para os vegetais, contribui na formação e estabilização dos agregados, favorece resistência ao solo e melhorias significativas na densidade do mesmo, além de favorecer a troca catiônica. Assim, a adoção de sistemas agrícolas que favoreça a conservação e o incremento do COS contribui positivamente para mitigar as emissões agrícolas de gás carbônico para a atmosfera, reduzindo assim as emissões antrópicas de gases de efeito estufa.

A fração viva que forma a matéria orgânica do solo inclui os macroorganismos (15-30%), constituído por minhocas, ácaros, entre outros, e pela biomassa microbiana (60-80%), formada por vírus, bactéria, fungos, entre outros, que corresponde a menos de 4% do carbono orgânico total do solo, e finalmente pelas raízes (5-10%). A fração não viva é formada pelos resíduos e metabólitos de planta, de animais e microorganismos, correspondendo à maior parte do carbono orgânico total do solo, cerca de 98%. Formada por substâncias não húmicas (30% de carbono do húmus) constituída pelos ácidos orgânicos e substâncias húmicas (70% do carbono do húmus) formada pelos ácidos húmicos, flúvicos e huminas (MACHADO, 2005). A biomassa microbiana do solo corresponde a 5% da matéria orgânica do solo, devido ter um curto tempo de resistência, ela é alterada rapidamente respondendo as modificações provocadas nos sistemas ambientais. Neste sentido, a biomassa microbiana do solo é determinada pelas condições edafo-climática e qualidade dos resíduos orgânicos, podendo ser:

catalisadora, fonte ou reserva de nutrientes, apresentando flutuações sazonais provocadas pela interação entre umidade e a temperatura do solo, aporte de material vegetal, crescimento vegetal, entre outros (RODRIGUES, 1999).

Em estudos realizados por Pulrolnik et al. (2009) foi verificado que os teores de estoques de carbono e nitrogênio tiveram contribuição mais relevante das huminas, do ácido húmico, do ácido fúvico e da matéria orgânica leve. Enquanto que a biomassa microbiana do solo contribuiu muito pouco para os estoques destes elementos.

A matéria orgânica desempenha uma função primordial no solo, pois possibilita melhorias de estrutura e aeração, retenção de umidade, incorporação de nutrientes como nitrogênio, enxofre e outros, aumento do tamponamento do solo (SILVA et al., 1994). Ela apresenta constituição lábeis e estáveis, essa divisão é baseada na taxa de decomposição e permite compreender melhor a dinâmica da matéria orgânica no solo. Assim, a matéria orgânica lábil é constituída pelos resíduos de plantas em decomposição, substâncias não-húmicas não ligadas aos constituintes minerais, formas solúveis em água, macrorganismos (fauna) e biomassa microbiana. A mineralização dos componentes lábeis ocorre rapidamente (semana ou meses). Já os componentes estáveis (substâncias húmicas e outras macromoléculas) são bem mais resistentes ao ataque microbiano devido a sua estrutura molecular e pela proteção física (PASSOS et al., 2007).

Independentemente do tipo de sistema de cultivo empregado, a maior parte da matéria orgânica do solo está relacionada a fração mineral, e a maior concentração são encontradas na fração silte e argila (D'ANDRÉA et al., 2004).

Compreender os processos de mineralização, estocagem de C e N na matéria orgânica do solo e o processo de decomposição são determinantes para mitigar as emissões agrícolas de gases de efeito estufa. Visto que, durante a decomposição da matéria orgânica do solo é liberado carbono e nitrogênio e outros componentes, parte destes elementos retornam para a atmosfera na forma de gás, outros componentes permanecem disponíveis para as plantas e outra parte é perdida na forma de lixiviação (WENDLING et al., 2010).

Assim, para mitigar este processo de decomposição e aprimorar o processo de acréscimo dos estoques de carbono do solo, faz-se necessário adotar técnicas de manejos como o objetivo de fornecer proteção física da matéria orgânica pela fração mineral durante o processo de desenvolvimento dos agregados. Neste processo de formação os detritos provenientes das culturas conectam-se às partículas do solo, agem assim como agentes de

ligação entre as partículas. Com isso, são formados novos microagregados provenientes da matéria orgânica protegida pela fração mineral. Assim, a matéria orgânica forma densos complexos livres dos agentes decompositores (SÁ et al., 2001). Neste sentido, a utilização de resíduos vegetais com o objetivo de promover a cobertura do solo tem demonstrado efeito positivo nas condições físicas, químicas e biológicas do solo.

Com o objetivo de avaliar o índice de estabilidade dos agregados, Oliveira et al. (2008) observaram que a conversão de sistemas nativos em agroecossistemas provoca diminuição na estabilidade dos agregados, fato observado pela diminuição no diâmetro médio ponderado, por apresentar aumento dos agregados de menor tamanho e pelos menores teores de carbono orgânico presentes nos sistemas sob cultivo convencional.

No estudo da matéria orgânica do solo o nitrogênio assim como o carbono, é um elemento relevante para o processo de estocagem de gases de efeito estufa no solo. Sua maior concentração está na fração orgânica (mais de 90%), um relevante reservatório com formas mais prontamente disponíveis, como a nítrica e amoniacal (D'ANDRÉA et al., 2004). Segundo Passos et al. (2007) o nitrogênio é um dos elementos mais limitantes da produtividade vegetal, devido à baixa disponibilidade de nitrogênio e a grande necessidade desse elemento por parte dos vegetais, esse fato é justificado por que 95% ou mais do nitrogênio contido no solo apresenta-se na forma orgânica, sendo uma pequena parte mineralizada. Dessa forma, esse composto está muito mais susceptível a mineralização, quando comparado ao carbono.

Segundo Rangel & Silva, (2007) em solos de clima tropical a concentração de nitrogênio pode variar de 0,02 e 0,4%, e em alguns solos, esta pode chegar a 2%. Se o solo não for manejado de forma correta, pode provocar a mineralização da matéria orgânica, podendo converter em um ano, 2 a 5% de nitrogênio orgânico em nitrogênio mineral. A biomassa microbiana contém cerca de 2 a 5% de carbono orgânico e até 5% de nitrogênio total nos solos tropicais. O carbono orgânico apresenta uma rápida ciclagem, o que faz alterar sua concentração, que é influenciada pelos fatores sazonais e de manejo do solo. Por isso, ele pode ser utilizado como identificador mais sensível das alterações na matéria orgânica do solo e da qualidade ambiental. Esses autores conduziram uma pesquisa que procurou avaliar diferentes frações da matéria orgânica do solo e os estoques de carbono e nitrogênio em um Latossolo Vermelho, submetido a diferentes sistemas de manejo (mata nativa, eucalipto, pinus, pastagem e milho). As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0–10, 10–20 e 20–40 cm. A proporção relativa do CO nas frações da matéria orgânica do solo

aumentou na seguinte ordem: C-argila > C-silte > C-areia. Pode se observar que as culturas submetidas ao cultivo convencional, diminuíram sensivelmente a qualidade da matéria orgânica e conseqüentemente os estoques de carbono e nitrogênio.

Neste sentido, Gama-Rodrigues et al. (2005) constataram que o teor de nitrogênio da biomassa microbiana variou de 9,17 a 103,71 Mg.g<sup>-1</sup> e que os teores de carbono orgânico da biomassa microbiana variaram de 2,78 a 12,32 Mg g<sup>-1</sup>, valores influenciados pelas condições climáticas. Segundo os autores a umidade do solo explicou 87% da variação dos teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e de nitrogênio total, em torno de 71% do carbono orgânico e de 48 a 55% da variação do carbono da biomassa microbiana e nitrogênio da biomassa microbiana.

Como visto anteriormente, a manutenção e o incremento nas concentrações de carbono orgânico na matéria orgânica do solo depende da intensidade dos processos de adição de resíduos vegetais e da decomposição de resíduos orgânicos. No caso do Brasil que possui um clima tropical, este processo de decomposição é muito intenso cabendo ao setor sucroalcooleiro adotar cada vez mais manejos conservacionistas para que os fatores biológicos, físicos e químicos possam atuar como protetor das frações orgânicas contra os ataques dos microorganismos.

### **2.3. Uso da Vinhaça na Cultura de Cana-de-açúcar**

A vinhaça é resultante da fabricação do álcool etílico por fermentação. Neste processo de fabricação há a produção de vinhaça na razão de 12 a 13 litros por litro de álcool produzido, sabe-se que esse resíduo apresenta alto poder poluente e relevante valor de fertilização. Sua propriedade poluente deriva da riqueza em matéria orgânica e por possuir importantes nutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio e outros. Durante muito tempo a vinhaça foi lançada nos corpos de água, mas após identificar sua propriedade fertilizante passou a ser utilizada na cultura canavieira (BUSATO, 2004). Com o surgimento do Programa PRÓ-ÁLCOOL, nos anos 70, a produção de álcool aumentou significativamente, em todo o país, e, conseqüentemente, o volume da vinhaça, estimulando sua aplicação na fertilização dos canaviais (BRITO & ROLIM, 2005).

A vinhaça é composta principalmente por ácidos orgânicos e por cátions como o K, Ca e Mg. Quando aplicada de forma adequada no solo pode proporcionar efeitos positivos, tais como: elevação do pH, maior disponibilização de nutrientes para as plantas, aumento da

capacidade de troca iônica e melhoria da estrutura física do solo, refletindo em melhores condições de armazenamento de água, aeração e desenvolvimento das raízes; tendo como resultado, o significativo aumento da produtividade (LEAL et al., 1983; NOVO et al., 2007; SILVA et al., 2007).

Na atualidade, devido a crescente conscientização ambiental e as exigências legais, o setor canavieiro tem procurado minimizar os impactos das suas atividades, aplicando a vinhaça como fertilizante e procurado realizar a colheita mecanizada, evitando a queima da palha da cultura. Estas práticas são tidas como ambientalmente corretas, pois minimizam, respectivamente, a eutrofização das águas e a liberação do gás carbônico para atmosfera, mitigando assim o efeito estufa (GIACHINI & FERRAZ, 2009; SOARES et al., 2009).

Em condições tropicais, para manter o teor de C orgânico total no solo de  $1 \text{ g kg}^{-1}$  são requeridas cerca de  $7 \text{ e } 10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de resíduos com elevada e baixa relação C:N, respectivamente (MANFOGOYA et al., 1997). Por isso, o uso combinado de fertilizantes químicos e materiais orgânicos têm sido recomendados como manejo alternativo, possibilitando a manutenção de alta produtividade (FERNANDES et al., 1997).

Canellas et al. (2003) comparando o efeito da adição de  $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinhaça, em áreas de cana de açúcar com e sem queima da palha, cultivada por 35 anos, verificaram acréscimos nos teores de carbono do solo, que, embora menores para a área queimada, foram na ordem de 17 e 11 %, para as camadas de 0-20cm e 20-40 cm de profundidade, respectivamente. Na área em que não houve queima da palhada ocorreu aumento nos teores de macro e micronutrientes e o teor de carbono foi de  $22,35 \text{ g kg}^{-1}$ . Na área queimada foi de  $13,13 \text{ g kg}^{-1}$  e de  $15,71 \text{ g kg}^{-1}$ , na cana sem adição de vinhaça, e de  $18,33 \text{ g kg}^{-1}$ , na que recebeu vinhaça. Segundo os autores, este acúmulo de carbono orgânico não deve ser considerado desprezível para solos tropicais, onde é notadamente difícil aumentar os teores de matéria orgânica no solo.

Com a adição de matéria orgânica (vinhaça e palhada), a longo prazo, alteraram-se as propriedades químicas do solo, com melhor fertilidade e melhora na qualidade da matéria orgânica do solo pelo aumento das concentrações de substâncias húmicas alcalino-solúveis. Sendo assim, a utilização da vinhaça como fertilizante, contribui com a conservação do meio ambiente, visto que, os resíduos produzidos são devolvidos a cultura, impedindo assim de serem lançados nos cursos de água (CANELLAS et al., 2003).

Investigando a estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas sob adição de resíduos orgânicos de cana-de-açúcar, Vasconcelos et al. (2010) verificaram que a adição de vinhaça no cultivo da cana-de-açúcar proporcionou o desenvolvimento dos agregados pela formação de macroagregados, aumentando o diâmetro médio ponderado dos agregados via úmida e conseqüentemente aumento nos teores de carbono orgânico total do solo.

Aumento no teor de potássio e elevação do pH foram as principais alterações observadas por Brito & Rolim (2005) e Brito et al. (2009) em área que recebeu vinhaça por mais de 20 anos, por fertirrigação, em solo da classe Espodosolo Cárbico Órtico.

Avaliando formas de fósforo em um solo Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, Busato (2004) coletou amostras nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm, em área com 55 anos de cultivo e sem queima da palhada e em área com 35 anos de cultivo e com queima da palhada, mas com adição de 120 m<sup>3</sup> vinhaça por hectare. Em ambos os casos, compararam com áreas adjacentes cultivadas tradicionalmente, com queima da palhada e sem aplicação de vinhaça. Os resultados indicaram que a preservação da palhada proporcionou acréscimos de 277% e 252% no conteúdo total de fósforo, para as duas profundidades avaliadas. Concluiu também, que a adição de vinhaça aumentou em 48% o conteúdo total de fósforo na amostra de 0-20 cm de profundidade.

Os dados apresentados anteriormente mostram que a adição de resíduos vegetais na lavoura de cana-de-açúcar, através da adição de vinhaça, altera as propriedades químicas do solo e proporcionam melhoria na sua fertilidade e na qualidade da matéria orgânica com aumento do conteúdo de substâncias húmicas, proporcionando portanto incremento nos estoques de carbono e nitrogênio do solo.

#### **2.4. Estoque de Carbono e Nitrogênio no Solo**

Nos ecossistemas terrestres, o seqüestro de carbono está relacionado à captura do carbono atmosférico e a prevenção de emissão dos gases de efeito estufa. Para isso, duas alternativas devem ser seguidas para mitigar a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, consiste em proteger os ecossistemas que estocam carbono e manejar os ecossistemas para intensificar a fixação de carbono, esta fixação dar-se tanto no solo quanto na planta. Dessa forma, a

quantidade de carbono armazenado no sistema reflete o balanço entre a absorção da planta, a fixação de carbono no solo e as perdas por respiração e decomposição (SOARES et al., 2009).

Em termos mundiais no solo, nos primeiros 100 cm, estão armazenados entre 1.300-2.000 PgC [1 penta grama de Carbono (PgC) = 1 bilhão de toneladas] constituindo assim um importante reservatório de carbono, se comparado com o carbono atmosférico o primeiro corresponde ao dobro da concentração do segundo (LAL, 2003). No caso específico dos solos tropicais eles armazenam em média 506 PgC (ESWARAN et al., 1993), já os solos brasileiros, nos seus primeiros 30cm, armazenam em torno de 30,4 PgC (BERNOUX et al., 2002).

Assim, alterações nos estoques de Carbono do solo podem provocar aumento significativo na concentração de dióxido de carbono na atmosfera assim como de óxidos de nitrogênio e outros gases (SCHUMAN et al., 2002; KERR, 2005).

Saber dos efeitos negativos destas alterações é relevante tendo em vista que em solos sob vegetação natural, o balanço entre as adições e perdas de carbono leva a um estado de equilíbrio dinâmico, no qual praticamente não existe variação no teor de carbono orgânico com o tempo (BAYER & MIELNICZUK, 1999). No entanto, quando estes solos são transformados em áreas agrícolas, verifica-se, em geral, nas regiões tropicais, uma rápida perda de carbono orgânico do solo em decorrência da combinação entre calor e umidade, que facilita a decomposição (SCHOLES & BREEMEN, 1997).

Neste sentido, a expansão agrícola através da derrubada de florestas durante os últimos anos levou a uma liberação líquida de 121 Gt de C para a atmosfera (1 Gt =  $10^9$  t) e o Brasil é o maior responsável pela emissão de gases de efeito estufa pela mudança no uso da terra (MACHADO, 2005). Globalmente, a queima de combustíveis fósseis e a produção de cimento constituem as maiores fontes de gases do efeito estufa (GEE), responsáveis por 66% daqueles lançados na atmosfera, a agricultura aparece com 20% e a mudança do uso da terra (14%) completam o total das emissões antrópicas (IPCC, 2001). Já o Brasil apresenta padrões diferentes daqueles observados globalmente, aqui, a mudança de uso da terra e a agricultura são responsáveis por mais de dois terços das emissões (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2004).

A adição de carbono devido à fotossíntese dos vegetais e a perda de carbono orgânico devido à oxidação são determinantes na estocagem do carbono orgânico no solo (IPCC, 2001), ou seja, os estoques de C orgânico do solo são definidos pela interação dos fatores que

determinam sua formação e aqueles que provem sua decomposição (PORTUGAL et al., 2008).

Como visto anteriormente, a conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas influenciam diretamente o estoque de carbono no solo (NEILL et al., 1997). Em solos sob vegetação nativa o revolvimento do solo é mínimo, preservando assim o estoque total de carbono no solo. Deste modo, o estoque de carbono florestal é superior às áreas cultivadas, nestas áreas o estoque diminui devido a diversos fatores, podem-se destacar a exposição das frações orgânicas ao ataque de microorganismo, o revolvimento e a erosão do solo (NOBRE & GASH, 1997; TOGNON et al., 1998; SILVA, 1997; D'ANDRÉA, 2002; SILVA et al., 1994). Essa perda de matéria orgânica influencia negativamente a troca de cátions e a complexação de elementos tóxicos a exemplo do alumínio (MENDONÇA, 1995). Segundo Carvalho et al. (2010), dados recentes indicam que esta conversão adicionada aos efeitos da agricultura contribui com aproximadamente 24 % das emissões mundiais de CO<sub>2</sub>, 55 % das emissões de CH<sub>4</sub> e 85% do total das emissões de N<sub>2</sub>O para a atmosfera. Já no caso específico do Brasil, as emissões de GEE provenientes das mudanças de uso da terra e agricultura são bem mais acentuadas percentualmente, representando cerca de 75, 91 e 94 % do total de emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, respectivamente.

Com o objetivo de identificar os efeitos negativos da conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas Rangel et al. (2008) avaliou os teores de carbono e nitrogênio em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com cafeeiro, foram retiradas amostras de solo nas profundidades de 0–5, 5–10, 10–20 e 20–40 cm. Em um total de 24 tratamentos, com três repetições. O plantio do solo com cafeeiro provocou redução nos teores de carbono orgânico até a profundidade de 20 cm, em relação à área não cultivada sob vegetação nativa (mata). Abaixo da camada de 20 cm, os teores de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total (NT) e a relação CO/NT do solo sob cafeeiro apresentaram-se próximos aos do solo de mata.

Belizário (2008) procurou avaliar variações nos estoques de carbono do solo, em virtude das mudanças de uso da terra, ela avaliou três tipos de solos, Latossolos, Argissolos e Neossolos, coletou amostras dos referidos solos nos estados de Rondônia e Mato Grosso. As amostras de solos foram coletadas em cinco ecorregiões: vegetação nativa, pastagem sob diferentes manejos, culturas perenes, área sob cultivo convencional e plantio direto. O solo foi coletado nas camadas: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 cm. Os resultados indicam que na camada 0-30, área sob cultivo convencional, apresentou uma tendência de aumento dos estoques de carbono (51,46 Mg ha<sup>-1</sup>), no sistema plantio direto (48,76 Mg ha<sup>-1</sup>), no solo cultivado com

pastagem sob diferentes manejos ( $46,75 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e o solo cultivado com culturas perenes ( $46,75 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Verifica-se que não ocorreram diferenças significativas nos estoques de carbono do solo sob vegetação nativa e nas mudanças de uso para pastagem e agricultura.

Siqueira Neto (2006) avaliou os estoques de carbono e nitrogênio do solo sob o sistema de plantio direto, pastagem e plantio convencional. Sua pesquisa foi realizada no município de Verde-GO em um Latossolo Vermelho distrófico com teores de argila de 50 a 70%, nas três áreas foi coletado solo em seis pontos de amostragem e cinco profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, e 30-40 cm. Os resultados indicaram que o sistema de plantio direto promoveu melhoria nos atributos físicos com a redução da compactação do solo e nos atributos químicos com aumento do pH e a disponibilidade de nutrientes nas camadas superficiais do solo. Os estoques de carbono e nitrogênio foram maiores nas áreas cultivadas sob sistema de plantio direto ( $80$  e  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente). Os menores valores nos estoques de carbono foram  $62$  e  $64 \text{ (Mg ha}^{-1}\text{)}$  nas áreas sob plantio convencional e pastagem respectivamente. Assim, pode-se concluir que os estoques de carbono e nitrogênio do solo foram alterados com a mudança de uso da terra, em virtude do cultivo do solo ter reduzido a matéria orgânica.

Paula & Valle (2007) quantificaram o estoque de carbono do solo em três pontos de amostragens com diferentes tipos de solo em Manaus – AM, após a análise do solo foi observado maior estoque de carbono nos Argissolos, Latossolos e Espodossolos respectivamente, observou-se também que o estoque de carbono do solo diminui exponencialmente com a profundidade. Assim nos três tipos de solos supracitados foram encontrados respectivamente os seguintes valores para os estoques de carbono:  $11,80\text{-}37,85$ ;  $14,56\text{-}23,43$  e  $3,64\text{-}21,76 \text{ g kg}^{-1}$ .

Bernardi et al. (2004) pesquisando estoques de carbono e nitrogênio em um Neossolo Quartzarênio sob cultivo de fruteiras irrigadas na região nordeste do Brasil, coletaram amostras na linha e na entrelinha de pomares irrigados de banana, caju, manga, goiaba e graviola. Em áreas adjacentes sob vegetação de Caatinga hipoxerófila e após 2 anos de desmatamento foram coletadas amostras adicionais. As profundidades de amostragem foram: 0 - 10, 10 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm. Os teores de C e N no solo foram significativamente mais altos na camada superficial (0 a 10 cm). O estoque de C e N na área com vegetação de Caatinga foram  $36,8$  e  $3,33 \text{ t ha}^{-1}$ . A retirada da vegetação e o cultivo das espécies frutíferas levaram a diminuição no estoque de C (6-23%) e de N (3-20%).

Sabe-se que diante do alto consumo dos combustíveis fósseis, a humanidade tem procurado cada vez mais alternativas a este consumo, e a cultura da cana-de-açúcar tem sido destacada como uma fonte viável de combustível renovável a partir da biomassa, além de ser eficiente no processo de estocagem de carbono, se for implantado um manejo ecológico. Neste sentido, vem sendo implantado no decorrer do tempo na cultura canavieira à aplicação da vinhaça e a prática cada vez mais comum de substituição da queima da palhada pela colheita mecanizada. Dessa forma, a manutenção da palha após a colheita mecanizada influencia positivamente na dinâmica da água no solo e na ciclagem de nutrientes e da matéria orgânica do solo (MACEDO & NOGUEIRA, 2004).

A prática da colheita mecanizada da cana-de-açúcar ao invés da colheita com queima de palha tem despertado interesse devido sua contribuição para a mitigação de gases do efeito estufa. A adoção dessa prática vem crescendo, apontando para a necessidade de ser quantificado as mudanças na taxa de emissão de gases para a atmosfera e a concentração de matéria orgânica no solo (seqüestro de C) (CERRI et al., 2004).

Neste sentido, Resende (2003), avaliou o efeito, por 16 anos, do sistema de corte de cana crua e queimada sobre o comportamento do N e do C no solo da Usina Cruangi, Timbaúba, PE, observou que a manutenção da palhada conservou o carbono do solo, originário da floresta (C<sub>3</sub>), com mais eficiência. O acúmulo de carbono de origem C<sub>4</sub> no solo foi pequeno em relação ao carbono total já existente, mas ocorreu com maior intensidade no tratamento sem queima, possibilitando um incremento do carbono total de cerca de 4.400 kg ha<sup>-1</sup>, aproximadamente 1.700 kg ha<sup>-1</sup> a mais que o tratamento com queima prévia da palha. A manutenção da palha no sistema favoreceu o estoque de carbono do solo em mais de 300 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, incrementando-o em cerca de 10% em relação à vegetação nativa, e em 5% quando comparado ao tratamento convencional de queima prévia do canavial. O estoque de nitrogênio do solo também foi aumentado pela manutenção da palhada, porém em menor magnitude.

