



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

CLARISSA TIEME MATSUDA FELTRAN

**EFEITO DO USO DA VINHAÇA EM ATRIBUTOS FÍSICOS E
QUÍMICOS DE SOLOS COM DIFERENTES TEXTURAS**

CLARISSA TIEME MATSUDA FELTRAN

**EFEITO DO USO DA VINHAÇA EM ATRIBUTOS FÍSICOS E
QUÍMICOS DE SOLOS COM DIFERENTES TEXTURAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Agronomia da Universidade
Estadual de Londrina.

Orientador: Prof. Dr. João Tavares Filho

Londrina
2012

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

F328e Feltran, Clarissa Tieme Matsuda.

Efeito do uso da vinhaça em atributos físicos e químicos de solos com diferentes
texturas / Clarissa Tieme Matsuda Feltran. – Londrina, 2012.
56 f. : il.

Orientador: João Tavares Filho.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina,
Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia,
2012.

Inclui bibliografia.

1. Resíduos orgânicos como fertilizantes – Teses. 2. Matéria orgânica – Teses.
3. Vinhaça – Teses. 4. Solos – Degradação – Teses. 5. Solos – Recuperação – Teses. 6.
Solos – Fertilidade – Teses. I. Tavares Filho, João. II. Universidade Estadual de
Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III.
Título.

CDU 631.86

CLARISSA TIEME MATSUDA FELTRAN

**EFEITO DO USO DA VINHAÇA EM ATRIBUTOS FÍSICOS E
QUÍMICOS DE SOLOS COM DIFERENTES TEXTURAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Agronomia da Universidade
Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Tavares Filho
UEL – Londrina - PR

Prof. Dra. Maria de Fátima Guimarães
UEL – Londrina - PR

Dra. Graziela Moraes de Cesare Barbosa
IAPAR – Londrina - PR

Londrina, ____ de ____ de ____.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimento a todas as pessoas e instituições que contribuíram para tornar possível a realização deste trabalho:

Ao professor e orientador Dr. João Tavares Filho pela dedicação em me orientar e por todos os seus ensinamentos. Serei sempre grata por todo estímulo, apoio e compreensão a mim dedicados.

Ao curso de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina pela oportunidade concedida à realização deste mestrado.

Aos professores Dra. Maria de Fátima Guimarães, Dr. Osmar Rodrigues Brito e Dr. Ayres de Oliveira Menezes Jr. pelo auxílio, participação e dedicação durante a graduação e o mestrado.

Aos meus pais José Luis Feltran e Clarice M. Feltran por todo incentivo e pela oportunidade de dar continuidade aos meus estudos.

Ao meu querido namorado Alison V. Fernandes por todo apoio e aconselhamento, principalmente nos momentos difíceis.

Aos amigos do Laboratório de Solos que sempre estiveram dispostos a ajudar quando precisei: Edinei, Jean Carlo, José Francirlei, Anna Ighes, Bruno, Tadeu, Luis Gustavo e Mariley.

Aos funcionários do Laboratório de Solos do departamento de Agronomia, João e Márcio, por se dedicarem em me auxiliar nas análises deste trabalho.

Aos membros da banca por terem se disposto a participar e por contribuírem para a melhoria do trabalho.

À Capes pela concessão de bolsa durante a realização do mestrado.

“De tudo ficaram três coisas...
A certeza de que estamos começando...
A certeza de que é preciso continuar...
A certeza de que podemos ser interrompidos
antes de terminar...
Façamos da interrupção um caminho novo...
Da queda, um passo de dança...
Do medo, uma escada...
Do sonho, uma ponte...
Da procura, um encontro!”

Fernando Sabino

FELTRAN, Clarissa Tieme Matsuda. **Efeito do uso da vinhaça em atributos físicos e químicos de solos com diferentes texturas**. 2012. 56 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

RESUMO

A vinhaça, um dos principais resíduos das usinas de açúcar e álcool, pode ser uma alternativa para a recuperação de áreas degradadas pela erosão, visto que sua aplicação propicia benefícios físicos e químicos ao solo. Este trabalho objetivou verificar o efeito da vinhaça em atributos físico-químicos de solo degradado pela erosão. O estudo foi realizado com amostras de solos coletadas entre 0 – 0,2 m, em duas áreas com sinais de erosão superficial; sendo uma em Latossolo Vermelho distroférico, localizada em Bandeirantes (PR) e a outra em Latossolo Vermelho acriférico, localizada em Jaguapitã (PR). O experimento foi realizado em vasos que foram preenchidos com 0,4 Kg de TFSA e mantidos em casa de vegetação, em um delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos correspondentes a 0, 50, 100, 150 e 200% da quantidade do resíduo necessária para que o K ocupasse 5% da CTC dos solos, com cinco repetições. Após o tempo de incubação de 90 dias, amostras foram coletadas para as análises químicas, granulométricas e de agregados. Foram analisados os teores de N, P, K, Ca, Al, Mg, carbono orgânico, pH em água, em KCl e CaCl₂, PCZ, argila dispersa em água e estabilidade de agregados via úmida. Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão polinomial. Os resultados permitiram concluir que a aplicação de doses crescentes de vinhaça promovem o aumento do pH e dos teores de cálcio, magnésio e potássio em ambos os solos, o fósforo apresentou acréscimo apenas no solo argiloso, enquanto que o alumínio decresce com o aumento das doses. Em ambos os solos, o PCZ estimado apresentou valor menor do que o pH do solo, indicando que os solos permanecem carregados negativamente, favorecendo a dispersão do solo. A redução mais pronunciada do GF no solo argiloso ocorreu entre as doses 0 - 50. Para a amostra de solo mais arenoso, o maior grau de floculação do solo ocorreu para a dose 100.

Palavras-chave: Resíduos. Grau de floculação. PCZ. Matéria orgânica. Índice de agregação.

FELTRAN, Clarissa Tieme Matsuda. **Effect of vinasse in the physical and chemical properties of soils with different textures.** 2012. 56 p. Master's (Thesis in Agronomy) - University of Londrina, Londrina, 2012.

ABSTRACT

The vinasse, a major waste of sugar and alcohol, pose as an alternative in the recovery of degraded areas by erosion, since that provides benefits to physical and chemical attributes to the soil. This study aimed to determine the effect of vinasse on physico-chemical attributes of degraded soil by erosion. The study was conducted with soil samples collected from 0 to 0.2 m in two areas with signs of erosion, one in Oxisol, located in Bandeirantes (PR) and the other in an Ustox, located in Jaguapitã (PR). The pots were filled with 0.4 kg of air dried soil and kept in a greenhouse in a completely randomized design with five treatments of 0, 50, 100, 150 and 200% of the amount of residue needed to K occupy 5% of CEC of the soil, with five replicates. After the incubation time of 90 days, samples were collected for chemical analysis, particle size and aggregate. We analyzed the levels of N, P, K, Ca, Al, Mg, organic carbon, pH, KCl and CaCl₂, PCZ, water dispersible clay and aggregate stability in the wet. The data were subjected to analysis of variance and regression. The results showed that application of increasing doses it increases the pH and concentration of calcium, magnesium and potassium for both soil phosphorus showed an increase only in the clay soil. The aluminum decreases with increasing doses. In both types of soils, estimated PZC presented value less than the soil pH, indicating that the soil remaining negatively charged, facilitating the dispersion of the soil. The more pronounced reduction of the flucculation in clay soil occurred between doses 0 -50. To a sample of sandy soil, the higher F occurred at the dose 100.

Keywords Waste. Flocculation. PCZ. Organic matter. Aggregation index.

ILUSTRAÇÕES

- Figura 3.1** Variações do pH do solo e PCZ estimado, em função das doses de vinhaça aplicadas nos solos incubados por 90 dias. As barras verticais indicam intervalo de confiança para 5% de probabilidade45
- Figura 3.2** Grau de floculação (GF) em função das doses de vinhaça aplicadas nos solos incubados por 90 dias. As barras verticais indicam intervalo de confiança para 5% de probabilidade47

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1	Composição química média da vinhaça obtida a partir da fermentação de diferentes mostos	15
Quadro 3.1	Caracterização química da amostra de vinhaça da de Açúcar e Álcool Usiban Ltda utilizada no ensaio	39
Quadro 3.4.1	Características químicas de dois solos submetidos a doses crescentes de vinhaça.....	41
Quadro 3.4.2	Equações de regressão obtidas entre as doses de vinhaça aplicada e as características químicas de dois solos	42
Quadro 3.4.3	Características eletroquímicas e físicas de dois solos submetidos a doses crescentes de vinhaça	44
Quadro 3.4.4	Equações de regressão obtidas entre as doses de vinhaça aplicada e as características físico químicas de dois solos.....	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 ASPECTOS GERAIS DA CANA-DE-AÇÚCAR	12
2.2 CARACTERÍSTICAS DA VINHAÇA.....	13
2.2.1 Composição Química Da Vinhaça	14
2.3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL.....	15
2.4 EFEITO DA VINHAÇA NA FERTILIDADE DO SOLO	16
2.5 EFEITO DA VINHAÇA NAS PLANTAS	18
2.6 EFEITO DA VINHAÇA NA BIOLOGIA DO SOLO.....	21
2.7 EFEITO DA VINHAÇA NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	23
2.7.1 Efeito Da Vinhaça Na Estabilidade De Agregados	26
2.7.2 Efeito Da Vinhaça Na Dispersão De Argila Do Solo	29
2.7.3 Efeito Da Vinhaça Nos Atributos Eletroquímicos Do Solo.....	31
2.8 UTILIZAÇÕES DE RESÍDUOS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.....	32
3 ARTIGO: USO DA VINHAÇA PARA RECUPERAÇÃO DE ALGUNS ATRIBUTOS DE UM SOLO DEGRADADO	35
3.1 RESUMO	35
3.2 INTRODUÇÃO	36
3.3 MATERIAL E MÉTODOS	38
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.5 CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A agroindústria canvieira está envolvida com duas das mais relevantes commodities para o agronegócio brasileiro, o açúcar e o álcool. A excelente perspectiva de comércio interno e internacional para o açúcar e o álcool, a elevação dos preços internacionais do petróleo, o crescimento da demanda por automóveis bicomustíveis, e o efeito do protocolo de Kyoto, são os principais fatores que impulsionaram o crescimento deste setor.

O Brasil destaca-se como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar com o cultivo de aproximadamente 8 milhões de hectares e produção média de 77.798 kg.ha⁻¹. Em 2011 a previsão é de que do total da cana esmagada, isto é 46,2%, estejam destinados à produção de açúcar, o que deve gerar 38.675,5 mil toneladas do produto e 53,8% à produção de etanol, gerando um volume total de 27.669,55 milhões de litros (CONAB, 2011).

A vinhaça é um dos principais resíduos da indústria sucroenergética. Durante o processo produtivo, são gerados em média 18 litros de vinhaça para cada litro de etanol. O descarte apropriado deste resíduo tornou-se um desafio devido ao grande volume gerado e por possuir uma demanda química de oxigênio muito alta, o que constitui uma fonte de contaminação de águas superficiais, dos lençóis de água e do meio ambiente. A vinhaça, frequentemente, é utilizada nas áreas canvieiras como meio para correção da fertilidade do solo, principalmente para o potássio, aumentando, assim, a produção da cultura e reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos. Por apresentar alto teor de matéria orgânica, apresenta vários benefícios às características físicas do solo, como elevar a estabilidade de agregados, a permeabilidade e a infiltração. Outro efeito favorável é o estímulo à atividade biológica do solo, por funcionar como alimento e proporcionar condições mais favoráveis de pH.

A vinhaça também pode ser utilizada no controle de algumas espécies de plantas daninhas presentes na lavoura canvieira, porque contem na sua constituição vários ácidos orgânicos, principalmente o ácido aconítico, considerado atualmente como uma substância alelopática.

Outro efeito favorável é o estímulo à atividade biológica edáfica, por funcionar como alimento e proporcionar condições mais favoráveis de pH.

Portanto, além do potencial de utilização em áreas agrícolas, e considerando que trata-se de um resíduo que contém 2 a 6% de constituintes sólidos, onde se destaca a matéria orgânica e o potássio, uma hipótese a ser considerada é sua utilização na recuperação de áreas degradadas, sendo assim uma alternativa de destinação, uma vez que pode contribuir para a "recomposição" das características físicas, químicas e biológicas do solo.

Assim, este trabalho teve como objetivo estudar o uso da vinhaça na recuperação de alguns atributos de um solo degradado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GERAIS DA CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar pertence à família *Poaceae*, é originária da ilha de Papua - Nova Guiné. Acompanhando as migrações náuticas dos habitantes do oceano pacífico, disseminou-se ao sudeste asiático na Indochina, Malásia, Bengala e China, e mais tarde até a Índia. Em todas estas regiões encontram-se os mais antigos registros sobre o cultivo de cana-de-açúcar para extração do seu caldo rico em sacarose (MIRANDA, 2008).

Um dos propósitos para a descoberta de terras, na época das Grandes Navegações, era à busca de novas rotas marítimas para o comércio, outra ambição era encontrar áreas cultiváveis aptas para a implantação de culturas como a cana-de-açúcar, cujo produto era escasso e caro na Europa. Foi o que ocorreu com Cristóvão Colombo, que era genro de um grande produtor de açúcar, e introduziu a cultura na América em 1493 durante sua segunda viagem ao continente, em terras onde hoje se situa a República Dominicana.

No Brasil, as primeiras mudas da planta chegaram por volta de 1516 vindas de Ilhas pertencentes a Portugal, Madeira e Açores. O primeiro engenho de açúcar foi construído em 1532, na capitania de São Vicente, a mando do governador Martim Afonso. Mas foi no Nordeste, especialmente nas capitanias de Pernambuco e da Bahia, que os engenhos de açúcar se multiplicaram. No século seguinte, já éramos o maior produtor e fornecedor mundial de açúcar, posição mantida até o fim do século XVII. Historicamente, a cana-de-açúcar sempre foi um dos principais produtos agrícolas do Brasil; e hoje o País tem novamente a primeira posição no ranking mundial da cultura (MIRANDA, 2008; CIB, 2011; ÚNICA, 2011).

No Estado do Paraná a cana foi produzida em áreas litorâneas no século XVII, o primeiro engenho implantado foi o de Morretes, em 1878, porém não chegou a funcionar pela escassez de mão-de-obra. No início, o Estado não apresentou expressão na produção de açúcar, os estabelecimentos eram compostos por pequenos engenhos que permitiam apenas suprir a demanda doméstica (SHIKIDA; ALVES, 2001). Houve uma considerável expansão da produção sucroalcooleira no Paraná a partir do programa nacional do álcool, PROÁLCOOL, em 1975, nesta época a cana-de-açúcar substituiu lavouras decadentes de café e

garantiu trabalho às famílias desempregadas. As boas condições edafo-climáticas e proximidade do eixo canavieiro de São Paulo, também contribuíram para essa expansão. Atualmente a agroindústria canavieira paranaense caracteriza-se por um perfil moderno e de grandes perspectivas para o futuro (SHIKIDA; ALVES, 2001).

