

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

**ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E ESTOQUE DE CARBONO EM
ARGISSOLO SOB DIFERENTES MANEJOS NA ZONA DA MATA DE
PERNAMBUCO**

VALQUÍRIA DO NASCIMENTO TAVARES

Orientador: Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto

Co-orientadores: Prof. Dr. Marcus Metri Corrêa

Dr. Roberto da Boa Viagem Parahyba

Recife, PE

2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

**ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E ESTOQUE DE CARBONO EM
ARGISSOLO SOB DIFERENTES MANEJOS NA ZONA DA MATA DE
PERNAMBUCO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, Área de Concentração: Controle e Remediação da Poluição.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolin Neto

Co-orientadores: Prof. Dr. Marcus Metri Corrêa

Dr. Roberto da Boa Viagem Parahyba

Recife, PE

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

**ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E ESTOQUE DE CARBONO EM
ARGISSOLO SOB DIFERENTES MANEJOS NA ZONA DA MATA DE
PERNAMBUCO**

Valquíria do Nascimento Tavares

APROVADO EM: 29 DE JULHO DE 2016

Prof.^ª. Dr.^ª. Caroline Miranda Biondi

Prof.^ª. Dr.^ª. Maria do Socorro Bezerra de Araújo

Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto

Orientador

Prof. Dr. Vicente de Paulo Silva

Coordenador do PPEAMB

DEDICATÓRIA

Ao tesouro e amor eterno da minha vida, meu filho Jorge Miguel, o qual se encontrava em meu ventre durante a realização desse trabalho.

E ao meu querido e amado esposo Inaldo, pela força durante toda a minha caminhada, pelo suporte necessário para ultrapassar todos os obstáculos da vida, pelo carinho, dedicação, companheirismo e pelo grande amor.

Dedico

As pessoas mais importantes da minha vida, aos meus queridos e amados pais, Valdi e Cristina, pelo amor incondicional, confiança, incentivo e pela contribuição para minha formação;

Aos meus irmãos Valmir, Valéria e Valter, pelo amor e apoio;

Aos meus queridos sobrinhos, Valdi Neto, Ana Karolina, João Guilherme, Pedro Henrique e Davih Ruan, pelo amor imenso;

As minhas cunhadas e cunhado, Márcia, Cristiane, Jerssika e João Bosco pelo carinho;

Aos meus sogros, Seu Inaldo e Dona Ida pelo carinho;

E aos meus familiares, em especial a minha avó materna Maria José “(in memoriam)”, que sempre torceu pelo meu sucesso.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS, por ter me concedido essa imensa satisfação e vitória na realização dessa dissertação.

Ao meu esposo pelo grande companheirismo, apoio e imenso amor. Muito obrigada por ter contribuído para a realização desse trabalho, eu te amo muito. Aos meus pais pela confiança, apoio e imenso amor. Muito obrigada por vocês serem tão presentes na minha vida, amo vocês. Painho e Naldo muito obrigada pela grande força durante a coleta do meu solo trabalhamos muito, mas valeu a pena. Aos meus irmãos, sobrinhos, sogros, cunhadas e cunhado pelo carinho. A toda minha família pelo carinho. Muito obrigada.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto, pela força, paciência e todos os ensinamentos necessários para realização desse trabalho. Muito obrigada pela dedicação, paciência e amizade.

Ao meu co-orientador e amigo Prof. Dr. Marcus Metri, por toda força e incentivo durante a realização do meu Mestrado. Ao pesquisador da EMBRAPA Solos UEP – Recife Dr. Roberto da Boa Viagem Parahyba pela co-orientação e disposição para realização da coleta do solo.

A minha grande e verdadeira amiga Stephany, pela amizade, por todo incentivo e auxílio nas coletas e análises.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudo durante o período do mestrado.

A Seu Djalma e toda equipe da Estação experimental de Cana-de-açúcar de Carpina pelo auxílio na realização das análises químicas e físicas do solo e das raízes.

Ao Prof. Dr. Clístenes Williams Araujo do Nascimento pela disponibilidade do Laboratório de Química Ambiental do Solo.

Aos membros da banca examinadora, Prof^a. Dr^a. Caroline Miranda Biondi e Prof^a. Dr^a. Maria do Socorro Bezerra de Araújo.

A Professora Carol muito obrigada mesmo por todos ensinamentos, conversas e estímulo na minha jornada acadêmica.

A João responsável pelo Laboratório FERMENTA - Biotecnologia Industrial, pela análise da vinhaça.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, aos coordenadores Professor Vicente e Professor Romildo e aos funcionários, em especial a secretária do programa Walquíria.

A Prof^a. Dr^a Gisele e ao Prof. Dr. Felipe pela disponibilidade do Laboratório de microbiologia do Solo.

A técnica Simone pela amizade e contribuição durante as minhas análises no laboratório de Química Ambiental.

Aos Professores por toda dedicação e aprendizado proporcionado. Muito obrigada pela grande transmissão de conhecimentos.

Aos colegas do Mestrado, especialmente Cristiane.

A Wagner, Douglas, Patrícia e Danúbia pelas informações para análise estatística.

A Usina Petribú, Seu Jorge Petribú e Dr^a Daniela Petribú, na disponibilização das áreas para realização da minha pesquisa. Muito obrigada pelo apoio e confiança.

A toda equipe do campo da Usina Petribú, principalmente a Cloves, Marcelo e Jairo. A seu Djalma funcionário da Indústria, muito obrigada por todas as informações referentes a produção da vinhaça.

As minhas grandes amigas, Bruna e Elizangela pelas orações, vocês fazem parte da minha família, amo muito vocês.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho, uma conquista tão importante na minha profissional. Muito obrigada

*Aqueles que contam com o Senhor renovam
suas forças; Ele dá-lhes asas de águia.
Correm sem se cansar, vão para a frente
sem se fatigar. (Isaías 40, 31)*

RESUMO

A grande produção nacional de açúcar e álcool gera vários resíduos em seu processo produtivo. Entre estes resíduos está a vinhaça, a qual se não for bem gerenciada, pode causar sérios impactos ambientais. O objetivo desse trabalho foi avaliar mudanças nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo cultivado com cana-de-açúcar. Para a realização da pesquisa foram utilizados quatro tipos de tratamentos compostos com vinhaça, colheita mecanizada, colheita com cana crua e irrigação suplementar, em quatro diferentes unidades experimentais, em três profundidades (0 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm) e com três repetições. O solo utilizado foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico textura média, cultivado no campo produtivo da Usina Petribú no município de Paudalho – PE, com a variedade de cana-de-açúcar RB867515. Os resultados das análises físicas, químicas e estoque de carbono foram submetidos à ANOVA e comparados pelo teste de Tukey utilizando-se o programa estatístico ASSISTAT 7.7 beta, em Delineamento Inteiramente Casualizado, num esquema fatorial com três repetições, avaliando-se a ocorrência de interações entre tratamentos x profundidades. Para as análises da vinhaça, raízes e respirometria foi feita uma descrição dos dados encontrados, comparando-se os diferentes tratamentos. Os resultados mostram que os tratamentos com aplicação de vinhaça, apresentam os melhores resultados para a disponibilidade de nutrientes no solo. A unidade experimental sem aplicação de vinhaça apresentou pH ácido e elevados teores de saturação por alumínio, ocasionando uma diminuição da disponibilidade de nutrientes para o solo. Em relação ao estoque de carbono no solo, os tratamentos não produziram diferenças significativas. Para os atributos físicos, os solos manejados com vinhaça mostraram-se mais compactados, destacando-se os tratamentos com colheita mecanizada. Para os atributos biológicos, os solos manejados com vinhaça apresentaram os melhores valores para a respiração basal do solo, porém não interferiu no conteúdo de matéria seca no solo. Os solos tratados com vinhaça proporcionaram um aumento da produtividade, possivelmente em decorrência do aumento na disponibilidade de nutrientes.

Palavras-chave: vinhaça; disponibilidade de nutrientes; cana-de-açúcar.

ABSTRACT

The large national sugar and ethanol production generates several residues in its production process. Among these residues is vinasse, which if not well managed can cause serious environmental impacts. The objective of this work was to evaluate changes in the chemical, physical and biological attributes of the soil cultivated with sugarcane. Four types of treatments with vinasse, mechanized harvesting, harvesting with raw cane and supplemental irrigation were used in four different experimental units at three depths (0 - 20 cm, 20 - 40 cm and 40 - 60 cm), and with three replicates. The soil used was classified as Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico textura média, grown in the productive field of the Petribú Plant in the municipality of Paudalho - PE, with the variety of sugarcane RB867515. The results of the physical, chemical and carbon stock analysis were submitted to ANOVA and compared by the Tukey test using the statistical program ASSISTAT 7.7 beta, in a Completely Randomized design, in a factorial scheme with three replicates, evaluating the occurrence of interactions between treatments x depths. For the analysis of vinasse, roots and respirometry, were made descriptions of the data found, comparing the different treatments. The results show that the treatments with vinasse application, present the best results for the availability of nutrients in the soil. The experimental unit without vinasse application had acid pH and high levels of saturation by aluminum, causing a decrease in the availability of nutrients to the soil. Regarding the carbon stock in the soil, the treatments did not produce significant differences. For the physical attributes, the soils handled with vinasse showed to be more compacted, emphasizing the treatments with mechanized harvesting. For the biological attributes, soils handled with vinasse presented the best values for basal respiration of the soil, but did not interfere in the soil dry matter content. Soils treated with vinasse provided an increase in productivity, possibly due to the increase in nutrient availability.