Segundo Lima et al. (1999), a cana-de-açúcar é responsável por cerca de 98% das emissões de gases provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil. Entretanto, o balanço entre a emissão de CO<sub>2</sub> durante as queimadas e a retirada de CO<sub>2</sub> do ambiente, pelo processo fotossintético é nulo, uma vez que a cultura reabsorve o equivalente ao CO<sub>2</sub> emitido (SILVA, 1996). A adoção do manejo da colheita sem a queima prévia do canavial torna positivo o balanço do CO<sub>2</sub>, uma vez que o carbono que seria emitido imediatamente durante a queimada, pode permanecer no sistema, e ser incorporado ao solo. A decomposição da palhada que fica depositada sobre o solo, além de ocasionar aumento no teor de matéria

orgânica no solo (LUCA, 2002), possibilita aumento da agregação, da capacidade de troca de cátions e, aumento do poder tampão do solo.

Marchiori Junior & Melo (2000) comparando os teores de carbono orgânico nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade de um Latossolo Roxo sob mata natural e submetido ao cultivo de cana-de-açúcar encontraram, na área de cultivo, reduções destes teores de 41,3% a 49,1% e de 23,7% a 35,8% nas profundidades de 0-10 e de 10-20 cm, respectivamente. Cerri (1986) também detectou uma redução de 38% e 46% no estoque de C na camada de 0-20 cm do solo, aos 12 e 50 anos, respectivamente, de cultivo intenso de cana-de-açúcar. Trabalhando em área de Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo, Cavalcante et al., (2006) encontraram maior estoque de carbono orgânico na área sob mata do que na cultivada com cana-de-açúcar, sendo este fato consequência, segundo os autores, de uma maior atividade microbiana e pouco revolvimento do solo. Quando o solo é submetido ao cultivo convencional, o seu revolvimento contribui para acelerar a oxidação do carbono orgânico (CASTRO FILHO et al., 1991), no entanto, segundo Stevenson (1994), um novo equilíbrio pode ser atingido em um nível que varia em razão das características do sistema de manejo adotado.

O carbono pode acumular nas frações lábeis da matéria orgânica do solo, podendo implicar a durabilidade do seu efeito quanto à retenção de carbono atmosférico. O estoque de carbono nessas frações tem proporcionado proteção física no interior de agregados, visto que, esse carbono fica inacessível aos microorganismos e suas enzimas (CORAZZA et al., 1999). Protegida no interior dos agregados a matéria orgânica apresenta um tempo de permanência no solo maior do que se comparada com a matéria orgânica livre, sendo que os microagregados exercem maior proteção que os macroagregados (BAYER et al., 2004). De acordo com Passos et al. (2007) a matéria orgânica do solo é um dos principais agentes de agregação de partículas contidas no solo, assim para preservar essa matéria orgânica em cultivo convencional faz-se necessário a estabilização dos macroagregados. Em relação aos microagregados eles são estabilizados principalmente pela matéria orgânica estável, desse modo, esta estabilidade esta sujeita a características do solo, como textura e mineralogia.

Para comparar teores de carbono e nitrogênio e estabilidade de agregados e densidade do solo Luca et al. (2008) analisaram solos cultivados com cana-de-açúcar submetidos à queima da palha e com manutenção dos resíduos vegetais após a colheita, com adição da palha após um ano da terceira colheita pode-se verificar um acúmulo de 4,5 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca. Pode ser observado que houve um aumento no teor de carbono nos solo sem queima

promovendo um aumento no teor de carbono na camada 0-20 cm de 6,3 a 4,7 ha<sup>-1</sup> no Latossolo e no Argissolo concomitantemente. A taxa de seqüestro de carbono na camada 0-20 cm foi de 2,63 a 2,02 t ha<sup>-1</sup> anos<sup>-1</sup>. Houve também aumento na concentração de macroagregados em solos sem queima dos resíduos vegetais, resultando em melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo.

A queima da palhada, visando facilitar a colheita e transporte, tem sido praticada desde a introdução da cana-de-açúcar no Brasil. Essa queima provoca a emissão de gases como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, e N<sub>2</sub>O, gases responsáveis pela intensificação do efeito estufa. Além de liberar esses gases libera também fuligem que pode provocar problemas respiratórios nas populações circunvizinhas da lavoura (CANCADO et al., 2006).

Para verificar a influencia da queima e da manutenção da palhada sobre o solo Pinheiro et al. (2007) comparou os efeitos dos sistemas de colheita da cana-de-açúcar (cana com queima e corte da cana sem a queima da palha) sobre os estoques de carbono e nitrogênio num Argissolo Amarelo, foi coletado também amostras de um solo em uma área de mata adjacente à área experimental. Foram abertas trincheiras de 1,0 x 1,20 x 1,20m em cada tratamento. Foram coletadas amostras de solo nas seguintes profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, e 80-100 cm. Na área que é praticada a queima da palha foi verificado o menor valor de estoque de carbono quando se compara à cana sem queima. A cana sem queima promoveu um aumento de 13 Mg C ha<sup>-1</sup> em relação à cana com queima. Com relação ao estoque de nitrogênio, foi observado que o manejo sem queima da palha foi superior ao manejo com queima. A área que apresentava conservação da palha apresentou maior quantidade do carbono orgânico original do solo quando comparado com o sistema mata.

A manutenção da palhada sobre o solo acarreta diversos benefícios para o aprimoramento da matéria orgânica do solo e esse aprimoramento esta relacionado diretamente a proteção do solo. Esta manutenção é justificada pelo fato que a cultura produz em média cerca de 10 a 30 Mg ha<sup>-1</sup> de palha que contém vários elementos químicos, entre eles o carbono e nitrogênio. Esses valores correspondem de 40 a 100 Kg ha<sup>-1</sup> do elemento nitrogênio. Deixado sobre o solo este material forma uma camada de cobertura de cerca de 10 a 15 centímetros, proporcionando benefícios para o balanço do elemento nitrogênio devido o processo de fixação do gás nitrogênio (PINHEIRO et al., 2007).

Com a manutenção da palha sobre o solo, aumenta consideravelmente o seqüestro de carbono no solo. Este acréscimo é condicionado por fatores climáticos (TRIVELIN et al.,

2002) e textura do solo. Parte desse carbono que é seqüestrado sem a queima pode ser perdido se o solo for exposto a práticas de revolvimento (RESENDE et al., 2006). Visto que, esse revolvimento provoca a destruição de agregados (pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores, provocando assim diminuição do diâmetro dos poros e aumento da densidade do solo) expondo a matéria orgânica à ação dos microorganismos decompositores (VASCONCELOS et al., 2010), podendo provocar ainda perdas significativas de solo, e portanto, de matéria orgânica (SPAROVEK & SCHNUG, 2001). Este fracionamento dos agregados provoca a compactação do solo, podendo causar mudanças significativas na estrutura do solo e alterações nos movimentos de água no interior do solo, na distribuição do ar e calor e no crescimento das raízes. Segundo Vasconcelos et al. (2010) as raízes da cana-de-açúcar criam uma rede que favorece a estabilidade dos agregados, contribuindo para aprimorar a qualidade do solo pela melhoria na estrutura física facilitando a infiltração da água e reduzindo a erodibilidade.

De acordo com Braida et al. (2006) para evitar perdas da matéria orgânica deve ser adotadas práticas de manejo adequado com o objetivo de melhorar a resistência do solo à compactação, com a manutenção do resíduo vegetal após a colheita da cana-de-açúcar, verifica-se um aprimoramento nas condições físicas e químicas do solo. Essa manutenção dos resíduos na superfície do solo proporciona resistências da energia produzida pelo impacto das rodas das máquinas e pelas patas dos animais. Para comprovar essa propriedade da matéria orgânica os autores supracitados coletaram amostras de um Argissolo Vermelho-Amarelo arênico e um Nitossolo Vermelho distrófico, na profundidade, 0-0,05 m, os experimentos foram desenvolvidos no sentido de analisar a capacidade da palha em dissipar a energia de compactação, para isso, foram compactadas amostras de um Argissolo em seguida, foi aplicada uma camada de palha sobre o solo. Após as análises dos experimentos pode-se concluir que o acúmulo de matéria orgânica nos solos provenientes de diferentes sistemas de manejo, reduziu a densidade máxima e aumentou a umidade crítica para compactação do solo, com isso pode-se concluir que o solo tornou-se mais resistente à compactação.

Szakács (2007) pesquisou o estoque de carbono e agregados do solo cultivado com cana-de-açúcar, um dos objetivos de sua pesquisa foi analisar o potencial de seqüestro de carbono orgânico no solo (COS) em três regimes climáticos contrastantes do centro-sul do Brasil. Foi determinado (COS), em cada regime climático, de acordo com a taxa anual de carbono remanescente no solo proveniente da palhada depositada. Deste modo, o ganho anual de COS (0-30 cm) em canaviais sem queima da palhada não resultou em diferenças

significativas por clima: 1,97 Mg ha<sup>-1</sup> (clima norte), 2,00 Mg ha<sup>-1</sup> (clima centro) e 1,70 Mg ha<sup>-1</sup> (clima sul).

Com o objetivo de avaliar a qualidade estrutural e potencial de uso para cana-de-açúcar de um Cambissolo Hápico e um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, Severiano et al. (2009), coletaram amostras de solos nas profundidades de 0 - 5, 10 - 15 e 30 - 40 cm, os resultados das análises indicaram que o cultivo contínuo com cana-de-açúcar no Cambissolo Hápico apresentou maior disponibilidade de água para as plantas, proporcionando benefícios à cultura, com os resultados pode-se concluir que o Latossolo está mais sujeito à compactação, fazendo-se necessário a adequação do tráfego de máquinas.

Os dados analisados sobre os estoques de carbono e nitrogênio no solo cultivado com cana-de-açúcar mostram a necessidade de mudanças nos processos produtivos desta cultura tendo em vista as necessidades de diminuir as concentrações de gás carbônico na atmosfera. Visto que, como foi discutido anteriormente, nos ecossistemas naturais a fonte de carbono orgânico do solo tem uma única origem, ou seja, os resíduos vegetais da vegetação nativa, enquanto nos agroecossistemas, a maior parte do carbono do solo apresenta no mínimo duas fontes: a remanescente da vegetação nativa e a produzida pela decomposição dos resíduos vegetais de uma ou mais culturas introduzidas, podendo alterar significativamente as concentrações da matéria orgânica do solo. Neste sentido, as mudanças do uso da terra modificam os ciclos dos elementos no solo, com alterações nos fluxos dos gases do efeito estufa (GEE). Estas alterações provocam emissões dos GEE o que aumenta as concentrações destes gases na atmosfera. Para evitar aumento nas emissões e incrementar o dreno de carbono no solo o setor agrícola torna-se um meio estratégico para o Brasil. Neste sentido, os efeitos do manejo sem queima da cana-de-açúcar antes da colheita e a aplicação da vinhaça proporcionam aumento significativo nos estoques de carbono e nitrogênio do solo, atendendo assim a demanda mundial pela redução das emissões dos gases de efeito estufa.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Localização e Descrição da Área de Estudo

A pesquisa foi realizada na Miriri Alimentos e Bioenergia S/A (situada na latitude de 6°56' S, na longitude de 35°07' W, altitude de 70m), localizada no município de Capim, região do Litoral da Paraíba. Segundo Chaves & Farias (2008) nesta área ocorre o solo Argissolo Acizentado Distrófico com textura variando de franca arenosa a franca argilo arenosa. De acordo com Silva (2006) e Farias (2006) a região apresenta relevo plano, o clima é caracterizado como tropical (quente e úmido) com chuvas de outono e inverno, a temperatura média anual é 28°C, com precipitação média de 1.200mm, com seis meses secos e umidade relativa em torno de 80%. De acordo com Silva et al. (2009) o bioclima classificado como Mediterrâneo ou Nordeste quente, de seca atenuada. As características granulométricas do solo nos diferentes ambientes são mostradas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Granulometria do solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Ambientes	Argila	Silte	Areia
Profundidade: 0-5 cm			
M	35	20,1	944,9
CcV	35	20,1	944,9
CsV	35	20,1	944,9
Profundidade: 5-10 cm			
M	40,2	25,3	934,5
CcV	35	20,1	944,9
CsV	35,1	20,2	944,7
Profundidade: 10-20 cm			
M	35,1	25,2	939,7
CcV	35,2	20,3	944,5
CsV	35,1	25,2	939,7
Profundidade: 20-40 cm			
M	35,1	20,1	944,8
CcV	35	20,1	944,9
CsV	40,1	25,2	934,7

M= mata; CcV= cana com vinhaça; CsV= cana sem vinhaça.

A Miriri Alimentos e Bioenergia S/A desenvolve práticas sustentáveis de gestão ambiental, a exemplo da manutenção da Reserva Particular do Patrimônio Natural (Pacatuba),

além da iniciativa de deixar intactas matas de encostas e matas ciliares para interligação desta com a reserva Gargaú, permitindo assim que os macacos Guaribas possam migrar de uma área para outra evitando assim casamentos consangüíneos. Por iniciativa dessa usina foi instalado o projeto Floresta Energética, através da plantação de árvores lenhosas em 35 hectares para fornecimento de lenha a população local, evitando assim o corte de árvores das reservas ambientais, entre outras iniciativas.

### 3.2. Escolha e Caracterização das Áreas de Estudo

De acordo com Junior et al. (2008) o bioma Mata Atlântica apresenta altos índices de biodiversidade e endemismo. Na atualidade, está reduzida a menos de 5% de sua área original. A Floresta Tropical Atlântica é encontrada ao longo da costa brasileira, no Estado da Paraíba; a degradação da Mata Atlântica vem ocorrendo ao longo dos anos para dar lugar especialmente as plantações de cultura canavieira e a exploração da madeira, provocando assim a redução deste bioma no Estado a pequenas ilhas vulneráveis. Neste bioma, é significativa a presença de Argissolos em diferentes condições geomorfológicas.

Na área de estudo foram selecionados os seguintes ambientes: Mata nativa considerada o sistema de referência, área de plantio de cana-de-açúcar com aplicação de vinhaça e área de plantio de cana-de-açúcar sem aplicação de vinhaça. As coordenadas exatas de todos os perfis em estudo foram obtidas por meio de um sistema global de posicionamento (GPS), garantindo a possibilidade de reamostragem no local exato (Tabela 2).

**Tabela 2.** Localização Geográfica dos pontos de coleta de solo

<b>ÁREAS</b>	<b>Latitude (S)</b>	<b>Longitude (W)</b>
<b>MATA PERFIL 1</b>	6 <sup>0</sup> 59' 56"	35 <sup>0</sup> 07' 12,2"
<b>MATA PERFIL 2</b>	7 <sup>0</sup> 00' 40,1"	35 <sup>0</sup> 07' 35,3"
<b>MATA PERFIL 3</b>	7 <sup>0</sup> 00' 21,9"	35 <sup>0</sup> 07' 33,9"
<b>MATA PERFIL 4</b>	7 <sup>0</sup> 00' 34,7"	35 <sup>0</sup> 08' 12,9"
<b>MATA PERFIL 5</b>	7 <sup>0</sup> 00' 58,4"	35 <sup>0</sup> 08' 03,8"
<b>COM VINHAÇA PERFIL 1</b>	7 <sup>0</sup> 00' 11,1"	35 <sup>0</sup> 07' 14,7"
<b>COM VINHAÇA PERFIL 2</b>	7 <sup>0</sup> 00' 35,1"	35 <sup>0</sup> 07' 33,3"
<b>COM VINHAÇA PERFIL 3</b>	7 <sup>0</sup> 00' 34,7"	35 <sup>0</sup> 08' 17,5"
<b>COM VINHAÇA PERFIL 4</b>	7 <sup>0</sup> 00' 58,4"	35 <sup>0</sup> 08' 09,8"

<b>COM VINHAÇA PERFIL 5</b>	7 <sup>0</sup> 00' 23,8"	35 <sup>0</sup> 07' 30,0"
<b>SEM VINHAÇA PERFIL 1</b>	7 <sup>0</sup> 05' 01,0"	35 <sup>0</sup> 06' 47,7"
<b>SEM VINHAÇA PERFIL 2</b>	7 <sup>0</sup> 05' 19,2"	35 <sup>0</sup> 06' 05,1"
<b>SEM VINHAÇA PERFIL 3</b>	7 <sup>0</sup> 05' 10,8"	35 <sup>0</sup> 05' 57,8"
<b>SEM VINHAÇA PERFIL 4</b>	7 <sup>0</sup> 05' 29,0"	35 <sup>0</sup> 06' 41,1"
<b>SEM VINHAÇA PERFIL 5</b>	7 <sup>0</sup> 05' 46,1"	35 <sup>0</sup> 07' 11,7"

### 3.3. Amostras do Solo

A amostragem foi realizada nos meses de março e abril de 2010. Inicialmente, através de visitas de campo, foram selecionadas cinco áreas representativas para cada ambiente, tendo-se o cuidado de que ocorram numa mesma classe de solo. Em cada uma destas áreas, foi aberta uma trincheira para coleta de amostras. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. Em cada trincheira foram coletadas duas repetições de amostras deformadas e indeformadas.

As amostras indeformadas foram coletadas em anel volumétrico de 90,21 cm<sup>3</sup> para a determinação da densidade do solo (Figura 1) e as amostras deformadas foram utilizadas para caracterização química das amostras e determinação do carbono presente nas mesmas.



(a)



(b)

**Figura 1.** Anéis volumétricos fixados no solo (a); Retirada do anel volumétrico para amostragem indeformadas de solo (b)

As amostras de solo deformadas, depois de serem secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm, foram caracterizadas física e quimicamente de acordo com as metodologias recomendadas por Embrapa (1997).

### **3.4. Análise físico-química do solo**

As análises físico-químicas do solo foram realizadas para todas as áreas amostradas. O complexo sortivo foi avaliado de acordo com Embrapa (1997). Foram determinados os valores de pH, condutividade elétrica e densidade de todas as amostras. Para análise do pH e condutividade elétrica foi pesada 10 gramas de solo em seguida foram adicionados 10ml de água destilada agitando-se a mistura e deixando em repouso por 1 hora, transcorrido o tempo determinado a mistura foi agitada mais uma vez com o auxílio de um bastão de vidro e procedeu-se a leitura de todas as amostras no peagâmetro e no condutivímetro. Com relação à densidade do solo coletaram-se amostras de solo em cinco trincheiras para cada ambiente nas profundidades (0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm) com duas repetições. Para cálculo da densidade foram coletadas amostras indeformadas em cilindros de 90,21 cm<sup>3</sup>, nas respectivas profundidades, no laboratório estas amostras foram secas em estufa a 65°C, após secagem foi determinada a massa de solo seco. Com o peso seco da amostra e o volume conhecido do cilindro pode-se obter a densidade, conforme equação 1.

$$d= m/v \qquad \qquad \qquad \text{eq. (1)}$$

Em que: d= densidade, m= peso do solo seco (g) e v= volume do cilindro (cm<sup>3</sup>).

### **3.5. Determinação do Estoque de Carbono e Nitrogênio no Solo**

Após pesagem de 0,5 g de solo para cada profundidade em todos os perfis, o carbono orgânico total (COT) foi quantificado por oxidação da matéria orgânica via úmida, empregando solução de dicromato de potássio em meio ácido, com fonte externa de calor (YEOMANS & BREMNER, 1988).

A porcentagem de carbono orgânico total foi quantificada pela expressão:

$$\%COT = 40/PB \cdot (40 - vg) \cdot 0,06 \quad \text{eq (2)}$$

Em que: %COT é o teor de carbono orgânico total (%), PB é a prova em branco e vg é o volume gasto na titulação.

A matéria orgânica foi quantificada pela expressão:

$$M.O. = \%COT \cdot 1,724 \quad \text{eq (3)}$$

Em que: M.O. é o valor da matéria orgânica e %COT é o teor de carbono orgânico total.

O valor do nitrogênio total foi quantificado pela expressão:

$$N.T. = M.O./10 \quad \text{eq (4)}$$

Em que: N.T. é o valor do nitrogênio total e M.O. é o valor da matéria orgânica.

O estoque de COT, em todas as profundidades consideradas, será calculado a partir da expressão:

$$EstC = (COT \times Ds \times e)/10 \quad \text{eq. (5)}$$

Em que: EstC é o estoque de C orgânico em determinada profundidade ( $Mg \text{ ha}^{-1}$ ); COT é o teor de C orgânico total ( $g \text{ kg}^{-1}$ ); Ds é a densidade do solo ( $kg \text{ dm}^{-3}$ ), determinada a partir de amostras indeformadas, segundo Blake & Hartage (1986); e é a espessura da camada considerada (cm).

Para verificar tendências de acúmulo ou perda de C orgânico em comparação com o sistema de referência, foi calculada a variação do estoque de C em relação ao da mata nativa ( $\Delta EstC$ ,  $Mg \text{ ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ), pela diferença entre os valores médios de EstC neste sistema e em cada um dos demais, o que será considerado relevante para auxiliar a interpretação dos valores de EstC nas diferentes faixas de profundidades.

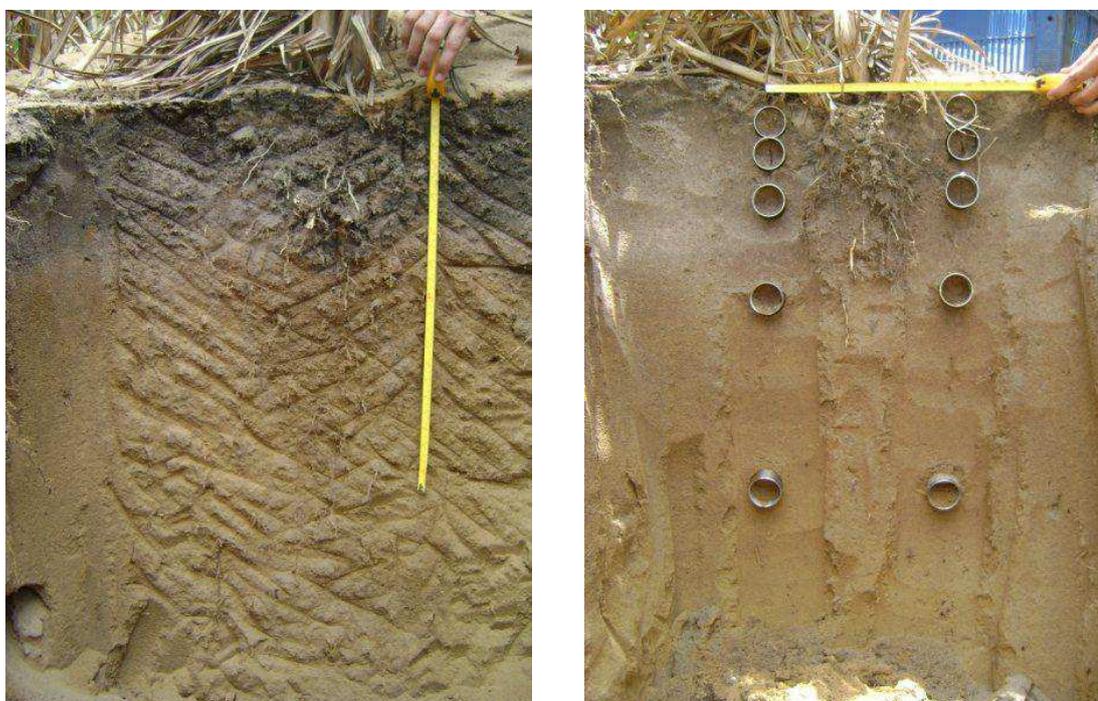
O estoque de NT do solo foi calculado de maneira semelhante ao estoque de carbono, a partir da expressão:

$$EstN = (NT \times Ds \times e) \quad \text{eq (6)}$$

Em que: EstN é o estoque de N total do solo em determinada profundidade ( $Mg \text{ ha}^{-1}$ ); NT é o teor de N total ( $dag \text{ kg}^{-1}$ ).