Os principais estados produtores de cana-de-açúcar do Brasil são: São Paulo, Minas Gerais e Paraná. Em relação à área total, o Estado de São Paulo representa 54,23% (4.357,01 mil hectares), seguido por Minas Gerais com 8,1% (649,94 mil hectares), Goiás com 7,46% (599,31 mil hectares), Paraná com 7,25% (582,32 mil hectares), Alagoas com 5,46% (438,57 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 4,93% (396,16 mil hectares) e Pernambuco com 4,32% (346,82 mil hectares). (CONAB, 2011).

2.2 CARACTERÍSTICAS DA VINHAÇA

A vinhaça é o principal resíduo produzido na indústria sucroalcooleira, é obtida após a fermentação do mosto e a destilação do vinho, na razão de 10 a 18 litros por litro de álcool. Trata-se de um material constituído 2 a 6% de constituintes sólidos, onde se destaca a matéria orgânica e em termos minerais, o potássio (ROSSETTO, 1987).

Dos efluentes líquidos da indústria sucroalcooleira, a vinhaça é a que possui maior carga poluidora em face da presença de matéria orgânica, flora microbiana, alta corrosividade e baixo pH; apresenta demanda biológica por oxigênio (DBO) em torno de 20.000 a 35.000 mg.L⁻¹ (ROSSETTO, 1987). Seu poder poluente é cerca de cem vezes maior que o do esgoto doméstico (SILVA et al., 2007).

Em relação à insalubridade, torna as águas em que é lançada impróprias para o consumo, causando turbidez elevada, gosto desagradável, mal cheiro e agrava problemas de doenças e o aumento da proliferação de insetos. Além disso, é considerada altamente nociva à flora e fauna de água doce, ocasionando desequilíbrio biológico nos rios (FREIRE; CORTEZ, 2000). Contudo, quando a vinhaça é adicionada ao solo, seu potencial poluidor é reduzido em função das interações bióticas e abióticas (BRITO *et al.*, 2007).

Lyra et al (2003) estudando a qualidade da água do lençol freático de uma área cultivada com cana-de-açúcar que, ao longo do tempo, vem sendo aplicado vinhaça no solo, concluíram que este funciona como um eficiente sistema

de tratamento em função do seu poder de redução DBO e DQO. Porém, nas condições de seus estudos, essa minimização não garantiu o atendimento a todos os parâmetros de qualidade exigidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2005), afetando a qualidade da água do lençol freático. As chances de contaminação de águas subterrâneas pela vinhaça estão relacionadas ao tipo e condições do solo local, além da profundidade do lençol freático, proximidade de nascentes e intensidade da atividade vegetal na área (LYRA et al, 2003).

Devido a sua propriedade fertilizante, a vinhaça tornou-se um importante insumo na produção da cana-de-açúcar (FREIRE e CORTEZ, 2000). O benefício imediato decorrente do uso racional desse resíduo nas lavouras canavieiras se dá pelo aumento da produtividade, que ocorre principalmente em solos mais pobres e em regiões mais secas. Além disso, o uso da vinhaça garante uma grande redução nos gastos com fertilizantes (JUNQUEIRA et al, 2009; MEDINA et al., 2002).

2.2.1 Composição Química da Vinhaça

Em termos gerais, a vinhaça apresenta alto conteúdo de matéria orgânica e nutrientes como o potássio, seguindo-se do cálcio, sulfato, nitrogênio, fósforo e magnésio. Em relação aos micronutrientes, o ferro aparece em maior concentração, seguido do manganês, cobre e zinco, em pequenas concentrações (FREIRE; CORTEZ, 2000).

A composição química da vinhaça é bastante variável e depende, principalmente de fatores como a natureza e a composição da matéria prima, do sistema usado no preparo do mosto, do método de fermentação adotado e do sistema de condução da fermentação alcoólica e dos tipos de levedura utilizada, aparelho destilador empregado, destilação e do tipo de flegma separado (GLORIA; ORLANDO FILHO, 1984) (Tabela 2.1).

Bittencourt et al (1978) concluíram que as concentrações dos vários elementos da vinhaça são mais dependentes do caráter varietal e das condições de clima e solo do que da própria planta. Os teores de Si, P, Al, Fe, Ca e S dependem mais do processo de fabricação do que das concentrações do caldo original. O potássio e o cálcio têm seu teor altamente correlacionado com o teor de cinzas

condutimétricas, isto é, a concentração de sais solúveis ionizáveis presentes em uma solução açucarada (RODELLA; FERRARI, 1977; BITTENCOURT et al, 1978)

A vinhaça proveniente de mosto de melação é mais rica em matéria orgânica e elementos minerais que a de mosto misto e de caldo. À medida que o volume de caldo enviado a fermentação aumenta há decréscimo nos teores de nutrientes, em relação aquela obtida do mel final. Por outro lado, ao aumentar o teor alcoólico no processo fermentativo promove-se um abaixamento da relação vinhaça/álcool e conseqüentemente uma concentração maior dos teores de nutrientes (ROSSETTO, 1987).

Uns dos principais componentes da vinhaça é a matéria orgânica, basicamente sob a forma de ácidos orgânicos, como o ácido lácteo, glicerol etanol e ácido acético (WILKIE et al, 2000). Os elementos N, P, S, Ca, Mg e K se apresentam na forma mineral e não ligados à matéria orgânica.

Quadro 2.1 Composição química média da vinhaça obtida a partir da fermentação de diferentes mostos.

Elementos	Vinhaça de mosto		
	De melação	Misto	De caldo
N (kg m ⁻³)	0,77	0,46	0,28
P ₂ O ₅ (kg m ⁻³)	0,19	0,24	0,2
K ₂ O (kg m ⁻³)	6	3,06	1,47
CaO (kg m ⁻³)	2,45	1,18	0,46
MgO (kg m ⁻³)	1,04	0,53	0,29
SO ₄ (kg m ⁻³)	3,73	2,67	1,32
Matéria orgânica (kg m ⁻³)	52,04	32,63	23,44
Fe (ppm)	80	78	69
Cu (ppm)	5	21	7
Zn (ppm)	3	19	2
Mn (ppm)	8	6	7
pH	4,4	4,1	3,7

Fonte Glória e Orlando Filho (1984)

2.3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

O Brasil não possui uma legislação federal específica quanto à utilização de resíduos agroindustriais, como a vinhaça, contudo, existem algumas leis e resoluções que devem ser obedecidas:

- Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 – Código Florestal;

- Resolução do CNRH nº 15, de 01 de junho de 2001 – Diretrizes para a gestão integrada das águas superficiais, subterrâneas e meteóricas;
- Portaria do Ministério do Interior nº 158, de 03 de novembro de 1980 – Dispõe sobre o lançamento de vinhoto em coleções hídricas e sobre efluentes de destilarias e usinas de açúcar;
- Portaria do ministério do Interior nº 124, de 20 de agosto de 1980 – Normas para localização e construção de instalações que armazenem substâncias que possam causar poluição hídrica. CETESB / P4.231 /dez./06;
- Portaria do Ministério do Interior nº 323, de 29 de novembro de 1978 – Proíbe o lançamento de vinhoto em coleções de água;
- Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04, de 25 de março de 2004 – Estabelece procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

As leis federais começaram pelo estado de São Paulo, onde o cultivo da cana foi mais intenso, e conseqüentemente surgiram as primeiras destilarias. A norma CETESB (2006) levou em consideração aspectos da Legislação Federal e Estadual, além de normas técnicas ABNT para estabelecer critérios e procedimentos para o armazenamento, transporte e aplicação da vinhaça, gerada pela atividade sucroalcooleira no Estado de São Paulo.

Como a legislação existente nos demais estados é genérica ao tratar sobre o lançamento de resíduos sobre o solo, a forma de distribuição no campo e a quantidade aplicada de vinhaça como fertilizante é feita a critério do produtor ou da empresa.

2.4 EFEITO DA VINHAÇA NA FERTILIDADE DO SOLO

A aplicação de vinhaça como fertilizante tem se constituído em uma forma econômica e tecnicamente recomendável para áreas de produção de cana-de-açúcar próximas às usinas sucroalcooleiras. Isso ocorre porque a vinhaça aumenta a disponibilidade de nutrientes, seja pela ação direta dos componentes da matéria orgânica e a presença de nutrientes, seja pela ação indireta do aumento do pH do solo, e a atividade microbiana e ainda melhora os atributos físicos do solo (GLORIA;

MAGRO, 1977; CAMARGO;VALADARES; GERALDI, 1983; CAMARGO et al., 1984; SENGIK; RIBEIRO; CONDÉ, 1988; BRITO; ROLIM; PEDROSA, 2009). Porém o uso indiscriminado da vinhaça pode causar problemas, como o desbalanceamento de cátions que é prejudicial às plantas (CAMARGO et al., 1984; SENGIK, RIBEIRO; CONDÉ, 1988; BRITO; ROLIM; PEDROSA, 2009).

Camargo, Valades e Geraldi (1983) verificaram que doses crescentes de vinhaça provocaram o acréscimo de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , e, também, o aumento do pH em um Latossolo Vermelho-escuro de textura média. Do mesmo modo, ocorreu o aumento nos teores dos micronutrientes, porém, a recuperação dos nutrientes não foi total, provavelmente devido a retenção nos colóides do solo e precipitação, ou lixiviação no perfil.

Trabalhando com um Latossolo Roxo distrófico incubado em condições de laboratório com vinhaça "in natura", vinhaça concentrada e vinhaça nas quantidades correspondentes a 300 e 750 $kg \cdot ha^{-1}$ de K, Camargo et al, (1984) concluíram que houve pequeno aumento de pH entre o 3º e 14º dia para todos os tratamentos, inclusive para a testemunha, diminuindo em seguida, com tendência a se estabilizar no período de 30-60 dias da aplicação. Os Autores relatam que, um dos fenômenos que pode ter interferido nesse aumento rápido do pH pode ser a quebra de proteínas dando proteoses, peptonas, polipeptídeos, aminoácidos e, finalmente, o íon amônio. A condutividade elétrica não atingiu valores nocivos para plantas com as dosagens usadas; entretanto eles verificaram que houve elevação proporcional dos sais solúveis com a dose de resíduos, indicando que, dependendo das condições, há perigo de salinização do solo.

Segundo De Holanda et al. (1999), os elevados teores de K no complexo sortivo do solo podem acarretar acréscimos também na solução do solo, propiciando lixiviação dos nutrientes em profundidade.

Após 90 dias, um Latossolo Vermelho distrófico, incubado do mesmo modo em condições de laboratório, que recebeu uma dose correspondente a 100 $m^3 \cdot ha^{-1}$ de vinhaça, foi constatado um aumento significativo de pH, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . Além disso, houve amenização dos efeitos tóxicos do alumínio trocável (CARNEIRO et al., 2009).

A adição de doses crescentes de vinhaça (0, 50, 100, 200 e 400 $m^3 \cdot ha^{-1}$) na superfície de dois tipos de solo, Latossolo Vermelho-amarelo distrófico e um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico distrófico, indicou que o efeito nas

propriedades químicas do primeiro solo atingiu maiores profundidades, com doses mais elevadas, já no segundo solo o efeito se restringiu à camada superficial (SENGIK, RIBEIRO e CONDÉ, 1988). Os autores observaram acréscimo de bases trocáveis, redução dos teores de alumínio e hidrogênio trocáveis e aumento do pH e também, que os maiores teores de potássio na vinhaça, em relação ao cálcio e magnésio, resultaram em um desbalanceamento entre esses cátions podendo causar consideráveis prejuízos aos vegetais. O teor de carbono orgânico aumentou apenas na maior dose no Latossolo.

Em estudo realizado por Brito, Rolim e Pedrosa (2009) utilizando três classes de solo representativas da zona canavieira do Estado de Pernambuco (Espodossolo Humilúvico Órtico durico arênico, Nitossolo Háplico Eutrófico típico e Argissolo Amarelo Distrófico fragipânico) a aplicação de vinhaça, além de elevar o pH do solo, também aumentou a concentração de K e Ca, no entanto, provocou a deslocamento de Na, facilitando a lixiviação desse elemento, exceção feita ao Espodossolo, que não apresentou alterações significativas nos parâmetros estudados. Já o carbono orgânico não foi alterado, apesar das doses de vinhaça terem sido de 350 e 700 m³ ha⁻¹.

A aplicação de 300 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de vinhaça em três tipos de solo, Espodossolo Ferrihumilúvico Órtico espessarênicos, Espodossolo Ferrihumilúvico Órtico espessarênicos e Argissolo Amarelo e Distrocoeso latossólico, por um período de 7, 3 e 15 anos respectivamente, provocou aumento de K em todas as profundidades estudadas, 0-10,10-20 e 20-40 cm, independente dos períodos de aplicação, contudo, não houve alteração no pH (BEBÉ et al., 2009).

2.5 EFEITO DA VINHAÇA NAS PLANTAS

Quando é destinada à fertirrigação de culturas agrícolas, a vinhaça fornece K e outros nutrientes com o Ca e Mg. Esta é uma das formas mais viáveis para seu uso, visto que a utilização de resíduos na agricultura reduz os custos, por atender as exigências nutricionais das culturas, manter a produção e diminuir a aquisição de fertilizantes.

Com o objetivo de avaliar a vinhaça como fonte de K para o abacaxizeiro (*Ananas Comosus* L.), em substituição ao KCl, Holanda et al. (1999) realizaram um experimento em Latossolo Vermelho, textura argilosa, os tratamentos

constaram de quatro doses de vinhaça (0 - 100 - 200 - 400 m³ ha⁻¹) e 12 g/planta K₂O (KCl). Os autores concluíram que a vinhaça na dosagem adequada substituiu o KCl como fonte de K para o abacaxizeiro, com aumento no rendimento; com 400 m³ ha⁻¹ de vinhaça os frutos tiveram um acréscimo de 70% em seu peso. A vinhaça aumentou, também, a acidez e sólidos solúveis totais dos frutos pelo maior fornecimento de K.