Keywords: vinasse; nutrient availability; sugarcane.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - RELAÇÃO ENTRE PH E DISPONIBILIDADE DE ELEMENTOS NO SOLO.	25
FIGURA 2 – TANQUE DE DILUIÇÃO DA VINHAÇA.	39
FIGURA 3 – AÇUDE DE VINHAÇA.....	40
FIGURA 4 - GRÁFICO DAS RELAÇÕES ENTRE PROFUNDIDADES E GRANULOMETRIA PARA AS DIFERENTES UNIDADES EXPERIMENTAIS ANALISADAS.....	59
FIGURA 5 – RESULTADO DA MASSA SECA DAS RAÍZES.	61
FIGURA 6 - RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO ($\mu\text{G CO}_2\cdot\text{G SOLO}^{-1}\cdot\text{DIA}^{-1}$).....	62

LISTA DE QUADRO

QUADRO 1 - QUANTIDADE DE VINHAÇA PRODUZIDA POR REGIÃO	19
QUADRO 2 - EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES PARA A PRODUÇÃO DE 100 T DE COLMOS DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	23
QUADRO 3 - EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MICRONUTRIENTES PARA A PRODUÇÃO DE 100 T DE COLMOS DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	23

LISTA DE TABELA

TABELA 1 - CONSTITUIÇÃO QUÍMICA DA VINHAÇA DE ACORDO COM A CLASSIFICAÇÃO DE MOSTO.....	20
TABELA 2 - PADRÕES ADEQUADOS DE NUTRIENTES NO SOLO PARA A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA CAMADA ARÁVEL DO SOLO DE 0 A 25 CM DE PROFUNDIDADE.....	26
TABELA 3 – IDENTIFICAÇÕES E LOCALIZAÇÕES GEOGRÁFICAS DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS E PONTOS DE REPETIÇÕES.....	37
TABELA 4 - RESULTADOS DE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA VINHAÇA DILUÍDA.....	48
TABELA 5 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA.....	49
TABELA 6 - ANÁLISE DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DO SOLO QUE TIVERAM INTERAÇÃO SIGNIFICATIVA ENTRE TRATAMENTOS X PROFUNDIDADES.....	51
TABELA 7- ANÁLISE DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DO SOLO QUE NÃO TIVERAM INTERAÇÃO SIGNIFICATIVA ENTRE TRATAMENTOS X PROFUNDIDADES.....	52
TABELA 8 - ANÁLISE DOS ELEMENTOS QUÍMICOS DO SOLO QUE APRESENTARAM INTERAÇÃO SIGNIFICATIVA APENAS PARA AS PROFUNDIDADES.....	54
TABELA 9- RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA.....	56
TABELA 10 - ANÁLISE DOS ELEMENTOS FÍSICOS DO SOLO QUE APRESENTARAM SIGNIFICÂNCIA APENAS PARA TRATAMENTO.....	56
TABELA 11 - ANÁLISE DOS ELEMENTOS FÍSICOS DO SOLO QUE NÃO APRESENTARAM SIGNIFICÂNCIA.....	57
TABELA 12 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS ANALISADAS.....	59
TABELA 13 – RESULTADO DA PRODUTIVIDADE DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS NOS ÚLTIMOS CINCO ANOS.....	65

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	II
AGRADECIMENTOS	III
SUMÁRIO	V
1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 CANA-DE-AÇÚCAR – BOTÂNICA, ORIGEM E CHEGADA AO BRASIL.....	17
2.2 UTILIZAÇÃO DA VINHAÇA COMO FERTIRRIGAÇÃO NOS CANAVIAIS.....	18
2.3 ALGUNS ASPECTOS QUÍMICOS NO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR	22
2.3.1 Nutrientes necessários para o desenvolvimento da cana-de-açúcar.....	22
2.3.2 Fertilidade do solo e disponibilidade de nutrientes necessários para o desenvolvimento da cana-de-açúcar	24
2.3.3 Matéria orgânica e carbono no solo	27
2.4 ESTOQUE DE CARBONO	28
2.5 ALGUNS ASPECTOS FÍSICOS RELACIONADOS AO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	29
2.5.1 Densidade do Solo e compactação do solo	29
2.5.2 Porosidade do Solo.....	31
2.5.3 Densidade da Partícula.....	32
2.6 CRESCIMENTO DAS RAÍZES NA CANA-DE-AÇÚCAR	32
2.7 RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO	34
2.8 FATORES QUE INFLUENCIAM NA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	36
3.2 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS DE SOLO	38
3.3 COLETA DA AMOSTRA DE VINHAÇA	39
3.4 ANÁLISES QUÍMICAS, FÍSICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO	40
3.4.1 Análises químicas do solo	40
3.4.2 Análises físicas do solo	43
3.4.3 Análises biológicas do solo	46

3.5	ANÁLISE DA VINHAÇA.....	47
3.6	ANÁLISE DOS DADOS	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1	ANÁLISE DA VINHAÇA.....	48
4.2	ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO	48
4.2.1	Análise dos elementos químicos do solo que tiveram interação significativa entre tratamentos x profundidades	49
4.2.2	Análise dos elementos químicos do solo que não tiveram interação significativa entre tratamentos x profundidades	52
4.2.3	Análises de variância dos atributos químicos avaliados que apresentaram interação significativa apenas para as profundidades	54
4.3	ANÁLISE FÍSICA DO SOLO	56
4.3.1	Análises dos resultados significativos apenas para tratamento.....	56
4.3.2	Análises dos resultados não significativos para nenhum dos fatores.....	57
4.3.3	Análise granulométrica e classificação textural	58
4.4	ANÁLISE DAS RAÍZES	60
4.5	RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO	61
4.6	PRODUTIVIDADE DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS ANALISADAS NOS ÚLTIMOS CINCO ANOS	63
5	CONCLUSÕES.....	66
6	REFERÊNCIAS.....	67
	APÊNDICES	82

1 INTRODUÇÃO

As indústrias sucroalcooleiras no Brasil têm um papel de destaque devido à geração de emprego e renda. De fato, a mão de obra necessária para o processo de produção de açúcar e álcool, abrange empregos desde a produção agrícola até a produção industrial, movimentando diversos eixos profissionais.

A cana-de-açúcar plantada no Brasil se destaca mundialmente pela elevada eficiência fotossintética no ambiente tropical (RODRIGUES, 2004), conferindo alta produtividade de biomassa, de açúcar e aproveitamento ilimitado de seus subprodutos, com vantagens ambientais competitivas frente aos derivados do petróleo.

O cultivo da cana-de-açúcar ocorre em épocas alternadas e nas mais variadas condições climáticas. A safra de parte da região Nordeste do Brasil vai de setembro a abril e a do Centro-Sul e demais regiões vai de maio a dezembro, correspondendo aos períodos mais secos nessas regiões (ALFONSI et al., 1987).

O Brasil apresenta expressivo destaque no mercado de açúcar e álcool, sendo o único país que domina todos os estágios da tecnologia de produção da cana-de-açúcar e apresenta uma cadeia de produção bem organizada (VIDAL; SANTOS; SANTOS, 2006). Atualmente o processo vem se modernizando com substituição de antigas máquinas por novas tecnologias, investimentos em automação na indústria e no campo e qualificação profissional, garantindo uma maior eficiência no processo industrial.

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), para a safra 2015/2016, a região Sudeste destaca-se na produção de cana-de-açúcar com um percentual de 65,6%, seguida da região Centro-Oeste com 20,9%. A região Nordeste ocupa o terceiro lugar nacional com percentual de 6,8%. Posteriormente vem a região Sul com 6,2% e por último a região Norte com 0,5%.

Para o estado de Pernambuco obteve-se a produção de 11.349 milhões de toneladas de cana na safra de 2015/2016. Em relação a produção de cana-de-açúcar por Estado, observa-se que São Paulo é o maior produtor Nacional, com 55%, enquanto Pernambuco ocupa a oitava posição com um percentual de 2%. Atualmente o estado de Pernambuco possui dezoito unidades de produção em operação. A safra 2015/2016 em Pernambuco teve início a partir da segunda quinzena de setembro de 2015, estendendo-se até março do ano 2016.