### 3.6. Distribuição de Raízes

Para comparar a distribuição das raízes de cana-de-açúcar nos sistemas com e sem aplicação de vinhaça foi coletada amostras de solo com anel volumétrico (90,21 cm<sup>3</sup>), em cinco trincheiras em cada área nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 com duas repetições (Figura 2). Para separação do solo das raízes foram utilizados pequenos jatos de água. Ao final da lavagem, as raízes de cada ambiente foram identificadas e, posteriormente, acondicionadas em sacos de papel. As amostras de raízes de cada camada foram colocadas para secagem em estufa com ventilação de ar a 65° C. Após secagem, foram pesadas para quantificação de raízes secas.



(a) (b)  
**Figura 2.** Preparo do solo (a); Coleta de amostras de raízes (b).

### 3.7. Análise Estatística

Os dados foram analisados através da estatística descritiva calculando-se as medidas de posição (média e mediana), de dispersão (valor máximo, valor mínimo e coeficiente de variação). Os dados foram submetidos à análise de variância de medidas repetidas no espaço (profundidades). Utilizaram-se a análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey a 5 % de probabilidade para comparação das médias.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Caracterização química das amostras de solo dos diferentes ambientes

O resumo das análises de variância referente aos atributos químicos do solo nos diferentes ambientes (locais) e nas diferentes profundidades encontra-se na Tabela 3. Os resultados referentes ao pH, condutividade elétrica (CE), alumínio (Al), acidez potencial (H + Al) e fósforo (P), em relação aos locais, foram significativos aos níveis de 1% de probabilidade; em relação a profundidade, observou-se efeito significativo dos resultados de pH ao nível de 5% de probabilidade, e dos resultados de CE, cálcio (Ca), sódio (Na), potássio (K), acidez potencial e P, ao nível de 1% de probabilidade. No entanto, para a interação ambiente x profundidades, verificou-se diferença significativa apenas para os teores de Al, acidez potencial (ao nível de 5 % de probabilidade) e P (ao nível de 1% de probabilidade).

**Tabela 3.** Resumos das análises de variância dos atributos químicos minerais do solo.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio								
		pH	CE	Ca	Mg	Na	K	Al	H+Al	P
Locais	2	9,08**	133506,23**	0,08	0,82	0,0006	0,035	1,18**	82,37**	35,36**
Res.(a)	12	0,36	1866,43	0,37	0,24	0,0002	0,01	0,15	8,85	3,02
Prof.	3	0,42*	3488,35**	1,72**	0,20	0,0005**	0,01**	0,03	11,53**	7,84**
Prof. x Loc.	6	0,22	232,36	0,03	0,05	0,0002	0,005	0,084*	4,53*	1,86**
Res.(b)	36	0,14	388,11	0,14	0,12	0,00009	0,003	0,031	1,71	0,46

\*, \*\*; Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

#### 4.1.1. pH do Solo

De acordo com Belizário (2008) o pH é o mecanismo empregado para identificar a acidez do solo, ou seja, identifica-se através desta técnica a concentração de íons hidrogênio na solução de solo. Os valores de pH estão diretamente relacionados à saturação de bases, portanto quanto menor for os valores do pH menor será a proporção de bases ocupando o complexo coloidal do solo, indicando assim a necessidade de correção da acidez do solo. Neste sentido, o pH é um relevante indicador das propriedades químicas do solo, por apresentar capacidade de interferir na disposição e liberação de vários elementos químicos indispensáveis ao desenvolvimento das plantas. Em condições muito ácidas, pode resultar em

dissolução de elementos como o ferro, alumínio e manganês, que em determinadas concentrações podem tornar-se tóxicos e dificultar o desenvolvimento de alguns vegetais.

De acordo com os valores, mínimo (3,96) e máximo (4,83) de pH (Tabela 4), constatou-se que as amostras de solo da área da Mata apresentaram reação de acidez elevada; nas amostras de solo das áreas com cana-de-açúcar com vinhaça variaram de 4,41 a 5,46, classificadas de elevada a média acidez; e nas amostras de solo das áreas com cana-de-açúcar sem vinhaça, variaram de 4,18 a 6,88, classificadas de elevada a fraca acidez. O fato do ambiente mata apresentar pH mais elevado, ao ser comparado com os sistemas de cultivo da cana-de-açúcar, dar-se certamente ao fato de não ter sido aplicado a calagem na mata nativa.

**Tabela 4.** Resultados da análise estatística descritiva de pH do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Ambientes	Média	Mediana	D. P.	Mín.	Máx.	C. V.
						%
Profundidade: 0-5 cm						
M	4,41	4,55	0,35	3,96	4,79	8
CcV	5,05	4,85	0,33	4,81	5,52	6
CsV	6,18	6,40	0,71	5,05	6,88	11
Profundidade: 5-10 cm						
M	4,26	4,26	0,25	4,00	4,66	6
CcV	4,75	4,69	0,24	4,46	5,06	5
CsV	5,44	6,01	0,90	4,18	6,39	16
Profundidade: 10-20 cm						
M	4,29	4,18	0,28	4,06	4,72	7
CcV	4,92	4,95	0,44	4,41	5,42	9
CsV	5,59	5,68	0,25	5,20	5,81	4
Profundidade: 20-40 cm						
M	4,47	4,50	0,32	4,10	4,83	7
CcV	4,93	4,73	0,43	4,50	5,46	9
CsV	5,39	5,55	0,28	5,01	5,63	5

M= mata; CcV= cana com vinhaça; CsV= cana sem vinhaça; D.P.=desvio padrão; Mín.= mínimo; Máx.= máximo; C.V.= coeficiente de variação;

Os coeficientes de variação foram baixos ( $CV < 12\%$ ) (WARRICK & NIELSEN, 1980), com exceção do tratamento sem vinhaça na profundidade 5-10 cm que foi classificado como médio, corroborando com diversos trabalhos encontrados na literatura, e mais recentes, com Chaves et al. (2007).

As áreas sob cultivo com cana-de-açúcar mostraram os maiores valores de pH (Tabela 5), provavelmente como resultado dos efeitos residuais das calagens realizadas ao longo dos

ciclos da lavoura da cana-de-açúcar, corroborando com Portugal et al. (2010) e Vasconcelos et al. (2010).

**Tabela 5.** Valores médios dos atributos químicos do solo em função do tipo de atividade (ou área)

Atributos	Tipo de atividade (ou área)			CV%
	Mata nativa	Com vinhaça	Sem vinhaça	
pH	4,38c	4,94b	5,72a	7,55
C.E ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	64,05b	84,53ba	115,66a	22,31
Ca ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	0,73a	0,77a	0,86a	47,36
Mg ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	0,84a	0,80a	1,20a	36,04
Na ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	0,02a	0,02a	0,008a	68,83
K ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	0,06a	0,13a	0,05a	63,92

pH= pH do solo; C.E.= condutividade elétrica; Ca= teor de cálcio; Mg= teor de magnésio; Na= teor de sódio; K= teor de potássio. Médias seguidas das mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade. CV = coeficiente de variação.

Os valores de pH nos ambientes de mata nativa e área com aplicação de vinhaça deveriam ser superiores a área sem aplicação de vinhaça, tendo em vista que teoricamente a área com mata e com vinhaça possuem um maior aporte de matéria orgânica.

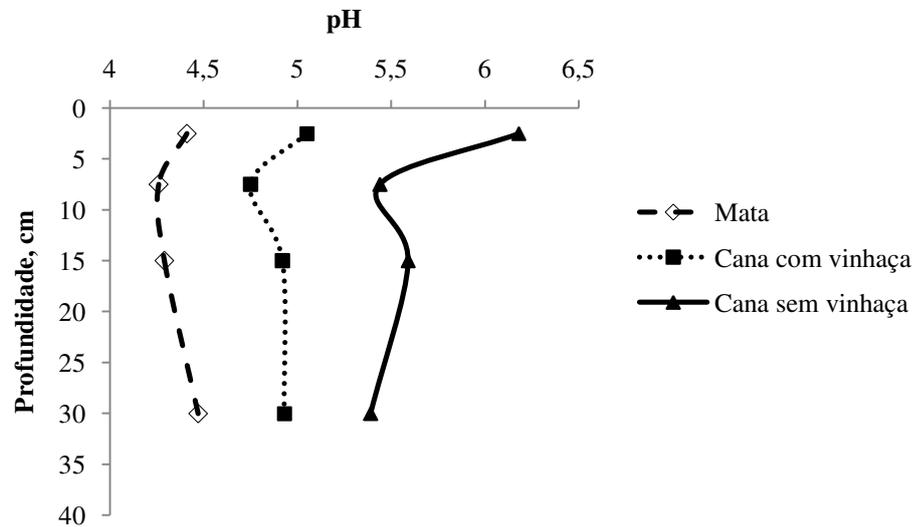
Neste sentido, Pavinato & Rosolem (2008) explica que com a adição de matéria orgânica dos resíduos vegetais promove a elevação o pH, visto que estes resíduos promovem a complexação de hidrogênio e alumínio com compostos destes resíduos, deixando os elementos cálcio, magnésio e potássio mais livre em solução, promovendo assim aumento na saturação da capacidade de troca de cátions destes elementos, desta forma, reduziria a acidez potencial. Contrário a este pensamento, Costa Junior (2008) apresentou uma explicação diferenciada segundo ele os valores menores de pH nas áreas de mata nativa e na área com aplicação da vinhaça são inferiores a área sem aplicação da vinhaça devido aos dois primeiros ambientes apresentarem uma maior quantidade de matéria orgânica e que segundo ele a decomposição dos resíduos vegetais promove a liberação do íon  $\text{H}^+$  tendo como consequência diminuição nos valores do pH.

De maneira geral houve variação nos valores de pH em todos os ambientes com tendência de diminuição destes valores com o aumento da profundidade no perfil do solo (Tabela 6) como podes se observados na Figura 3.

**Tabela 6.** Valores médios dos atributos químicos do solo em função da profundidade

Atributos	Profundidade (cm)			
	(0-5 cm)	(5-10 cm)	(10-20 cm)	(20-40 cm)
pH	5,26a	4,88b	4,96ab	4,95ab
C.E. ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	107,55a	91,39ab	81,59bc	71,78c
Ca ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	1,22a	0,86ab	0,64bc	0,42c
Mg ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	1,11a	1,03a	0,93a	0,84a
Na ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	0,02a	0,02ab	0,01b	0,008b
K ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	0,11a	0,09ab	0,06b	0,04b

pH= pH do solo; C.E.= condutividade elétrica; Ca= teor de cálcio; Mg= teor de magnésio; Na= teor de sódio; K= teor de potássio. Médias seguidas das mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.

**Figura 3.** pH do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Resultados semelhantes foram encontrados por Belizário (2008), estudando mudanças de carbono do solo devido ao uso agrícola constatou que os valores de pH diminuíram com a profundidade para todos os usos do solo avaliados. De acordo com suas observações concluíram que a decomposição da matéria orgânica pelos microorganismos provoca a liberação de dióxido de carbono, com isso aumenta-se a concentração deste gás no solo e conseqüentemente este gás reage com a água produzindo como resultante o íon  $\text{H}^+$ , somando-se aos efeitos da liberação deste íon dos ácidos orgânicos. Segundo Fracetto (2009) a adição de matéria orgânica na superfície do solo, proporciona o aumento nos valores do pH, reduzindo assim a acidez do solo, aumentando as concentrações de carbono orgânico

promovendo assim um maior poder tampão e elevando a capacidade de troca de cátions no solo.

Corá et al. (2004) pesquisando a variabilidade espacial de atributos do solo cultivado com cana-de-açúcar também constataram que os valores de pH apresentaram-se mais elevados nas camadas superficiais. Da mesma forma, Portugal et al. (2010) analisando amostras de solo sob mata nativa e canavial, observaram valores de pH menores em função da profundidade.

#### 4.1.2. Condutividade Elétrica do Solo

Segundo Santana et al. (2007) a condutividade elétrica expressa a quantidade de sais presentes em solução do solo. Sendo assim quanto maior a quantidade de sais presente na solução maior será o valor da condutividade elétrica.

De acordo com a classificação de Warrick & Nielsen (1980), os coeficientes de variação foram classificados como baixos ( $CV < 12\%$ ) no ambiente Mata na profundidade 10-20 cm, nas demais profundidades os coeficientes de variação foram classificados como médios ( $12 < CV < 62\%$ ). No tratamento com cana-de-açúcar sem vinhaça nas profundidades 20-40 cm, os coeficientes de variação foram classificados como baixos, nas profundidades 5-10 cm e 10-20 cm foram classificados como médios e na profundidade 0-5, estes coeficientes foram classificados como altos ( $CV > 62\%$ ). Já no tratamento com vinhaça todos os coeficientes de variação foram classificados como médio (Tabela 7).

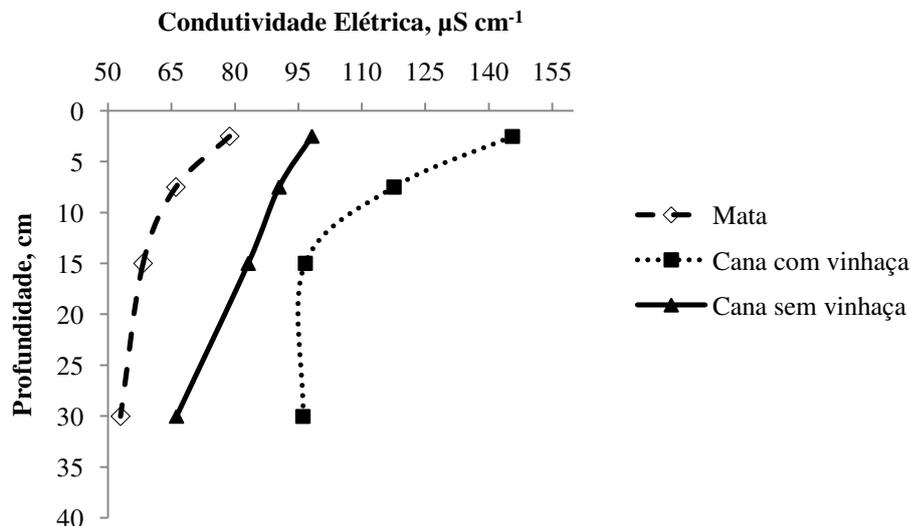
**Tabela 7.** Resultados da análise estatística descritiva da condutividade elétrica do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Ambientes	Média	Mediana	D. P.	Mín.	Máx.	C. V.
	----- $\mu\text{S cm}^{-1}$ -----					%
Profundidade: 0-5 cm						
M	78,80	79,98	9,92	66,93	93,00	13
CcV	145,58	135,82	28,52	123,99	195,64	20
CsV	98,26	71,61	66,64	56,72	216,80	68
Profundidade: 5-10 cm						
M	66,08	60,92	13,32	54,62	87,95	20
CcV	117,63	117,51	17,41	98,87	138,56	15
CsV	90,46	72,13	37,07	62,69	154,06	41

Profundidade: 10-20 cm						
M	58,29	58,26	4,72	53,32	63,21	8
CcV	96,59	102,60	14,95	73,29	109,65	15
CsV	83,20	67,89	30,90	62,42	136,98	37
Profundidade: 20-40 cm						
M	57,79	59,21	5,99	50,98	64,25	10
CcV	92,86	87,99	13,07	80,72	113,90	14
CsV	68,22	69,25	4,92	59,78	72,50	7

M= mata; CcV= cana com vinhaça; CsV= cana sem vinhaça; D.P.=desvio padrão; Mín.= mínimo; Máx.= máximo; C.V.= coeficiente de variação;

Aparentemente os valores da condutividade elétrica são mais elevados no tratamento com vinhaça e diminuem com a profundidade (Figura 4), entretanto, estes resultados em função dos ambientes mostra-se que não existe diferença significativa entre os ambientes mata/com vinhaça e com vinhaça/ sem vinhaça. Diferentemente quando se compara os ambientes mata/sem vinhaça nota-se diferenças significativas entre estes dois ambientes, sendo que o tratamento sem vinhaça apresentou maiores valores para a condutividade elétrica (Tabela 5). Quando se faz a comparação em relação às profundidades notam-se diferenças entre elas (Tabela 6), observa-se uma diminuição progressiva com o aumento da profundidade.



**Figura 4.** Condutividade elétrica do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

### 4.1.3. Cálculo do solo

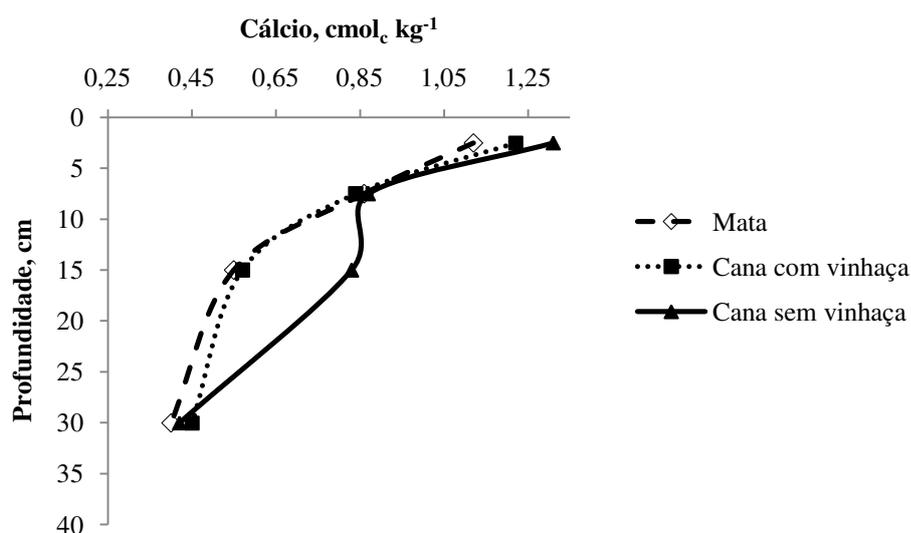
A variação dos teores de cálcio (Ca) foi de médio a baixo nos ambientes Mata e cana-de-açúcar com vinhaça na profundidade de 0-5 cm e na Mata na profundidade de 5-10 cm (Tabela 8). Nas demais profundidades e em todos os ambientes, os teores foram baixos, com valores menores, em geral, na Mata, corroborando com Portugal et al. (2010). Em Argissolo Amarelo distrófico, cultivado com cana-de-açúcar, Neto et al. (2009) verificaram que a concentração média de Ca foi de  $0,90 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , valor semelhante aos encontrados nesta pesquisa. Considerando-se que níveis de 2 a  $3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de Ca são adequados para o desenvolvimento das culturas, pode-se afirmar que nas áreas de estudo existem deficiências desse elemento na maioria das plantas cultivadas, relacionado a própria natureza do solo. De acordo com os dados apresentados na Tabela 8, pôde-se observar que os maiores coeficientes de variação (CV) corresponderam aos valores nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, no ambiente Mata, classificados como alto ( $\text{CV} > 62\%$ ); os demais valores foram classificados como médio ( $12\% < \text{CV} < 62\%$ ) (WARRICK & NIELSEN, 1980).

**Tabela 8.** Resultados da análise estatística descritiva de cálcio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Ambientes	Média	Mediana	D. P.	Mín.	Máx.	CV
	----- $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ -----					----- % -----
Profundidade: 0-5 cm						
M	1,12	0,57	0,90	0,29	2,16	80
CcV	1,22	1,04	0,56	0,64	2,13	46
CsV	1,31	1,24	0,44	0,73	1,95	33
Profundidade: 5-10 cm						
M	0,86	0,82	0,61	0,37	1,82	70
CcV	0,84	0,80	0,50	0,34	1,61	60
CsV	0,87	0,77	0,33	0,57	1,38	38
Profundidade: 10-20 cm						
M	0,55	0,60	0,22	0,20	0,77	41
CcV	0,57	0,57	0,11	0,40	0,68	19
CsV	0,83	0,81	0,42	0,24	1,39	50
Profundidade: 20-40 cm						
M	0,40	0,42	0,19	0,18	0,65	47
CcV	0,45	0,37	0,19	0,24	0,66	42
CsV	0,42	0,39	0,15	0,25	0,65	35

M= mata; CcV= cana com vinhaça; CsV= cana sem vinhaça; D.P.=desvio padrão; Mín.= mínimo; Máx.= máximo; CV= coeficiente de variação.

Aparentemente os resultados de Ca nas áreas de cana-de-açúcar sem vinhaça são maiores do que em outras áreas analisadas e diminuem em função da profundidade (Figura 5), entretanto, estes resultados em função dos ambientes, não mostraram diferença significativa (Tabela 5), discordando de Vasconcelos et al. (2010) que mostraram diferença significativa dos seus dados em função dos ambientes. Quando se compara as quatro profundidades observa-se que houve uma diminuição dos teores de cálcio com o aumento da profundidade (Tabela 6). De acordo com Silva-Olaya (2010) as maiores concentrações deste elemento nas camadas superficiais dar-se devido à ciclagem dos nutrientes com a decomposição dos resíduos culturais na superfície do solo, além do fato da aplicação da calagem nas áreas sob cultivo da cana-de-açúcar.



**Figura 5.** Teor de cálcio no solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

#### 4.1.4. Magnésio do solo

Os teores de magnésio (Mg) do solo, apresentados na Tabela 9, variaram de alto a baixo, predominando na média, os teores classificados como médio (LOPES & GUIDOLIN, 1989). Os coeficientes de variação (CV) destes teores foram classificados com médios

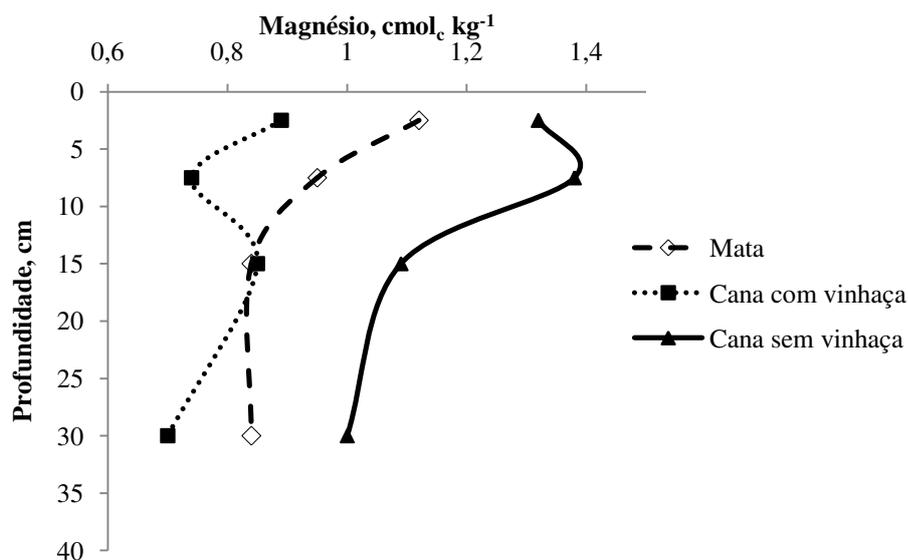
( $12\% < CV < 62\%$ ) (WARRICK & NIELSEN, 1980) com exceção na profundidade de 5-10 cm nos sistemas Mata e cana-de-açúcar com vinhaça.

**Tabela 9.** Resultados da análise estatística descritiva de magnésio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV) nas quatro profundidades.

Ambientes	Média	Mediana	D. P.	Mín.	Máx.	CV
	----- $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ -----					%
Profundidade: 0-5 cm						
M	1,12	1,35	0,44	0,54	1,54	39
CcV	0,89	0,76	0,37	0,47	1,32	42
CsV	1,32	1,37	0,23	0,96	1,56	18
Profundidade: 5-10 cm						
M	0,95	0,83	0,68	0,32	2,09	72
CcV	0,74	0,52	0,51	0,17	1,34	68
CsV	1,38	1,26	0,41	0,99	2,06	30
Profundidade: 10-20 cm						
M	0,84	0,84	0,08	0,75	0,96	10
CcV	0,85	0,85	0,33	0,39	1,31	38
CsV	1,09	0,99	0,23	0,85	1,34	21
Profundidade: 20-40 cm						
M	0,84	0,75	0,45	0,40	1,54	54
CcV	0,70	0,64	0,31	0,31	1,04	44
CsV	1,00	1,01	0,31	0,66	1,47	32

M= mata; CcV= com vinhaça; CsV= sem vinhaça; D.P.=desvio padrão; Mín.=mínimo; Máx.=maximo; CV= coeficiente de variação.