Outra cultura que recebeu adubação com vinhaça foi a cebola, os tratamentos constaram da aplicação de oitos doses do subproduto (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180 e 210 m³ ha⁻¹) e 1,5 Mg ha⁻¹ de 4-14-8, em um Latossolo Vermelho e verificaram que a produção máxima de bulbos ocorreu com a aplicação de 160 m³ ha⁻¹ de vinhaça, o que representou um acréscimo aproximado de 100% em relação à testemunha e semelhante à produção com a fórmula comercial (PAULA, CARVALHO E NOGUEIRA, 1992)

Ramos et al. (2008) verificaram o efeito da aplicação ao solo de vinhaça (50 m³ ha⁻¹) na emergência de plântulas e no desenvolvimento inicial de girassol, mamona e amendoim, em casa de vegetação. Os resultados atestaram que a aplicação de 150 m³ ha⁻¹ de vinhaça ao solo foi prejudicial à emergência e ao desenvolvimento inicial de plantas de amendoim e em menor grau, de girassol, independentemente da cultivar estudada; para mamona, a interferência ocorreu de forma positiva, principalmente sobre as variáveis relacionadas ao vigor inicial das plântulas.

Azania et al. (2004) instalaram um experimento em casa de vegetação visando determinar os efeitos da aplicação de resíduos das destilarias de álcool sobre o desenvolvimento e a composição química de plantas de guanxuma (*Sida rhombifolia*), capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) e cana-de-açúcar (variedade RB72454), cultivadas simultaneamente em casa de vegetação. As concentrações foram de 12,5; 25,0; 50,0; e 100,0% (v/v) de cada subproduto e a testemunha (água), foram aplicadas numa taxa equivalente a 150 m³ ha⁻¹. Os resultados obtidos mostraram que a vinhaça prejudicou a emergência e o desenvolvimento de *B. decumbens*, bem como o de *S. rhombifolia*, mas não o da cana-de-açúcar. A vinhaça na maior concentração foi a principal responsável pela redução da emergência das plântulas, possivelmente tenha proporcionado um maior potencial osmótico em torno das sementes pela concentração de sais (K, Mg e Ca) e também elevação do pH no solo.

De acordo com Paulino et al. (2011), estudando um Latossolo Vermelho de textura areia franca submetido a doses de $150 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ de vinhaça durante 1, 2, 3, 4, 12 e 20 anos, verificou que a distribuição de raízes decresceu até 0,20 m de profundidade e na profundidade de 0,20 a 0,40 m mostrou-se crescente com o aumento do tempo de aplicação de vinhaça; a produtividade da cana-de-açúcar mostrou-se sensível ao acréscimo da concentração de K no solo.

Medina et al. (2002) estudaram a quantidade e a distribuição das raízes e a produção de cana-de-açúcar, em Latossolo Vermelho tratado com doses de vinhaça (0, 150, 300, 450 e $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), os autores concluíam que a vinhaça aplicada nas doses de 300 e $450 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ proporcionou maiores produtividades de colmos; para o enraizamento a dose de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de foi a mais eficiente na camada de 0,25 a 0,50 m de profundidade; no geral a aplicação de vinhaça aumentou a área total raízes, principalmente na profundidade de 0 a 0,25 m.

Visando a avaliação do efeito da aplicação de lodo de esgoto como fonte de N e vinhaça como fonte de K, comparado ao uso de fontes minerais desses nutrientes sobre a produtividade de cana-de-açúcar, por dois anos consecutivos (cana-planta e cana-soca), Tasso Junior et al. (2007) conduziram o experimento a campo em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, com aplicação de 5 e 10 Mg ha^{-1} de lodo de esgoto e 115 e $230 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de vinhaça. Os resultados atestaram que a utilização dos resíduos em qualquer uma das combinações estudadas resultou em produtividades agrícolas nos mesmos níveis daquelas obtidas com a fertilização mineral. Quando se considerou os diferentes tipos de resíduos, os maiores valores de °Brix foram encontrados nas parcelas com aplicação exclusiva de vinhaça.

Pereira et al. (1992) estudaram os efeitos da aplicação de doses crescentes de vinhaça sobre a germinação e vigor de sementes de milho, as doses de vinhaça foram equivalentes a 0, 100, 200, 400, 600, 800 e $1.000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, aplicadas em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. Os resultados mostraram uma diminuição na velocidade de emergência das plântulas com aumento nas doses aplicadas, sem afetar, entretanto, a percentagem de germinação total. Houve também um aumento na produção de matéria verde e matéria seca da parte aérea do milho com aplicações das doses crescentes de vinhaça.

2.6 EFEITO DA VINHAÇA NA BIOLOGIA DO SOLO

As práticas de manejo utilizadas em um sistema de produção podem afetar de forma direta e indireta a fauna do solo. Os impactos diretos correspondem à ação mecânica da aração e gradagem e aos efeitos tóxicos do uso de agrotóxicos, já os efeitos indiretos estão relacionados à modificação da estrutura do habitat e dos recursos alimentares (GIRACCA et al., 2003).

Devido a sua origem, a vinhaça é tida como “extrato de levedura” diluído, constituindo um meio complexo que, se aplicado ao solo como fertilizante, favorece o desenvolvimento de microorganismos, pois além de incorporar nutrientes e implementar suas condições físico-químicas representa uma fonte de alimento adicional. A vinhaça atua sobre os diversos processos biológicos, tais como a mineralização e imobilização de nitrogênio, e sua nitrificação, desnitrificação e fixação biológica (FREIRE; CORTEZ, 2000).

Os efeitos da aplicação de vinhaça de mosto de melaço sobre as populações microbianas de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo foram estudados por Neves et al. (1983), que incubaram o solo com diferentes doses de vinhaça *in natura* complementada com molibdênio (objetivando o suprimento deste micronutriente essencial aos organismos fixadores de nitrogênio) e com fosfato-de-Araxá (visando a adequação ao nível de fósforo, que é baixo na vinhaça). O experimento, conduzido *in vitro*, mostrou aos autores que a população de fungos, principalmente dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*, foi estimulada pela adição de vinhaça, alcançando o máximo com dezesseis dias de incubação.

Um dos métodos utilizados para averiguar as modificações na atividade microbiana do solo é medir o CO₂ coletado em solução de KOH. Visando constatar se a deposição de vinhaça no solo pode acarretar modificações duradouras na atividade microbiana no solo tratado ou não com herbicida 2,4D, Lopes et al (1986 -a) realizaram a aplicação de vinhaça por quatro vezes, de seis em seis meses, em doses de 0, 100 e 1.000 m³ ha⁻¹, em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico textura argilosa em condições de laboratório. Após seis meses foram feitas as determinações de CO₂. A evolução de CO₂ aumentou significativamente com as doses de vinhaça, evidenciando o seu efeito na respiração do solo mesmo depois de seis meses de sua aplicação. Segundo Silva et al (2010) a quantidade de CO₂

liberada na área de cultivo da cana-de-açúcar aumentou em média 4% após a aplicação da vinhaça no local.

Santos et al. (2009) avaliaram os efeitos da irrigação com vinhaça sobre a microbiota de solo tratado com três níveis diferentes de vinhaça (equivalentes a 200, 400 e 600 m³ ha⁻¹), os resultados mostraram que a adição de vinhaça resultou em aumento da população de fungos, a partir dos 30 dias de incubação; já a população de bactérias apresentou crescimento apenas a partir de 120 dias; nos actinomicetos a adição da vinhaça causou um decréscimo significativo, diminuindo essa diferença a partir dos 60 dias de incubação, destacando-se a adição do nível de vinhaça 600 m³ ha⁻¹ com o menor crescimento. Segundo os autores, ao diminuir o estresse competitivo entre os microrganismos pelos compostos mais fáceis de serem assimilados aumentaria provavelmente a sua população; a adição de 200 m³ ha⁻¹ aumentou significativamente a população de celulolíticos, enquanto que os níveis maiores provocaram a diminuição.

Uma vez que leguminosas têm sido indicadas para cultivo intercalar com a cana-de-açúcar, é de interesse que se tenha a avaliação do efeito da vinhaça no *Rhizobium* presente no solo (autóctone). Lopes et al. (1986, b) realizaram um experimento que objetivou a verificação da influência da aplicação contínua, durante três anos, de concentrações crescentes de vinhaça (0, 100 e 1.000 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), com intervalos de seis meses entre aplicações, na população autóctone de *Rhizobium* que nodula amendoim, soja, feijão e crotalária. A aplicação da vinhaça pareceu ter um efeito variado sobre a população de *Rhizobium* do solo. Na soja somente as plantas inoculadas com solo tratado com 1.000 m³ ha⁻¹ de vinhaça apresentaram nodulação; para crotalária o tratamento com 1.000 m³ ha⁻¹ de vinhaça aumentou significativamente a nodulação das plantas, com conseqüente aumento na incorporação de nitrogênio nessas plantas e maior peso da parte aérea; para feijão e amendoim a nodulação das plantas diminuiu quando inoculadas em solo com vinhaça.

Marçal (2009) avaliou os impactos da cultura da cana-de-açúcar e seu manejo (método de colheita, com e sem uso de fogo, e aplicação ou não de vinhaça), sobre a mesofauna edáfica. Os resultados evidenciaram que a aplicação de vinhaça, apesar de mudar de forma importante a fertilidade do solo, teve menor efeito sobre as comunidades da fauna edáfica. Contudo, houve diferença nos

tratamentos com cana-de-açúcar que mantiveram a associação de palhada e a aplicação de vinhaça, estes apresentaram as maiores densidades na mesofauna.

A incorporação de matéria orgânica ao solo cria condições favoráveis para multiplicação de inimigos naturais da população de fitonematóides, principalmente fungos, além de promover formação de substâncias orgânicas, tais como ácidos graxos voláteis, que podem apresentar ação nematicida. Com o objetivo de avaliar o efeito da vinhaça sobre a eclosão e reprodução dos nematóides de galhas *Meloidogyne incognita* e *M. javanica*, Pedrosa et al. (2005) utilizaram vinhaça a 1,0 e 0,5 °Brix, em diferentes tempos de exposição ao resíduo: 3, 7, 17 e 27 dias. Os resultados indicaram que a exposição de ovos dos nematóides à vinhaça exerceu efeito negativo sobre a eclosão de ambas as espécies do parasita, sendo este diretamente proporcional ao volume de vinhaça adicionado. Matos et al (2011) respaldaram o efeito supressor da vinhaça sobre os endoparasitos *Meloidogyne* sp. e *Pratylenchus* sp., no entanto, esse efeito não se estendeu a outros fitonematóides, a exemplo de *Criconemella* sp. que se mostrou tolerante ao resíduo.

2.7 EFEITO DA VINHAÇA NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

O solo sob vegetação nativa, apresenta, comumente, características físicas desejáveis, como densidade e porosidade do solo adequada, boa permeabilidade, boa condutividade hidráulica e estabilidade dos agregados. As alterações nos atributos físicos ocorrem à medida que a cobertura vegetal original é substituída para a produção de culturas agrícolas, segundo os diferentes uso e manejo que o mesmo é submetido.

O uso do solo para atividade agrícola, sobretudo em sistemas de preparo convencional, tende a reduzir a quantidade de matéria orgânica, reduzir o diâmetro médio e a estabilidade dos agregados, reduzir a macroporosidade, causar camadas compactadas que impedem o desenvolvimento das raízes, reduzir a velocidade de infiltração da água no solo, favorecendo o escoamento superficial de água.

A utilização de resíduos orgânicos na fertirrigação como a vinhaça, provoca aumento na quantidade de carbono orgânico do solo. A matéria orgânica apresenta uma grande concentração de grupos funcionais, dentre os quais se

destacam os carboxílicos, os quais apresentam a capacidade de estabelecer interações por reações de coordenação com os grupos funcionais –OH presentes na superfície dos minerais (INDA JUNIOR et al., 2007). Estas ligações são de alta energia, o que provoca aumento na estabilidade de complexos organo-minerais e a manutenção dos agregados e aumento da porosidade do solo. O aumento dos macroporos diminui a densidade do solo e favorecem a entrada de ar e a drenagem de água.

Além de influenciar na estabilidade do solo a adição de matéria orgânica proporciona aumento na área específica, maior capacidade de retenção de água e aumenta a necessidade de quantidades maiores para a formação de filmes de água ao redor das partículas minerais, resultando assim em aumento dos limites de plasticidade e consistência (SILVA et al., 2005).

O aporte de matéria orgânica fornecido através da adição de vinhaça, funciona como substrato para a atividade microbiana do solo, estes organismos contribuem na aglutinação das partículas do solo em função da mucilagem excretada no metabolismo de açúcares de cadeia pequena, presentes em grande quantidade na vinhaça, de tal forma que a aplicação de altas taxas do resíduo mais o tempo adequado de incubação provocam o aumento na estabilidade estrutural (CAMARGO; VALADARES; GERALDI., 1983).

Camargo, Valadares e Geraldi (1983) estudaram o efeito da aplicação de doses crescentes de vinhaça (10.000, 28.000 e 43.000 m³ ha⁻¹) em diferentes períodos de aplicação (4, 5 e 3 anos respectivamente) em um Latossolo Vermelho-Escuro, textura média. Os dados evidenciaram aumento na resistência dos agregados nas parcelas que apresentaram maiores índices de matéria orgânica. Houve elevação dos limites de liquidez das amostras que receberam vinhaça em comparação com a testemunha, podendo estas áreas serem trabalhadas com umidade superior à da testemunha sem causar problemas de desagregação.

Silva et al. (2005) avaliaram os efeitos de diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo coeso, quatro áreas foram selecionadas: uma não irrigada, uma área irrigada, uma com aplicação de vinhaça e uma sob floresta nativa como condição original. O maior grau de dispersão de argila nos solos cultivados com cana-de-açúcar promoveu maior acúmulo desta partícula nas camadas subsuperficiais do solo. Os sistemas de manejo com cana-de-açúcar aumentaram a compactação do

solo, com conseqüente redução da macroporosidade e condutividade hidráulica saturada, e aumento da retenção de água disponível do solo. A área que recebeu aplicação de vinhaça teve a menor redução de macroporos em relação aos tratamentos, sendo de 55, 44 e 32% nos solos sob os três sistemas, sequeiro, irrigado e vinhaça, respectivamente, em relação ao solo da mata, na camada de 0–0,2 m.

Em uma área de Latossolo Amarelo distrocoeso dos tabuleiros costeiros de Alagoas, Vasconcelos et al. (2010) selecionaram três áreas em talhões de produção com a cultura da cana-de-açúcar : uma área cultivada sob sistema de manejo irrigado, uma área sob sistema de manejo de fertirrigação com vinhaça (300 m³ ha⁻¹) e uma área sob sistema de manejo com aplicação de vinhaça + torta de filtro. Os sistemas de manejo das áreas cultivadas foram comparados entre si em relação a um fragmento de Mata Atlântica nativa. Os tratamentos que receberam resíduos orgânicos da cana-de-açúcar na forma de aplicação de vinhaça e de vinhaça adicionada de torta de filtro apresentaram menor degradação dos atributos físicos e químicos do solo. Nas camadas de 20 a 40 cm e de 40 a 60 cm a vinhaça foi mais eficiente no aumento do limite de plasticidade, a ação deveu-se à capacidade de, em sua forma líquida, infiltrar-se mais no solo, pela ausência dos resíduos de torta de maior tamanho.