Para a produção de açúcar e álcool referente a safra 2015/2016, o Brasil destaca-se com uma produção de 33.490.387 toneladas de açúcar e 30.465.523 m³ de álcool.

A Região Nordeste foi responsável pela produção de 2.494.546 toneladas de açúcar o que equivale a 7,45% da produção nacional e 1.483.316 m³ de álcool, correspondendo a 4,87% da produção nacional.

O Estado de Pernambuco produziu 822.328 toneladas de açúcar perfazendo um total de 2,45% e 347.733 m³ de álcool, totalizando 1,14% da produção Nacional. Em relação aos Estados do Nordeste, Pernambuco produziu uma percentagem de 32,96% de açúcar e 23,44% de álcool, sendo considerado o segundo maior produtor da Região, ficando atrás apenas do Estado de Alagoas.

A grande produção nacional de açúcar e álcool gera resíduos em todo seu processo produtivo, como o bagaço, a torta de filtro (resíduo oriundo da decantação do caldo), CO₂ e vinhaça (efluente proveniente da destilação da fermentação do álcool). Os problemas decorrentes da grande quantidade de resíduos produzidos a partir da produção do açúcar e álcool e a disposição inadequada destes são atualmente, algumas das mais sérias questões a serem discutidas em âmbito tanto social quanto ambiental, a fim de se obter um desenvolvimento sustentável.

Em relação à vinhaça, observa-se que a principal forma de descarte utilizada pelas Usinas Sucroalcooleiras é através da fertirrigação. Esse processo visa melhorar os atributos químicos e microbiológicos do solo, com o intuito de aumentar a produção dos canaviais. No entanto, para tal prática, tornam-se necessárias as avaliações das condições físicas, químicas e biológicas dos solos submetidos ao manejo com vinhaça.

De acordo com Glória e Orlando Filho (1984) a vinhaça é rica em K⁺ (potássio), matéria orgânica e quantidades razoáveis de N (nitrogênio), S (enxofre), Ca²⁺ (cálcio) e Mg²⁺ (magnésio), podendo atender à demanda necessária da cultura da cana-de-açúcar para esses nutrientes na forma de fertirrigação.

Porém, essa prática deve ser bem administrada garantindo a preservação do meio ambiente, pois grandes quantidades de vinhaça podem acarretar sérios problemas ambientais. A prática da fertirrigação necessita de uma gestão que verifique disponibilidade de nutrientes do solo para que não haja uma poluição, com excesso de nutrientes e contaminação dos lençóis freáticos por percolação ou lixiviação.

Alternativas sustentáveis, a exemplo da aplicação da vinhaça e a colheita da cana-de-açúcar sem a queima da palhada, preservam os teores de carbono no solo garantindo assim boas produções ao longo do tempo (MENDOZA et al., 2000; SANTOS et al., 2007).

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

Do ponto de vista ambiental, se adotado um manejo racional, o cultivo da cana-de-açúcar proporciona a mitigação das emissões dos gases de efeito estufa. Através da fotossíntese essa planta incorpora o CO₂ do ar, devolvendo-o para o solo proporcionando o aumento do estoque de carbono do mesmo (URQUIAGA et al., 1991).

Com o presente trabalho pretende-se avaliar se os manejos de fertirrigação com vinhaça, irrigação suplementar e colheita mecanizada em Argissolo Vermelho Amarelo na Zona da Mata Norte de Pernambuco, cultivados com cana-de-açúcar, possibilitam mudanças na disponibilidade de nutrientes, estoque de carbono e melhoria na qualidade física do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cana-de-açúcar – botânica, origem e chegada ao Brasil

A cana-de-açúcar é uma espécie de gramínea bastante adaptada ao clima tropical, sendo usada como matéria prima na produção de açúcar e álcool. Sua classificação botânica de acordo com a taxonomia, segundo Cronquist (1981), é Plantae Magnoliophyta Liliopsida Cyperales Poaceae Andropogoneae Saccharininae Saccharum, obedecendo à respectiva sequência de Reino, Divisão, Classe, Ordem, Família, Tribo, Subtribo e Gênero.

As principais espécies, segundo a classificação de Jeswiet (1925), e citada por Fauconnier e Bassereau (1975) são: *Saccharum* spontaneum, *Saccharum* robustum, *Saccharum* officinarum, *Saccharum* barberi, *Saccharum* sinense, *Saccharum* edule.

A sua origem é bastante discutida. Segundo Barnes (1964) a cana-de-açúcar teve origem na Ásia, no sul do Pacífico, com migrações para várias regiões como Madagascar, Sudeste da Ásia, Índia e China. Cesnick e Miocque (2004) concordam que a origem da cana-de-açúcar foi no sul do Pacífico, mais especificamente nas ilhas do Arquipélago da Polinésia. Já Delgado e Cesar (1977) afirmam que a cana-de-açúcar teve como centro de origem a região leste da Indonésia e Nova Guiné, e ao longo de muitos séculos se disseminou para várias ilhas do sul do Oceano Pacífico, Indochina, Arquipélago da Malásia e Bengala, aparecendo como planta produtora de açúcar na Índia tropical.

Por outro lado, alguns pesquisadores (CASCUDO, 1971; FREYRE, 1987; ANDRADE, 2004; GOMES, 2006) afirmaram ser a cana-de-açúcar originária do sudeste asiático, provavelmente da Índia, onde alcançou a Pérsia, sendo posteriormente levada pelos conquistadores árabes à costa oriental do Mediterrâneo.

Na América, as primeiras mudas foram trazidas por Cristóvão Colombo e plantadas primeiramente em Santo Domingo (HUMBERT, 1968).

No Brasil, com o apoio oficial do rei Dom João III, as primeiras mudas de cana foram trazidas da Ilha da Madeira em Portugal, no século XVI, por Martim Afonso de Souza, responsável pela instalação do primeiro engenho brasileiro, em São Vicente no ano de 1532.

De acordo com Castro e Kluge (2001), com a chegada da expedição colonizadora de Martin Afonso de Souza em 1532, por ordem do rei de Portugal, Dom João III, o Brasil foi dividido em Capitânicas Hereditárias e então se fundou a vila São Vicente, em São Paulo, onde

foi construído um engenho denominado de São Jorge e que é reconhecido por alguns estudiosos como o primeiro do Brasil, ainda que outro, de nome São João, também figure como construído na mesma época e na mesma região (1533).

Os núcleos principais de produção de cana-de-açúcar no Brasil foram Bahia e Pernambuco. Rio de Janeiro e Espírito Santo cultivavam cana em menor escala e, de forma predominante, para a produção de aguardente que servia de moeda de troca por escravos na África (FAUSTO, 2006). “Tratando-se da principal cultura do Brasil naquela época, a do açúcar, contavam-se em Pernambuco sessenta e seis engenhos; na Bahia trinta e seis, e nas outras capitanias, juntas, metade deste número” (SIMONSEN, 1937).

Observa-se que a capitania de Pernambuco era destaque para época, provavelmente devido à facilidade de escoamento da produção e condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento dos canaviais.

Nos últimos 500 anos, a produção da cana-de-açúcar foi alterada para larga escala, o que a torna autofágica, conforme denominado por Castro (1952). Prova disso é o processo que acompanha seu plantio, com a derrubada ou queima de toda a vegetação local. Para se ter uma ideia, entre 1985 e 1990, a reserva florestal brasileira perdeu 5.330 km² reduzindo-se a 83.500 km² (ROCHA; GONÇALVES, 2005).

Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e detém pouco mais de um terço da cana cultivada no mundo (CANAOSTE, 2008). A cana-de-açúcar é considerada como uma das melhores opções dentre as fontes de energia renováveis, com grande importância no cenário agrícola brasileiro-mundial (SOUZA et al., 2005).

A cana-de-açúcar se destaca pelo seu alto valor produtivo e pela grande geração de empregos advindas das indústrias que utilizam a cana como matéria - prima.

A produção do açúcar e álcool gera vários resíduos durante todo o seu processo industrial, sendo portanto necessária uma forma ambientalmente correta para o descarte desses resíduos.

2.2 Utilização da vinhaça como fertirrigação nos canaviais

A vinhaça é um resíduo líquido, proveniente do processo de destilação do álcool, sendo este resíduo geralmente utilizado na fertirrigação de canaviais. Segundo Buss (1977) para cada litro de álcool produzido, são gerados aproximadamente 13 litros de vinhaça.

Fazendo-se uma relação dos estudos desse autor com a produção de álcool divulgado pelo MAPA (2006), da safra 2015/2016, observa-se uma estimativa da quantidade de vinhaça produzida por região no Brasil, conforme quadro 1.

Quadro 1 - Quantidade de vinhaça produzida por região

Regiões	Álcool (m ³)	Vinhaça (m ³)
Centro –Sul	28.470.682	370.118.866
Nordeste	1.483.316	19.283.108
Norte	511.525	6.649.825
Total	30.465.523	396.051.799

Fonte: Elaboração da Autora, 2016.