Apesar dos teores deste elemento terem sido ligeiramente mais altos na área de cana-de-açúcar sem vinhaça, e terem diminuído em função da profundidade (Figura 6) estes não mostraram diferença significativa (Tabelas 5 e 6), discordando com Vasconcelos et al. (2010) que encontraram teores mais elevados nos sistemas de manejo sob aplicação de vinhaça e de vinhaça+torta de filtro comparados com o sistema de manejo sob irrigação. Considerando que o teor de magnésio suficiente para a maioria das culturas está em torno de  $0,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e que o teor de  $0,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  é considerado alto (RAIJ, 1981), é possível afirmar que, na área de estudo em geral, não há deficiência deste elemento uma vez que as amostras de solo apresentaram teores em torno de  $0,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ .



**Figura 6.** Teor de magnésio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Pesquisando Latossolos Vermelho-Amarelo em sistema de integração lavoura-pecuária Diógenes et al. (2010) encontraram na profundidade de 0-20 cm teores médios de magnésio de  $0,82 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e na profundidade 20-40 cm o teor encontrado foi de  $0,63 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

Comparando os teores de Ca com os de Mg, apesar de serem pequenas as diferenças, o Mg superou o Ca, o que não é comum na maioria dos solos, uma vez que o Ca trocável é mais retido nos solos que o Mg trocável. Segundo Raij (1991), o Mg superando o Ca nas camadas subsuperficiais, pode ser um indicio do intemperismo de minerais contendo Mg.

#### 4.1.5. Sódio do solo

Com relação aos valores encontrados do elemento sódio (Na) pode-se observar que os valores foram muito reduzidos para todos os ambientes variando de no máximo  $0,00$  a  $0,03 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Tabela 10). Quando se compara os valores de média e mediana para os ambientes estudados e suas respectivas profundidades pode-se observar que, praticamente, não houve nenhuma variação para todos os valores.

De acordo com as análises estatísticas, os teores de Na tiveram diferenças significativas em relação à profundidade, sendo maiores nas camadas subsuperficiais (Tabelas 3 e 6). Mesmo assim, os teores de Na não foram relevantes em todas as amostras de solo analisadas.

**Tabela 10.** Resultados da análise estatística descritiva de sódio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Ambientes	Média	Mediana	D. P.	Mín.	Máx.	CV
	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----					%
Profundidade: 0-5 cm						
M	0,03	0,03	0,01	0,02	0,04	30
CcV	0,03	0,03	0,02	0,00	0,06	77
CsV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	93
Profundidade: 5-10 cm						
M	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	40
CcV	0,02	0,01	0,02	0,00	0,04	99
CsV	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	78
Profundidade: 10-20 cm						
M	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	30
CcV	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	62
CsV	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	120
Profundidade: 20-40 cm						
M	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	120
CcV	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	62
CsV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	93

M= mata; CcV= cana com vinhaça; CsV= cana sem vinhaça; D.P.=desvio padrão; Mín.= mínimo; Máx= máximo; CV= coeficiente de variação.

#### 4.1.6. Potássio do solo

De acordo com os dados de potássio (K), observa-se na Tabela 11 que a maioria das amostras apresenta teores baixos (< 0,12 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) corroborando com Neto et al. (2009), que observaram em solos Argissolo Amarelo Distrocoeso e Argissolo Amarelo Distrófico, cultivados com cana-de-açúcar, teores semelhantes de K, ou seja, 0,07 e 0,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente; os teores médios do elemento (0,12 a 0,38 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) foram encontrados apenas no sistema cana-de-açúcar com vinhaça e nas profundidades de 0-5 cm e de 5-10 cm.

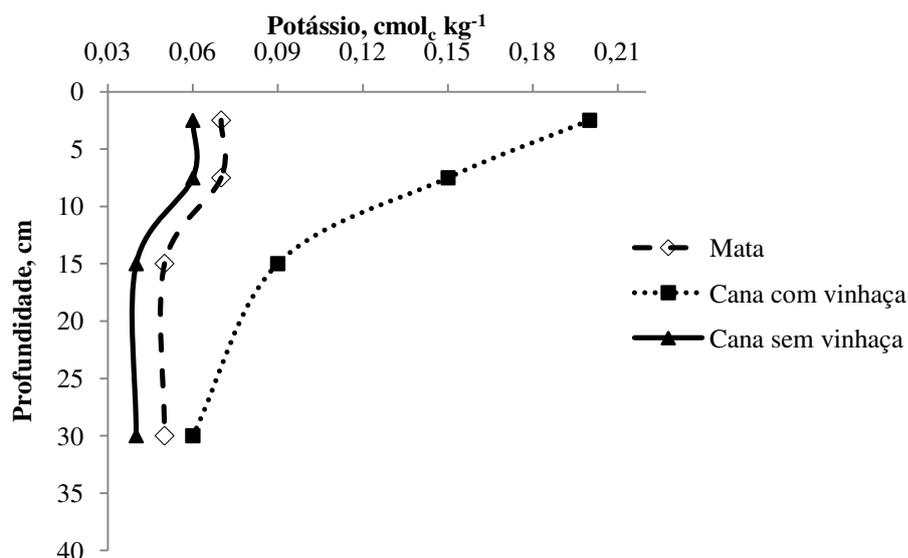
**Tabela 11.** Resultados da análise estatística descritiva de potássio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Ambientes	Média	Mediana	D. P.	Mín.	Máx.	CV
	----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----					%
Profundidade: 0-5 cm						
M	0,07	0,07	0,01	0,05	0,09	21
CcV	0,20	0,13	0,19	0,07	0,55	96
CsV	0,06	0,05	0,04	0,04	0,13	59
Profundidade: 5-10 cm						
M	0,07	0,07	0,01	0,05	0,09	21
CcV	0,15	0,11	0,13	0,05	0,37	82
CsV	0,06	0,05	0,03	0,04	0,11	50
Profundidade: 10-20 cm						
M	0,05	0,05	0,01	0,04	0,07	23
CcV	0,09	0,07	0,06	0,04	0,18	62
CsV	0,04	0,04	0,01	0,02	0,05	34
Profundidade: 20-40 cm						
M	0,05	0,05	0,01	0,04	0,05	15
CcV	0,06	0,05	0,01	0,05	0,07	14
CsV	0,04	0,04	0,00	0,04	0,04	00

M= mata; CcV= cana com vinhaça; CsV= cana sem vinhaça; D.P.=desvio padrão; Mín.=mínimo; Máx.=maximo; CV= coeficiente de variação.

Segundo a classificação do CV proposta por Warrick & Nielsen (1980) observou-se que os teores de K nos sistema de manejo cana-de-açúcar com vinhaça, nas duas primeiras profundidades, apresentaram alta variabilidade ( $CV > 62\%$ ), sendo que nas demais amostras de solo de todos os ambientes, os teores de K apresentaram moderada variabilidade ( $12\% < CV < 62\%$ ).

Os resultados obtidos para o K, em função das profundidades, mostraram diferença significativa (Tabela 3 e 6) com os menores teores nas camadas abaixo de 10 cm de profundidade (Figura 7), corroborando com Ferreira et al. (2009) e Vasconcelos et al. (2010); entretanto, em função dos ambientes, não houve diferença significativa, apesar dos maiores teores de K foram observados na área com cana-de-açúcar com vinhaça (Tabela 5). Estes dados foram discordantes de Portugal et al. (2010) mostrando que os teores de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  variaram estatisticamente entre os diferentes usos do solo com maiores teores observados em canavial em relação a mata. Segundo Camilotti et al. (2006) mostraram a eficiência da vinhaça como fonte de K na produtividade da cana-de-açúcar.



**Figura 7.** Teor de potássio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

#### 4.1.7. Alumínio do solo

Os teores médios de alumínio (Al) nas amostras de solo do ambiente Mata foram classificados como médio (0,4 a 1,0  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) (LOPES & GUIDOLIN, 1989) nos demais ambientes e profundidades as amostras de solo foram classificadas como baixo (0 a 0,3  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) (Tabela 12). Estudando solos submetidos ao cultivo da cana-de-açúcar, Severiano et al. (2009) verificaram os teores médios de Al, de 0,1 a 1,1  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , semelhantes aos encontrados por esta pesquisa.

**Tabela 12.** Resultados da análise estatística descritiva de alumínio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Ambientes	Média	Mediana	D. P.	Mín.	Máx.	CV
	----- $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ -----					%
Profundidade: 0-5 cm						
M	0,60	0,40	0,51	0,20	1,40	85
CcV	0,16	0,20	0,09	0,00	0,20	56
CsV	0,04	0,00	0,09	0,00	0,20	224
Profundidade: 5-10 cm						
M	0,72	0,60	0,44	0,20	1,40	61

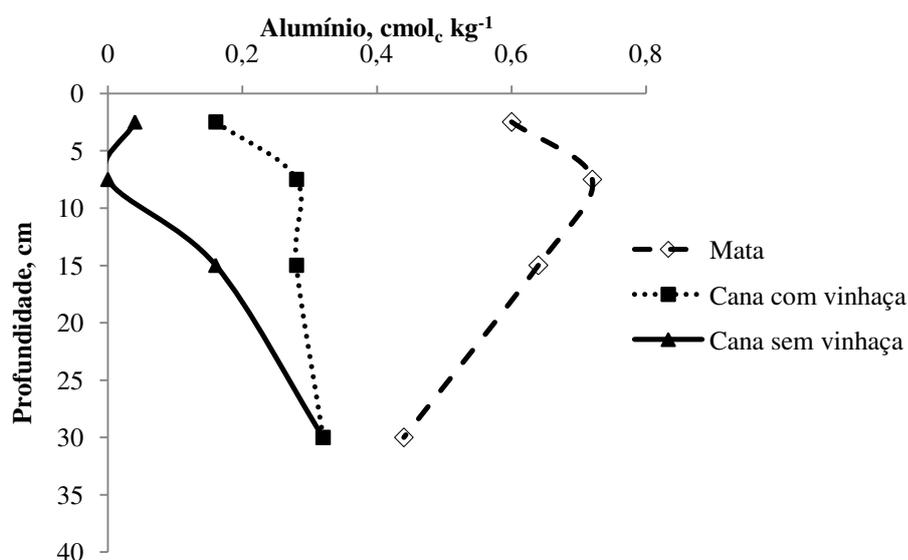
CcV	0,28	0,20	0,18	0,20	0,60	64
CsV	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Profundidade: 10-20 cm						
M	0,64	0,60	0,26	0,40	1,00	41
CcV	0,28	0,20	0,18	0,20	0,60	64
CsV	0,16	0,20	0,09	0,00	0,20	56
Profundidade: 20-40 cm						
M	0,44	0,40	0,17	0,20	0,60	38
CcV	0,32	0,20	0,18	0,20	0,60	56
CsV	0,32	0,20	0,27	0,20	0,80	84

M= mata; CcV= cana com vinhaça; CsV= cana sem vinhaça; D.P.= desvio padrão; Mín.= mínimo; Máx.= máximo; CV= coeficiente de variação.

Os coeficientes de variação (CV) dos teores de Al foram classificados como médios ( $12\% < CV < 62\%$ ) e, com algumas exceções, como altos ( $> 62\%$ ).

Em relação à análise estatística, observaram diferença significativa dentre os valores de Al nos ambientes e na interação dos locais com as profundidades (Tabela 3).

Os valores de Al na área da Mata foram superiores aos sistemas sob usos agrícolas em todas as profundidades (Figura 8) seguidos das áreas com cana-de-açúcar com vinhaça e sem vinhaça (Tabela 13) corroborando com Portugal et al. (2010) e Vasconcelos et al. (2010). Estes valores acompanharam as variações do pH, já que o Al tóxico às plantas é reduzido à medida que o pH aumenta (SOUZA et al. 2007).



**Figura 8.** Teor de alumínio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

**Tabela 13.** Teores médios de alumínio ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) em função da profundidade em diferentes ambientes

Profundidade (cm)	Tipo de atividade (ou área)		
	Mata nativa	Com vinhaça	Sem vinhaça
0-5	0,6 aA	0,16 aAB	0,04 aB
5-10	0,72 aA	0,28 aAB	0,00 aB
10-20	0,64 aA	0,28 aAB	0,16 aB
20-40	0,44 aA	0,32 aA	0,32 aA

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade

Como pode ser verificado no apêndice 1 o percentual de alumínio apresentou tendência de crescimento semelhante aos teores médios de alumínio apresentados na Tabela 13, ou seja, com valores mais elevados no ambiente mata, seguidos pelo ambiente com aplicação de vinhaça e por último o ambiente sem vinhaça. Com exceção da profundidade 20-40 cm onde se observou que o ambiente sem aplicação de vinhaça apresentou valores superiores aos outros ambientes estudados.

#### 4.1.8. Acidez potencial do solo

Os valores de acidez potencial ( $\text{H} + \text{Al}$ ) variaram entre os usos apresentando comportamento similar ao mostrado pelo  $\text{Al}^{3+}$ , com os maiores valores observados na Mata, classificados de baixo ( $0$  a  $2,5 \text{ cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) a alto ( $>5,0 \text{ cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) (LOPES & GUIDOLIN, 1989) e menores na área de cana-de-açúcar sem vinhaça, classificados como baixos (Tabela 14).

**Tabela 14.** Resultados da análise estatística descritiva de acidez potencial ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Ambientes	Média	Mediana	D. P.	Mín.	Máx.	C. V.
	----- $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ -----					%
Profundidade: 0-5 cm						
M	5,15	5,74	2,15	2,31	7,92	42
CcV	2,94	2,57	1,02	2,01	4,45	35
CsV	0,71	0,35	0,70	0,18	1,88	97
Profundidade: 5-10 cm						
M	7,17	6,65	5,04	2,09	14,82	70

CcV	2,88	2,75	1,18	1,73	4,77	41
CsV	0,86	0,90	0,58	0,26	1,65	67
Profundidade: 10-20 cm						
M	4,23	5,29	2,26	1,70	6,52	53
CcV	2,09	1,88	1,26	1,02	4,21	60
CsV	0,90	0,74	0,40	0,54	1,58	44
Profundidade: 20-40 cm						
M	2,63	2,46	0,99	1,32	3,71	38
CcV	1,46	1,23	0,86	0,61	2,57	59
CsV	0,59	0,56	0,17	0,36	0,84	29

M= mata; CcV= cana com vinhaça; CsV= cana sem vinhaça; D.P.= desvio padrão; Mín.= mínimo; Máx.= máximo; CV= coeficiente de variação.

Seguindo a classificação do CV proposta por Warrick & Nielsen (1980) observou-se que os valores da acidez potencial em todos os ambientes apresentaram moderada variabilidade ( $12\% < CV < 62\%$ ), com exceção de cana-de-açúcar sem vinhaça nas profundidades de 0-5 cm e de 5-10 cm.

De acordo com a análise estatística, observou-se que houve diferença significativa dos valores de acidez potencial dos diferentes locais e profundidades, em nível de 1 % de probabilidade e na interação entre estes parâmetros em nível de 5 % de probabilidade (Tabela 3).

Em relação aos ambientes, observaram-se os maiores teores de acidez potencial na Mata seguidos pelo sistema de cana-de-açúcar com vinhaça e sem vinhaça (Tabela 15) corroborando com Portugal et al. (2010) que observaram maiores valores de acidez potencial também na Mata e menores no canavial.

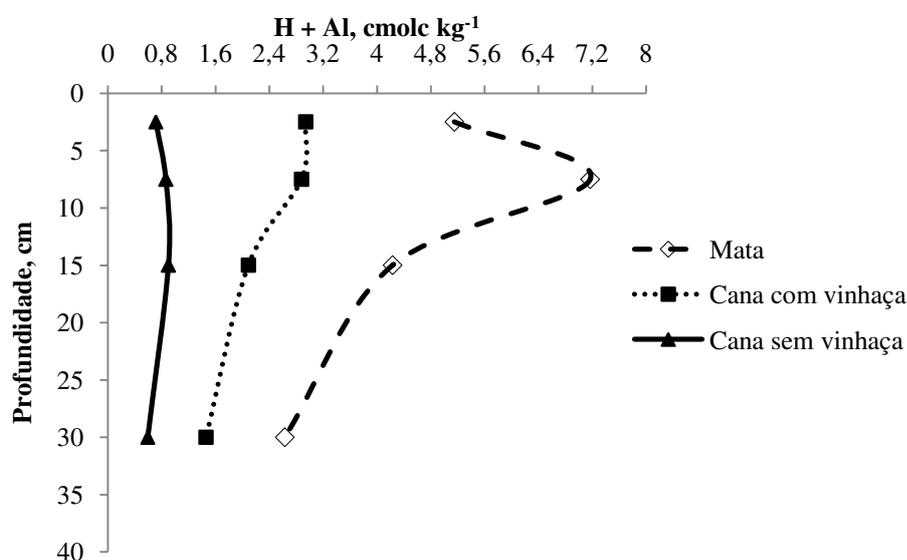
**Tabela 15.** Valores médios de acidez potencial ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) nos ambientes (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades

Profundidade (cm)	Tipo de atividade (ou área)		
	Mata nativa	Com vinhaça	Sem vinhaça
0-5	5,15 abA	2,94 aAB	0,72 aB
5-10	7,17 aA	2,88 aB	0,86 aB
10-20	4,23 bA	2,09 aA	0,90 aA
20-40	2,63 bA	1,46 aA	0,60 aA

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.

Os maiores valores de acidez potencial devem-se ao maior valor de hidrogênio (H). Isso se explica pelo maior teor de matéria orgânica observado na Mata, já que a matéria orgânica do solo apresenta vários grupos funcionais, especialmente os grupos carboxílicos e fenólicos, que podem liberar o H que irá compor os íons envolvidos na capacidade de troca de cátions do solo (CTC) (FONTES et al., 2001; RANGEL & SILVA, 2007; SOUZA et al., 2007).

Com a profundidade, os teores de acidez potencial observados na área da Mata diminuíram com diferença significativa (Tabela 15), como pode ser visto na Figura 9.



**Figura 9.** Acidez potencial do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

De acordo com Silva-Olaya (2010) o decréscimo nos valores da acidez potencial (Tabela 15 e Figura 9) ocorrido com o aumento da profundidade no perfil é resultado da diminuição dos valores do pH com o aumento da profundidade (Tabela 6).

#### 4.1.9. Fósforo presente no solo

Os teores de fósforo (P) disponível nas camadas superficiais (0-10 cm) dos três ambientes variaram de baixo (2,0 - 2,6 mg dm<sup>-3</sup>) na Mata a alto (32,2 - 44,7 mg dm<sup>-3</sup>) na cana-de-açúcar com vinhaça (LOPES & GUIDOLIN, 1989); nas camadas subsuperficiais (10-40

cm) os teores do elemento foram todos baixos (Tabela 16). De acordo com Zalameña (2008) o fósforo se concentra mais na parte superficial do solo devido à deposição de resíduos culturais e sua baixa mobilidade no perfil do solo.

**Tabela 16.** Resultados da análise estatística descritiva de fósforo do solo para cada área Mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Ambientes	Média	Mediana	D. P.	Mín.	Máx.	CV
	-----mg dm <sup>-3</sup> -----					%
Profundidade: 0-5 cm						
M	2,6	2,7	0,07	1,8	3,6	26
CcV	44,7	49,9	1,05	27,5	52,8	23
CsV	24,2	25,2	1,64	2,8	47,6	68
Profundidade: 5-10 cm						
M	2,0	01,8	0,11	0,9	3,7	55
CcV	32,2	40,8	1,43	5,2	44,3	44
CsV	16,0	21,0	1,02	2,2	26,6	64
Profundidade: 10-20 cm						
M	1,3	1,0	0,09	0,5	2,6	67
CcV	17,1	12,6	1,12	5,6	33,3	65
CsV	7,9	6,3	0,66	1,5	18,5	83
Profundidade: 20-40 cm						
M	0,5	0,3	0,06	0,0	1,6	122
CcV	18,7	7,9	2,05	1,1	50,2	110
CsV	7,6	5,3	0,61	3,6	18,3	81

M= mata; CcV= cana com vinhaça; CsV= cana sem vinhaça; D.P.= desvio padrão; Mín.= mínimo; Máx.= máximo; CV= coeficiente de variação.

Seguindo a classificação do CV proposta por Warrick & Nielsen (1980) observou-se que os teores de P nos ambientes Mata e cana-de-açúcar com vinhaça, nas duas primeiras profundidades, apresentaram moderada variabilidade ( $12\% < CV < 62\%$ ) corroborando, em parte, com os resultados encontrados por Corá et al. (2004). Nas demais amostras de solo destes dois ambientes e nas outras provenientes da área com cana-de-açúcar sem vinhaça, os teores de fósforo apresentaram alta variabilidade ( $CV > 62\%$ ).

Em relação aos ambientes, observaram-se os maiores teores de fósforo no sistema de cana-de-açúcar com vinhaça, seguidos por cana-de-açúcar sem vinhaça e pela Mata, os quais apresentaram diferença significativa (Tabela 17). Estes valores mais altos podem ser atribuídos as freqüentes aplicações de fertilizantes, principalmente pela vinhaça, ao longo do tempo na área estudada. Este comportamento foi semelhante ao observado por Portugal et al.

(2010) apresentando que os teores de P disponível no canavial foram estatisticamente maiores, nas duas profundidades, do que na mata.

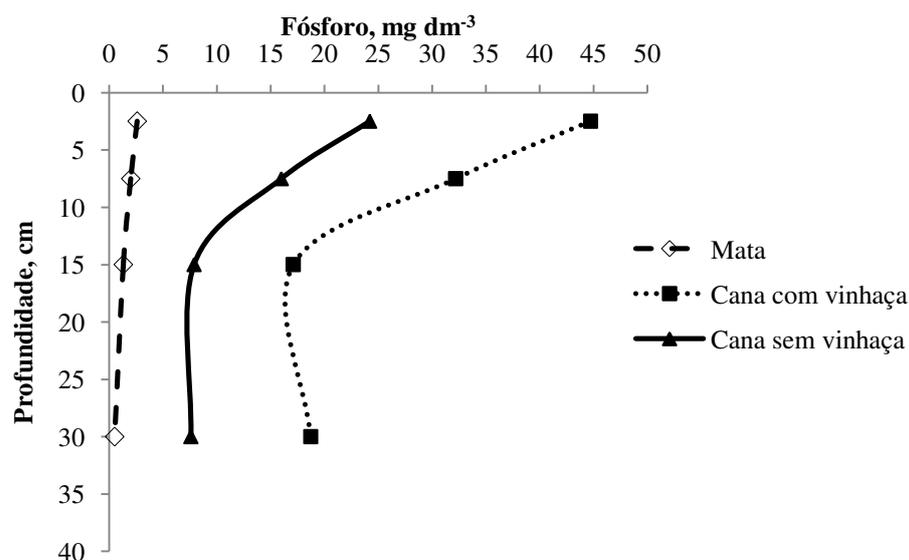
**Tabela 17.** Valores médios de fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) em função da profundidade em diferentes ambientes

Profundidade (cm)	Tipo de atividade (ou área)		
	Mata nativa	Com vinhaça	Sem vinhaça
0-5	2,6 aA	44,7 aB	24,2 aAB
5-10	2,0 aA	32,2 abB	16,0 abAB
10-20	1,3 aA	17,1 cB	7,9 bA
20-40	0,5 aA	18,7 bcA	7,6 bA

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.

Na área com aplicação de vinhaça, nas camadas de 0–0,20 m ( $22 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e de 0,20–0,40 m ( $6 \text{ mg dm}^{-3}$ ), foram observadas por Busato et al. (2005) diferenças na ordem de 267 e 100 % no compartimento P-disponível em relação a área sem vinhaça ( $6$  e  $3 \text{ mg dm}^{-3}$ ), avaliado pelo Mehlich-1, respectivamente. Análises do teor de P na vinhaça da região de Campos dos Goytacazes (RJ) apresentaram valores de  $19 \text{ mg kg}^{-1}$  (SOBRINHO et al., 1987).