Estudando as alterações químicas e físicas de um Latossolo Vermelho distroférico argiloso submetidos à aplicação anual de lodo de esgoto e vinhaça, com a finalidade exclusiva de fornecer a quantidade necessária de N e K para cana-de-açúcar, Camilotti et al. (2006), observaram que a porosidade total, a macroporosidade, a microporosidade, a densidade do solo e a densidade de partícula nas diferentes camadas do solo, não foram alteradas com aplicações de lodo de esgoto e/ou vinhaça. Os atributos físicos do solo não foram alterados porque não houve incremento na matéria orgânica pela quantidade que foi aplicada, mesmo após a realização de quatro aplicações anuais sucessivas e a conclusão de quatro ciclos da cultura, a dose foi determinada com objetivo de fornecer os teores de N e K requerida pela cana-de-açúcar.

A infiltração é definida como a passagem de água da superfície para o interior do solo, constituindo-se num dos mais importantes processos que compõem o ciclo hidrológico por ser fator determinante da disponibilização de água para as culturas, da recarga dos aquíferos subterrâneos, da ocorrência e magnitude

do escoamento superficial e do manejo do solo e da água (DALRI et al., 2010). Estudando um solo de textura franco arenosa onde foram aplicadas doses crescentes de vinhaça, (0, 200, 250, 300 e 350 m³ ha⁻¹), Dalri et al. (2010) concluíram que apesar do alto teor de matéria orgânica presente na vinhaça ter ação cimentante, propiciando assim a agregação e a porosidade do solo, para o solo arenoso estudado, não houve elevação a taxa infiltração de água do solo. Segundo os autores a causa foi o selamento inicial da camada superficial causado pela aplicação do resíduo.

2.7.1 Efeito da Vinhaça na Estabilidade de Agregados

Para que se tenha alta produtividade agrícola com sustentabilidade, a manutenção de uma estrutura adequada do solo é condição primordial, pois esta está relacionada com a infiltração e retenção de água, difusão do ar, com a temperatura do solo, e com o sistema radicular das plantas. Deste modo, quando a infiltração de água é baixa ou diminui em função do manejo, o solo se torna mais suscetível ao processo de erosão, principalmente nos sistemas de manejo que adotam revolvimento intensivo com baixas taxas de adição de resíduos orgânicos (restos de cultura, raízes, exsudações); assim, o teor de matéria orgânica do solo é afetado, bem como a formação e estabilização dos agregados do solo (Tisdall & Oades, 1982).

A estabilidade dos agregados tem sido relacionada à habilidade do solo de resistir às forças externas que promovem a compactação do solo (SOANE, 1990). As características que influenciam nessa agregação são cátions trocáveis, óxidos, matéria orgânica particulada e associada aos minerais do solo (CASTRO FILHO et al., 2002).

A matéria orgânica, os minerais de argila e os óxidos de Fe são os agentes cimentantes que mais contribuem para a agregação do solo (PASSARIM et al., 2007). Entretanto, a matéria orgânica é mais eficiente na formação de agregados estáveis graças à contribuição da atividade microbiana, à fauna terrestre e à vegetação, fatores estes que se associam à presença da matéria orgânica no solo (KIEHL, 1979). Silva (1993) verificou correlação positiva entre o diâmetro médio ponderado dos agregados obtidos por peneiragem via úmida e os teores de carbono

orgânico total e óxido de ferro, enfatizando a influência destes compostos na estabilização dos agregados.

A estabilidade dos microagregados está relacionada à matéria orgânica associada aos minerais, que é a fração mais estável da matéria orgânica do solo, sendo formada pela fração que está complexada às partículas de silte e argila, formando complexos organominerais resultantes de diversos agentes ligantes como substâncias húmicas, óxidos de ferro e alumínio, e pelos produtos de excreção microbiana (SHANG; TIESSEN, 1998), o que faz com que os microagregados sejam mais resistentes à desagregação pela ação de água, impacto de gotas de chuva e pressões mecânicas impostas pelas práticas agrícolas (TISDALL; OADES, 1982).

Já no caso dos macroagregados, a estabilidade é dependente não só da matéria orgânica associada aos minerais, mais também da matéria orgânica particulada, que é formada por fragmentos de raízes finas, hifas de fungos e resíduos orgânicos em diversos estágios de decomposição (GOLCHIN et al., 1997), que unem os microagregados entre si, formando os macroagregados (TISDALL; OADES, 1982).

Sabe-se que o incremento de matéria orgânica no solo influencia distribuição de micro e macroporos do solo, favorecendo sua aeração e capacidade de infiltração e retenção de água e a manutenção da estabilidade dos agregados é de fundamental importância para a resistência do solo às pressões externas, protegendo-o contra a erosão.

A agregação das partículas de solo tratado com vinhaça por longo tempo se dá, principalmente, em função da mucilagem excretada pelos microrganismos que metabolizam açúcares de cadeia pequena, presentes em grande quantidade na vinhaça, de tal forma que altas taxas de aplicação do resíduo juntamente com o tempo adequado de contato com o solo favoreceriam a aglutinação das partículas, promovendo aumento na sua estabilidade estrutural (Camargo et al., 1983).

Passarin et al. (2007), trabalhando com doses crescentes de vinhaça (0; 150; 300; 450; e 600 m³ ha⁻¹) aplicadas em um Latossolo Vermelho distroférico típico textura muito argilosa cultivado com cana-de-açúcar, observaram que os tratamentos não promoveram mudanças significativas nos diâmetros médios ponderado e geométrico (DMP e DMG) e no índice de estabilidade de agregados (IEA). Esses resultados foram atribuídos à quantidade de material orgânico contido

na vinhaça natural, que não foi suficiente para promover a agregação das partículas do solo, ou, por ser altamente biodegradável, não conseguir atuar como agente cimentante.

Em um experimento conduzido em Argissolo Amarelo Distrocoeso latossólico textura média/argilosa, quatro situações distintas de uso do solo foram escolhidas: uma coberta por vegetação nativa (floresta subperenifólia) (MA) e outras três cultivadas continuamente com cana-de-açúcar, manejo sem irrigação (MSI); manejo com irrigação (MCI) e manejo de fertirrigação com vinhaça (MCV), 500 m³ de vinhaça diluída anualmente, durante 25 anos. Neste trabalho Oliveira et al. (2010) observaram que os valores de diâmetro médio ponderado (DMG), módulo de finura (MF) e a porcentagem de agregados > 2mm (AGRI) foram superiores no solo de mata em relação aos demais, o que indicou que, ao longo do tempo, os manejos contribuíram para a degradação dos solos. De maneira geral, o DMP, o MF e o AGRI decresceram na seguinte ordem: MA > MCV > MCI > MSI. O sistema de cultivo do solo com vinhaça (MCV) foi o que mais se aproximou da condição natural, segundo os autores isso ocorreu em função da menor redução de carbono orgânico, possivelmente, em decorrência da adição de matéria orgânica sob a aplicação do insumo. O carbono orgânico se correlacionou adequadamente com os valores de diâmetro médio ponderado (DMP), módulo de finura (MF) e porcentagem de agregados > 2 mm (AGRI) estáveis em água na avaliação da estabilidade dos agregados do solo. Estes resultados corroboram com os encontrados por Silva et al. (2006) que trabalharam com os mesmos sistemas de manejo com cana-de-açúcar, no entanto em um Argissolo Amarelo Coeso latossólico textura média/argilosa, os autores acrescentaram que a vinhaça proporcionou melhores condições de fertilidade, o que favoreceu o maior desenvolvimento de raízes que contribuiu por final na agregação.

Vasconcelos et al. (2010) selecionaram áreas em talhões de produção com a cultura da cana-de-açúcar em um Latossolo Amarelo distrocoeso: uma área cultivada sob sistema de manejo irrigado, uma área sob sistema de manejo de fertirrigação com vinhaça e uma área sob sistema de manejo com aplicação de vinhaça + torta de filtro (300 m³.ha⁻¹). Esses sistemas de manejo foram comparados entre si e em relação a um fragmento de Mata Atlântica. As análises mostraram que os sistemas de cultivo da cana-de-açúcar com a aplicação de vinhaça adicionada à torta e da vinhaça isoladamente mostraram-se eficientes no

desenvolvimento dos agregados, como constatado pela ocorrência de macroagregados; em todos os tratamentos com aplicação de resíduo houve aumento do diâmetro médio ponderado dos agregados via úmida. Os resultados evidenciaram que o processo de estabilização dos agregados desse solo está associado ao teor de matéria orgânica. Na camada superficial, principalmente, à medida que o teor de matéria orgânica diminuiu, pelo revolvimento excessivo do solo ou pelo baixo aporte de material orgânico proporcionado pelos sistemas de manejo, decresceu a estabilidade dos agregados desse solo.

2.7.2 Efeito da Vinhaça na Dispersão de Argila do Solo

A dispersão das partículas coloidais do solo está relacionada com a interação das cargas elétricas na superfície, estas podem ser geradas por substituição isomórfica (permanentes) ou por dissociação de radicais (variáveis) (SPERA et al, 2008). Por ação do intemperismo ocorrem o decréscimo das cargas permanentes e o aumento das cargas variáveis.

A estabilidade dos agregados do solo depende da textura, mineralogia (óxidos e silicatos), teores e tipos de cátions, e pH da matéria orgânica (FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999). Esses fatores são determinantes da espessura da dupla camada difusa, que é um dos fatores que influenciam a dispersão e floculação de partículas.

A espessura da dupla camada difusa é alterada pela concentração e tipo de eletrólitos (íons Na, K, etc.). Quanto maior a carga, maior também será a força de atração, razão pela qual os cátions bivalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}) são atraídos pela superfície da argila com maior força eletrostática que os monovalentes (Na^+ e K^+). Cátions com alto grau de hidratação formam complexos de esfera externa e aumentam a distância entre as partículas; desse modo, as forças de atração de curto alcance não se manifestam e o sistema dispersa (SPERA et al, 2008).

A adsorção de ácidos orgânicos pelos colóides minerais causa um incremento das cargas negativas do sistema, por outro lado, pode promover alterações no pH do solo, favorecendo a manifestação de cargas variáveis (BENITES; MENDONÇA, 1998). De acordo com os mesmo autores, parte do ácido húmico pode-se distanciar da superfície do colóide orgânico, reduzindo seu potencial de repulsão eletrostática, sem deixar de participar das reações de troca com os íons

determinadores de potencial. Dessa forma, as argilas complexadas pelo ácido húmico precipitam, sem que ocorra a neutralização de todas as cargas orgânicas.

Além desses processos, as macromoléculas orgânicas podem promover a agregação de partículas pela ligação simultânea com duas ou mais superfícies, sem que haja a neutralização total das cargas. Embora as forças de repulsão eletrostática continuem atuando, as forças de ligação organominerais podem-se sobrepor a estas, evitando a dispersão.

Silva et al. (2006) estudando os efeitos de diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar nas propriedades físicas e químicas de um Argissolo Amarelo coeso latossólico textura média/argilosa, concluíram que o aumento do pH promovido pela aplicação de vinhaça resultou em aumento da dispersão de argila em solos de carga variável, devido à geração de cargas negativas nas partículas do solo. Apesar disso, entre os tratamentos, constituídos de uma área não irrigada, uma área irrigada e uma com aplicação de vinhaça, o último foi o que apresentou os menores valores de argila dispersa em água, que, segundo os autores, provavelmente está relacionado aos maiores teores de cátions considerados floculantes, como cálcio e magnésio, nesses solos.

Estudando as alterações físicas e químicas de três tipos de solo, Espodossolo Ferrihumilúvico Órtico espessarênicos, Espodossolo Ferrihumilúvico Órtico espessarênicos e Argissolo Amarelo e Distrocoeso latossólico que receberam $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de vinhaça, por um período de 7, 3 e 15 anos respectivamente, Bébé et al. (2009) inferiram que os elementos Ca e Mg se correlacionaram negativamente com os teores de areia e positivamente com os teores de silte, à proporção em que aumentou a quantidade de areia em profundidade, verificou-se redução do Ca e Mg.

Trabalhando em condições de laboratório, Ranzani (1955/56) *apud* Freire e Cortez (2000), aplicou doses crescentes de vinhaça sulfúrica ao solo a razão de 50 a $1000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, e estudou o efeito dessa aplicação sobre algumas características físicas do solo, concluíram que no caso do solo argilo-siltoso, a aplicação de vinhaça *in natura* à razão de 100 e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ reduziu os teores de argila em relação a testemunha e a dose de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, enquanto que a dose de $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ aumentou o teor de silte apenas em relação à testemunha. Com relação ao solo areno-argiloso, todavia, nenhum efeito no tratamento com as doses de vinhaça foi observado.

Camilotti et al. (2010) estudando um Latossolo Vermelho distroférico argiloso submetido a doses anuais de vinhaça para fornecer 100% ou 200% de todo K requerido pela cana-de-açúcar, ou seja, 130 ou 260 kg ha⁻¹ de K₂O, observaram que o grau de floculação não foi influenciado pela fertirrigação. Isto ocorreu provavelmente porque não houve incremento de matéria orgânica nos tratamentos.

2.7.3 Efeito da Vinhaça nos Atributos Eletroquímicos do Solo

A distribuição de cargas elétricas é de fundamental importância para o entendimento de diversos fenômenos físico-químicos que ocorrem no solo, visto que a maioria das reações eletroquímicas que influenciam em sua fertilidade e nos mecanismos de dispersão e floculação dos colóides, ocorre na superfície dos constituintes das frações orgânica e mineral (ALLEONI; CAMARGO, 1994).

Os constituintes do solo podem ser classificados em dois grupos, aqueles com cargas permanentes ou constantes (principalmente argilas silicatadas) e aqueles com cargas variáveis (óxidos, hidróxidos e matéria orgânica). Por ação do intemperismo ocorrem o decréscimo das cargas permanentes e o aumento das cargas variáveis, a remoção da sílica e a presença de óxidos de Fe e Al na fração argila levam à formação de cargas positivas de natureza variável e de natureza permanente (BENITES; MENDONÇA, 1998).