Observa-se no quadro 1, que as indústrias produtoras de álcool, geram uma grande quantidade de vinhaça, contudo esse resíduo pode ser reaproveitado pela própria empresa, utilizando-o como fertirrigação nos seus canaviais. Autores como Canellas et al. (2003) e Schultz et al. (2010) afirmam que é rotineira a utilização de vinhaça nos canaviais na forma de fertirrigação. Segundo Canellas et al. (2003) esta prática preserva os teores de carbono no solo, garantindo maiores produções a longo prazo.

A utilização de vinhaça na fertirrigação visa atender uma necessidade na demanda química da planta. Para Silva et al. (2003) um fator que influencia na produtividade é a deficiência de nutriente no sistema solo-planta, que se baseia no balanço de N (nitrogênio) e na carência de K (potássio).

A vinhaça é composta, em média, por 93% de água e 7% de sólidos, 75% dos quais correspondem à matéria orgânica. A fração sólida é constituída, principalmente, de compostos orgânicos e elementos minerais (MARQUES, 2006).

A composição da vinhaça é bastante variável e depende da matéria-prima usada, do tipo de destilado a ser obtido e do tipo de fermentação empregada, sendo normalmente rica em matéria orgânica, com composição mineral variável e predominância do K entre os cátions (GLÓRIA; ORLANDO, 1975; GLÓRIA; SANTANA, 1975).

Segundo Almeida et al. (2007), se comparada com o bagaço e a torta de filtro, a vinhaça é um resíduo mais rico em fontes de nutrientes, principalmente em K⁺, possuindo também Ca²⁺, Mg²⁺, Mn e N orgânico.

A tabela 1 apresenta uma análise da composição química da vinhaça, conforme diferentes tipos de mosto.

Tabela 1 - Constituição química da vinhaça de acordo com a classificação de mosto.

Parâmetro	Melaço	Caldo	Misto
pH	4,2 – 5,0	3,7 – 4,6	4,4 – 4,6
Temperatura (°C)	80 – 100	80 – 100	80 – 100
DBO (mg.L ⁻¹ O ₂)	25.000	6.000 – 16.500	19.800
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	65.000	15.000 – 33.000	45.000
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	81.500	23.700	52.700
Sólidos voláteis (mg.L ⁻¹)	60.000	20.000	40.000
Sólidos Fixos (mg.L ⁻¹)	21.500	3.700	12.700
Nitrogênio (mg.L ⁻¹ N)	450 – 1.610	150 – 700	480 – 710
Fósforo (mg.L ⁻¹ P ₂ O ₅)	100 – 290	10 – 210	9 – 200
Potássio (mg.L ⁻¹ K ₂ O)	3.740 – 7.830	1.200 – 2.100	3.340 – 4.600
Cálcio (mg.L ⁻¹ CaO)	450 – 5.180	130 – 1.540	1.330 – 4.570
Magnésio (mg.L ⁻¹ MgO)	420 – 1.520	200 – 490	580 – 700
Sulfato (mg.L ⁻¹ SO ₄)	6.400	600 – 760	3.700 – 3.730
Carbono (mg.L ⁻¹ C)	11.200 – 22.900	5.700 – 13.400	8.700 – 12.100
Relação C/N	16 – 16,27	19,7 – 21,7	16,4 – 16,43
Matéria Orgânica (mg.L ⁻¹)	63.400	19.500	3.800
Substâncias redutoras (mg.L ⁻¹)	9.500	7.900	8.300

DBO: Demanda bioquímica de oxigênio; DQO: Demanda química de oxigênio.

Fonte: MARQUES, 2006 apud ROSSETTO; SANTIAGO, 2007.

Segundo os resultados dos parâmetros químicos da vinhaça, observa-se que sua composição é rica em nutrientes importantes para o desenvolvimento da cana-de-açúcar, como N, K e P. Além disso, ela possui a matéria orgânica, substância ideal para a manutenção e estoque de carbono no solo.

Dentre o uso da vinhaça, tem-se a fertirrigação, proporcionando o uso deste recurso, reduzindo o despejo em rios e possibilitando a fertilização dos solos agricultáveis (MELO; SILVA, 2001).

Para Ferreira e Monteiro (1987) a adição da vinhaça in natura nos solos é, sem dúvida, uma boa opção para o aproveitamento desse resíduo, visto ser um excelente fertilizante e proporcionar inúmeros benefícios nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Já Silva e Silva (1986) consideram que, dentre as alternativas para a utilização da vinhaça, como fertilizante, do ponto de vista operacional e econômico, a fertirrigação é a forma mais adequada.

Vieira (1986) descreve fertirrigação como um processo conjunto de irrigação e adubação, ou seja, consiste na utilização da própria água de irrigação para conduzir e distribuir o adubo orgânico ou químico na lavoura. Carrijo et al. (2004) descrevem a fertirrigação como o processo de aplicação de fertilizantes juntamente com a água de

irrigação, visando fornecer as quantidades de nutrientes requeridas pela cultura no momento adequado, para obtenção de altos rendimentos e produtos de qualidade.

O solo adsorve a vinhaça (soluto) e atua como transportador dos componentes desse material. Tendo em vista os altos teores de nutrientes, como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ e, principalmente, de matéria orgânica, a disposição da vinhaça no solo como fertilizante, não deve ultrapassar, quando aplicada em grandes quantidades, a capacidade de retenção de água do solo (SILVA et al., 2007).

Coelho e Peixoto (1986) destacam que os benefícios oriundos do uso agrícola da vinhaça são indiscutíveis, tanto do ponto de vista agrônomo e econômico, quanto social. Porém, apesar do benefício potencial da aplicação da vinhaça na forma de fertirrigação, observa-se na tabela 1 que a vinhaça contém baixos valores de pH e altos valores de temperatura, DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio). Apesar desse valor baixo de pH, a aplicação da vinhaça acarreta uma elevação temporária no pH do solo. Segundo Doelsch et al. (2009), esse efeito está relacionado com o ambiente reduzido imposto pela vinhaça devido à sua elevada demanda bioquímica de oxigênio. Em tais condições, íons H^+ passam a atuar como aceptores finais de elétrons. Como consequência do seu consumo, o pH eleva-se temporariamente, estando esse processo relacionado com a decomposição da matéria orgânica da vinhaça, que é altamente decomponível.

Freire e Cortez (2000) afirmam que apesar da vinhaça conter um alto valor fertilizante, também contém um alto poder poluente que é cerca de cem vezes maior que o do esgoto doméstico, decorrente da sua riqueza em matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), além de elevada temperatura na saída dos destiladores (de 85 a 90 °C).

Portanto observa-se que é necessária uma administração adequada para a aplicação da vinhaça, pois a aplicação desse resíduo em excesso pode promover a lixiviação de alguns nutrientes, podendo dessa forma contaminar as águas subterráneas. Além disso, a forma de descarte da vinhaça deve visar a conservação dos parâmetros necessários para o desenvolvimento da cana-de-açúcar e de toda a microbiota do solo.

No Brasil a vinhaça é constantemente aplicada na lavoura de cana-de-açúcar por dois fatores. Primeiro por resolver o problema de descarte deste resíduo, o qual era despejado em corpos hídricos superficiais. Segundo, por substituir ou complementar a adubação mineral,

devido sua fonte de constituintes benéficos à plantação. Por isso, a vinhaça proporciona dois tipos de lucro, o direto, por causa da economia na adubação e o indireto, por promover o crescimento da fertilidade natural do solo (ANA, 2009; ROLIM et al., 2013).

Peluco et al. (2013) descreve que a vinhaça deve ser empregada com cuidado, verificando-se os níveis aceitáveis para não causar lixiviação dos nutrientes por ela proporcionada. Dessa maneira, é possível ajudar na produtividade da plantação de cana-de-açúcar e preservar o meio ambiente, sem acarretar desequilíbrio nutricional para as plantas e poluição das águas de superfície e subterrâneas.

2.3 Alguns aspectos químicos no cultivo da cana-de-açúcar

2.3.1 Nutrientes necessários para o desenvolvimento da cana-de-açúcar

O equilíbrio nutricional é um fator muito importante para o crescimento e a produtividade das culturas sendo, portanto, essencial o conhecimento dos nutrientes necessários ao desenvolvimento da cana-de-açúcar. A cultura canieira necessita de grandes quantidades de nutrientes (macronutrientes e micronutrientes), responsáveis por uma boa eficiência na sua nutrição.

Os macronutrientes e micronutrientes são definidos como elementos essenciais para a vida das plantas. Sendo os macros exigidos em maior quantidade e os micros em menor. A diferença entre as quantidades exigidas não significa, porém, que um macronutriente seja mais importante que um dos micronutrientes, dada as funções reservadas a cada um deles em que a substituição deste por aquele não é possível em todos os casos (MALAVOLTA, 2006).