Com a profundidade, os teores de fósforo diminuíram com diferença significativa, com exceção dos teores observados na área da Mata (Tabela 17), como pode ser visto na Figura 10; o fato do fósforo mover-se no solo por difusão, o que lhe acarreta pouca mobilidade, contribui para o seu acúmulo no solo nas camadas superficiais.



**Figura 10.** Teor de fósforo do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

De modo geral, os teores baixos de nutrientes no solo da Mata explicam-se, em parte, pelo fato de que nesse ambiente grande parte dos nutrientes está alocada na vegetação, além da pobreza química do Argissolo e do alto grau de intemperismo dele. Não obstante a melhora química obtida no sistema de manejo com plantio de cana-de-açúcar, observa-se que eles apresentam caráter distrófico, provavelmente devido à grande exportação de nutrientes pelas culturas, bem como pelas perdas por lixiviação e, ou, erosão. Esses resultados sugerem que a calagem e adubação são práticas necessárias para manter a produtividade nesse solo, já que ele não tem como repor naturalmente esses nutrientes. No caso de alguns teores elevados, como por exemplo o fósforo, são atribuídos, como já foi comentado, às freqüentes aplicações de fertilizantes, principalmente pela vinhaça.

#### 4.2. Densidade e estoque de carbono e de nitrogênio dos diferentes ambientes

Os valores de estoque de carbono e de nitrogênio dos ambientes avaliadas são calculados com base nos teores de carbono e de nitrogênio orgânicos, influenciados pela densidade das amostras de solo analisadas e pela espessura das camadas dos perfis, relacionadas com as profundidades. Assim os dados destes parâmetros, foram analisados estatisticamente, mostrando que houve diferenças significativas dos mesmos em relação aos ambientes (locais) e as profundidades, não havendo diferença entre a interação das fontes de variação, com exceção de densidade (Tabela 18)

**Tabela 18.** Resumos das análises de variância dos atributos químicos orgânicos (teores de carbono, teores de nitrogênio, estoque de carbono e estoque de nitrogênio) e da densidade do solo.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio				
		Densidade	CO	N	Est C.	Est N.
Locais	2	0,36**	199,04**	0,06**	193,1*	5,95*
Resí.(a)	12	0,009	21,62	0,006	30,13	0,87
Prof.	3	0,04**	106,15**	0,03**	48,27**	1,47**
Prof. x Loc.	6	0,10**	9,77	0,003	7,77	0,24
Res.(b)	36	0,004	5,14	0,001	8,33	0,24

\*, \*\*, Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

CO=carbono orgânico; N= nitrogênio total; Est C.= estoque de carbono; Est N.= estoque de nitrogênio.

#### 4.2.1. Densidade do Solo

De acordo com Belizário (2008) a densidade do solo representa a quantidade de massa de solo que ocupa um volume conhecido. Dessa forma, quanto maior a densidade do solo maior será o grau de compactação, e conseqüentemente maior resistência a penetração de raízes, infiltração de água e aeração.

Os valores das densidades do solo (Ds) para cada ambiente avaliado (Mata (M); cana-de-açúcar com (CcV) e sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades são apresentados na Tabela 19.

**Tabela 19.** Resultados da análise estatística descritiva da densidade do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Ambientes	Média	Mediana	D. P.	Mín.	Máx.	C. V. %
Profundidade: 0-5 cm						
M	1,26	1,23	0,07	1,22	1,38	5
CcV	1,60	1,63	0,07	1,52	1,66	4
CsV	1,61	1,61	0,05	1,56	1,69	3
Profundidade: 5-10 cm						
M	1,39	1,38	0,18	1,17	1,67	13
CcV	1,66	1,63	0,05	1,61	1,73	3
CsV	1,67	1,65	0,03	1,63	1,71	2
Profundidade: 10-20 cm						
M	1,48	1,49	0,04	1,43	1,54	3
CcV	1,66	1,65	0,03	1,63	1,69	2
CsV	1,66	1,66	0,04	1,61	1,72	3
Profundidade: 20-40 cm						
M	1,52	1,52	0,07	1,45	1,62	5
CcV	1,66	1,66	0,03	1,63	1,70	2
CsV	1,65	1,66	0,02	1,61	1,67	2

M = mata; CcV = cana com vinhaça; CsV = cana sem vinhaça; D.P. = desvio padrão; Mín. = mínimo; Max. = máximo; C.V.= coeficiente de variação

No ambiente de Mata os valores da densidade do solo variaram de 1,26 a 1,52 para as camadas de 0-5 a 20-40 cm, respectivamente, enquanto nas áreas com cana-de-açúcar com e sem vinhaça, as pressões mecânicas (gradagem, semeadura, adubação, tráfego de máquinas)

exercidas nos solos, proporcionaram valores mais altos de densidade do solo apresentando valores médios de 1,60 a 1,66 e de 1,61 a 1,65, respectivamente. Em geral, quanto maior os valores da densidade do solo maior será também o grau de compactação do solo provocando assim efeitos negativos na penetração de raízes, na infiltração de água e aeração do solo, na armazenagem e disponibilidade de água para as plantas influenciando negativamente na dinâmica de água na superfície e no perfil do solo.

Costa Junior (2008) considera que a densidade do solo igual ou superior a 1,27 e 1,57, para solos com textura argilosa e arenosa respectivamente, torna-se prejudicial ao desenvolvimento radicular e a infiltração da água. De maneira geral, os valores médios encontrados nesta pesquisa, nos tratamentos com cultivo de cana-de-açúcar, foram superiores que o índice crítico de desenvolvimento radicular proposto por este autor. Já o ambiente mata apresentou valores de densidade inferiores ao limite crítico proposto.

Os valores de média e mediana ficaram próximos entre si para todos os ambientes indicando, de acordo com Cambardella et al. (1994), que os valores de tendência central não são dominados por valores atípicos na distribuição. Seguindo a classificação de CV, proposta por Warrick & Nielsen (1980), observou-se que todos os valores da Ds das áreas avaliadas, apresentaram variabilidade baixa ( $CV < 12\%$ ), corroborando com Campanha et al. (2009).

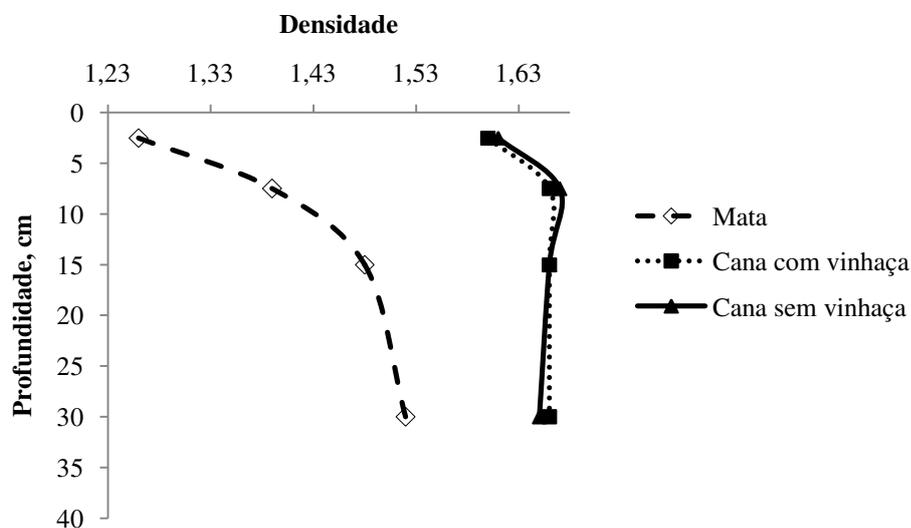
Com base na análise de variância, observa-se que houve interação significativa dos valores de Ds entre os ambientes, em todas as profundidades ( $P \leq 0,01$ ) (Tabela 20); no entanto, não ocorreu diferença estatística entre as áreas de cana-de-açúcar com e sem vinhaça apresentando valores maiores do que os observados na Mata. Entre as camadas dos perfis, ou seja, nas profundidades, houve diferente significativo dos valores de Ds ( $P \leq 0,01$ ) somente na área da Mata, indicando o aumento destes valores em função da profundidade (Tabela 20).

**Tabela 20.** Valores médios de densidade em função da profundidade em diferentes ambientes

Profundidade (cm)	Tipo de atividade (ou área)		
	Mata nativa	Com vinhaça	Sem vinhaça
0-5	1,26 cB	1,60 aA	1,61 aA
5-10	1,39 bcB	1,66 aA	1,67 aA
10-20	1,48 abB	1,66 aA	1,66 aA
20-40	1,53 aA	1,66 aA	1,65 aA

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.

Especificamente na área da Mata, os valores da Ds estavam entre os mais baixos quando comparados às demais áreas e, na Mata, os valores da Ds aumentaram em função da profundidade (Figura 11). De acordo com Costa Junior (2008) o fato da mata apresentar menores valores de densidade está relacionado ao rearranjo natural que o solo tende a apresentar quando deixa de ser submetido à manipulação mecânica. Porém, esperava-se encontrar menores valores de densidade para o tratamento com vinhaça devido ao aporte orgânico fornecido pela vinhaça, tendo em vista que esta água residuária fornece melhores condições para o desenvolvimento estrutural do solo.



**Figura 11.** Densidade do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Os menores valores de Ds na camada superficial do solo são decorrentes do maior aporte de matéria orgânica nesta camada quando comparada com a camada subsuperficial. Segundo Menezes (2008) os menores valores de Ds da área de floresta secundária são decorrentes dos maiores aportes anuais de serapilheira, maiores valores de densidades de raízes, melhores índices ecológicos da macrofauna e taxas de decomposição mais elevadas. Todos estes fatores contribuem para o aumento do conteúdo de matéria orgânica e a melhorias na agregação, promovendo desta forma redução da Ds. Os dados referentes à densidade do solo, avaliados por Costa et al. (2009) em Argissolo Amarelo na região sul da Bahia, revelaram aumento significativo, especialmente quando a Mata Atlântica foi substituída por pastagens. Da mesma forma, Silva & Cabeda (2005) e Vasconcelos et al. (2010), mostraram que os valores de Ds em Argissolo Amarelo coeso latossólico e Latossolo Amarelo

distrocoeso, respectivamente, localizados nos tabuleiros costeiros do Estado de Alagoas, foram menores na Mata em relação as áreas cultivadas com cana-de-açúcar com e sem vinhaça, e, foram menores nas áreas com vinhaça em relação a sem vinhaça.

Comparando os valores de  $D_s$  das áreas com cana-de-açúcar, apesar de não ter diferença significativa, mostrou-se menor valor na camada superficial com a aplicação de vinhaça, corroborando com Vasconcelos et al. (2010) investigando o aporte de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar em Latossolo Amarelo distrocoeso. Estes autores indicam que a aplicação da vinhaça diminui a  $D_s$  pelo desenvolvimento dos agregados, aumentos dos macroagregados do solo e aumento do teor de carbono orgânico do solo.

Braida et al. (2006) estudando os efeitos dos resíduos vegetais depositados na superfície do solo verificaram que a matéria orgânica em acúmulo sobre a superfície do solo reduziu a densidade máxima e aumentou a umidade crítica para compactação do solo, ou seja, devido ao acúmulo de matéria orgânica o solo tornou-se mais resistente à compactação dissipando em até 30% a energia de compactação. Ou seja, devido às propriedades da matéria orgânica, susceptibilidade à deformação e elasticidade, torna o solo rico neste material apto a diminuir as cargas aplicadas sobre o solo pela criação de poros com diâmetros grandes favorecendo assim a entrada de ar e a drenagem de água. Luca et al. (2008) avaliando os atributos físicos de solos com queima e sem queima de canavial constatou que nos solos argilosos a densidade foi de 1,21 a 1,44  $\text{Kg dm}^{-3}$ , nos solos arenosos 1,43 a 1,76  $\text{Kg dm}^{-3}$  e nos solos Neossolos Quartzarenicos variou entre 1,44 a 1,72  $\text{Kg dm}^{-3}$ .

Centurion et al. (2007) pesquisando a influência do cultivo de cana-de-açúcar sobre as propriedades físicas de Latossolos constataram que o tempo de cultivo da cana-de-açúcar proporcionou aumentos na densidade do solo e diminuição da macroporosidade e porosidade total, observa-se esta tendência quando o solo é submetido a cultivos intensivos.

Esses resultados da densidade do solo indicam que apesar do tratamento com vinhaça ter apresentado valores elevados de densidade, possivelmente ocorra melhor estruturação do solo com o maior tempo de adoção desse manejo.

#### 4.2.2. Teor de Carbono Orgânico do Solo

Os teores de carbono orgânico do solo (CO) para cada ambiente avaliado (Mata (M); cana-de-açúcar com (CcV) e sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades são apresentados na Tabela 21. Estes teores médios, no solo da Mata, foram classificados como altos, na profundidade de 0 a 5 cm; médios e baixos nas profundidades de 5 a 20 cm e abaixo de 20 cm, respectivamente. Na área plantada com cana-de-açúcar com vinhaça, encontraram-se teores médios e baixos de CO nas profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 40 cm, respectivamente. Já na área com cana-de-açúcar sem vinhaça, os teores médios de CO foram classificados como baixos. Mello et al. (1983) esclarecem que valores de CO, expressos em  $\text{dag kg}^{-1}$ , inferiores a 0,60, de 0,60 a 1,20 e maiores que 1,20 são interpretados como baixos, médios e altos, respectivamente.

**Tabela 21.** Resultados da análise estatística descritiva para o carbono orgânico do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Ambientes	Média	Mediana	D. P.	Mín.	Máx.	C. V.
	-----g kg <sup>-1</sup> -----					%
Profundidade: 0-5 cm						
M	13,69	15,85	4,15	6,40	16,05	30
CcV	8,88	9,25	2,78	4,25	11,45	31
CsV	4,62	4,60	1,87	2,30	7,40	40
Profundidade: 5-10 cm						
M	11,41	13,80	7,39	3,65	19,70	65
CcV	7,00	6,70	2,57	4,05	10,95	37
CsV	4,63	4,60	1,85	1,95	6,55	40
Profundidade: 10-20 cm						
M	8,56	7,90	4,11	3,85	13,00	48
CcV	4,52	4,00	1,73	2,65	7,10	38
CsV	3,41	3,15	1,56	2,20	6,00	46
Profundidade: 20-40 cm						
M	4,83	3,85	2,45	2,55	8,90	51
CcV	2,60	3,05	1,50	0,45	4,30	58
CsV	1,81	1,55	0,88	1,20	3,35	49

M= mata; CcV= cana com vinhaça; CsV= cana sem vinhaça; D.P.= desvio padrão; Mín.= mínimo; Máx.= máximo; CV= coeficiente de variação

A variabilidade dos teores de CO foi classificada, segundo Warrick & Nielsen (1980), em média ( $12 < CV < 62\%$ ) com exceção aos dados referentes a Mata na profundidade de 5 a 10 cm, que foi classificada como alta ( $CV > 62\%$ ).

Os teores de CO do solo foram superiores no ambiente Mata seguidos pelo tratamento com vinhaça e por último o tratamento sem vinhaça (Tabela 22). No entanto, todos os teores foram abaixo dos encontrados, por Vasconcelos et al. 2010, em uma área sob um fragmento de Mata Atlântica e em áreas cultivadas sob sistema de manejo irrigado e manejo de fertirrigação com vinhaça, em um Latossolo Amarelo distrocoeso.

**Tabela 22.** Valores médios dos atributos químicos orgânicos do solo em função do tipo de atividade (ou área)

Atributos	Tipo de atividade (ou área)			CV%
	Mata nativa	Com vinhaça	Sem vinhaça	
CO ( $\text{g kg}^{-1}$ )	9,84a	5,75b	3,64b	35,36
N ( $\text{dag kg}^{-1}$ )	0,17a	0,09b	0,06b	35,15
Est.C. ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	10,97a	7,24ab	4,80b	37,63
Est.N. ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	1,89a	1,21ab	0,81b	37,24

CO = teor de carbono orgânico; N = teor de nitrogênio; Est. C.= teor de estoque de carbono; Est. N. = teor de estoque de nitrogênio. Médias seguidas das mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.

No sistema submetido ao cultivo intensivo do solo, por exemplo, com cana-de-açúcar, é esperado um teor inferior de CO devido o revolvimento do solo, como foi mostrado na Tabela 22 e também por outros autores (SILVA, 2003; OLIVEIRA, 2008; VASCONCELOS et al., 2010). Santos Neto et al. (2010) e Wendling et al. (2010), avaliando as variações no carbono e nitrogênio sobre diferentes usos e manejos em Cambissolos, em região de Minas Gerais, encontraram valores de CO leve e CO total em área de Mata 2,96 e 3,32  $\text{g kg}^{-1}$  respectivamente, enquanto em área com cana-de-açúcar, 0,90 e 1,96  $\text{g kg}^{-1}$ , respectivamente.

Os teores de carbono orgânico e nitrogênio total são influenciados de acordo com o ambiente; dessa forma, com a substituição de matas pelo cultivo agrícola ocorre redução destes teores, em especial quando se retira por completo a cobertura do solo. Mas, como vimos anteriormente, se adotado um sistema conservacionista de cultivo do solo, a exemplo da aplicação da vinhaça, pode gerar um benefício adicional no incremento dos teores de

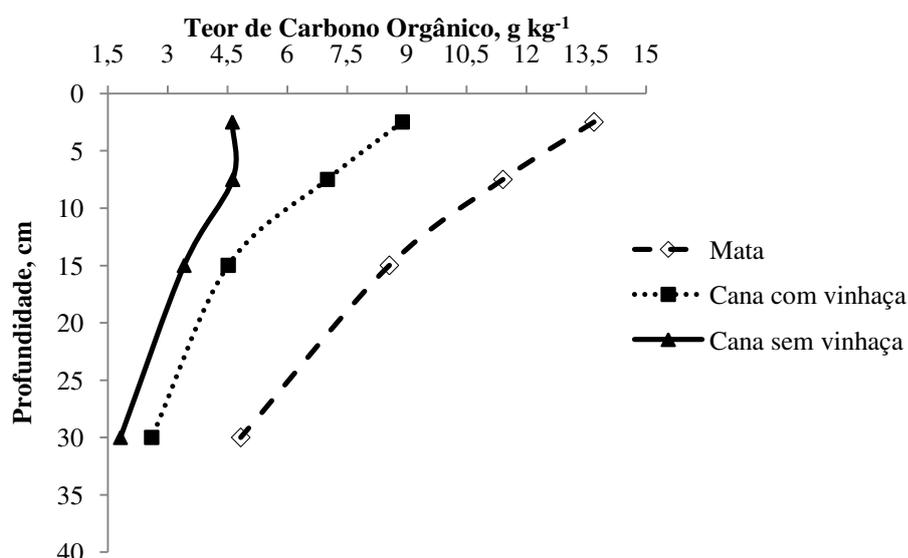
carbono orgânico e nitrogênio total como pode ser observado nos valores encontrados nesta pesquisa.

Os teores de CO nas amostras de solo estudadas decresceram significativamente com a profundidade (Tabela 23) (Figura 12), corroborando com Belizário (2008) e Vasconcelos et al. (2010) que apresentaram resultados semelhantes. Este fato justifica-se pelo maior aporte de material orgânico na superfície do solo, proveniente da queda de folhas, galhos e da casca de árvores, na Mata, somando aos resíduos das colheitas, formando a manta orgânica e a maior densidade de raízes finas, corroborando com Costa et al. (2010) e Gatto et al. (2010).

**Tabela 23.** Valores médios dos atributos químicos orgânicos do solo em função da profundidade

Atributos	Profundidade (cm)			
	(0-5 cm)	(5-10 cm)	(10-20 cm)	(20-40 cm)
CO ( $\text{g kg}^{-1}$ )	9,06a	7,97a	5,50b	3,11c
N( $\text{dag kg}^{-1}$ )	0,16a	0,13ba	0,09b	0,05c
Est. C.( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	6,45b	5,91b	8,59ab	9,73a
Est.N.( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	1,11bc	0,97c	1,48ab	1,65a

CO = teor de carbono orgânico; N = teor de nitrogênio; Est. C.= teor de estoque de carbono; Est. N. = teor de estoque de nitrogênio. Médias seguidas das mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey até 5% de probabilidade.



**Figura 12.** Teor de carbono orgânico do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

O maior acúmulo de carbono orgânico no ambiente mata deve-se ao aporte de resíduos vegetais associado à menor taxa de decomposição da matéria orgânica do solo, indicando com isso a importância da proteção física da matéria orgânica do solo e a agregação do solo como fatores que proporcionam aumento nos teores de carbono orgânico do solo (COSTA JUNIOR, 2008). Os teores de carbono orgânico mais elevados no ambiente mata, e aparentemente superior no tratamento com vinhaça quando comparado com o tratamento sem aplicação de vinhaça (Figura 12), indicam um maior acúmulo de carbono no solo e uma possível redução nas emissões de carbono para a atmosfera.

#### 4.2.3. Nitrogênio Total do solo

Como podem ser visto na Tabela 24, o maior e o menor valor de nitrogênio (N) foram encontrados na Mata,  $0,34 \text{ dag kg}^{-1}$  e na área cultivada com cana-de-açúcar sem vinhaça,  $0,02 \text{ dag kg}^{-1}$ . Da mesma forma com Wendling et al. (2010), pesquisando o N total em solos da região da zona da Mata mineira, encontraram valores médios deste elemento para o solo sob Mata de 0,26 e 0,17 g/Kg nas profundidades de 0-10 cm e de 10-20 cm, respectivamente. Já para os solos cultivados com cana-de-açúcar foram verificados em média de 0,16 e de 0,15 g/Kg para as profundidades de 0-10 cm e de 10-20 cm, respectivamente, ou seja, menores do que os valores encontrados na Mata.

A variabilidade dos teores de nitrogênio (N) foi classificada, segundo Warrick & Nielsen (1980), em média ( $12 < CV < 62\%$ ) com exceção aos dados referentes a Mata na profundidade de 5 a 10 cm, que foi classificada como alta ( $CV > 62\%$ ) (Tabela 24).

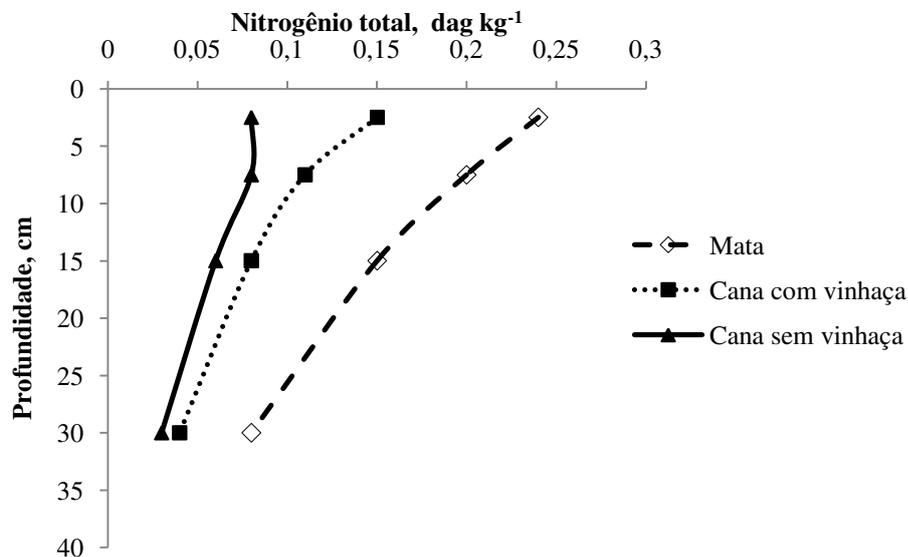
**Tabela 24.** Resultados da análise estatística descritiva para o nitrogênio total do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Ambientes	Média	Mediana	D. P.	Mín.	Máx.	C. V.
	-----dag kg <sup>-1</sup> -----					%
	Profundidade: 0-5 cm					
M	0,24	0,28	0,07	0,11	0,28	30
CcV	0,15	0,16	0,05	0,08	0,20	31
CsV	0,08	0,08	0,03	0,04	0,13	41
	Profundidade: 5-10 cm					
M	0,20	0,24	0,13	0,06	0,34	65

CcV	0,11	0,12	0,02	0,07	0,13	21
CsV	0,08	0,08	0,03	0,03	0,11	42
Profundidade: 10-20 cm						
M	0,15	0,14	0,07	0,07	0,23	48
CcV	0,08	0,07	0,03	0,05	0,13	40
CsV	0,06	0,06	0,03	0,04	0,11	49
Profundidade: 20-40 cm						
M	0,08	0,07	0,04	0,05	0,15	49
CcV	0,04	0,05	0,02	0,01	0,07	57
CsV	0,03	0,03	0,01	0,02	0,06	47

M= mata; CcV= cana com vinhaça; CsV= cana sem vinhaça; D.P.= desvio padrão; Mín.= mínimo; Máx.= máximo; CV= coeficiente de variação

Os maiores valores de N foram encontrados na Mata seguidos pelo tratamento com aplicação de vinhaça e por último o tratamento sem aplicação da vinhaça (Tabela 22). Da mesma forma que os teores de carbono orgânico, os teores de N diminuíram em relação à profundidade (Tabela 23), como pode ser mostrado na Figura 13. Estes resultados eram esperados, uma vez que, a maior parte do nitrogênio no solo se apresenta na forma orgânica.