Para o estudo do comportamento eletroquímico dos solos, Schofield (1949) foi o primeiro a propor a determinação do ponto de carga zero (PCZ) como o pH em que a carga líquida de um solo é igual a zero. O PCZ serve como um ponto de referência para avaliar o sinal da carga líquida da superfície ao pH atual do solo, ou seja, se ela está carregada positivamente ($\text{pH}_{\text{solo}} < \text{PCZ}$) ou negativamente ($\text{pH}_{\text{solo}} > \text{PCZ}$) (CHAVES; TRAJANO, 1992). Em valores de pH próximos ao PCZ, os colóides do solo apresentam baixo valor em módulo do potencial elétrico superficial, as forças de repulsão eletrostática são minimizadas, favorecendo a floculação (GILLMAN, 1974). Já a elevação do pH acima do PCZ aumentará a densidade de cargas negativas, o que equivale ao aumento na capacidade de troca catiônica do solo (CHAVES; TRAJANO, 1992).

As cargas superficiais e o PCZ dependem da proporção de cada componente de carga variável presente no sistema, e com a introdução de

moléculas, adsorvidas sobre as superfícies minerais, é possível modificar as reações de protonação/desprotonação (RIBEIRO et al., 2011). Com a adição de matéria orgânica (presente na vinhaça), ocorre um sistema de equilíbrio que irá promover alterações nas cargas em razão de fatores diretos e indiretos. A adsorção de ácidos orgânicos pelos colóides minerais irá causar um incremento das cargas negativas do sistema e, portanto, um abaixamento do PCZ (OADES, 1984). Por outro lado, a adição de matéria orgânica pode promover alterações no pH do solo, favorecendo a manifestação de cargas variáveis (BENITES; MENDONÇA, 1998).

Ribeiro et al. (2011) incubaram 0,1 g da fração argila de dois tipos de solo com 10 mL de vinhaça para análise de seus efeitos nas características eletroquímicas, as amostras foram retiradas do horizonte B de um Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf), textura muito argilosa, originado de basalto, com predominância de caulinita e hematita na fração argila e de um Gleissolo Melânico, textura argilosa, com teor de gibbsita superior a 950 g kg^{-1} na fração argila, sendo este material referenciado como gibbsita. O PCZ inicial das amostras foi de 7,8 para o LVdf e de 9,5 para a gibbsita. A adição de vinhaça promoveu a redução do valor de PCZ do LVdf de 7,8 para 3,9 em função do acréscimo de carbono orgânico, já a gibbsita não apresentou alteração, provavelmente pelo fato de ser constituído quase que exclusivamente por óxido de alumínio que contribui para aumentar as cargas positivas.

2.8 UTILIZAÇÕES DE RESÍDUOS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

O Brasil possui cerca de 200 milhões de hectares em algum estado de degradação, três vezes o total da superfície atual ocupada por lavouras. Em geral, estas áreas permanecem sem utilização ou ocupados por pecuária extensiva e de baixa produtividade (SAE, 2009).

Reverter a situação, recuperando extensas áreas degradadas, é uma das prioridades enumeradas no projeto “Agricultura Brasileira no Século XXI”, elaborado pela Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE). No entanto, a iniciativa esbarra no fato de que a recuperação de terras degradadas exige investimento elevado e há escassez de financiamento. Ao mesmo tempo, os custos de expansão para novas terras são mais baixos e atrativos.

Área degradada é aquela que sofreu, em algum grau, perturbações em sua integridade, sejam elas de natureza física, química ou biológica (EMBRAPA, 2011). Recuperação, por sua vez, é o conjunto de ações que visam proporcionar o restabelecimento de condições de equilíbrio e sustentabilidade existentes anteriormente em um sistema natural, restituindo, assim, sua capacidade produtiva de alimentos e matérias-primas ou na prestação de serviços ambientais (DIAS; GRIFFITH, 1998).

Em relação aos fatores de degradação, o superpastejo é responsável por 34% das áreas mundiais degradadas, seguido de desmatamento (29,4%), atividades agrícolas (28,1%), exploração intensa da vegetação para fins domésticos (6,8%) e atividades industriais ou bioindustriais (1,2%) (DIAS; GRIFFITH, 1998).

O manejo inadequado de solos agrícolas ocorre, principalmente, em decorrência do desconhecimento de técnicas conservacionistas, ausência de planejamento a longo e curto prazo e a maior pressão pelo uso do solo. Entre as principais causas de degradação de pastagens incluem-se o superpastejo, deficiência nutricional do solo, invasoras, pragas e doenças (CARVALHO, 1998). De acordo com Dias e Griffith (1998) outro aspecto a ser considerado refere-se a dificuldade de se diagnosticar a ocorrência da degradação, a erosão hídrica que causa grandes perdas de solo e nutrientes passa, muitas vezes, despercebida pelos agricultores.

A recuperação de áreas degradadas é um processo lento e, como tal, composto por várias etapas, que devem ser realizadas em sequência. Uma das alternativas para a destinação de resíduos orgânicos é a sua incorporação ao solo com a finalidade de auxiliar na recuperação de áreas degradadas, visto que apresentam os benefícios de contribuir na restituição de nutrientes, matéria orgânica e colaborar com a atividade biológica do solo, com uma vantajosa relação custo/benefício. Alguns trabalhos utilizando resíduos, como o lodo de esgoto, vêm sendo realizados com o objetivo de verificar o seu efeito na recuperação dessas áreas, no entanto não existem trabalhos com a utilização de vinhaça.

Em trabalhos realizados por Teixeira et al. (2005), Barbosa et al. (2007 a e b) e Barbosa & Tavares Filho (2009), os quais usaram o lodo de esgoto como resíduo rico em nutrientes (nitrogênio, fósforo e micronutrientes) e em matéria orgânica para a recuperação de áreas degradadas, os resultados demonstraram

melhorias nas propriedades físicas do solo, como da sua estrutura, agregação das partículas e densidade do solo, além de melhor desenvolvimento das plantas decorrente do aporte de nutrientes com rápido estabelecimento e crescimento de gramíneas e leguminosas nas áreas estudadas.

Modesto et al. (2009) verificaram o efeito da adição de lodo de esgoto e resíduos orgânicos (maravalha e torta de filtro de cana-de-açúcar) sobre o crescimento de duas espécies arbóreas de Cerrado e na recuperação de um subsolo de uma área degradada pela construção de uma usina hidrelétrica. Os tratamentos com lodo de esgoto proporcionaram maior atividade microbiana no substrato e maior crescimento para as duas espécies arbóreas. A presença do lodo de esgoto promoveu melhora na fertilidade do subsolo, com aumento dos teores de matéria orgânica, P, K, Ca e Mg. A matéria orgânica e o P tiveram seus teores elevados nos tratamentos com mistura de lodo de esgoto e demais resíduos. Os resultados permitiram concluir que as misturas contendo lodo associado a resíduos promoveram melhores incrementos na qualidade do subsolo, com perspectivas de sua recuperação.

Segundo Campos et al. (2011) o lodo de esgoto e a adubação mineral agiram de forma semelhante para a recuperação dos atributos físico-químicos do solo. Em terrenos degradados pela construção de obras civis a aplicação de 30 a 60 mg ha⁻¹ de lodo de esgoto foi suficiente para auxiliar na reestruturação do solo.

Com o dispostos levantou-se a possibilidade de que a vinhaça poderia também ser utilizada em áreas degradadas por erosão, podendo representar uma alternativa para a disposição final desse resíduo, visando reduzir os impactos ambientais e propiciar benefícios ao solo.

3 ARTIGO

USO DA VINHAÇA NA RECUPERAÇÃO DE ALGUNS ATRIBUTOS DE UM SOLO DEGRADADO

3.1 Resumo: A vinhaça, um dos principais resíduos das Usinas de açúcar e álcool, pode ser uma alternativa na recuperação de áreas degradadas pela erosão, visto que propicia benefícios físicos e químicos ao solo. Este trabalho objetivou verificar o efeito da vinhaça em atributos físico-químicos de solo degradado pela erosão. O estudo foi realizado com amostras de solos coletadas entre 0 – 0,2 m, em duas áreas com sinais de erosão superficial; sendo uma em Latossolo Vermelho distroférico, localizada em Bandeirantes (PR) e a outra em Latossolo Vermelho acriférico, localizada em Jaguapitã (PR). Os vasos foram preenchidos com 0,4 Kg de TFSA e mantidos em casa de vegetação, em um delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos correspondentes a 0, 50, 100, 150 e 200% da quantidade do resíduo necessária para que o K ocupasse 5% da CTC dos solos, com cinco repetições. Após o tempo de incubação de 90 dias, amostras foram coletadas para as análises químicas, granulométricas e de agregados. Foram analisados os teores de N, P, K, Ca, Al, Mg, carbono orgânico, pH em água, em KCl e CaCl₂, PCZ, argila dispersa em água e estabilidade de agregados em via úmida. Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão polinomial. Os resultados permitiram concluir que a aplicação de doses crescentes de promovem o aumento do pH e dos teores de cálcio, magnésio e potássio para ambos os solo, o fósforo apresentou acréscimo apenas no solo argiloso. Já o alumínio decresce com o aumento das doses. Em ambos os solos, o PCZ estimado apresentou valor menor do que o pH do solo, indicando que os solos permanecem carregados negativamente, favorecimento da dispersão do solo. A redução mais pronunciada do GF no solo argiloso ocorreu entre as doses 0 -50. Para a amostra de solo mais arenoso, o maior GF ocorreu para a dose 100. O DMP, DMG e IEA, não foram influenciados pelas doses de vinhaça utilizadas neste trabalho, nas duas amostras de solo.

Termos de indexação Resíduos. Floculação. PCZ. Matéria orgânica. Agregação.

Abstract: The vinasse, a major waste of Sugar and Alcohol, pose as an alternative in the recovery of degraded areas by erosion, since that provides benefits to physical and chemical attributes to the soil. This study aimed to determine the effect of vinasse on physico-chemical attributes of degraded soil by erosion. The study was conducted with soil samples collected from 0 to 0.2 m in two areas with signs of erosion, one in Oxisol, located in Bandeirantes (PR) and the other in an Ustox, located in Jaguapitã (PR). The pots were filled with 0.4 kg of air dried soil and kept in a greenhouse in a completely randomized design with five treatments of 0, 50, 100, 150 and 200% of the amount of residue needed to K occupy 5% of CEC of the soil, with five replicates. After the incubation time of 90 days, samples were collected for chemical analysis, particle size and aggregate. We analyzed the levels of N, P, K, Ca, Al, Mg, organic carbon, pH, KCl and CaCl₂, PCZ, water dispersible clay and aggregate stability in the wet. The data were subjected to analysis of variance and regression. The results showed that application of increasing doses it increases the pH and concentration of calcium, magnesium and potassium for both soil phosphorus showed an increase only in the clay soil. The aluminum decreases with increasing doses. In both types of soils, estimated PZC presented value less than the soil pH, indicating that the soil remaining negatively charged, facilitating the dispersion of the soil. The more pronounced reduction of the F in clay soil occurred between doses 0 - 50. To a sample of sandy soil, the higher F occurred at the dose 100. The AD, GMD and SIA, were not influenced by vinasse doses used in this work, in two soil samples.

Keywords Waste. Flocculation. PCZ. Organic matter. Aggregation.

3.2 INTRODUÇÃO

A vinhaça é um dos principais resíduos da indústria sucroalcooleira. São gerados, em média, 18 litros para cada litro de etanol. O descarte apropriado deste resíduo tornou-se um desafio em função do grande volume produzido e por ser altamente poluente devido à presença de alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), corrosividade e baixo pH (FREIRE & CORTEZ, 2000).

O Brasil possui cerca de 200 milhões de hectares em algum estado de degradação, três vezes o total da superfície atual ocupada por lavouras (SAE, 2009). É necessário reverter à situação, recuperando extensas áreas degradadas, no entanto, a iniciativa esbarra no fato de que a recuperação dessas áreas exige investimento elevado e há escassez de financiamento e ao mesmo tempo, os custos de expansão para novas terras são mais baixos e atrativos. Portanto, a adição de resíduos orgânicos no processo de recuperação do solo pode proporcionar o restabelecimento de condições de equilíbrio e sustentabilidade existentes anteriormente em um sistema natural, restituindo, assim, sua capacidade produtiva

de alimentos e matérias-primas ou na prestação de serviços ambientais (DIAS & GRIFFITH, 1998).

Trabalhos mostram que em solos que receberam doses de vinhaça foi constatado um aumento significativo de pH, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , além disso, houve amenização dos efeitos tóxicos do alumínio trocável (SENGIK et al, 1988; CARNEIRO et al, 2004; BEBÉ et al., 2009; BRITO et al., 2009). No entanto, o uso indiscriminado da vinhaça pode causar problemas, como o desbalanceamento de cátions provocado pela aplicação de doses excessivas (CAMARGO et al., 1984; SENGIK et al., 1988; BRITO et al., 2009).

Sabe-se que em lavouras canavieiras a vinhaça tem sido utilizada com o benefício imediato do aumento da produtividade, que ocorre com mais intensidade em solos mais pobres e em regiões mais secas, inclui-se, ainda, a economia de fertilizantes (MEDINA et al., 2002; JUNQUEIRA et al., 2009).

O aporte de matéria orgânica fornecida através da adição da vinhaça funciona como substrato para a atividade microbiana do solo, estes organismos contribuem na aglutinação das partículas do solo em função da mucilagem excretada que promove o aumento na estabilidade estrutural (CAMARGO et al., 1983; SILVA et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2010). Além de influenciar na estabilidade do solo a adição de matéria orgânica proporciona aumento na área específica, maior capacidade de retenção de água e aumenta a necessidade de quantidades maiores para a formação de filmes de água ao redor das partículas minerais, resultando assim em aumento dos limites de plasticidade e consistência (SILVA et al., 2005; VASCONCELOS et al., 2010). A adição de cátions considerados flocculantes presentes na vinhaça, como cálcio e magnésio, contribuem para que haja menores valores de argila dispersa no solo (SILVA et al., 2006).

Tendo por base os trabalhos de Teixeira et al. (2005); Barbosa et al. (2007); Barbosa, Tavares Filho e Fonseca (2007), os quais usaram o lodo de esgoto como resíduo rico em nutrientes (nitrogênio, fósforo e micronutrientes) e em matéria orgânica para a recuperação de áreas degradadas e demonstraram melhorias nas propriedades físicas do solo, como da sua estrutura, agregação das partículas e densidade do solo, além de melhor desenvolvimento das plantas decorrente do aporte de nutrientes com rápido estabelecimento e crescimento de gramíneas e leguminosas nas áreas estudadas, levantou-se a hipótese de que a vinhaça poderia também ser utilizada em áreas degradadas por erosão, podendo representar uma

alternativa para a disposição final desse resíduo, visando reduzir os impactos ambientais e propiciar benefícios ao solo melhoria das propriedades físicas e químicas, uma vez que é composta por elevados teores de matéria orgânica e de potássio, seguindo-se do cálcio e sulfato (teores razoáveis), do nitrogênio, fósforo e magnésio (baixos teores) (FREIRE & CORTEZ, 2000).