Os macronutrientes compõem dois grupos de elementos: os primários e os secundários. São considerados macronutrientes primários o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K^+), e macronutrientes secundários o cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e o enxofre (S). Os macronutrientes primários são usados em maiores quantidades pelas plantas e os secundários em menores quantidades, porém, indispensáveis (RIBEIRO; VILELA, 2007).

São vários os nutrientes necessários ao desenvolvimento da cana-de-açúcar. Essa cultura necessita de grandes quantidades de N, P, K (quadro 2), contudo a cana-de-açúcar necessita também de outros macronutrientes: Ca^{2+} , Mg^{2+} , S e dos micronutrientes, B, Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} (quadro 3).

Quadro 2 - Extração e exportação de macronutrientes para a produção de 100 t de colmos de cana-de-açúcar.

Partes da planta	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg.100 t ⁻¹					
Colmos	83	11	78	47	33	26
Folhas	60	8	96	40	16	18
Total	143	19	174	87	49	44

Fonte: Orlando Filho, 1993.

Quadro 3 - Extração e exportação de micronutrientes para a produção de 100 t de colmos de cana-de-açúcar.

Partes da planta	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g.100 t ⁻¹				
Colmos	149	234	1.393	1.052	369
Folhas	86	105	5.525	1.420	223
Total	235	339	7.318	2.470	592

Fonte: Orlando Filho, 1993.

A extração reflete a quantidade total de nutrientes que a planta exige para o seu desenvolvimento completo. A exportação está relacionada com a quantidade de nutrientes presentes no colmo da cana. Esses nutrientes não voltam para o solo, através da reciclagem de nutrientes por decomposição da matéria orgânica, pois os colmos contidos com os nutrientes são levados para o processo da extração do caldo e fabricação do açúcar e álcool.

A cana-de-açúcar, por produzir grandes quantidades de massa, extrai do solo e acumula na planta, grande quantidade de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2007). De acordo com o quadro 2, a ordem da necessidade dos macronutrientes é a seguinte: $K^+ > N > Ca^{2+} > Mg^{2+} > S > P$.

Apesar de, comparativamente aos outros nutrientes, o fósforo ser exigido em menores quantidades, são necessárias adubações pesadas com esse nutriente, devido aos solos brasileiros serem naturalmente pobres nesse nutriente, além de sua grande habilidade de reagir com outros nutrientes, como Al^{3+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} ; silicatos e argilas, formando compostos insolúveis (LOPES, 1989; SUGUITANI, 2001).

A importância dos micronutrientes para a cultura da cana-de-açúcar é evidenciada quando se observam as quantidades extraídas dos mesmos. São quantidades relativamente baixas quando comparadas à extração de macronutrientes, porém de fundamental importância

ao desenvolvimento da cultura. Reduções na produtividade e até morte de plantas são consequências naturais advindas de desarranjos nos processos metabólicos, ocasionados pela carência de micronutrientes (ORLANDO FILHO, 1993).

O desequilíbrio entre nutrientes ocorre por diversos fatores, como a disponibilidade de nutrientes no solo e a absorção destes pelas plantas. Os principais fatores que afetam a disponibilidade e absorção de nutrientes são, principalmente, o tipo de solo, o pH, a concentração e o equilíbrio entre a fração trocável e em solução do solo, além de interações iônicas (MALAVOLTA, 1980; TISDALE et al., 1985).

2.3.2 Fertilidade do solo e disponibilidade de nutrientes necessários para o desenvolvimento da cana-de-açúcar

Os nutrientes estão distribuídos no solo nas formas disponível e não disponível para as plantas.

Para avaliar o grau de fertilidade do solo é necessário saber a magnitude dos valores individuais de cada nutriente, assim como as variáveis deles derivadas (CTC – Capacidade de Troca de Cátions; SB – Soma de Bases; V (%) – Volume de Saturação por Bases; e m % - Percentagem de saturação por alumínio). Esses parâmetros dão uma ideia do grau da fertilidade do solo, ou seja, de sua capacidade de ceder nutrientes para as plantas (RAIJ, 1991).

A CTC (Capacidade de Troca Catiônica) corresponde à capacidade que o solo possui em reter os cátions trocáveis. A CTC é de grande importância no que diz respeito à fertilidade do solo, uma vez que indica a capacidade total de retenção de cátions, os quais, em geral, irão tornar-se disponíveis às plantas (CHAVES et al., 2004). A CTC do solo se relaciona com a “reserva” de nutrientes, e desta forma, quanto maior for a CTC do solo, maior a capacidade do solo reter os cátions em formas prontamente disponíveis para as plantas. A CTC é importante considerando-se que os cátions contidos na solução do solo, estão sujeitos à lixiviação no perfil do solo, em profundidade, ficando fora do alcance das raízes (NOVAIS et al., 2007).

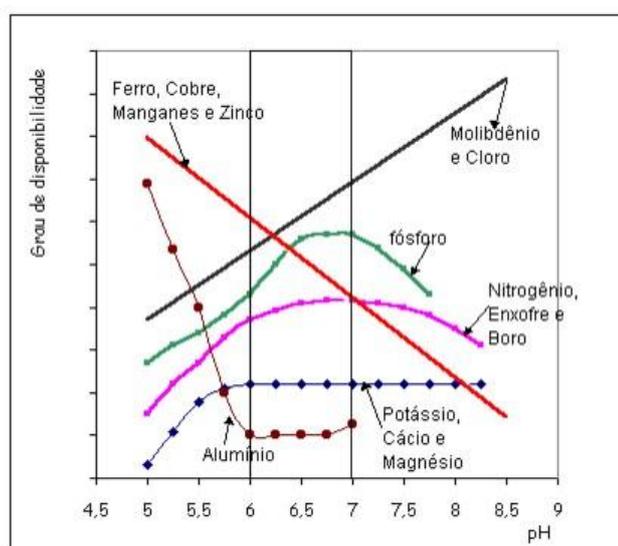
A soma de bases (SB) é indicadora da fertilidade do solo, assim, quanto maior for o valor obtido para este parâmetro, maior será a fertilidade do solo (LOBO; SILVA, 2008). São consideradas bases do solo o Ca^{2+} , o Mg^{2+} e o K^{+} . Para os solos salinos deve-se considerar, ainda, o sódio (Na^{+}).

O conceito de saturação por bases ($V\% = 100 \cdot SB/CTC$) está relacionado ao fornecimento de bases em níveis ótimos para o desenvolvimento das plantas (McLEAN, 1977). A filosofia da saturação por bases é baseada no conceito de criar relações ideais de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ no solo, para produção máxima de culturas (ECKERT, 1987). A saturação por bases é um excelente indicativo das condições gerais da fertilidade do solo, sendo utilizada até como complemento na nomenclatura dos solos. Os solos podem ser divididos de acordo com a saturação por bases: solos eutróficos (férteis) = $V\% \geq 50\%$; solos distróficos (pouco férteis) = $V\% < 50\%$.

A saturação por alumínio indica a relação entre a proporção de Al^{3+} com relação à CTC efetiva (t). Alguns solos distróficos podem ser muito pobres em Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ e apresentar teor de alumínio trocável muito elevado, chegando a apresentar saturação em alumínio (m%) superior a 50% e sendo nesse caso classificados como solos álicos (muito pobres), com $Al_{\text{trocável}} \geq 3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $m\% \geq 50\%$ (RONQUIM, 2010).

Vários fatores influenciam na disponibilidade dos nutrientes para as plantas, entre eles pode-se destacar o pH do solo. De acordo com a figura 1, observa-se que a faixa de pH adequada para a maioria das culturas é de (6,0 – 6,5), é nessa faixa que a maioria dos nutrientes se encontra disponível às culturas. Para a cana-de-açúcar a melhor faixa de pH é de 5,5 – 6,5 (NOVAIS et al., 2007), pois nessa faixa estão disponíveis os nutrientes necessários ao crescimento dessa cultura.

Figura 1- Relação entre pH e disponibilidade de elementos no solo.



Fonte: MALAVOLTA, 1979.

Vale ressaltar que segundo a figura 1, para pH acima de 7,0 a disponibilidade de fósforo, nitrogênio, enxofre, boro, ferro, manganês, cobre e zinco decrescem enquanto que os teores de molibdênio e cloro aumentam. Não há variação na disponibilidade de potássio, cálcio e magnésio. No caso do alumínio, segundo Ronquim (2010), a partir do pH 5,5 não existe mais alumínio tóxico, devido à sua precipitação na forma de óxido de alumínio.

De acordo com Abreu et al. (2007), o conhecimento das formas químicas dos nutrientes na solução do solo, é mais importante para estimar as mobilidades e disponibilidades desses elementos às plantas, do que a determinação dos teores totais na solução do solo.