**Figura 13.** Teor de nitrogênio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Os teores de carbono orgânico e nitrogênio total apresentaram relação direta com a acidez do solo, ou seja, no ambiente que proporcionou maior acúmulo de matéria orgânica apresentou também maior acidez do solo. Já a densidade apresentou tendência de crescimento contrario em relação os teores de carbono orgânico e nitrogênio total tendo em vista que o

ambiente que apresentou menores valores de densidade foi verificado maior aporte de matéria orgânica do solo, portanto maiores valores de carbono orgânico - CO e nitrogênio total - NT (Tabelas 20 e 22).

Os teores de fósforo e de potássio não tiveram relação direta com os teores de CO e NT, tendo em vista que na área sob cultivo da cana-de-açúcar com aplicação da vinhaça apresentaram maiores índices de concentração destes elementos. O cálcio e magnésio também apresentaram tendência de crescimento contrário ao CO e NT, tendo em vista que estes atributos foram mais elevados no tratamento sob cultivo de cana de açúcar sem vinhaça.

#### 4.2.4. Estoques de Carbono e Nitrogênio no Solo

Os resultados das análises estatísticas descritivas para os estoques de carbono e nitrogênio no solo são apresentados nas Tabelas 25 e 26, respectivamente, mostrando os maiores e menores valores nos ambientes, correspondentes a Mata e ao plantio de cana-de-açúcar sem vinhaça, respectivamente.

Os aumentos nos estoques de C estão também relacionados aos aumentos nos estoques de N no solo, o que significa que, quando se objetiva a recuperação dos estoques de matéria orgânica de um solo degradado, a adição de N ao sistema é fundamental (VIEIRA, 2007).

**Tabela 25.** Resultados da análise estatística descritiva para o estoque de carbono no solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Ambientes	Média	Mediana	D. P.	Mín.	Máx.	C.V.
	----- Mg ha <sup>-1</sup> -----					%
Profundidade: 0-5 cm						
M	8,54	9,79	2,36	4,43	10,03	28
CcV	7,09	7,54	2,14	3,52	8,73	30
CsV	3,74	3,59	1,52	1,84	5,97	41
Profundidade: 5-10 cm						
M	7,23	9,76	4,73	1,22	11,48	66
CcV	5,79	5,78	2,10	3,29	8,90	36

CsV	3,84	3,79	1,49	1,65	5,40	39
Profundidade: 10-20 cm						
M	12,66	11,46	6,13	5,74	20,01	48
CcV	7,48	6,60	2,84	4,46	11,63	38
CsV	5,62	5,41	2,48	3,56	9,67	44
Profundidade: 20-40 cm						
M	14,58	12,18	6,94	8,01	26,03	48
CcV	8,62	10,13	4,94	1,50	13,99	57
CsV	5,99	5,16	2,96	3,95	11,20	49

M= mata; CcV= cana com vinhaça; CsV= cana sem vinhaça; D.P.= desvio padrão; Mín.= mínimo; Máx.= máximo; C.V.= coeficiente de variação.

**Tabela 26.** Resultados da análise estatística descritiva para o estoque de nitrogênio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Ambientes	Média	Mediana	D.P.	Mín.	Máx.	C.V.
	----- Mg ha <sup>-1</sup> -----					%
Profundidade: 0-5 cm						
M	1,47	1,69	0,41	0,76	1,72	28
CcV	1,22	1,30	0,37	0,62	1,52	30
CsV	0,65	0,62	0,27	0,32	1,05	42
Profundidade: 5-10 cm						
M	1,25	1,70	0,82	0,22	1,98	66
CcV	0,88	0,93	0,20	0,57	1,10	23
CsV	0,65	0,66	0,26	0,25	0,91	41
Profundidade: 10-20 cm						
M	2,19	2,03	1,06	0,97	3,46	48
CcV	1,29	1,15	0,51	0,76	2,05	39
CsV	0,96	0,94	0,46	0,57	0,69	48
Profundidade: 20-40 cm						
M	2,51	2,11	1,15	1,41	4,39	46
CcV	1,44	1,66	0,83	0,25	2,28	57
CsV	0,99	0,83	0,48	0,66	1,84	48

M= mata; CcV= cana com vinhaça; CsV= cana sem vinhaça; D.P.= desvio padrão; Mín.= mínimo; Máx.= máximo; C.V.= coeficiente de variação.

Segundo Cambardella et al. (1994), os valores da média, sendo diferentes daqueles da mediana, é um indicativo de que as medidas de tendência central são dominadas por valores atípicos na distribuição.

De acordo com a classificação de CV, proposta por Warrick & Nielsen (1980), observou-se que os valores de estoque de carbono e nitrogênio, apresentaram variabilidade média ( $12 < CV < 62\%$ ) com exceção aos dados referentes à Mata na profundidade de 5 a 10

cm, que foi classificada como alta ( $CV > 62\%$ ). Resultados foram corroborados com Chaves & Farias (2008) os quais encontraram variabilidade média dos valores de estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba, em um solo cultivado com cana-de-açúcar.

Com base nas análises de variância, observa-se que houve diferença significativa dos teores do estoque de carbono e de nitrogênio entre as locais ( $P \leq 0,05$ ) e entre as profundidades ( $P \leq 0,01$ ); no entanto, não ocorreu diferença estatística na interação das fontes de variação (Tabela 18).

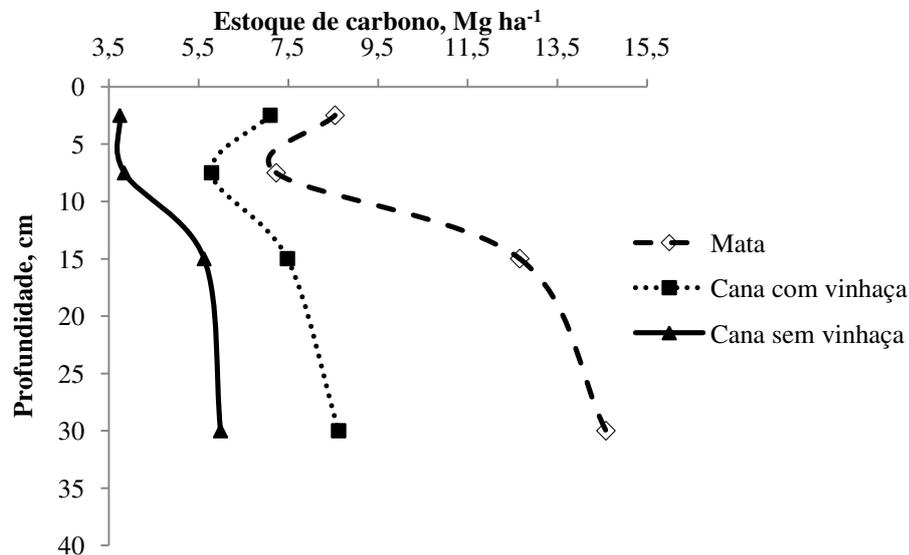
Como pode ser visto na Tabela 22, os maiores resultados dos estoques de carbono e nitrogênio são apresentados na Mata, seguidos pela área de cana-de-açúcar com vinhaça e sem vinhaça, corroborando com Pinheiro et al. (2007).

O maior valor do estoque de carbono, encontrado em profundidade de 0-5 cm na Mata ( $8,54 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) (Tabela 25) foi semelhante a  $8,92 \text{ Mg ha}^{-1}$  do Argissolo em tabuleiros costeiros no Sul da Bahia (COSTA et al., 2009).

Observa-se que nos solos submetidos ao cultivo agrícola que houve uma redução nos estoques de carbono e de nitrogênio. Segundo Souza et al. (2009) concluíram, através de suas pesquisas que nos solos, submetidos a atividades agrícolas, ocorre perdas nos estoques de carbono e nitrogênio devido à degradação da qualidade da matéria orgânica do solo. Entretanto, o estoque de carbono e de nitrogênio foram superiores no tratamento com adição de vinhaça quando se compara com o tratamento sem adição da vinhaça (Figura 14 e 15). Isto indica a relevância da adoção deste manejo conservacionista capazes de promover a fertilização do solo. Este sistema de manejo promove o acúmulo da matéria orgânica no solo e conseqüentemente acréscimos nos estoques de carbono e nitrogênio. Estes resultados indicam que o ambiente mata e cultivo de cana-de-açúcar com aplicação de vinhaça está atuando como sistema acumulador de carbono e nitrogênio.

Quando bem manejada áreas sob o cultivo da cana-de-açúcar podem ser importantes sítios de seqüestro de carbono no solo, em função da produção da matéria seca e, principalmente, devido à intensa renovação de seu sistema radicular. Neste sentido, Canellas et al. (2003) estudando as propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com adição de vinhaça e palha, verificaram que a adição dos resíduos vegetais da cana-de-açúcar forneceu melhorias favoráveis nos atributos químicos do solo, encontrando teores de carbono nas camadas superficiais (0-20 cm)  $13,13 \text{ g Kg}^{-1}$ ,  $22,34 \text{ g Kg}^{-1}$ ,  $15,71 \text{ g Kg}^{-1}$

e de  $18,33 \text{ g Kg}^{-1}$  para as áreas com cana queimada, cana crua, cana sem vinhaça e cana com aplicação de vinhaça, respectivamente.

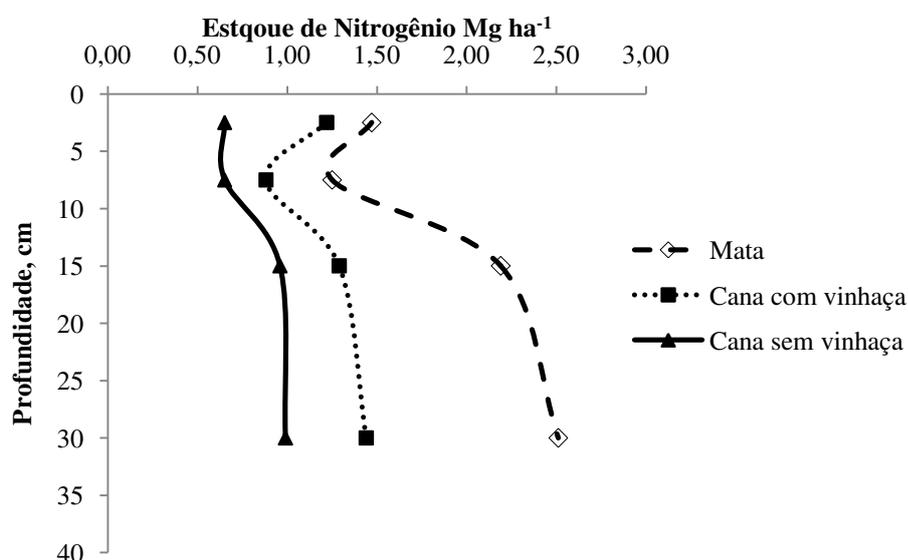


**Figura 14.** Estoque de carbono no solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Os resultados dos estoques de carbono e nitrogênio foram influenciados pela profundidade, visto que, o teor de carbono e nitrogênio diminuiu com o aumento da profundidade em todos os ambientes. Mas, para se obter os valores dos estoques de carbono e nitrogênio leva-se em consideração a espessura da camada de solo, como as duas primeiras camadas apresentam a mesma espessura (5 cm) os estoques nestas duas camadas apresentaram a tendência de decréscimo com a profundidade. Porém, na camada 10-20 cm a espessura da camada foi de 10 cm e na camada de 20-40 a espessura desta camada foi de 20 cm. Dessa forma, a partir da profundidade 10 cm observa-se que os estoques de carbono e nitrogênio aumentaram com a profundidade (Tabela 23 e Figura 14 e 15) apresentando um comportamento diferenciado com relação aos teores de carbono orgânico e nitrogênio total, anteriormente apresentado. Este fato deu-se exclusivamente devido a espessura das camadas utilizadas no cálculo dos estoques de carbono e nitrogênio do solo.

Se houvesse adotado a mesma espessura para as todas as camadas, os valores nos estoques de carbono e nitrogênio iriam decrescer com a profundidade, este fato pode ser explicado devido à maior presença de matéria orgânica na superfície do solo. Mesmo esta camada estando sujeita as intensas atividades de revolvimento e aos processos de oxidação e

conseqüentemente mineralização da matéria orgânica, o acúmulo de matéria orgânica nas camadas superiores foram determinantes para os maiores aportes nos teores de carbono orgânico e nitrogênio total do solo (Figuras 12 e 13). Há uma relação estreita entre os estoques de carbono e nitrogênio, já que a maior parte do nitrogênio do solo encontra-se nos compostos orgânicos.



**Figura 15.** Estoque de nitrogênio do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

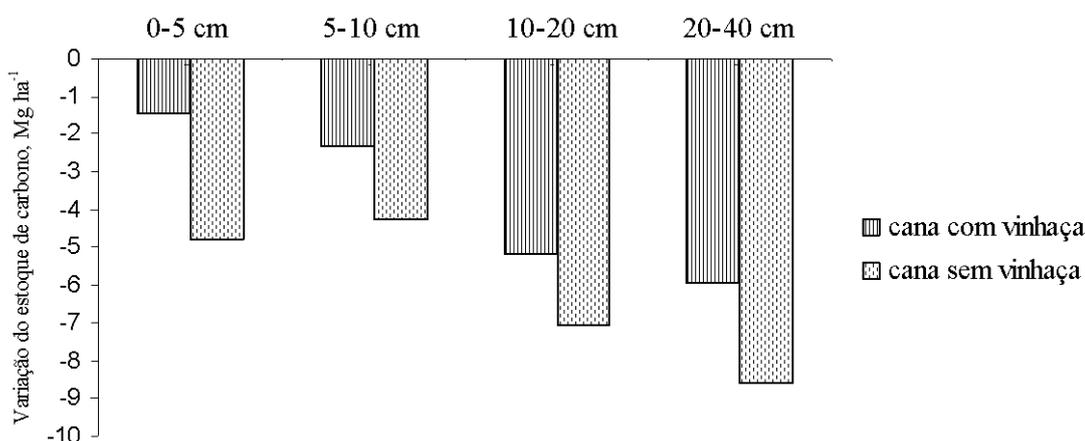
Pulrolnik et al. (2009) estudando estoques de carbono e nitrogênio do solo submetido a diferentes sistemas de manejo, verificaram o estoque de carbono de 2,95 a 9,82 t ha<sup>-1</sup> nas camadas superiores e inferiores, respectivamente nos solos sob cerrado; 2,78 a 9,79 t ha<sup>-1</sup> nos solos sob pastagem e 6,96 a 16,92 t ha<sup>-1</sup> nos solos cultivados com eucalipto. Com relação aos estoques de nitrogênio pode-se verificar um estoque de 0,071 a 0,221 t ha<sup>-1</sup> nas camadas superiores e inferiores, respectivamente nos solos sob cerrado; 0,071 a 0,227 t ha<sup>-1</sup> nos solos sob pastagem e 0,180 a 0,385 t ha<sup>-1</sup> nos solos cultivados com eucalipto.

Leite et al. (2003) estudando estoques totais de nitrogênio em Argissolos em diferentes sistemas de manejo, verificaram que houve uma variação nos estoques totais de nitrogênio apresentado valores de 1,54 a 2,11 Mg ha<sup>-1</sup> nas camadas superficiais e de 1,53 a 2,02 Mg ha<sup>-1</sup> nas camadas mais profundas.

Lemos et al. (2010) estudando estoques de carbono e nitrogênio no solo encontraram valores de 20,52 Mg ha<sup>-1</sup> para camadas mais superficiais e 10,78 Mg ha<sup>-1</sup> para camadas mais profunda para o ambiente mata nativa.

A retirada da vegetação nativa para introdução de cana-de-açúcar leva a importantes modificações na dinâmica das substâncias orgânicas. Neste estudo foi observado que, para o solo sob cana-de-açúcar com e sem vinhaça, cerca de 34 e 56 % do CO<sub>2</sub>, respectivamente, foram perdidos em relação ao estoque de carbono no solo da Mata, mostrando efeito significativo. Contudo, entre os valores de estoque de carbono, da mesma forma que o estoque de nitrogênio, dentre os sistemas de manejo com cana-de-açúcar, não tiveram efeito significativo, apesar de ter diminuído sem vinhaça, com 34 e 33 % do estoque de carbono e do nitrogênio, respectivamente. A influência da pastagem nas frações húmicas de Latossolos distróficos sob Cerrado e da floresta Amazônica foi estudada por Longo & Espíndola (2000), constataram diminuição dos estoques do carbono, decorrente da mudança da vegetação natural para outros usos, evidenciando o efeito do manejo sobre o teor e sobre a distribuição dos componentes orgânicos em solos tropicais.

Mais informativa que os valores absolutos do estoque de carbono é a variação dos mesmos em relação à mata nativa ( $\Delta$  EstC) (Figura 16). Este parâmetro permite avaliar se o solo está armazenando ou emitindo C-CO<sub>2</sub> para a atmosfera (ROCHA, 2000; NEVES et al. 2004); assim, foi constatado que a mata nativa está desempenhando papel de sequestrador (armazenador) de carbono, pois apresentou valores de estoque de carbono superiores aos demais sistemas.



**Figura16.** Variação do estoque de carbono nos sistemas de cana-de-açúcar com e sem vinhaça em relação à mata nativa em Argissolo Acinzentado distrófico típico

Analisando-se as variações do estoque de carbono nos sistemas de cana-de-açúcar com e sem vinhaça em relação à mata nativa (Figura 16), constatou-se que todos os sistemas

tenderam a apresentar valores negativos, isto é, os sistemas estão desempenhando papel de emissores de C-CO<sub>2</sub>, quando comparados com a mata nativa. A variação do estoque de carbono foi menor no sistema de cana-de-açúcar com vinhaça do que no sistema de cana-de-açúcar sem vinhaça e foram observados aumentos com a profundidade.

Estes resultados demonstram que a mata nativa possui um potencial de seqüestro de carbono mais elevado do que o agroecossistema de cana-de-açúcar, indicam a relevância da manutenção destas áreas de mata nativa para compensar as emissões advindas dos sistemas de produção de cana-de-açúcar. Quando se comparou os tratamentos submetidos ao cultivo da cana-de-açúcar com a mata nativa pode-se observar que estes sistemas estão atuando como emissores de gases de efeito estufa para a atmosfera. No entanto, o tratamento com adição da vinhaça mostrou-se eficiente no processo de estocagem de carbono no solo, fazendo-se necessário que as usinas canavieiras aprimorem suas técnicas de conservação do solo a exemplo da aplicação da vinhaça em conjunto com a adoção da colheita da cana sem a queima prévia do canavial para que este sistema de produção da cana-de-açúcar no Brasil possa se constituir em um sumidouro de carbono.

Em relação ao agroecossistema cana-de-açúcar com aplicação de vinhaça, faz-se necessário monitorar a evolução do aumento do estoque de carbono no solo nos próximos anos, para verificar se este agroecossistema consegue se aproximar da vegetação natural em termos de estoque de carbono e nitrogênio no solo.

### **4.3. Distribuição do sistema radicular no solo**

O sistema radicular das gramíneas participa de forma relevante na formação e estabilização dos agregados do solo, devido à quantidade de raízes e sua distribuição no solo. A distribuição das raízes no perfil do solo é determinante para o bom desenvolvimento da planta. De acordo com os dados apresentados na Tabela 27 e 28, pôde-se observar que a maioria dos coeficientes de variação (CV) para ambos os ambientes são classificados como médio ( $12\% < CV < 62\%$ ), com exceção das 10-20 para o tratamento com vinhaça e a profundidade 20-40 no tratamento sem vinhaça que foram classificados com altos ( $CV > 62\%$ ) (WARRICK & NIELSEN, 1980).

**Tabela 27.** Resultados da análise estatística descritiva para o peso das raízes para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Ambientes	Média	Mediana	D.P.	Mín.	Máx.	C.V.
	-----g-----					%
Profundidade: 0-5 cm						
CcV	0,69	0,62	0,29	0,44	1,16	42
CsV	0,73	0,81	0,25	0,41	1,01	34
Profundidade: 5-10 cm						
CcV	0,39	0,35	0,22	0,12	0,68	57
CsV	0,69	0,77	0,30	0,33	1,00	43
Profundidade: 10-20 cm						
CcV	0,24	0,16	0,18	0,09	0,54	76
CsV	0,22	0,62	0,19	0,77	0,38	22
Profundidade: 20-40 cm						
CcV	0,13	0,12	0,03	0,08	0,17	25
CsV	0,22	0,12	0,15	0,10	0,41	69

CcV= cana com vinhaça; CsV= cana sem vinhaça; D.P.= desvio padrão; Mín.= mínimo; Máx= máximo; C.V.= coeficiente de variação.

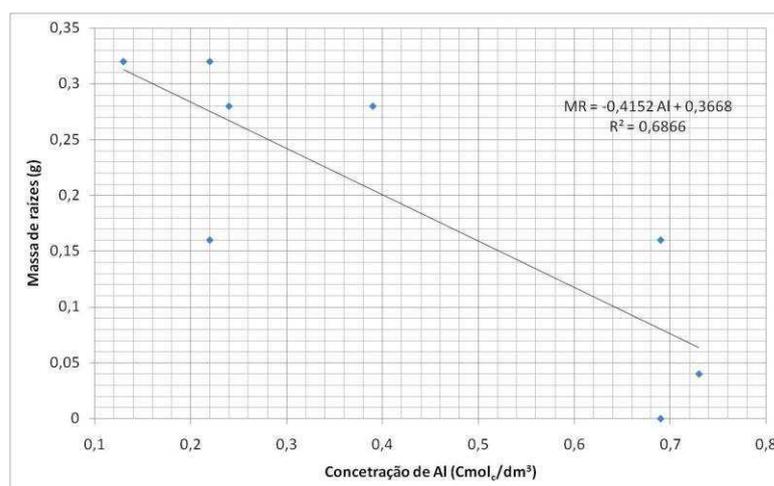
**Tabela 28.** Resultados da análise estatística descritiva para a densidade das raízes para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

Ambientes	Média	Mediana	D.P.	Mín.	Máx.	C.V.
						%
Profundidade: 0-5 cm						
CcV	0,01	0,01	0,003	0,005	0,01	42
CsV	0,01	0,01	0,003	0,005	0,01	34
Profundidade: 5-10 cm						
CcV	0,004	0,004	0,002	0,001	0,01	57
CsV	0,01	0,01	0,003	0,004	0,01	43
Profundidade: 10-20 cm						
CcV	0,003	0,002	0,002	0,001	0,01	76
CsV	0,005	0,004	0,003	0,002	0,01	58
Profundidade: 20-40 cm						
CcV	0,001	0,001	0,0003	0,001	0,002	25
CsV	0,002	0,001	0,002	0,001	0,004	69

CcV= cana com vinhaça; CsV= cana sem vinhaça; D.P.= desvio padrão; Mín.= mínimo; Máx= máximo; C.V.= coeficiente de variação.

Um dos fatores determinantes para o desenvolvimento radicular são os atributos químicos, um elemento que tem papel determinante no desenvolvimento do sistema radicular é o alumínio, tendo em vista que este elemento é responsável pela redução do crescimento das raízes. A situação fica ainda mais crítica quando no solo estão presentes altas concentrações de alumínio combinada com baixo teor de cálcio, tendo em vista que a deficiência de cálcio prejudica o crescimento das raízes, visto que este elemento é essencial para a divisão celular e para o funcionamento da membrana celular.