Com base no exposto, o objetivo deste estudo foi verificar o efeito da vinhaça em atributos físico-químicos de solo degradado por erosão.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

A primeira fase do estudo foi realizada em casa de vegetação visando isolar o maior número possível de inter-relações que existem a campo com solo sob algum tipo de vegetação, e entender os efeitos da vinhaça em alguns atributos físico, químico e físico-químico em amostras de solo coletadas em duas áreas com sinais de degradação por erosão superficial.

A primeira área de coleta está localizada na cidade de Bandeirantes, PR, nas coordenadas 50° 29' 44,08" oeste e 23° 17' 5.10" sul e altitude média de 420 metros. O solo corresponde ao Latossolo Vermelho distroférico, textura argilosa (CARVALHO et al., 2006). O local é cultivado com cana-de-açúcar a 10 anos e a 2 anos vem sendo realizada a colheita mecanizada. Não são realizadas adubações a 4 anos e a área nunca recebeu fertirrigação com vinhaça. Por ter uma declividade média de 6% a área apresenta visíveis sulcos de erosão.

A segunda área está localizada no município de Jaguapitã, PR, nas coordenadas 51° 09' 86" oeste e 23° 18' 37" sul, altitude de 450 metros. O solo corresponde ao Latossolo Vermelho acriférico, textura arenosa (CARVALHO et al., 2006). Esta área encontra-se ocupada por pastagem degradada de capim Mato Grosso (*Paspalum notatum*), sendo que a um período superior a 20 anos não são realizadas adubações ou reformas; uma das técnicas utilizadas para renovação da pastagem tem sido a queimada.

Segundo Köeppen, o clima das duas localidades é o Cfa, ou seja, subtropical úmido, mesotérmico com verão quente, estiagem no inverno, média de 30 mm no mês mais seco e geadas menos frequentes, com precipitação média anual é de 1.300 mm.

A vinhaça utilizada foi fornecida pela Usina de Açúcar e Álcool Usiban Ltda, localizada no município de Bandeirantes, PR, sendo coletada na lagoa de distribuição; suas características químicas encontram-se no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 Caracterização química da amostra de vinhaça da Usina de Açúcar e Álcool Usiban Ltda utilizada no ensaio.

Característica	Valor
Ph	6,38
Carbono orgânico (g.kg ⁻¹)	14,8
Al (mg.L ⁻¹)	11,32
Ca (mg.L ⁻¹)	618,4
Mg (mg.L ⁻¹)	143
P (mg.L ⁻¹)	31,45
K (mg.L ⁻¹)	1.932,50

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com unidades experimentais compostas por vasos com capacidade de 1,3 dm³. O arranjo dos tratamentos constituiu-se de cinco tratamentos com diferentes doses de vinhaça e cinco repetições, totalizando as 25 unidades experimentais para cada solo. O solo foi coletado na camada superficial de 0 a 0,2 m, o mesmo foi seco ao ar e peneirado (malha de 2 mm). Cada vaso recebeu 0,4 kg do solo misturado e homogeneizado com a vinhaça. Para o solo argiloso as doses foram de 0, 67, 135, 202, e 269 ml de vinhaça, que correspondem a 0, 98, 196, 294 e 392 m³ ha⁻¹; para o solo arenoso as doses foram de 0, 16, 33, 49 e 65 ml, que correspondem a 0, 75, 147, 221 e 294 m³ ha⁻¹. As doses são referentes a 0, 50, 100, 150 e 200% da quantidade do resíduo necessária para que o K ocupasse 5% da CTC dos solos.

A seguir, o solo foi incubado durante 90 dias em casa de vegetação climatizada e submetido a regas frequentes, a fim de se manter 80% da capacidade de campo durante todo o experimento. Passado o período de dias de incubação, o solo foi retirado dos vasos, parte foi destorroado cuidadosamente em suas fissuras de menor força em peneira 19 mm para análise dos agregados, o restante foi seco ao ar e peneirado em malha de 2 mm para as análises químicas, granulométrica, argila dispersa em água, grau de floculação e de dispersão do solo

(CLAESSEN et al., 2007). Foram analisados os teores de, P, K, Ca, Al, Mg, carbono orgânico e pH em água, em KCl e CaCl₂ (CLAESSEN et al., 2007).

Para determinação da granulometria das amostras fez-se o pré-tratamento para eliminar a matéria orgânica do solo, pois, segundo Tavares-Filho & Magalhães (2008) o pré-tratamento com oxidação de matéria orgânica aumenta a dispersão do solo. Portanto, as amostras de solo foram submetidas à oxidação de matéria orgânica com peróxido de hidrogênio (H₂O₂ a 30%). Após este processo o solo foi seco em estufa e passado na peneira de 2mm. A técnica utilizada para a análise granulométrica foi o método da pipeta com agitação lenta (CLAESSEN et al., 1997). Utilizou-se o mesmo procedimento descrito anteriormente, análise textural pelo método da pipeta com agitação lenta, para determinação da argila dispersa, porém sem submeter o solo à oxidação e sem utilizar o NaOH (CLAESSEN et al., 1997). De posse dos resultados de argila total e argila dispersa, determinou-se o grau de dispersão (GD (%) = (Arg. Dispersa / Arg. Total) x 100) e floculação do solo (GF (%) = 100 – GD).

Para análise dos agregados por via úmida, pesou-se 4 amostras de 50g cada por vaso, sendo que 1 das amostras foi para a estufa 105°C para determinação da umidade do solo e as outras 3 amostras para o conjunto de peneiras, colocadas no tamisador, com malhas de 4, 2, 1, 0.5, 0.25 e 0,106 mm. As fórmulas utilizadas para cálculo de diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade dos agregados (IEA) foram:

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

x_i : diâmetro médio das classes (mm) e w_i = proporção de cada classe em relação ao total.

$$DMG = \text{EXP} \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \cdot \ln x_i)}{\sum_{i=1}^N w_i}$$

w_p : peso dos agregados de cada classe (g).

$$IEA(\%) = \frac{P_{\text{amostra seca}} - w_{p25} - \text{areia}}{P_{\text{amostra seca}} - \text{areia}} * 100$$

w_{p25} : peso da classe menor que 0,25 mm.

Para determinação do PCZ estimado foram utilizados o pH em H₂O e em solução KCl 1 mol L⁻¹, na proporção 1:2,5 v/v de solo:extrator. A partir desses valores, foi estimado o PCZ, conforme a equação proposta por Keng & Uehara (1974), ou seja: PCZ = 2 pH KCl - pH H₂O.

Os dados das análises químicas, físicas e PCZ foram submetidos à análise de variância, e regressão polinomial utilizando o programa estatístico Sisvar 5.3 (FERREIRA, 2010).

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de pH de ambos os solos apresentaram elevação linear e significativa com o aumento da dose de vinhaça utilizada (Quadros 3.4.1 e 3.4.2).

Quadro 3.4.1 Características químicas dos solos submetidos a doses crescentes de vinhaça após 90 dias.

Dose	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	CTC
%		g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³		
Argiloso								
0	5,18	2,90	6,95	0,42	10,70	2,68	0,05	19,08
50	5,32	2,89	6,50	0,79	10,78	2,96	0,04	19,39
100	5,42	2,89	7,21	1,09	10,83	2,87	0,04	19,52
150	5,56	2,95	6,86	0,98	10,82	3,05	0,02	19,50
200	5,67	3,08	8,50	1,55	11,28	2,76	0,01	19,67
Arenoso								
0	4,63	1,10	12,81	0,16	1,24	0,59	0,21	8,29
50	4,69	1,13	13,02	0,21	1,30	0,66	0,16	8,53
100	4,78	1,13	12,88	0,27	1,43	0,68	0,10	8,77
150	4,88	1,05	12,16	0,34	1,45	0,66	0,08	8,87
200	4,92	1,27	12,95	0,36	1,43	0,81	0,08	8,98

Os resultados obtidos corroboram com os de Carneiro et al. (2009) e Brito et al. (2009), que realizaram experimentos conduzidos em tubos de PVC sob condições de laboratório, onde ficou evidenciado que, para qualquer dosagem de vinhaça aplicada e tipo de solo, há elevação do pH. Este aumento pode ser atribuído

ao alto potencial de redução da vinhaça, devido, principalmente, à fácil decomposição da matéria orgânica presente.

Quadro 3.4.2 Equações de regressão obtidas entre as doses de vinhaça aplicada e as características químicas de dois solos.

Característica	Argiloso	R2	Arenoso	R2
pH	$Y = 5,184 + 0,002X$	0,99	$Y = 4,625 + 0,001X$	0,99
MO (g kg ⁻¹)	$Y = 2,85$	ns	$Y = 1,082$	ns
P (mg dm ⁻³)	$Y = 7,015 - 0,012X + 0,0001X^2$	0,92	$Y = 12,879$	ns
k (cmol _c dm ⁻³)	$Y = 0,480 + 0,004X$	0,88	$Y = 0,167 + 0,001X$	0,98
Ca (cmol _c dm ⁻³)	$Y = 10,043 + 0,002X$	0,69	$Y = 1,260 + 0,001X$	0,79
Mg (cmol _c dm ⁻³)	$Y = 2,689 + 0,005X - 0,00002 X^2$	0,68	$Y = 0,592 + 0,0008X$	0,74
Al (cmol _c dm ⁻³)	$Y = 0,052 - 0,0001X$	0,94	$Y = 0,191 - 0,0006X$	0,86
CTC (cmol _c dm ⁻³)	$Y = 19,19$	ns	$Y = 8,344 + 0,003X$	0,96

Ns: não significativo a 1%.

Com relação aos teores de matéria orgânica nos solos que receberam vinhaça, quando comparados aos da testemunha, não foi encontrado variação significativa (Quadro 3.4.1 e 3.4.2), independentemente da dosagem de vinhaça aplicada, mostrando que para o experimento em questão, mesmo a maior dose de vinhaça não foi suficiente para elevar os teores de carbono orgânico nos solos. Esse resultado indica que a matéria orgânica na vinhaça é de fácil decomposição, não sendo mais detectada nas análises dos solos 90 dias após a aplicação do resíduo.

Dados semelhantes foram encontrados por Camilotti et al. (2006) em um Latossolo Vermelho distroférico argiloso, em que mesmo após a realização de quatro aplicações anuais sucessivas de vinhaça na lavoura de cana-de-açúcar, sendo a somatória total das doses de 870 e 1.174 m³.ha⁻¹ de vinhaça, não encontraram variações nos teores de matéria orgânica. Brito, Rolim e Pedrosa (2009), estudaram três classes de solos (Nitossolo, Argissolo e Espodossolo) encubados sob condições de laboratório com 350 e 700 m³ ha⁻¹ do resíduo, também não observaram incremento nos teores de carbono orgânico no solo.

Em relação ao fósforo (P), foram obtidos aumentos significativos no solo argiloso e não significativos no solo arenoso (Quadros 3.4.1 e 3.4.2). De acordo com Ribeiro et al. (2011) em solos ricos em óxidos de ferro e alumínio, como os Latossolos Vermelho – solo usado neste experimento, a aplicação de vinhaça pode

reduzir a adsorção de P, provavelmente devido ao bloqueio dos sítios de adsorção de P pelos compostos orgânicos existentes na vinhaça e, também, pelo aumento da carga líquida negativa da fração argila. No caso do solo arenoso, levanta-se a hipótese de não ter ocorrido aumento suficiente de carga líquida negativa.

O teor de potássio aumentou de forma significativa (Quadros 3.4.1 e 3.4.2) nos dois solos estudados, indicando a eficiência do resíduo em suprir a porcentagem de K na soma de bases. O que confirma os resultados apresentados por Paula et al. (1999); Carneiro et al. (2004); Bebé et al. (2009) e Brito et al. (2009) que também relataram aumento nos teores de K em diferentes classes de solo tratados com o mesmo resíduo. É importante lembrar que este elemento, aparece em grande quantidade na vinhaça (Quadro 3.1).

O cálcio e o magnésio apresentaram comportamento similar. Apesar de apresentarem aumento significativo na análise de regressão (Quadro 3.4.1 e 3.4.2), não foi observada grande elevação na concentração destes elementos em ambos os solos, provavelmente pelos baixos teores presentes na vinhaça utilizada. Estes resultados corroboram com os dados apresentados por Brito et al. (2009) em experimento conduzindo em tubos de PVC sob condições de laboratório, no entanto diferem do experimento realizado Carneiro et al. (2004) que utilizou a mesma metodologia, estes observaram elevação considerável na concentração destes nutrientes no solo.

Com relação aos teores de alumínio houve um decréscimo significativo, para os dois solos, à medida que houve o aumento do pH com a elevação das doses de vinhaça aplicada (Quadros 3.4.1 e 3.4.2). Sengik et al. (1988) também observaram que a adição de vinhaça, eleva o pH do solo, promovendo a precipitação do Al^{+3} . Outra explicação é a liberação de ácido orgânicos que provocam a complexação orgânico-metal, reduzindo, assim, a toxidez por Al^{+3} (PAVINATO & ROSOLEM, 2008).

O PCZ (ponto de carga zero) ocorre no valor de pH em que a carga líquida das superfícies com carga variável é “nula”, provocando maior floculação do solo e serve como ponto de referência para avaliar a carga líquida da superfície dos coloides ao pH do solo, ou seja, se ela está carregada positivamente ($pH < PCZ$) ou negativamente ($pH > PCZ$) (CHAVES & TRAJANO, 1992).

Em ambos os solos, independentemente do tratamento, o PCZ apresentou valor menor que o pH_{solo} (Quadro 3.4.3 e 3.4.4; Figura 3.1), evidenciando

a presença de carga líquida negativa, o que corresponde a presença de capacidade de troca catiônica do solo, mas também o favorecimento da dispersão do solo.

Quadro 3.4.3 Características eletroquímicas e físicas de dois solos submetidos a doses crescentes de vinhaça.

Dose	PCZ	GD	GF	DMP	DMG	IEA
%						
Argiloso						
0	3,87	72,47	27,53	0,78	0,52	79,38
50	4,21	75,35	24,65	1,17	0,68	80,72
100	4,36	74,69	25,31	0,94	0,65	85,80
150	4,56	75,54	24,46	0,82	0,56	83,32
200	4,71	73,39	26,61	0,86	0,59	83,43
Arenoso						
0	3,93	80,60	19,40	0,73	0,37	65,11
50	4,01	84,17	15,83	0,67	0,37	63,39
100	3,98	73,08	26,92	0,74	0,39	65,65
150	4,24	76,66	23,34	0,68	0,38	65,36
200	4,29	78,89	21,11	0,73	0,42	68,69

PCZ: ponto de carga zero; GD: grau de dispersão; GF: grau de floculação; DMP: diâmetro médio ponderado; DMG: diâmetro médio geométrico; IEA: índice de estabilidade de agregados.