A produtividade da cana-de-açúcar é influenciada pela disponibilidade de nutrientes no solo, portanto, a adubação é importante para a cultura (AZEVEDO, 2002), a fim de melhorar a qualidade do solo.

A tabela 2 apresenta os padrões adequados de nutrientes no solo para a cultura da cana-de-açúcar, na camada arável do solo de 0 a 25 cm de profundidade.

Tabela 2 - Padrões adequados de nutrientes no solo para a cultura da cana-de-açúcar na camada arável do solo de 0 a 25 cm de profundidade.

Elemento	Baixo	Médio	Alto	Ideal
pH	-	-	-	5,5 a 7,0
M.O	< 1,5	1,5 a 2,5	>= 2,6	> 1,5
P	< 15	16 a 30	>= 31	30
K	0,08 a 0,15	0,16 a 0,3	>= 0,31 a 0,6	0,3
Ca	< 2	2 a 4	>= 4,1	4
Mg	< 0,4	0,4 a 0,8	>= 0,9	0,8
Al	< 0,5	0,5 a 1,5	>= 1,6	0
S	< 4	5 a 15	>= 16	15
B	< 0,2	0,2 a 0,6	>= 0,7	0,6
Cu	< 0,2	0,3 a 0,8	>= 0,9	0,8
Fe	< 4	5 a 12	>= 13	12
Mn	< 1,2	1,3 a 5,0	>= 6,0	5
Zn	< 0,5	0,6 a 1,2	>= 1,3	1,2

Unidades: pH (CaCl₂); M.O. (%); P, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn (mg/dm³); demais elementos (cmolc/dm³)

Fonte: IAC e ESALQ citado por (AFOCAPI/COPLACANA, 2010).

Observa-se na tabela 2, que os macronutrientes P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e S, são necessários em maior quantidade, quando comparados com os micronutrientes para a cultura da cana-de-

açúcar. Em relação ao pH, verifica-se que o ideal para a cultura da cana-de-açúcar varia de 5,5 a 7,0.

2.3.3 Matéria orgânica e carbono no solo

Em solos tropicais e subtropicais, altamente intemperizados, a matéria orgânica (M.O.) tem grande importância no fornecimento de nutrientes às culturas, na retenção de cátions, na complexão de elementos tóxicos e de micronutrientes, na estabilidade da estrutura do solo, na infiltração e retenção da água, na aeração, e na atividade e biomassa microbianas, tornando-se assim um elemento fundamental à sua capacidade produtiva (BAYER et al., 2000).

O teor da M.O. é caracterizado como um dos fatores responsáveis pela manutenção das condições físicas do solo e também influencia a resposta dos solos à compactação (ASSOULINE; TAVARES FILHO; TESSIER, 1997; DIAS JUNIOR et al., 1999). O uso de coberturas mortas ou fertilizantes orgânicos que venham a promover a manutenção e o aumento de M.O. no solo são importantes aliados contra o processo de compactação (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

A influência da matéria orgânica do solo (MOS) não se restringe apenas à fertilidade, pois atua também na agregação do solo, que é um processo dinâmico, sendo necessário o acréscimo contínuo de material orgânico para manter a estrutura adequada ao desenvolvimento das plantas. Sistemas de manejo de solo e de cultura adequadamente conduzidos, proporcionam o aporte de material orgânico por meio de resíduos vegetais, além da ação benéfica das raízes das plantas e proteção oferecida à superfície do solo (CAMPOS et al., 1995).

A influência da matéria orgânica na agregação do solo é um processo dinâmico, sendo necessário o acréscimo contínuo de material orgânico para manter a estrutura adequada ao desenvolvimento das plantas (WOHLENBERG et al., 2004).

O teor de MOS, expresso pelo C orgânico total (COT) e suas características, como os teores de seus diferentes compartimentos, são considerados indicadores úteis na avaliação da qualidade do solo (CHAIN et al., 2001).

O carbono orgânico (CO) é um dos atributos mais promissores para detectar as alterações na qualidade do solo, por demonstrar bastante sensibilidade às perturbações causadas pelos sistemas de manejo (SILVA, 2006).

A matéria orgânica (MO) desempenha papel fundamental na manutenção da qualidade do solo e o seu acúmulo melhora diversas propriedades edáficas, como por exemplo, a agregação e, conseqüentemente, o sequestro de carbono atmosférico (MIELNICZUK et al., 2003).

Parte da MOS é composta pela matéria orgânica leve (MOL), que é uma fração ativa no solo, constituída por resíduos orgânicos parcialmente humificados em vários estádios de decomposição, com tempo de residência no solo que varia de um a cinco anos (JANZEN et al., 1992).

Cerca de 80% do total de carbono da MOS estão presentes nas frações areia, silte e argila (FREIXO et al., 2002) e os 20% restantes fazem parte da chamada fração leve da MOS.

A matéria orgânica do solo desempenha várias funções no ambiente, especialmente na ciclagem e retenção de carbono, armazenamento de água e agregação, fatores determinantes para a manutenção e melhoria da qualidade do solo e do ambiente. Assim, pela importância das suas funções no ambiente, o monitoramento dos estoques de carbono orgânico tem sido considerado um dos principais indicadores de qualidade (PILLON et al., 2007).

2.4 Estoque de carbono

O estoque de carbono de um solo representa o balanço dinâmico entre a adição de material vegetal morto e a perda pela decomposição ou mineralização (SCHOLES et al., 1997).

Segundo La Scala Jr. et al. (2006), o estoque de carbono tem sido utilizado como indicador ambiental, principalmente para melhor esclarecer o balanço de carbono entre as geosferas. A maneira natural para o sequestro do dióxido de carbono (CO₂) atmosférico é sua fixação por meio da fotossíntese e armazenamento no compartimento solo.

Em regiões tropicais o processo de redução dos estoques de C no solo se dá de forma mais rápida, devido às condições climáticas que favorecem à atividade microbiana, acelerando a decomposição dos resíduos orgânicos depositados no solo. O revolvimento do solo durante as práticas agrícolas acelera a oxidação da matéria orgânica do solo, provocando sua mineralização e, por outro lado, frequentemente, intensificando as perdas por erosão. Sistemas mais conservacionistas reduzem a erosão e tendem a apresentar incremento de matéria orgânica na superfície do solo (PORTUGAL et al., 2008).

Os sistemas agrícolas monoculturais tradicionais são mais instáveis e, segundo Canellas et al. (2003) e Dias et al. (2007) provocam reduções nos estoques de várias frações orgânicas do solo.

O sequestro de carbono no solo é a transferência e estocagem segura do CO₂ atmosférico em reservatórios no solo, compreendendo tanto o carbono orgânico do solo (também chamado de SOC), muitas vezes referido como a matéria orgânica do solo ou húmus, quanto o carbono inorgânico, na forma de carbono elementar, carbonatos primários ou secundários (LAL, 2008).

Segundo Renner (2004) o sequestro de carbono refere-se a processos de absorção e armazenamento de CO₂ atmosférico, com intenção de minimizar seus impactos no ambiente, já que se trata de um gás de efeito estufa (GEE). A finalidade desse processo é conter e reverter o acúmulo de CO₂ atmosférico, visando a diminuição do efeito estufa.

2.5 Alguns aspectos físicos relacionados ao cultivo da cana-de-açúcar

2.5.1 Densidade do Solo e compactação do solo

A densidade do solo é a relação entre a massa do corpo poroso, o solo, e seu volume (LIBARDI, 2005).

Os atributos mais amplamente utilizados como indicadores de qualidade física do solo são aqueles que levam em conta a profundidade efetiva de enraizamento, a porosidade total e a distribuição e tamanho dos poros, a distribuição do tamanho das partículas, a densidade do solo, a resistência do solo à penetração das raízes, o intervalo hídrico ótimo, o índice de compressão e a estabilidade dos agregados (TOPP et al., 1997; SCHOENHOLTZ, VAN MIEGROET e BURGER, 2000; SINGER e EWING, 2000).

A qualidade física assume importância na avaliação do grau de degradação do solo e na identificação de práticas de usos sustentáveis (DEXTER, 2004). É de grande importância uma boa qualidade física do solo, pois ela influencia diretamente a qualidade química e biológica do solo.

Uma das principais causas da degradação do solo é a compactação, resultado do processo de aumento da densidade e resistência à penetração. A compactação do solo ocorre de maneira muito frequente em ambientes que utilizam máquinas e implementos ou em áreas

onde o pisoteio de animais é intenso, constituindo um dos mais sérios fatores de restrição ao desenvolvimento das plantas (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

A densidade do solo é um atributo que é afetado pela estrutura do solo, grau de compactação, manejo e tipo de cultura (AMÉRICO, 1979). A maioria das culturas é afetada quando a densidade do solo ultrapassa $1,5 \text{ kg.dm}^{-3}$, principalmente pela falta de oxigênio para respiração radicular, devido à baixa porosidade e má drenagem, e por impedimento mecânico para o crescimento das raízes, limitando-se à zona de absorção de água e nutrientes (SOUZA; COGO; VIEIRA, 1997).