O estudo da correlação de Pearson entre as variáveis, massa de raízes e teores de alumínio foi alta e negativa ( $r = -0,83$ ) com significância de 1% (0,0055), o que significa dizer que quanto maior o teor de alumínio no solo menor será a massa de raízes presentes no solo (Figura 17).



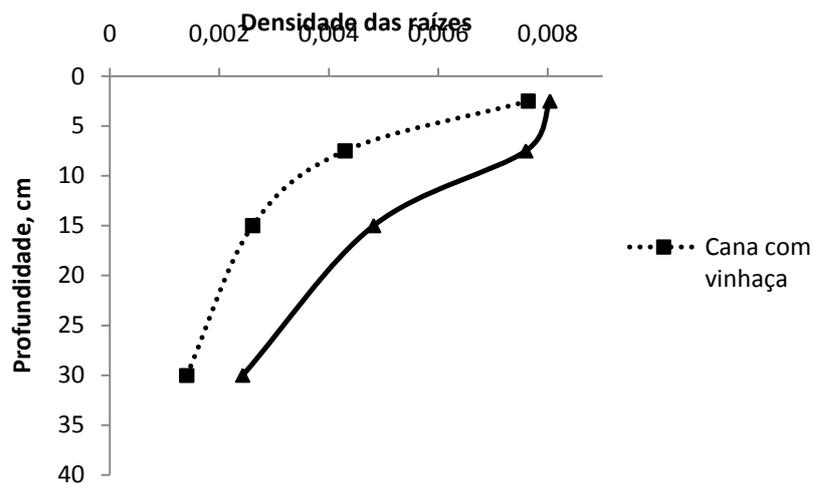
**Figura 17.** Estudo de regressão para os teores de alumínio e massa de raízes

Nos tratamentos com e sem vinhaça, observou-se a presença de raízes em todas as profundidades estudadas (Figuras 18 e 19); as quais podem estar penetrando em canais formados por raízes da vegetação natural que ocupava a área ou através da porosidade do solo. O tratamento sem vinhaça apresentou maior quantidade de raízes até a profundidade 20 cm (Figuras 18 e 19), em decorrência da diminuição nos teores de alumínio até esta profundidade (Figura 8), podendo-se observar também maiores valores de pH.

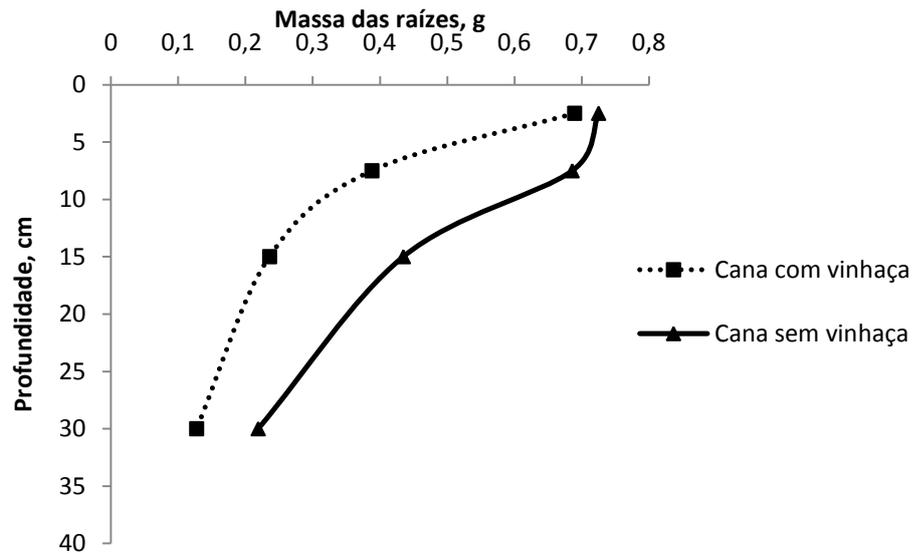
Mesmo encontrando no perfil do solo pH ácido, baixo teor de cálcio e presença de alumínio, em todos os tratamentos, as raízes apresentaram crescimento até à profundidade estudada.

A densidade do solo é outro fator determinante na distribuição das raízes, o seu aumento ocorre simultaneamente à diminuição da porosidade do solo, provocando assim a redução na aeração e conseqüentemente aumenta-se a resistência à penetração das raízes no solo. As camadas superficiais dos tratamentos submetidos ao cultivo da cana-de-açúcar apresentaram valores médios inferiores em relação às camadas sub-superficiais, apresentando também massa de raízes superiores nas camadas superficiais do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Farias et al. (2010). Os dois tratamentos cultivados com cana-de-açúcar apresentaram valores muito próximos de densidade (Figura 11), logo este fator não foi determinante para a distribuição das raízes nos tratamentos com e sem vinhaça.

Esperava-se que o sistema com aplicação de vinhaça apresentasse uma maior quantidade de raízes, devido o maior acúmulo de matéria orgânica e conseqüentemente maior concentração de nutrientes, a exemplo do potássio e do fósforo.



**Figura 18.** Densidade das raízes do solo para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.



**Figura 19.** Peso das raízes em gramas para cada área (mata (M); cana-de-açúcar com vinhaça (CcV); cana-de-açúcar sem vinhaça (CsV)) nas quatro profundidades.

O desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar está relacionado também à disponibilidade de água no solo, portanto para uma avaliação mais precisa dos fatores que influenciaram na distribuição do sistema radicular seria necessário avaliar também a umidade do solo, ou preferivelmente o armazenamento de água no solo até a profundidade em que se realizou o estudo (OTTO et al., 2009).

## 5. CONCLUSÕES

Os valores de pH, bases trocáveis e P foram maiores nas camadas superficiais, com exceção do alumínio. Os elementos para as áreas cultivadas apresentaram maiores concentrações nas camadas superficiais, devido à aplicação de corretivos e fertilizantes em superfícies, com ênfase para a fertirrigação no tratamento com aplicação de vinhaça.

O ambiente submetido ao cultivo da cana-de-açúcar sem aplicação de vinhaça apresentou massa de raízes superior ao tratamento com aplicação de vinhaça em todas as profundidades estudadas.

O aporte constante de matéria orgânica pela vegetação natural proporcionou estoques mais elevados de carbono e nitrogênio na área sob mata nativa.

Os teores e estoques de carbono e nitrogênio diminuíram após a mudança de mata nativa para o plantio de cana-de-açúcar.

Não houve diferença significativa para os teores e estoques de carbono do solo entre os ambientes de cana-de-açúcar, nas diferentes profundidades de solo avaliadas. Houve diferença significativa no estoque de carbono e nitrogênio no sistema sob cultivo de cana-de-açúcar sem vinhaça em relação à mata nativa.

Os teores de carbono orgânico e nitrogênio total decresceram com a profundidade e apresentaram valores diferentes para os três ambientes estudados, sendo superiores para o ambiente mata nativa. Isto evidencia a importância de se refletir sobre os impactos negativos provocado pelas alterações ambientais nas formas de uso do solo.

A aplicação da vinhaça mitigou os efeitos do aquecimento global, tendo em vista o aumento aparente nos estoques de carbono e nitrogênio no solo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M. I. de; LOURENÇO, I. P.; OLIVEIRA, T. S. de; LACERDA, N. B. de. Perda de nutrientes por lixiviação em um Argissolo Acinzentado cultivado com meloeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.4, p.811-819, 2006.
- BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F. da; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de; FONSECA, S. Atividade microbiana, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em seqüência de idades. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n. 2, p. 611-619, 2008.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.7, p.677-683, 2004.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. de O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, cap. 2, p. 9-26, 1999.
- BELIZÁRIO, M. H. **Mudança no estoque de carbono do solo devido ao uso agrícola da terra no Sudoeste da Amazônia**. 2008. 96f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba -SP, 2008.
- BERNARDI, A. C. de C.; TAVARES, S. R. de L.; MACHADO, P. L. O. de A.; MADARI, B. E.; CRISÓSTOMO, L. A.; CAMPOS, D. V. B. Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo de fruteiras irrigadas na Região Nordeste do Brasil, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 52**, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004.
- BERNOUX, M.; CARVALHO, M. D. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's soil carbon stocks. *Soil Science Society of América Journal*, v. 66, n. 3, p. 888-896, 2002.
- BLAKE, G.R.; HARTAGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: America Society of Agronomy. v.1, p.363-375, 1986
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M. da; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, n. 4, p. 605-614, 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário Estatístico da Agroenergia**, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília : MAPA/ACS, 2009.
- BRITO, F. L. de; ROLIM, M. M. Comportamento do efluente e do solo fertirrigado com vinhaça. *Agropecuária Técnica*, v.26, n.1, p.60-67, 2005.
- BRITO, F. de L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R.. Efeito da aplicação de vinhaça nas características químicas de solos da zona da mata de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.4, n.4, p.456-462, 2009.

BUSATO, J. G. **Formas de Fósforo de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo**. 2004. 78f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – RJ, 2004.

BUSATO, J. G.; CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X. Fósforo num Cambissolo Cultivado Com Cana-de-açúcar por Longo Tempo. I - Fracionamento Seqüencial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 935-944, 2005.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M. O.; SILVA, A. R.; TASSO JUNIOR, L. C.; NOBILE, F. O. Atributos físicos de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n.3, p. 738-747, 2006

CAMPANHA, M. M.; NOGUEIRA, R. da S.; OLIVEIRA, T. S. de; TEIXEIRA, A. dos S.; ROMERO, R. E. Teores e Estoques de Carbono no Solo de Sistemas Agroflorestais e Tradicionais no Semiárido Brasileiro. **Circular Técnica 42**. Sobral –CE, 2009.

CANCADO, J. E. D.; SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A. A.; LARA, L. B. L. S.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L. A.; ARBEX, M. A.; ZANOBERRI, A.; BRAGA, A. L. F. The impact of sugar cane-burning emissions on the respiratory system of children and the elderly. **Environmental Health Perspectives**, v. 114, n. 5, p. 725-729, 2006.

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 palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n. 5, p. 935-944, 2003.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R. de; CERRI, C. E. P. Potencial de Sequestro de Carbono em Diferentes Biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277-289, 2010.

CASTRO FILHO, C.; VIEIRA, M. J.; CASÃO JÚNIOR, R. Tillage methods and soil and water conservation in southern Brazil. **Soil Tillage**, v. 20, n. 3-4, p. 271-283, 1991.

CAVALCANTE, F. de S.; DANTAS, J. S.; CAMPOS, M. C. C. Considerações sobre a utilização dos principais solos no estado da Paraíba. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 4, n. 8, p. 1-10, 2005.

CAVALCANTE, F. S.; COSTA, A. A.; ARAUJO, M. C. S. P.; PRAZERES, S.S.; SOUZA, A.P. Estoque de carbono e nitrogênio do solo sob diferentes manejos. In: XVI Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 16, 2006. Aracaju, ES. **Anais...** SBCS, 2006. CDRom.

CECHIN, N. F. **Compactação de dois Argissolos na colheita florestal de Pinus taeda L**. 2007. 136 f. (Doutorado em Engenharia Florestal). UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, Santa Maria, 2007.

CENTURION, J. F.; FREDDI, O. da S.; ARATANI, R. G.; METZNER, A. F. M.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 199-209, 2007.

CERRI, C.C. **Dinâmica da matéria orgânica no agrossistema cana-de-açúcar**. 1986. 197f. Tese (Livre Docência) Piracicaba : USP-ESALQ, 1986. Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 1986.

CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P.; DAVIDSON, E.A.; BERNOUX, M.; FELLER, C. A ciência do solo e o seqüestro de carbono. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p. 29-34, 2004.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. de A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 1, p. 20-25, 2008.

CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C. **Solos Agrícolas**. Campina Grande: EDUFPG, 2006. 178p.

CHAVES, L. H. G.; TITO, G. A.; BARROS, A. D.; GUERRA, H. O. C. Características químicas de solo do perímetro irrigado de Sumé, PB. **Revista Caatinga**, v.20, n.4, p.110-115, 2007.

CINTRA, F. L. D.; PORTELA, J. C.; NOGUEIRA, L. C.. Caracterização física e hídrica em solos dos Tabuleiros Costeiros no distrito de irrigação Platô de Neópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.45-50, 2004.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n. 2, p.425-432, 1999.

COSTA, A. M.; VASCONCELOS, F. V.; GONTIJO NETO, M. M.; ALVARENGA, R. C.; VIANA, J. H. M.; SANTANA, D. P. Estoque de carbono em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária em Sete Lagoas, MG, região do Cerrado. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 18, 2010, Teresina. **Anais...** Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2010. CDRom.

COSTA, C. S.; RODRIGUES, J. J. V.; CAVALCANTI, A. C.; MARINHO, L. B.; NETO, L. A. A.; SILVA, T. J. A.. Água disponível em um Neossolo Quartzarênico após adição de um condicionador mineral do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.5, p.524–530, 2009.

COSTA JUNIOR, C. **Estoque de carbono e nitrogênio e agregação do solo sob diferentes sistemas de manejo agrícola no cerrado, em Rio Verde (GO)**. 2008. 140f. Dissertação

(Mestrado em Química na Agricultura e no Ambiente) - Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2008.

COSTA, O. V.; CANTARUTTI, R. B.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. da; NACIF, P. G. S.; FARIA, J. C. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de Tabuleiro Costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n. 5, p. 1137-1145, 2009.

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

DIÓGENES, L. C.; FILHO, J. F. L.; SILVA, J. L. da; NÓBREGA, J. C. A.; PACHECO, L. P.; JÚNIOR, A. S. de A.; NÓBREGA, R. S. A. Estoque de carbono em Latossolo Vermelho-Amarelo com Sistema de Integração Lavoura-Pecuária no Município de Alvorada do Gurguéia, PI. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 18, 2010, Teresina. **Anais...** Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2010. CDRom.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, 1997. 212p

ESWARAN, H.; VANDENBEG, E.; REICH, P. Organic carbon in soil of the world. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, n. 1, p. 192-194, 1993.

FARIAS, A. A.; SOARES, J. F.; CÉSAR, C. C. **Introdução a Estatística**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

FARIAS, C. H. de A. **Otimização do uso da Água e do Zinco na Cana-de-açúcar em Tabuleiro Costeiro Paraibano**. 2006. 136f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2006.

FARIAS, C. H. de A.; SOUSA, K. S. de; SILVA, I. de F. da; AGRA, R. V.; NETO, G. da C. G.. Crescimento do sistema radicular de cana-de-açúcar submetida a lâminas de irrigação: modelo geoespacial e influências na produtividade da cultura. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, n.4, p.186-196, 2010.

FERNANDES, E.C; MOTAVALLI, P.P.; CASTILLA, C.; MUKURUMBIRA, L. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. **Geoderma**, v.79, n. 1-4, p.49-67, 1997.

FERREIRA, E. V. de O.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F.; COSTA, S. E. V. G. de A.; CAO, E. G. Concentração do Potássio do Solo em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária em Plantio Direto Submetido a Intensidades de Pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.6, :1675-1684, 2009.

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

FRACETTO, F. J. C. **Estoque de Carbono e Nitrogênio e Estrutura da Comunidade de Diazotróficas em Solos da Caatinga com Plantio de Mamona**. 2009. 78f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola)- Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 2009.

FRAZÃO, L. A.; SANTANA, I. K. da S.; CAMPOS, D. V. B. de; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.10, p.1198-1204, 2010.

GAMA-RODRIGUES, E. F. da; BARROS, N. F. de; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; SANTOS, G. de A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 893-901, 2005.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; VILLANI, E. M. A. Estoque de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1069-1079, 2010.

GIACHINI, C. F.; FERRAZ, M. V. Benefícios da utilização de vinhaça em terras de plantio de cana-de-açúcar. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 7, n. 15, p. 104-113, 2009.

IPCC (2001) **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. HOUGHTON, J.T., DING, Y., GRIGGS, D.J., NOGUER, M., VAN DER LINDEN, P.J., DAI, X., MASKELL, K., JOHNSON, C.A. (Eds.) Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2001.

JUNIOR, W. de C.; SCHAEFER, C. E. G .R.; SILVA, C. das C.; Elpídio FILHO, I. F. Análise multivariada de Argissolos da faixa atlântica brasileira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2081-2090, 2008

IWATA, B. de F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; BRASIL, E. L.; COSTA, C. do N.; CAMPOS, L. P.; SANTOS, F. S. R. dos. Carbono total e carbono microbiano de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no cerrado piauiense. . In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18, 2010, Teresina. **Anais...** Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2010. CDRom.

LAL, R. Global potential of carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 22, n. 2, p. 151-184, 2003.

LEAL, J.R.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; ROSSIELO, R.O.P. Potencial redox e pH: variação em um solo tratado com vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, n.2, p.257-261, 1983.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C.. Estoques Totais de Carbono Orgânico e seus Compartimentos em Argissolo sob Floresta e sob Milho Cultivado com Adubação Mineral e Orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 821-832, 2003.

LEMOS, J. de O.; LEITE, L. F. C.; COSTA, C. do N.; BRASIL, E. L.; SANTOS, W. C. dos; SANTOS, F. S. R. dos; SILVA, D. R. M. da. Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo Sob Sistemas Agroflorestais e Agricultura de Corte e Queima na Região Centro Norte do Piauí. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 18, 2010, Teresina. **Anais...** Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2010. CDRom.

LIMA, M.A.; LIGO, M.A.; CABRAL, M.R.; BOEIRA, R.C.; PESSOA, M.C.P.Y.; NEVES, M.C. **Emissão de gases do efeito estufa provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente 1999. 60p. (Documentos, 7).

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de Cerrado e Floresta Amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 5, p. 723-729, 2000.

LOPES, A. S.; GUIDOLIN, J. A. Interpretação de análise do solo: conceitos e aplicações. 2.ed. São Paulo: Comitê de Pesquisa/Técnico/ANDA, 1989. 64p.

LUCA, E.F. **Matéria orgânica e atributos do solo em sistemas de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar**. 2002. 101f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP, 2002.

LUCA, E. F. de; FELLER, C.; CERRI, C. C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D. C; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 789-800, 2008

MACEDO, I. de C.; NOGUEIRA, L. A. H. **Avaliação da expansão da produção de etanol no Brasil**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Julho, 2004. 71p.

MACHADO, P.L.O.A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v.28, n.2, p.329-334, 2005.

MANFOGOYA, P.L.; DZOWELA, B.H.; NAIR, P.K. Effect of multipurpose trees, age of cutting and drying method on pruning quality. In: CADISCH, G.; GILLER, K.E., eds. **Driven by nature: plant litter quality and decomposition**. Wallingford CAB, International, p.167-174, 1997.

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**, v.35, n.6, p.1177-1182, 2000.

MATIAS, S. S. R.; AQUINO, B. F. de; FREITAS, J. de A. D. de. Efeito de N e K nos atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico com coco fertirrigado. **Revista Acadêmica, Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 7, n. 1, p. 91-99, 2009.

MENDONÇA, E. S. Oxidação da matéria orgânica e sua relação com diferentes formas de alumínio de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, n.1, p.25-30, 1995.

MENEZES, C .E. G. **Integridade da paisagem, manejo e atributos do solo no Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheira-RJ**. 2008. 175f. Tese (Doutorado em Ciências em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Brasília. 74p, 2004.

NEILL, C.; MELLILO, J. M.; STEUDLER, P. A.; CERRI, C.C.; MORAES, F. L.; PICCOLO, M. C.. BRITO, M. Soil carbon and nitrogen stocks forest clearing for pasture in the southern Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, v. 7, p. 1216-1225, 1997.

NETO, D. E. S.; OLIVEIRA, A. C. de; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. dos S.; NASCIMENTO, C. W. A. do; ROCHA, A. T. da. Extração de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar e suas relações com a capacidade tampão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.6, p.840–848, 2009.

NETO, J. de A. L.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; SOUZA-JÚNIOR, V. S. de; FILHO, J. C. de A.; LIMA, José Fernando W.F. Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos de horizontes coesos de Latossolos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 473-486, 2010.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N. CURI, N.; MACEDO, R. L. G.; TOKURAS, A. M. .Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 5, p. 1038-1046, 2004.

NOBRE, C. A.; GASH, J. Desmatamento muda clima da Amazônia. **Ciência Hoje**, v. 22, n. 128, p. 33-42, 1997.

NOVO, M. do C. de S. S.; RAMOS, N. P; LAGO, A. A. do; MARIN, G. C. Efeito da adição de palha de cana-de-açúcar e da aplicação de vinhaça ao solo no desenvolvimento inicial de três cultivares de mamona. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 1, p.125-130, 2007.

OLIVEIRA, J. T. de; MOREAU, A. M. S. dos S.; PAIVA, A. de Q.; MENEZES, A. A.; COSTA, O. V. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v, 32, n.spe, p. 2821-2829, 2008.

OTTO, R.; FRANCO, H. C. J.; VITTI, C. E. A. C.; TRIVELIN, P. C. O. Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.4, p.398-405, 2009.

PACHECO, E. P. **Estudo da compressibilidade e qualidade de um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas**. 2010. 118f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife – PE, 2010.

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; CANTARUTTI, R. B.; MENDONÇA, E. de S. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1109-1118, 2007.

PAULA, T. A. de; VALLE, C. M. do. Quantificação do estoque de carbono no solo e a mitigação da mudança climática. In: Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 2, 2007, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: CONNEPI, 2007. CDRom.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n.3, p. 911-920, 2008.

PINHEIRO, E. F. M.; LIMA, E.; CEDDIA, M. B.; URTIOGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Estoques de carbono e nitrogênio num Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar: influência da queima ou manutenção da palhada. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** 17. Serpédica: Embrapa Agrobiologia, 2007.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. A. V.; 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, n. 2, p. 575-585, 2010.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G.R.; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2091-2100, 2008.

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F. de; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1125-1136, 2009.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343p.

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, n. 6, p. 1609-1623, 2007

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; MELO, L. C. A.; JUNIOR, A. C. de O. Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2051-2059, 2008.

RESENDE, A. S. **Efeito da queima e das aplicações de nitrogênio e vinhaça após 16 anos de cultivo de cana-de-açúcar**. 2003. 118f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Serpédica, 2003.

RESENDE, A. S. de; SANTOS, A.; XAVIER, R. P.; COELHO, C. H.; GONDIM, A.; OLIVEIRA, O. C.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Efeito da queima da

palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 6, p. 937-941, 2006.

ROCHA, M. T. Aquecimento e o seqüestro de carbono em projetos agroflorestais. **Revista Ecologia**, n. 151, 2000.

RODRIGUES, E. F. G. Biomassa e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, p. 227-243, 1999.

SÁ, J. C. M. de; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian oxisol. **Soil Science Society of American Journal**, v. 65, n.5, p. 1486-1499, 2001.

SALIMON, C. I.; WADT, P. G. S.; MELO, A. W. F. de. Dinâmica do carbono na conversão de floresta para pastagens em Argissolos da formação geológica solimões, no Sudoeste da Amazônia. **Revista de biologia e ciências da terra**, v. 7, n. 1, p. 29-38, 2007.

SAZKÁCS, G. G. J. **Estoques de carbono e agregados do solo cultivados com cana-de-açúcar efeito da palhada e do clima no centro-sul do Brasil**. 2007. 106f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 2007.

SANTANA, M. J. de; CARVALHO, J. de A.; SOUZA, K. J. de; SOUSA, A. M. G. de; VASCONCELOS, C. L.; ANDRADE, L. A. de B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.5, 2007.

SCHOLES, R. J.; BREEMEN, N. VAN. The effects of global change on tropical ecosystems. **Geoderma**, v.79, n. 1-4, p.9-24, 1997.

SCHUMAN, G. E.; JANZEN, H. H.; HENRRICK, J. E. Soil dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. **Environmental Pollution**, v. 116, n. 2, p. 391-396, 2002.

SEVERIANO, E. da C.; OLIVEIRA, G. C. de; CURTI, N.; JÚNIOR, M. de S. D. Potencial de uso e qualidade estrutural de dois solos cultivados com cana-de-açúcar em Goianésia (GO), **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 159-168, 2009.