Quadro 3.4.4 Equações de regressão obtidas entre as doses de vinhaça aplicada e as características físico químicas de dois solos.

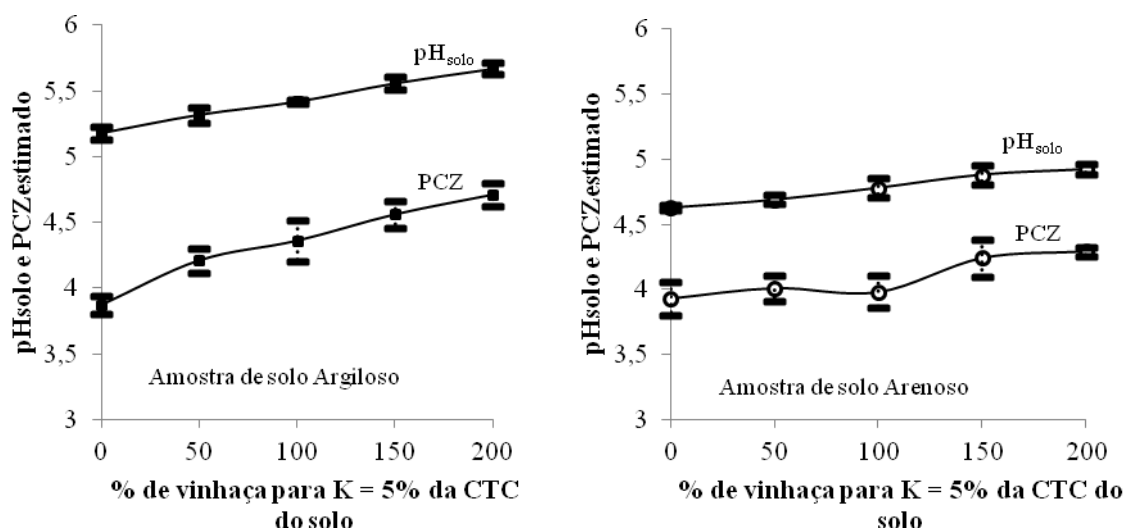
Característica	Argiloso	R ²	Arenoso	R ²
PCZ	$Y = 3,935 + 0,004X$	0,97	$Y = 3,90 + 0,001X$	0,84
GD	$Y = 73,88$	Ns	$Y = 80,68$	Ns
GF	$Y = 26,11$	Ns	$Y = 19,13$	Ns
DMP	$Y = 0,95$	Ns	$Y = 0,71$	Ns
DMG	$Y = 0,60$	Ns	$Y = 0,36$	Ns
IEA	$Y = 80,39$	Ns	$Y = 63,80$	Ns

Ns: não significativo a 1%.

Na figura 3.1, é possível observar que para o solo argiloso o pH_{solo} é superior ao PCZ_{estimado} em todas as doses de vinhaça consideradas, logo ocorre o

favorecimento da dispersão do solo, ou seja, o ΔpH foi sempre negativo, o que revela que o solo sempre apresentou carga líquida negativa sob o efeito de qualquer das doses empregadas, $\text{pH}_{\text{solo}} > \text{PCZ}$ = dispersão. Entretanto, o aumento mais significativo do PCZ ocorre entre as doses 0 – 50% da quantidade de vinhaça necessária para que o K ocupasse 5% da CTC do solo e um pouco menos acentuado entre as doses 50 – 200%. Provavelmente, a maior dispersão do solo tenha ocorrido entre 0 - 50%, onde é caracterizado a maior diferença entre pH_{solo} e $\text{PCZ}_{\text{estimado}}$.

Figura 3.1 Variações do pH do solo e PCZ estimado, em função das doses de vinhaça aplicadas nos solos incubados por 90 dias. As barras verticais indicam intervalo de confiança para 5% de probabilidade.



No caso da amostra de solo arenoso, verifica-se (Figura 3.1) que pH_{solo} é superior ao $\text{PCZ}_{\text{estimado}}$ em todas as doses de vinhaça consideradas, favorecendo também a dispersão do solo. Entretanto, a diferença mais significativa entre pH_{solo} e $\text{PCZ}_{\text{estimado}}$ ocorre para a dose de 100%, indicando possibilidade de ocorrência da maior dispersão do solo.

Esse resultado indica que a aplicação da vinhaça favoreceu o aumento da CTC, com mudanças no pH_{solo} e $\text{PCZ}_{\text{estimado}}$, em doses diferentes para as amostras de solo consideradas. Sabendo-se que esses solos apresentam mineralogia com predomínio de carga variável, dependente do pH, percebe-se que a

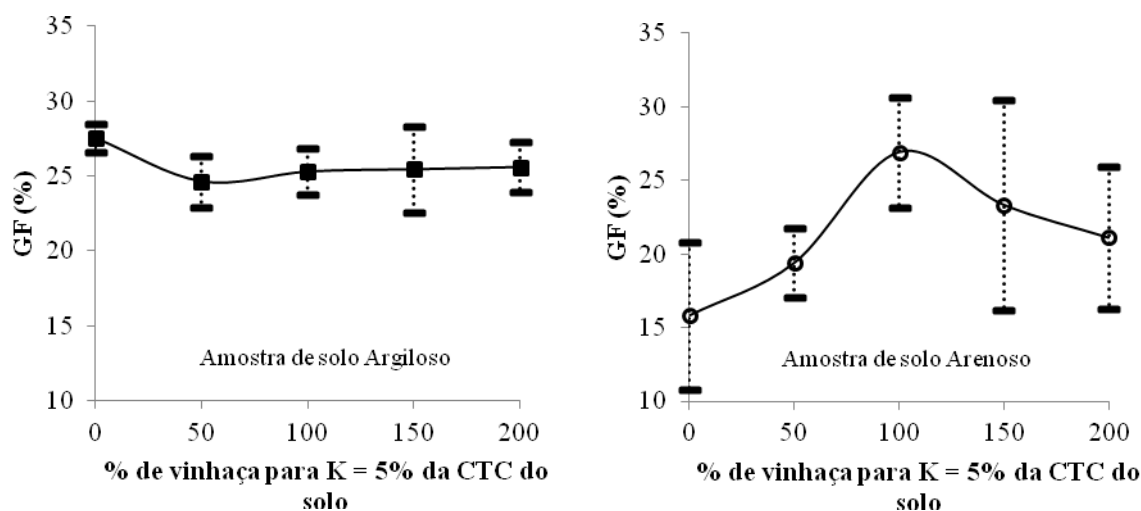
amostra de solo mais arenoso necessitou de maior quantidade de vinhaça para gerar mais carga e provocar maior mudança no PCZ.

Este resultado pode ser atribuído á variação do pH que promoveu a neutralização de Al^{+3} e H^+ . Este resultado difere do apresentado por Ribeiro et al. (2011), que incubaram 0,1 g da fração argila de amostras retiradas do horizonte B de um Latossolo Vermelho Distroférico, textura muito argilosa, com 10 mL de vinhaça para análise de seus efeitos nas características eletroquímicas do solo. Segundo os autores a adição de vinhaça promoveu a redução do valor de PCZ de 7,8 para 3,9 em função do acréscimo de carbono orgânico. No presente estudo não houve a incidência deste efeito em função da quantidade de matéria orgânica presente na vinhaça não ter sido suficiente para modificar os teores de carbono orgânico do solo.

O grau de flocculação foi pouco influenciado pela fertirrigação (Quadros 3.4.3 e 3.4.4; figura 3.2). Isto ocorreu provavelmente porque o incremento de matéria orgânica nos tratamentos não foi significativo (Quadros 3.4.3 e 3.4.4). Este resultado concorda com o apresentado por Camilotti et al. (2010), estudando um Latossolo Vermelho distroférico argiloso submetido a doses anuais de vinhaça para fornecer 100% ou 200% de todo K requerido pela cana-de-açúcar, ou seja, 532 e 1064 $m^3 ha^{-1}$ de vinhaça até o 3º e 4º corte, observaram que o grau de flocculação não foi alterado pelos tratamentos.

Considerando os valores médios do GF em relação às diferentes doses de vinhaça utilizada (Figura 3.2), verifica-se que no solo mais argiloso apresenta uma redução no GF entre as doses 0 – 50%, para depois ficar linear com aumento das doses. Para todas as doses o intervalo de confiança foi pequeno indicando baixo coeficiente de variação para todas as doses consideradas. Para o solo arenoso, ocorre aumento do GF até a dose 100%, para depois reduzir com aumento das doses. Para todas as doses o intervalo de confiança foi grande indicando alto coeficiente de variação para todas as doses consideradas.

Figura 3.2 Grau de flocculação (GF) em função das doses de vinhaça aplicadas nos solos incubados por 60 dias. As barras verticais indicam intervalo de confiança para 5% de probabilidade.



Observando a figura 3.2, juntamente com a figura 3.1, verifica-se que a redução mais pronunciada do GF no solo argiloso ocorre entre as doses 0 – 50%, que corresponde ao aumento mais pronunciado de PCZ (Figura 3.1) ($pH_{\text{solo}} > PCZ$), correspondendo à maior geração de cargas negativas, logo maior dispersão do solo. Segundo Mitchell (1976) e Uehara (1979), a maior dispersão do solo ocorre quando o pH_{solo} se encontra mais elevado do que o PCZ; nesse caso, ocorre maior repulsão eletrostática, diminuindo a flocculação da argila (UEHARA, 1979; UEHARA & GILLMAN, 1980 e 1981), como observado nos dois solos, nas figuras 3.1 e 3.2.

No caso da amostra de solo arenoso, o maior GF ocorreu para a dose 100%, a qual corresponde ao aumento mais pronunciado do PCZ (figura 3.1) ($pH_{\text{solo}} > PCZ$). Esse resultado pode ter sido devido a uma subestimação a argila total, sendo então justificado que o GF não tenha apresentado um comportamento inverso ao da argila dispersa, como os resultados obtidos por Spera et al (2008). Outro ponto a ser considerado é que entre as doses de 0 – 100%, onde ocorre aumento do GF do solo, pode estar relacionado à uma maior produção de flóculos do tamanho da fração silte, que podem ter tamanhos semelhantes ao tamanho da fração areia devido a presença de grande concentração de matéria orgânica existente na vinhaça ter sido benéfica, contribuindo para agregação do solo, ou seja, mais cargas negativas, maior agregação do solo.

Essa estabilização na floculação que ocorreu entre as doses 0 – 50% no solo mais argiloso e redução da floculação entre 100 – 200% no solo arenoso pode ser devido à ocorrência de aumento da concentração do potássio no solo, ou seja, o potássio, existente em alta concentração na vinhaça, pode ter deslocado o alumínio trocável para a solução do solo e cátions de menor valência ocuparam o complexo de troca, causando expansão da dupla camada difusa e, conseqüentemente, aumentando a distância entre os colóides. Dessa forma, como a forças de atração entre colóides é do tipo Van der Waals, o aumento da distância entre os mesmos não permite que esta força atue eficientemente e, assim, as argilas se dispersam (CASTRO FILHO & LOGAN, 1991, ALBUQUERQUE *et al.*, 2000).

Além disso, pode-se levantar uma segunda hipótese que, apesar da tendência de aumento da espessura da dupla camada difusa pelo efeito do aumento da carga líquida negativa, coadjuvado pelo efeito da substituição do Al^{+3} por Ca^{+2} e Mg^{+2} no complexo de troca, houve, uma estabilização do GF, provavelmente em razão da tendência de compressão da dupla camada difusa pelo aumento da concentração eletrolítica da solução e da concentração de Ca^{+2} , existente na vinhaça.

Por outro lado, Silva *et al.* (2006) estudando os efeitos de diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar, concluíram que a área com aplicação de vinhaça foi a que apresentou os menores valores de argila dispersa em água, provavelmente devido aos maiores teores de cátions considerados floculantes, como Ca^{+2} e Mg^{+2} , também presentes na vinhaça.

Em relação à agregação do solo (DMP, DMG e IEA), verificou-se neste trabalho que as doses de vinhaça não foram suficientes para promoverem interferência na estabilidade dos agregados desses solos (Quadros 3.3 e 3.4).

Sabe-se que a matéria orgânica tem colaboração de destaque na formação de agregados estáveis, e isso se deve à contribuição da atividade microbiana, à fauna terrestre e à vegetação, fatores que se associam à presença da matéria orgânica no solo (KIEHL, 1979). Neste trabalho as doses de vinhaça não foram suficientes para incrementar carbono orgânico no solo, por isso então, provavelmente não houve interferência na estabilidade dos agregados dos solos (Quadros 3.4.3 e 3.4.4). Em resultados apresentados por Vasconcelos *et al.* (2010), os quais mostraram que em tratamentos onde houve acréscimo de matéria orgânica, com a aplicação de vinhaça isoladamente e de vinhaça com torta de filtro por um

período de sete anos, ocorreu maior agregação, principalmente incremento nos valores de diâmetro médio ponderado dos agregados, obtidos via úmida.

3.5 CONCLUSÕES

1 A aplicação de doses crescentes de vinhaça promovem o aumento do pH e dos teores de cálcio, magnésio e potássio para ambos os solos, o fósforo apresentou acréscimo apenas no solo argiloso. Já o alumínio decresce com o aumento das doses.

2 Em ambos os solos, o PCZ estimado apresenta valor menor do que o pH do solo, indicando que os solos permanecem carregados negativamente, favorecendo a dispersão do solo.

3 A redução mais pronunciada do GF no solo argiloso ocorre entre as doses 0 - 50% da quantidade de vinhaça necessária para que o K ocupasse 5% da CTC do solo.