De acordo com Kiehl (1979), de maneira geral, pode-se afirmar que, quanto mais elevada for a densidade do solo, maior será sua compactação, menor será sua estruturação, menor sua porosidade total e conseqüentemente, maiores serão as restrições para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Segundo Ripoli et al. (2007), a alta densidade prejudica o desenvolvimento radicular e da parte aérea, resultando em menor produtividade.

Curi et al. (1993) definem compactação como sendo uma diminuição do volume do solo ocasionada por compressão, acarretando um rearranjo mais denso das partículas do solo e conseqüente redução da porosidade.

A compactação do solo acarreta vários fatores negativos às condições propícias ao desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, entre eles pode-se citar o impedimento ao crescimento das raízes.

Rosemberg (1964), Cintra e Mielniczuk (1983) e Pedó (1986), afirmam que para cada solo há uma densidade crítica, a partir da qual a resistência torna-se tão elevada que diminui ou impede o crescimento de raízes. A densidade do solo crítica é dependente principalmente de sua classe textural.

As classes de solos possuem comportamentos distintos quando submetidas à compactação, devido às variações da textura, da mineralogia, do teor de matéria orgânica, da umidade (TAYLOR; HENDERSON, 1959; SILVA et al., 1986; STONE; EKWUE, 1993; EKWUE; STONE, 1995, 1997), além do histórico de pressões promovidas pelos processos pedogenéticos de formação e pelo manejo do solo (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996).

Assim, a densidade pode variar consideravelmente, dependendo da textura, dos teores de matéria orgânica do solo (CURTIS; POST, 1964) e da frequência de cultivo (HAJABBASI; JALALIAN; KARIMZADEH, 1997).

Além disso, a densidade de solos arenosos se diferencia da densidade de solos argilosos, devido à forma, ao tamanho e ao arranjo diferenciado das partículas de areia e argila. Os valores médios de densidade de solos arenosos variam de 1,2 a 1,4 kg.dm⁻³, sendo maiores do que os de solos argilosos com valores variando de 1,0 a 1,2 kg.dm⁻³ (CAMARGO; ALLEONI 2006). Bowen (1981) considera críticos os valores 1,55 para solos franco-argilosos e 1,85 kg.dm⁻³ para solos arenosos a franco-arenosos, afirmando que, a partir daí, ocorre restrição ao desenvolvimento de raízes quando os solos estiverem na "capacidade de campo".

2.5.2 Porosidade do Solo

Segundo Hillel (1979), a porosidade do solo é definida como a fração volumétrica do solo ocupada com ar e/ou água, representando o local onde circulam água, nutrientes e ar. É o local onde ocorrem os processos dinâmicos do ar e solução do solo (HILLEL, 1970).

A porosidade influencia a dinâmica das trocas gasosas entre solo e atmosfera no que se refere a CO₂, NH₄, além de regular as circulações hídricas verticais e laterais, influenciando, também, na recarga do lençol freático e na composição química das águas, através da perda de elementos por contato. Sua redução também influencia na dinâmica do solo uma vez que dificulta a infiltração causando a enxurrada das águas e consequente erosão superficial e subsuperficial (RUELLAN; DOSSO, 2003).

A determinação de limites mínimos para a porosidade de aeração é bastante complexa (GLINSKI; LIPIEC, 1990), contudo Tormena et al. (1996) afirmam que valores abaixo de 0,1 m³.m⁻³ de poros sem ar, impedem o desenvolvimento pleno do sistema radicular das plantas.

De acordo com Hatano et al. (1988), existe uma estreita relação entre a porosidade do solo e o crescimento radicular, com maior crescimento de raízes onde há maior número e continuidade de macroporos. Conforme RUSSEL e GOSS (1974), as raízes diminuem de diâmetro para penetrar pequenos poros, pois a resistência mecânica do solo estimula a proliferação de raízes laterais, as quais são mais finas.

A compactação do solo ocasiona redução dos poros no solo e o efeito negativo dessa redução sobre o desenvolvimento das plantas, ocorre por deficiência na difusão de gases junto ao sistema radicular das plantas (STEPNIEWSKI et al., 1994). Alguns desses efeitos são os

fechamentos dos estômatos, murchamento das plantas, necrose das raízes, obstrução do xilema à água e desequilíbrio nutricional e hormonal das plantas (SOJKA, 1992).

2.5.3 Densidade da Partícula

A densidade de partícula, expressa a relação entre a massa de material seco e o volume real ocupado por essas partículas, não incluindo o espaço ocupado por poros. Considera-se que partículas minerais apresentam densidade de partícula em torno dos $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ e a matéria orgânica em torno de $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ (FERMINO, 2003).

A densidade de partícula depende da composição química e mineralógica do solo, e não inclui a porosidade do solo nem varia com o manejo do solo (REINERT; REICHERT, 2006).

Em solos, a densidade de partículas é importante para se conhecer sua composição. Se o solo apresentar grandes quantidades de minerais mais pesados, como a magnetita, sua densidade de partícula será elevada; se, ao contrário, apresentar maior quantidade de matéria orgânica, mais leve, portanto, sua densidade de partículas será menor (ZORZETO, 2011).

2.6 Crescimento das raízes na cana-de-açúcar

As principais funções da raiz na planta são a sustentação e a absorção de água e nutrientes (RAVEN, 1996). Como o sistema radicular é profundamente influenciado pelo manejo do solo, a avaliação do sistema radicular de uma cultura é fundamental para o desenvolvimento de práticas agrícolas que visam a otimização da produtividade (FANTE JÚNIOR et al., 1994).

A obtenção de maior desenvolvimento da cana-de-açúcar necessita de observação do ambiente de produção para a cultura, onde devem ser considerados atributos químicos, biológicos e a qualidade física do solo. A cana é uma das culturas mais atingidas pela compactação do solo, devido à utilização de máquinas e implementos agrícolas de grande porte e à grande necessidade de mobilização do solo para seu cultivo (STOLF et al., 1983).

Segundo Kopi e Douglas (1991), a estrutura do solo ideal ao crescimento das plantas está relacionada a uma grande área de contato entre o solo e a raiz, espaço poroso suficiente para o movimento de água e gases e baixa resistência do solo à penetração das raízes.

O solo é adequado para o crescimento das raízes quando dispõe de quantidade adequada de umidade, é bem arejado e não oferece impedimento ao crescimento das raízes. Na cultura da cana-de-açúcar, densidades do solo muito altas podem comprometer a respiração das raízes e exercer resistência ao seu desenvolvimento (LIMA et al., 2009). O maior prejuízo ao desenvolvimento do sistema radicular ocorre quando a densidade do solo aumenta na camada superficial, pois esta cultura tem maior exploração nutricional na camada arável do solo. A compactação afeta mais o desenvolvimento da cultura se suas raízes se localizam no perfil de menor porosidade do solo (FERNANDES et al., 1980).

A compactação, de acordo com Rosolem (1994), é um dos fatores que podem impedir a formação de novas raízes e conseqüentemente prejudicar o desenvolvimento de plantas, pois a raiz não responde à compactação do solo, mas sim, a resistência do solo à penetração, da qual a compactação é um dos fatores e essa resistência depende da densidade, da umidade e da textura do solo. Também pode provocar redução no comprimento do sistema radicular, alterando o diâmetro da raiz para maiores valores, como forma de compensar a redução do comprimento (VEPRASKAS, 1994). Raízes longas e finas são características desejáveis nos genótipos melhorados, especialmente por aumentarem a eficiência de absorção de nutrientes pouco móveis no solo, como o fósforo, cuja movimentação é altamente dependente do mecanismo de difusão (ANGHINONI; MEURER, 1999).

O efeito da compactação na planta inicia-se na restrição ao crescimento radicular, com conseqüências para o crescimento da parte aérea e produtividade. O sistema radicular talvez seja o primeiro componente da planta a sentir os efeitos da compactação. Um solo pode ser quimicamente bom, mas, ocorrendo a compactação, as plantas não se beneficiam adequadamente dos nutrientes disponíveis, uma vez que o desenvolvimento de novas raízes fica prejudicado e é nelas que ocorre a maior taxa de absorção. Além disso, com a compactação, diminuem os espaços livres do solo e, conseqüentemente, a quantidade de O₂ disponível na rizosfera, podendo ser limitante para o desempenho dos processos metabólicos das plantas (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000).

O sistema radicular da cana se desenvolve em maior profundidade que outras culturas, principalmente anuais, por ser semiperene, com ciclo de cinco a sete anos. Este sistema é

formado por rizomas e raízes fasciculadas, das quais 85% se encontram na camada de 50 cm de profundidade, estando 60% deste valor concentrados na camada de 20 a 30 cm. Por isso, a cana-de-açúcar é uma das culturas mais afetadas pela compactação do solo (LIMA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2013).