SILVA, A. J. N. **Alterações físicas e químicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar**. 2003. 120f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si e Al em solo de Tabuleiro Costeiro de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 447-457, 2005.

SILVA, A. J. N. da. **Caracterização de Latossolos amarelos sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas**. 1996. 133f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1996.

SILVA, C. A. **Mineralização do nitrogênio e enxofre e caracterização de substâncias húmicas em solos brasileiros por  $^{13}\text{C}$ -RMN e cromatografia por exclusão de tamanho.** 1997. 82f. Tese (Doutorado em Nutrição de Plantas) – Universidade de Lavras, Lavras, 1997.

SILVA, C. T. S. da; AZEVEDO, H. M. de; AZEVEDO, C. A. V. de; NETO, J. D.; CARVALHO, C. M. de; FILHO, R. R. G. Crescimento da Cana-de-açúcar com e sem Irrigação Complementar sob Diferentes Níveis de Adubação de Cobertura Nitrogenada e Potássica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.3, n.1, p.3–12, 2009.

SILVA, J. E.; LEMANSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca de catiônica em solos da região de Cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, n. 3, p. 541-547, 1994.

SILVA, M. A. S. da; MAFRA, Á. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; ROSA, J. D.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, 329-337, 2006

SILVA, M. A. S. da; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.108–114, 2007.

SILVA, R. A. da. **Caracterização da flora apícola e do mel produzido por *Apis mellifera* L., 1758 (Hymenoptera: Apidae) no Estado da Paraíba.** 2006. 99f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

SILVA-OLAYA, A. M. **Emissão de dióxido de carbono após diferentes sistemas de preparo do solo na cultura de cana-de-açúcar,** 2010. 103f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SIQUEIRA NETO, M. **Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes manejos no cerrado goiano.** 2006. 162f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SOARES, L. H. de BARROS; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA S.; BODDEY, R. M. Mitigação da emissões de gases de efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa, **Circular Técnica**, n., 27, abril, 2009.

SOBRAL, L. F.; SILVEIRA, K. R. da; VIANA, R. D. Correlações entre os métodos Mehlich 1, Mehlich 3 e resina para análise de P e K em solos dos Tabuleiros Costeiros. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 33.** Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2008.

SOBRINHO, N. M. B. A.; LUISI, M. V. V.; ROSSIELO, R. O. P.; VELLOSO, A. C. X.; LEAL, J. R. Transformações do nitrogênio mineral em solo Podzólico Vermelho-Amarelo tratado com vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 22, p. 249-256, 1987.

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.

SOUZA, E. D. de; COSTA, S. E. V. G. de A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração Lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1829-1836, 2009.

SPAROVEK, G.; SCHNUG, E. Temporal erosion-induced soil degradation and yield loss. **Soil Science of America Journal**, v. 65, n. 5, p. 1479-1486, 2001.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: J. Wiley, 1994. 496p.

TOGNON, A. A.; DEMATTÊ, J. L. E.; DEMATTÊ, J. A. M. Teor e distribuição de matéria orgânica em latossolos das regiões da floresta amazônica e dos cerrados do Brasil central. **Scientia Agrícola**, v. 55, n. 3, p. 343-354, 1998.

TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W.; GAVA, G. J. C.; SARRIES, G. A. 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.

VASCONCELOS, R. F. B. de; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S. de; COSTA, Y. D. J. da; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um latossolo amarelo distrocoeso de Tabuleiro Costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 309-316, 2010.

VIEIRA, F. C. B. **Estoques e labilidade da matéria orgânica e acidificação de um Argissolo sob plantio direto afetado por sistemas de cultura e adubação nitrogenada**. 2007. 139f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

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

WENDLING, B.; SANTANA, L. M. F. de; NETO, J. V. S.; VINHAL-FREITAS, I. C.; MARTINS, C. E.; JUCKSCH, I. Carbono orgânico e nitrogênio total em solo aluvial e de encosta na região da zona da mata mineira. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 18, 2010, Teresina. **Anais...** Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2010. CDRom.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Comm. Soil Science Plant Anal.**, v.19, p. 1467-1476, 1988.

ZALAMENA, J. **Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do Planalto – RS**. 2008. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

## APÊNDICE



ÁREAS	pH	d	C. E.	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	Na <sup>+</sup>	%Al
M. P. 1 0-5	4,79	1,23	66,93	0,29	0,07	2,04	1,4	0,20	3,63	0,02	2,79
M. P. 1 5-10	4,31	1,41	57,98	0,18	0,07	1,82	2,09	0,60	6,05	0,02	5,97
M. P. 1 10-20	4,18	1,43	63,21	0,26	0,07	0,77	0,77	0,60	5,14	0,01	8,88
M. P. 1 20-40	4,24	1,46	50,37	0,07	0,05	0,42	1,54	0,40	3,31	0,03	7,48
M. P. 2 0-5	3,96	1,22	93,00	0,27	0,09	0,29	0,77	1,40	6,52	0,02	18,21
M. P. 2 5-10	4,00	1,17	87,95	0,23	0,09	0,82	0,32	1,40	13,42	0,03	9,54
M. P. 2 10-20	4,06	1,45	58,26	0,10	0,05	0,6	0,84	0,80	4,50	0,01	13,33
M. P. 2 20-40	4,10	1,52	59,91	0,16	0,05	0,49	0,4	0,60	2,90	0,00	15,63
M. P. 3 0-5	4,68	1,38	81,71	0,18	0,05	0,57	0,54	0,20	2,11	0,04	6,04
M. P. 3 5-10	4,66	1,67	54,62	0,13	0,05	0,48	0,57	0,20	1,90	0,02	6,62
M. P. 3 10-20	4,72	1,49	53,83	0,05	0,04	0,48	0,86	0,40	1,30	0,02	14,81
M. P. 3 20-40	4,83	1,57	42,43	0,00	0,05	0,18	0,97	0,20	1,12	0,00	8,62
M. P. 4 0-5	4,55	1,25	79,98	0,36	0,05	2,16	1,54	0,40	5,57	0,03	4,28
M. P. 4 5-10	4,14	1,31	60,92	0,37	0,07	0,96	0,83	0,80	8,11	0,01	8,02
M. P. 4 10-20	4,10	1,54	53,32	0,17	0,05	0,69	0,96	1,00	5,52	0,01	13,83
M. P. 4 20-40	4,50	1,62	48,92	0,01	0,05	0,65	0,52	0,60	1,86	0,00	19,48
M. P. 5 0-5	4,19	1,23	72,37	0,22	0,07	0,56	1,35	0,80	4,94	0,04	11,49
M. P. 5 5-10	4,26	1,38	68,95	0,09	0,05	0,23	0,95	0,60	2,80	0,01	14,85
M. P. 5 10-20	4,49	1,49	62,81	0,06	0,05	0,2	0,75	0,40	1,51	0,01	15,87
M. P. 5 20-40	4,78	1,45	63,45	0,03	0,04	0,25	0,75	0,40	1,75	0,01	14,29
C. V. P. 1 0-5	4,85	1,66	133,9	4,99	0,07	1,26	0,47	0,20	1,81	0,00	5,54
C. V. P. 1 5-10	4,46	1,69	117,51	4,08	0,05	0,46	0,47	0,20	1,53	0,01	7,94
C. V. P. 1 10-20	4,41	1,65	106,93	2,34	0,05	0,57	0,81	0,20	0,82	0,00	8,89
C. V. P. 1 20-40	4,73	1,67	126,19	2,86	0,05	0,66	0,53	0,20	1,04	0,01	8,73
C. V. P. 2 0-5	5,52	1,52	135,82	5,28	0,14	2,13	0,67	0,00	2,16	0,04	0,00
C. V. P. 2 5-10	4,65	1,61	98,87	4,43	0,11	0,97	0,52	0,20	2,89	0,00	4,45
C. V. P. 2 10-20	4,95	1,64	73,29	3,33	0,07	0,55	1,31	0,20	1,90	0,01	5,21
C. V. P. 2 20-40	5,46	1,70	78,92	5,02	0,05	0,63	0,64	0,20	0,41	0,01	11,49
C. V. P. 3 0-5	5,32	1,66	195,64	4,24	0,55	1,02	1,32	0,20	4,26	0,06	2,77
C. V. P. 3 5-10	5,06	1,63	131,11	1,52	0,37	1,61	0,17	0,60	4,17	0,04	9,43
C. V. P. 3 10-20	4,65	1,69	109,65	0,56	0,18	0,68	0,39	0,60	3,61	0,01	12,32
C. V. P. 3 20-40	4,50	1,66	99,04	0,58	0,07	0,33	0,31	0,60	1,97	0,01	22,30
C. V. P. 4 0-5	4,81	1,63	138,56	5,12	0,13	1,04	1,25	0,20	3,30	0,03	3,48
C. V. P. 4 5-10	4,96	1,73	138,56	4,26	0,14	0,8	1,34	0,20	2,56	0,02	4,12
C. V. P. 4 10-20	5,38	1,63	102,60	1,26	0,11	0,64	0,9	0,20	1,68	0,01	5,99
C. V. P. 4 20-40	4,73	1,63	100,09	0,11	0,05	0,37	1	0,40	1,73	0,00	12,70
C. V. P. 5 0-5	4,85	1,55	123,99	2,75	0,13	0,64	0,76	0,20	2,37	0,01	5,12
C. V. P. 5 5-10	4,69	1,63	102,12	1,83	0,09	0,34	1,22	0,20	1,88	0,00	5,67
C. V. P. 5 10-20	5,42	1,68	90,48	1,04	0,04	0,4	0,85	0,20	1,04	0,00	8,58
C. V. P. 5 20-40	5,39	1,64	76,33	0,79	0,05	0,24	1,04	0,20	0,54	0,00	10,70
S. V. P. 1 0-5	6,40	1,69	71,61	2,52	0,05	1,23	1,37	0,00	0,35	0,00	0,00
S. V. P. 1 5-10	6,39	1,71	71,93	2,20	0,04	1,38	0,99	0,00	0,26	0,00	0,00
S. V. P. 1 10-20	5,81	1,72	67,17	0,93	0,02	0,96	1,34	0,20	0,72	0,00	6,58
S. V. P. 1 20-40	5,62	1,66	54,41	1,83	0,04	0,41	1,47	0,20	0,34	0,00	8,85
S. V. P. 2 0-5	6,62	1,60	71,35	0,28	0,05	0,73	0,96	0,00	0,31	0,00	0,00
S. V. P. 2 5-10	6,01	1,69	72,13	0,22	0,04	0,62	1,26	0,00	0,91	0,00	0,00
S. V. P. 2 10-20	5,68	1,62	62,42	0,15	0,04	0,73	0,85	0,20	0,34	0,00	10,20
S. V. P. 2 20-40	5,55	1,61	70,78	0,39	0,04	0,38	1,01	0,20	0,16	0,00	12,58
S. V. P. 3 0-5	6,88	1,56	74,81	2,88	0,04	1,41	1,56	0,00	0,18	0,00	0,00
S. V. P. 3 5-10	4,18	1,63	91,51	2,10	0,05	1,02	1,19	0,00	0,33	0,01	0,00
S. V. P. 3 10-20	5,53	1,67	67,89	0,41	0,05	0,24	1,33	0,00	0,73	0,00	0,00
S. V. P. 3 20-40	5,19	1,67	74,37	0,67	0,04	0,25	0,77	0,20	0,48	0,01	12,90
S. V. P. 4 0-5	5,05	1,61	216,8	4,76	0,13	1,95	1,26	0,20	1,68	0,01	3,98
S. V. P. 4 5-10	5,30	1,65	154,06	2,66	0,11	0,57	2,06	0,00	1,65	0,02	0,00
S. V. P. 4 10-20	5,20	1,61	136,98	1,85	0,04	1,39	0,99	0,20	1,38	0,01	5,25
S. V. P. 4 20-40	5,01	1,65	70,45	0,53	0,04	0,39	0,66	0,20	0,36	0,00	13,79
S. V. P. 5 0-5	6,39	1,61	56,72	1,69	0,04	1,24	1,47	0,00	0,87	0,00	0,00
S. V. P. 5 5-10	6,16	1,65	62,69	0,84	0,05	0,77	1,4	0,00	1,16	0,02	0,00

S. V. P. 5 10-20	5,77	1,66	81,53	0,63	0,04	0,81	0,94	0,20	0,54	0,03	8,47
S. V. P. 5 20-40	5,63	1,67	61,05	0,36	0,04	0,65	1,07	0,80	0,04	0,00	44,44

d= densidade; C.E. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )= condutividade elétrica; P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )= fósforo;  $\text{K}^+$  ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )= potássio;  $\text{Ca}^{2+}$  ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )= cálcio;  $\text{Mg}^{2+}$  ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )= magnésio;  $\text{Al}^{3+}$  ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )= alumínio; H + Al ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )= acidez potencial;  $\text{Na}^+$  ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )=sódio; M. P.1= mata perfil 1; M. P.2= mata perfil 2; M. P.3= mata perfil 3; M. P.4= mata perfil 4; M. P.5= mata perfil 5; C. V. P. 1 = cana com vinhaça perfil 1; C. V. P. 2 = cana com vinhaça perfil 2; C. V. P. 3 = cana com vinhaça perfil 3; C. V. P. 4 = cana com vinhaça perfil 4; C. V. P. 5 = cana com vinhaça perfil 5; S. V. P. 1= sem vinhaça perfil 1; S. V. P. 2= sem vinhaça perfil 2; S. V. P. 3= sem vinhaça perfil 3; S. V. P. 4= sem vinhaça perfil 4; S. V. P. 5= sem vinhaça perfil 5.



ÁREAS	C.O. (%)	CO(g/Kg)	M.O.	N. T.(dag/Kg)	E. C. (Mg/ha)	E. N. (Mg/ha)
M. P. 1 0-5	1,33	13,3	2,29	0,23	9,84	1,69
M. P. 1 0-5	1,87	18,7	3,22	0,32		
M. P. 1 5-10	1,49	14,9	2,57	0,26	9,76	1,70
M. P. 1 5-10	1,27	12,7	2,19	0,22		
M. P. 1 10-20	1,28	12,8	2,21	0,22	17,89	3,07
M. P. 1 10-20	1,23	12,3	2,12	0,21		
M. P. 1 20-40	0,96	9,6	1,65	0,16	26,03	4,39
M. P. 1 20-40	0,82	8,2	1,41	0,14		
M. P. 2 0-5	1,47	14,7	2,5	0,25	8,60	1,46
M. P. 2 0-5	1,36	13,6	2,34	0,23		
M. P. 2 5-10	1,97	19,7	3,4	0,34	11,48	1,98
M. P. 2 5-10	1,97	19,7	3,4	0,34		
M. P. 2 10-20	0,79	7,9	1,36	0,14	11,46	2,03
M. P. 2 10-20	0,79	7,9	1,36	0,14		
M. P. 2 20-40	0,52	5,2	0,9	0,09	15,50	2,74
M. P. 2 20-40	0,5	5	0,86	0,09		
M. P. 3 0-5	0,63	6,3	1,09	0,11	4,43	0,76
M. P. 3 0-5	0,65	6,5	1,12	0,11		
M. P. 3 5-10	0,35	3,5	0,6	0,06	3,05	0,50
M. P. 3 5-10	0,38	3,8	0,65	0,06		
M. P. 3 10-20	0,47	4,7	0,81	0,08	8,21	1,42
M. P. 3 10-20	0,63	6,3	1,08	0,11		
M. P. 3 20-40	0,3	3	0,52	0,05	8,01	1,41
M. P. 3 20-40	0,21	2,1	0,36	0,04		
M. P. 4 0-5	1,58	15,8	2,72	0,27	10,03	1,72
M. P. 4 0-5	1,63	16,3	2,81	0,28		
M. P. 4 5-10	1,67	16,7	2,88	0,29	10,62	1,83
M. P. 4 5-10	1,58	15,8	2,72	0,27		
M. P. 4 10-20	1,2	12	2,07	0,21	20,01	3,46
M. P. 4 10-20	1,4	14	2,41	0,24		
M. P. 4 20-40	0,46	4,6	0,79	0,08	12,18	2,11
M. P. 4 20-40	0,29	2,9	0,5	0,05		
M. P. 5 0-5	1,61	16,1	2,78	0,28	9,79	1,70
M. P. 5 0-5	1,56	15,6	2,68	0,27		
M. P. 5 5-10	0,73	7,3	1,3	0,13	5,55	0,97
M. P. 5 5-10	0,88	8,8	1,51	0,15		
M. P. 5 10-20	0,37	3,7	0,63	0,06	5,74	0,97
M. P. 5 10-20	0,4	4	0,69	0,07		
M. P. 5 20-40	0,41	4,1	0,71	0,07	11,19	1,89
M. P. 5 20-40	0,36	3,6	0,62	0,06		
C. V. P. 1 0-5	0,34	3,4	0,59	0,06	3,52	0,62
C. V. P. 1 0-5	0,51	5,1	0,88	0,09		
C. V. P. 1 5-10	0,75	7,5	1,29	0,13	6,41	1,10
C. V. P. 1 5-10	0,77	7,7	1,32	0,13		
C. V. P. 1 10-20	0,41	4,1	0,71	0,07	6,60	1,15
C. V. P. 1 10-20	0,39	3,9	0,67	0,07		
C. V. P. 1 20-40	0,03	0,3	0,05	0,005	1,50	0,25
C. V. P. 1 20-40	0,06	0,6	0,1	0,01		
C. V. P. 2 0-5	1,38	13,8	2,38	0,24	8,73	1,52
C. V. P. 2 0-5	0,91	9,1	1,57	0,16		
C. V. P. 2 5-10	0,52	5,2	0,9	0,09	4,60	0,81
C. V. P. 2 5-10	0,62	6,2	1,09	0,11		
C. V. P. 2 10-20	0,74	7,4	1,27	0,13	11,63	2,05
C. V. P. 2 10-20	0,68	6,8	1,17	0,12		
C. V. P. 2 20-40	0,38	3,8	0,66	0,07	11,53	2,04
C. V. P. 2 20-40	0,3	3	0,52	0,05		
C. V. P. 3 0-5	1,11	11,1	1,91	0,19	8,72	1,50

C. V. P. 3 0-5	0,99	9,9	1,71	0,17		
C. V. P. 3 5-10	1,2	12	2,07	0,21	8,90	0,93
C. V. P. 3 5-10	0,99	9,9	1,71	0,02		
C. V. P. 3 10-20	0,48	4,8	0,83	0,08	8,93	1,52
C. V. P. 3 10-20	0,58	5,8	0,99	0,1		
C. V. P. 3 20-40	0,29	2,9	0,5	0,05	10,13	1,66
C. V. P. 3 20-40	0,32	3,2	0,55	0,05		
C. V. P. 4 0-5	0,94	9,4	1,62	0,16	7,54	1,30
C. V. P. 4 0-5	0,91	9,1	1,57	0,16		
C. V. P. 4 5-10	0,65	6,5	1,12	0,11	5,78	0,99
C. V. P. 4 5-10	0,69	6,9	1,19	0,12		
C. V. P. 4 10-20	0,45	4,5	0,77	0,08	5,78	0,98
C. V. P. 4 10-20	0,26	2,6	0,45	0,04		
C. V. P. 4 20-40	0,43	4,3	0,74	0,07	13,99	2,28
C. V. P. 4 20-40	0,43	4,3	0,74	0,07		
C. V. P. 5 0-5	0,84	8,4	1,45	0,14	6,94	1,16
C. V. P. 5 0-5	0,95	9,5	1,64	0,16		
C. V. P. 5 5-10	0,41	4,1	0,71	0,07	3,29	0,57
C. V. P. 5 5-10	0,4	4	0,7	0,07		
C. V. P. 5 10- 20	0,25	2,5	0,43	0,04	4,46	0,76
C. V. P. 5 10- 20	0,28	2,8	0,48	0,05		
C. V. P. 5 20-40	0,19	1,9	0,32	0,03	5,92	0,99
C. V. P. 5 20-40	0,17	1,7	0,3	0,03		
S. V. P. 1 0-5	0,48	4,8	0,82	0,08	4,21	0,72
S. V. P. 1 0-5	0,52	5,2	0,89	0,09		
S. V. P. 1 5-10	0,37	3,7	0,64	0,06	3,34	0,56
S. V. P. 1 5-10	0,41	4,1	0,71	0,07		
S. V. P. 1 10-20	0,35	3,5	0,6	0,06	5,41	0,94
S. V. P. 1 10-20	0,28	2,8	0,48	0,05		
S. V. P. 1 20-40	0,13	1,3	0,22	0,02	5,16	0,83
S. V. P. 1 20-40	0,18	1,8	0,31	0,03		
S. V. P. 2 0-5	0,21	2,1	0,36	0,04	1,84	0,32
S. V. P. 2 0-5	0,25	2,5	0,43	0,04		
S. V. P. 2 5-10	0,19	1,9	0,32	0,03	1,65	0,25
S. V. P. 2 5-10	0,2	2	0,35	0,03		
S. V. P. 2 10-20	0,19	1,9	0,33	0,03	3,56	0,57
S. V. P. 2 10-20	0,25	2,5	0,43	0,04		
S. V. P. 2 20-40	0,18	1,8	0,32	0,03	5,30	0,80
S. V. P. 2 20-40	0,15	1,5	0,25	0,02		
S. V. P. 3 0-5	0,46	4,6	0,8	0,08	3,59	0,62
S. V. P. 3 0-5	0,46	4,6	0,8	0,08		
S. V. P. 3 5-10	0,6	6	1,04	0,1	5,03	0,86
S. V. P. 3 5-10	0,63	6,3	1,09	0,11		
S. V. P. 3 10-20	0,2	2	0,35	0,03	3,67	0,58
S. V. P. 3 10-20	0,24	2,4	0,41	0,04		
S. V. P. 3 20-40	0,32	3,2	0,55	0,05	11,20	1,84
S. V. P. 3 20-40	0,35	3,5	0,6	0,06		
S. V. P. 4 0-5	0,75	7,5	1,29	0,13	5,97	1,05
S. V. P. 4 0-5	0,73	7,3	1,26	0,13		
S. V. P. 4 5-10	0,67	6,7	1,15	0,11	5,40	0,91
S. V. P. 4 5-10	0,64	6,4	1,1	0,11		
S. V. P. 4 10-20	0,63	6,3	1,08	0,11	9,67	1,69
S. V. P. 4 10-20	0,57	5,7	1	0,1		
S. V. P. 4 20-40	0,13	1,3	0,22	0,02	3,95	0,66
S. V. P. 4 20-40	0,11	1,1	0,2	0,02		
S. V. P. 5 0-5	0,37	3,7	0,64	0,06	3,07	0,52
S. V. P. 5 0-5	0,39	3,9	0,67	0,07		
S. V. P. 5 5-10	0,44	4,4	0,76	0,08	3,79	0,66
S. V. P. 5 5-10	0,48	4,8	0,83	0,08		
S. V. P. 5 10-20	0,32	3,2	0,55	0,05	5,81	1,00

S. V. P. 5 10-20	0,38	3,8	0,66	0,07		
S. V. P. 5 20-40	0,17	1,7	0,29	0,03	4,35	0,84
S. V. P. 5 20-40	0,09	0,9	0,16	0,02		

C. O. = carbono orgânico; M. O.= matéria orgânica; N. T.= nitrogênio total; E. C.= estoque de carbono; E. N.= estoque de nitrogênio; M. P.1= mata perfil 1; M. P.2= mata perfil 2; M. P.3= mata perfil 3; M. P.4= mata perfil 4; M. P.5= mata perfil 5; C. V. P. 1 = cana com vinhaça perfil 1; C. V. P. 2 = cana com vinhaça perfil 2; C. V. P. 3 = cana com vinhaça perfil 3; C. V. P. 4 = cana com vinhaça perfil 4; C. V. P. 5 = cana com vinhaça perfil 5; S. V. P. 1= sem vinhaça perfil 1; S. V. P. 2= sem vinhaça perfil 2; S. V. P. 3= sem vinhaça perfil 3; S. V. P. 4= sem vinhaça perfil 4; S. V. P. 5= sem vinhaça perfil 5.



COD: 10203 MIRIRI STA. RITA