4 Para a amostra de solo arenoso, o maior GF ocorre para a dose 100%.

5 DMP, DMG e IEA, não são influenciados pelas doses de vinhaça utilizadas neste trabalho, nas duas amostras de solo.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTANA, E.C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 24, p. 295-300, 2000.
- ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. Ponto de efeito salino nulo de latossolos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.175-180, 1994.
- AZANIA, A. A. P. M.; AZANIA, C. A. M.; MARQUES, C. A. ; PAVANI, M. C. M. D. Emergência e desenvolvimento de guanxuma (*Sida rhombifolia*), capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) e cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) influenciados por subprodutos da destilação do álcool. **Planta Daninha**, v. 22, n. 3, p. 331-336, 2004.
- BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J.T.; BRITO, O.R. & FONSECA, I.C.B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 31, p.601-605, 2007.
- BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J. & FONSECA, I.C.B. Efeito do lodo de esgoto em propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutroférico. **Semina-Ciências Agr.** V. 28, p. 65-70, 2007.
- BEBE, F. V.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, M. E. R.; SILVA, G. B. ;OLIVEIRA, V.S. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental**. V.13, n.6, 2009.
- BENITES, V. M.; MENDONÇA, E. S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 215-221, 1998.
- BITTENCOURT, V. C.; CASTRO, L. J. B.; FIGUEIREDO, A. A. M.; PAIXÃO, A. C. S.; POLLI, D. M. composição da vinhaça. **Brasil açucareiro**, Rio de janeiro, v.29, n.4, p. 25-36, 1978.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2005. *Resolução 357*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acessado em: 23 set 2011.
- BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A.; PEDROSA, E. M. R. Qualidade do percolado de solos que receberam vinhaça em diferentes doses e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.11, n.3, p.318–323, 2007.
- BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Efeito da aplicação de vinhaça nas características químicas de três solos da zona da mata canavieira de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.4, n.4, p.456-462, out.-dez. 2009.

CAMARGO, O. A.; BERTON, R. S.; GERALDI, R. N.; VALADARES, J. M. A.S. Alterações de características químicas em um latossolo roxo distrófico incubado com resíduo da indústria álcool açucareira. **Bragantia**, v.43, n.1, p.125- 139, 1984.

CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.N.S.; GERALDO, R.N. **Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. (Boletim Técnico, 76).

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 aplicação de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, p.738-747, 2006.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M. O.; TASSO JÚNIOR, L. C. & SILVA, A. R. Grau de floculação e condutividade hidráulica de um solo Tratado com lodo de esgoto e vinhaça. **Ciência & Tecnologia: FATEC-JB**, Jaboticabal (SP), v. 1, n. 1, p. 13-20, 2010.

CAMPOS, F. S.; ALVESI, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Atributos físico-hídricos de um latossolo após a aplicação de lodo de esgoto Em área degradada do cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.5, p.796-803, mai. 2011.

CARNEIRO, C. E. A.; FIORETTO, R. A.; FONSECA, I. C. B.; NEVES, C. S. V. J. ; CASTRO, A. J. S. Alterações químicas no solo induzidas pela aplicação superficial de palha de cana-de-açúcar, calcário e vinhaça. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.25, p.265-272, 2004.

CARVALHO, M. M. Recuperação de pastagens degradadas em áreas de relevo acidentado. . In: Dias, E. L.; Mello, J. W. V. (ed.). Recuperação de áreas degradadas. Viçosa: UFV/Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.1-7.

CARVALHO, P. A. et al. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 412p.

CASTRO FILHO, C. & LOGAN, T.J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**. V. 55, p:1407-1413, 1991.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.65, p.45-51, 2002.

CHAVES, L.H.G.; TRAJANO, M.D.M. Determinação do ponto de carga zero e das cargas elétricas do horizonte Ap de solos do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.415-418, 1992.

CLAESSEN, M. E. C. et al. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA (CIB). **Cana-de-açúcar - avanço científico beneficia o país**. Disponível em <http://www.cib.org.br/pdf/guia_cana.pdf>. Acesso em 22 set 2011.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO (CETESB). **Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/valoresorientadores>>. Acesso em 22 set. 2011.

CONAB. **Cana-de-açúcar**: terceiro levantamento de safra 2 010/2011. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_09_14_50_boletim_cana_3o_lev_safra_2010_2011..pdf>. Acesso em 15 set. 2011.

DALRI, A.B.; CORTEZ, G.E.P.; RIUL, L.G.S.; ARAÚJO, J.A.C.; CRUZ, R.L. influência da aplicação de vinhaça na capacidade de Infiltração de um solo de textura franco arenosa. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 344-352, out./dez. 2010.

DIAS, L. E.; GRIFFITH J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: Dias, E. L.; Mello, J. W. V. (ed.). Recuperação de áreas degradadas. Viçosa: UFV/Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.1-7.

EMBRAPA **Avaliação e Recuperação de Áreas Degradadas**. Disponível em <<http://www.cnpma.embrapa.br/unidade/index.php3?id=229&func=pesq>> Acesso em 12 set. 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.513-524, 1999.

FERREIRA, D. F. Sisvar versão 5.3 (Biud 75). **Sistemas de análises de variância para dados balanceados: programa de análises estatísticas e planejamento de experimentos**. Lavras, MG, Universidade Federal de Lavras, 2010.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíra: Livraria e Editora Agropecuária, 2000.

GIRACCA, E. M. N.; ANTONIOLLI, Z. I.; ELTZ, F. L. F.; BENEDETTI, E.; LASTA, E.; VENTURINI, S. F.; VENTURINI, E. F.; BENEDETTI, T. Levantamento da meso e macrofauna do solo na microbacia do Arroio Lino, Agudo/RS. **Revista Brasileira de Agrocência**, Pelotas, v. 9, n. 3, p. 257-261, jul./set. 2003.

GLÓRIA, N. A.; MAGRO, J. A. Utilização agrícola de resíduos da usina de açúcar e destilaria na Usina da Pedra. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DA AGRO-INDÚSTRIA AÇUCAREIRA, Águas de Lindóia, 1976. **Anais**. São Paulo, Copersucar, 1977. p. 163-180.

GLÓRIA, N.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça: Um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. **Revista Álcool Açúcar**, v.16, n1, p.32-39, 1984.

GOLCHIN, A. P.; CLARKE, J. A.; BALDOCK, T.; HIGASHI, J. O.; SKJEMSTAD; OADES, J. M. The effects of vegetation and burning on the chemical composition of soil organic matter in a volcanic ash soil as shown by ¹³C NMR spectroscopy, 1, Whole soil and humic acid fraction. **Geoderma**, v.76, p.155– 174, 1997.

HOLANDA P. M. B. de; MESQUITA, F.S.R.; CARVALHO, H. A. Uso da vinhaça no abacaxizeiro em solo de baixo potencial de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.7, p.1217-22, jul. 1999.

INDA JUNIOR, A.V.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BOENI, M.; SALTON, J.C. & TONIN, A.T. Variáveis relacionadas à estabilidade de complexos organo-minerais em solos tropicais e subtropicais brasileiros. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.5, p. 1301-1307, 2007.

JUNQUEIRA, C., MOLINA JUNIOR, V., LOSSARDO, L., FELICIO, B., MOREIRA JUNIOR, O., FOSCHINI, R., MENDES, R., LORANDI, R.. Identificação do potencial de contaminação de aquíferos livres por vinhaça na bacia do Ribeirão do Pântano, Descalvado (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, América do Norte, v.39, n.3, fev. 2009.

KENG, J.C.W. & UEHARA, G. Chemistry, mineralogy and taxonomy of Oxisols and Ultisols. **Proceedings of Soil Crop Science Society of Florida**, Belle Glade, v.33, p.119-126, 1974.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia** – relações solo-planta. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1979. 262p.

LOPES, E.S.; PERON, S.C.; PORTUGAL, E.P.; CAMARGO, O.A. & FREITAS, S.S. Atividade respiratória de solo tratado com vinhaça e herbicida. **Bragantia**, v.45, p.205-210, 1986 (a).

LOPES, E. S.; PERON, S. C.; PORTUGAL, E. P. Efeito residual da vinhaça na população autóctone de *rhizobium* do solo. **Bragantia**, Campinas, v.45, n.1, p. 29-36, 1986 (b).

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Topossequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.525-532, 2003.

MARÇAL, C. T. Efeitos da cultura da cana-de-açúcar e seu manejo (uso de vinhaça e método de colheita) sobre a mesofauna do solo. 2009. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Paraná, 2009.

- MATOS, E. M. R.; PEDROSA, L. M. P.; GUIMARÃES, C. V. M. A.; RODRIGUES, N. M. R. Relações entre a nematofauna e atributos químicos de solo com vinhaça. **Nematropica**, v.41, n.1, jun. 2011.
- MEDINA, C. C; NEVES, C. S. V. J.; FONSECA, I. C. B.; TORRETI, A. F. Crescimento radicular e produtividade de cana-de-açúcar em função de doses de vinhaça em fertirrigação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 23, n. 2, p. 179-184, jul./dez. 2002.
- MIRANDA, J. R. **Historia da cana-de-açúcar**. Komedi, 2008. 167 p.
- MITCHEL, J. K. **Fundamentals of soil behaviour**. New York: John Wiley, 1976. 422 p.
- MODESTO, P. T.; SCABORA, M. H.; COLODRO, G.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Alterações em algumas propriedades de um Latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.5, p.1489-1498. 2009.
- NEVES, C.P.; LIMA, I.T. & DOBEREINER, J. Efeito da vinhaça sobre a microflora do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Rio de Janeiro, v. 7, p.131-136, 1983.
- OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant Soil**, v.76, p.319-337, 1984.
- OLIVEIRA, V. S.; ROLIM, M. M.; VASCONCELOS, R. F. B.; PEDROSA, E. M. R. Distribuição de agregados e carbono orgânico em um Argissolo Amarelo distrocoeso em diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.907-913, 2010.
- PAULA, M. B. de; CARVALHO, V. D. de; NOGUEIRA, F. D. Efeitos da vinhaça na produção e qualidade da cebola em solo de baixo potencial de produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.3, p.389-393, mar. 1992.
- PASSARIN, A.L.; RODRIGUEIRO, E.L.; ROBAINA, C.R.P.; MEDINA, C.C. Caracterização de agregados em um Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a diferentes doses de vinhaça. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Rio de Janeiro, v.31, p.1255-1260, 2007.
- PAVINATO, P.S. & ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - Decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 911-920, 2008.
- PEDROSA, E. M. R; ROLIM, M. M.; ALBUQUERQUE, P. H. S.; CUNHA, A. C. Supressividade de nematóides em cana-de-açúcar por adição de vinhaça ao solo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.197-201, 2005.
- PEREIRA, J. P.;ALVARENGA, E. M.;TOSTES,J. R. P.; FONTES, L. E. F. Efeito da adição de diferentes dosagens de vinhaça a um Latossolo vermelho-amarelo distrófico na germinação e Vigor de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 14, n. 2, p. 147-150, 1992.

RAMOS, N. P.; NOVO, M. C. S. S.; UNGARO, M. R. G.; LAGO, A. A.; MARIN, G. C. Efeito da vinhaça no desenvolvimento inicial de girassol, mamona e amendoim em casa de vegetação. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, 2008.

RIBEIRO, B. T.; LIMA, J. M.; CURI, N.; OLIVEIRA, G. C. ; LIMA, P. C. Cargas superficiais da fração argila de solos influenciadas pela vinhaça e fósforo. **Química Nova**, v. 34, n.1, p.5-10, 2011.

RODELLA, A. A.; FERRARI, S. E. A composição da vinhaça e efeitos de sua aplicação como fertilizante na cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.90, n.7, p.380-387, 1977.

ROSSETTO, A. J. **Utilização Agronômica dos Subprodutos e Resíduos da Indústria Açucareira e Alcooleira**. In: **PARANHOS, S. B. (Coord.) Cana-de-açúcar - cultivo e utilização**. 1d. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 111 – 856 p.

SAE – Secretaria de Assuntos Estratégicos. Recuperação de áreas degradadas. 2009. Disponível em: <<http://www.sae.gov.br/site/?p=495>>. Acesso em: 20 de jul 2011.

SANTOS, T. M. V.; SANTOS, M. A. L.; SANTOS, C. G.; SANTOS, V. R.; PACHERO, D. R. Efeito da fertirrigação com vinhaça nos microrganismos do solo. **Caatinga**, Mossoró, v.22, n.1, p.155-160, jan./mar. 2009.

SCHOFIELD, R.K. Effect of pH on electric charges carried by clay particles. **Journal Soil of Science**, v.1, p.1-8, 1949.

SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS (SAE). Recuperação de áreas degradadas. Disponível em < <http://www.sae.gov.br/site/?p=495>>. Acesso em 15 out. 2011.

SENGIK, E.; RIBEIRO, A.C.; CONDE, A. R. Efeito da vinhaça em algumas propriedades de amostras de dois solos de Viçosa (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.1, p.11-15, 1988.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter stabilization in two semiarid tropical soils: size, density and magnetic separations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.62, p.1247-1257, 1998.

SHIKIDA, P. F. A.; ALVES, L. R. A. Panorama estrutural, dinâmica de crescimento e estratégias tecnológicas da agroindústria canavieira paranaense. **Revista Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 11, n. 2, dez. 2001.

SILVA, I. de F. Formação, estabilidade e qualidade de agregados do solo afetados pelo uso agrícola. 1993. 126p. Tese de doutorado- Porto Alegre: UFRS, 1993.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V.; LIMA, F.W.F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p. 833-842, 2005.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; DE CARVALHO, F. G. ;LIMA, J. F. W. F. Alterações físicas e químicas de um Argissolo amarelo sob diferentes sistemas de

uso e manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.76–83, 2006.

SILVA, M. A. S.; 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.

SOANE, B.D. The role of organic matter in soil compatibility: A review of some practical aspects. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.16, p.179-201, 1990.

SPERA, S.T.; DENARDIN, J.E.; ESCOSTEGUY, P.A.V.; DOS SANTOS, H.P.; FIGUEROA, E.A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.2613-2620, 2008.

TASSO JÚNIOR, L.C.; MARQUES, M.O.; FRANCO, A.; NOGUEIRA, G. de A.; NOBILE, F.O. de.; CAMILOTTI, F.; SILVA, A.R. da. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola**, v.27, p.276–283, 2007.

TEIXEIRA, S. T.; MELO, W. J. de; SILVA, É. T. da. Aplicação de lodo da estação de tratamento de água em solo degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 1, 2005.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal Soil Science**, v.33, p.141-163, 1982.

UEHARA, G. Mineralo-chemical properties of oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 2., 1978, Malaysia. Bangkok: Soil Survey Division, Land Development Department, 1979, p. 45-60.

UEHARA, G. & GILLMAN, G.P. **The mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charge clays**. Boulder, Westview Press, 1981. 169p.

UEHARA, G.; GILLMAN, G.P. Charge characteristics of soils with variable and permanent charge minerals: I. Theory. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.250-252, 1980.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. Disponível em <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 03 set. 2011.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J. & CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.34, p.309-316, 2010.

WILKIE, A. C., RIEDESEL, K. J., OWENS, J. M. Stillage characterization and anaerobic treatment of ethanol stillage from conventional and cellulosic feedstocks. **Biomass and Bioenergy**, London, v. 19, p. 63-102, 2000.