Geralmente, com aumento da densidade ou resistência à penetração, há redução do crescimento radicular. Sendo assim, o potencial de crescimento da cultura e as condições físicas do solo determinam o tamanho da raiz e a taxa de crescimento radicular (BOONE; VEEN, 1994). Como no campo a compactação não se apresenta como uma massa contínua, as raízes procuram os espaços livres no solo para crescer (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000). Assim, quando uma raiz encontra no solo um poro de diâmetro menor que o seu, ela se expandirá somente se for capaz de exercer pressão suficiente para dilatar o poro (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

2.7 Respiração basal do solo

A respiração basal é definida como a respiração sem adição de substratos orgânicos ao solo e pode ser avaliada por meio da produção de CO₂ ou consumo de O₂ (ALEF, 1995).

Dias e Griffith (1998) indicam uma série de atributos para definição de alterações do solo, no sentido da perda de condições originais favoráveis para o suporte e desenvolvimento de espécies vegetais, resultando no processo de degradação. Entre eles, destacam-se indicadores físicos (profundidade do solo, textura, densidade do solo, capacidade de retenção de água), indicadores químicos (carbono orgânico total, pH, nitrogênio, condutividade elétrica, fósforo e potássio) e indicador biológico (taxa de respiração).

A avaliação da respiração do solo é a técnica mais frequentemente utilizada para quantificar a atividade microbiana, sendo positivamente relacionada com o conteúdo de matéria orgânica e com a biomassa microbiana (ALEF; NANNIPIERI, 1995).

Silva et al. (2007) definiram a respiração basal do solo como a soma de todas as funções metabólicas nas quais o CO₂ é produzido, sendo as bactérias e os fungos os principais responsáveis pela maior liberação de CO₂ via degradação da matéria orgânica, possuindo ainda, uma estreita relação com as condições abióticas do solo, entre elas a umidade, temperatura e aeração.

A respiração basal do solo reflete a produção de CO₂ no solo resultante da atividade respiratória de microrganismos, protozoários, nematóides, insetos, anelídeos e raízes do solo. A respiração é um indicador sensível e revela rapidamente alterações nas condições ambientais que porventura afetem a atividade microbiana (DE-POLLI; PIMENTEL, 2005).

De acordo com Silva et al. (2007), a interpretação dos dados de respiração deve ser cautelosa, uma vez que o incremento na atividade respiratória pode ser desencadeado tanto pela alta produtividade de um determinado ecossistema quanto pelo estresse advindo de distúrbios ambientais.

2.8 Fatores que influenciam na produtividade da cana-de-açúcar

O processo produtivo canavieiro visa três princípios básicos: produtividade, qualidade e longevidade do canavial (CÂMARA, 1993). Segundo Gilbert et al. (2006), diversos fatores podem interferir na produtividade e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, que no final representa a integração das diferentes condições a que ficou submetida a cultura.

Existem fatores que limitam a produtividade dos canaviais, como clima da região (BARBIERI, 1993; KEATING et al., 1999), temperatura (DOORENBOS; KASSAM, 1979), relevo (GROFF, 2010), ciclos da chuva (WIEDENFELD, 2000), disponibilidade de nutrientes para a cultura (ORLANDO FILHO, 1994), manejo do solo (TOWNSEND, 2000), tempo de corte (CASTRO, 1999), variedade e ciclo da cana-de-açúcar (FREITAS, 2007; MARQUES, 2009).

De acordo Marchiori (2004), a cada ciclo de desenvolvimento, a cultura é submetida a diferentes condições ambientais e a manejos empregados, em relação à época de plantio, variedade, época e tipo de colheita e estágio de desenvolvimento da cultura.

Para Maximiliano (2002), o clima, a variedade, o tipo de solo, o estágio de corte, a data do plantio, entre outros, são fatores que também influenciam a produtividade agrícola da cana-de-açúcar.

Qualquer modificação no solo pode alterar diretamente sua estrutura e sua atividade biológica e, conseqüentemente, sua fertilidade, com reflexos nos agroecossistemas (BROOKES, 1995) podendo promover prejuízos à qualidade do solo e à produtividade das culturas (CARNEIRO et al., 2009).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

As áreas selecionadas estão localizadas na Zona da Mata Norte do Estado de Pernambuco - Brasil, no município de Paudalho – PE, em região agrícola da Usina Petribú cuja sede está às margens da Rodovia Paulo Petribú, PE - 53, na Zona Rural do município de Lagoa do Itaenga - PE.

Essa indústria é voltada para a produção de açúcar, álcool e energia. A produção de açúcar e álcool visa atender o mercado interno e externo. Quanto à produção de energia pode-se dizer que é uma empresa autossuficiente, onde parte da energia gerada é consumida no processo industrial e o seu excedente é vendido para empresa de distribuição de energia elétrica.

As atividades da empresa são divididas em safra e entressafra. A safra corresponde ao período de produção dos produtos, sendo geralmente realizada entre os meses de setembro a fevereiro, pois nesse período o ciclo de chuva é menor. Durante o período da safra a indústria sucroalcooleira gera um número significativo de empregos para a região. A entressafra corresponde ao período de manutenção dos equipamentos da indústria, sendo geralmente realizada entre os meses de março a agosto.

Segundo a classificação climática de **Köppen-Geiger**, a Zona da Mata Norte possui um clima As' (clima quente e úmido com chuvas de outono e inverno), com temperatura equilibrada ao longo do ano, com mínimas de 15 °C e máximas de 36°C. Apresenta um índice pluviométrico de 2.500 mm, com umidade relativa do ar variando entre 30% a 100% e relevo do tipo ondulado.

A área de estudo foi dividida em quatro unidades experimentais submetidas a diferentes tratamentos com três repetições para cada tratamento, conforme identificações e localizações geográficas das unidades experimentais e pontos de repetições constantes na tabela 3.

O solo da região foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico de textura média, conforme levantamento de solos existente, executado pela equipe técnica da Usina Petribú. Em todas as unidades foram cultivadas a mesma variedade de cana-de-açúcar, a RB867515, por ser representativa para essa região.

Para tanto essa pesquisa foi realizada entre os meses de dezembro de 2015 a março de 2016, com o intuito de se analisar o comportamento do solo submetido a diferentes formas de manejo com vinhaça.

Tabela 3 – Identificações e localizações geográficas das unidades experimentais e pontos de repetições.

Tratamento	Manejo	PONTO	LOCALIZAÇÃO
		(Repetições)	
T1	Sem aplicação de vinhaça; cana queimada; sem irrigação.	1	07°56'38,1" de latitude Sul e 35°12'18,0" de longitude Oeste com uma elevação de 183 m.
		2	07°56'37,9" de latitude Sul e 35°12'18,5" de longitude Oeste com uma elevação de 183 m.
		3	07°56'37,5" de latitude Sul e 35°12'19,0" de longitude Oeste com uma elevação de 182 m.
T2	Com aplicação de vinhaça; colheita mecanizada; sem irrigação.	1	07°55'38,4" de latitude Sul e 35°13'11,5" de longitude Oeste com uma elevação de 138 m.
		2	07°55'38,4" de latitude Sul e 35°13'10,8" de longitude Oeste com uma elevação de 147 m.
		3	07°55'38,2" de latitude Sul e 35°13'10,2" de longitude Oeste com uma elevação de 177 m.
T3	Com aplicação de vinhaça; colheita mecanizada; com irrigação.	1	07°55'41,8" de latitude Sul e 35°13'19,0" de longitude Oeste com uma elevação de 184 m.
		2	07°55'42,2" de latitude Sul e 35°13'19,1" de longitude Oeste com uma elevação de 183 m.
		3	07°55'42,8" de latitude Sul e 35°13'19,0" de longitude Oeste com uma elevação de 184 m.
T4	Com aplicação de vinhaça; cana queimada; sem irrigação.	1	07°56'28,2" de latitude Sul e 35°13'16,2" de longitude Oeste com uma elevação de 191 m.
		2	07°56'27,9" de latitude Sul e 35°13'15,7" de longitude Oeste com uma elevação de 190 m.
		3	07°56'27,7" de latitude Sul e 35°13'15,4" de longitude Oeste com uma elevação de 192 m.

3.2 Coleta e preparo das amostras de solo

As coletas foram realizadas em fevereiro de 2016 para todas as unidades experimentais. Em cada unidade experimental foram abertas 3 (três) trincheiras com dimensões de 0,60 m de largura, 0,80 m de comprimento e 0,60 m de profundidade. Foram coletadas amostras nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade. Todas as coletas das amostras de solo obedeceram aos critérios do manual de descrição e coleta de amostras de solos de EMBRAPA (2011).

Para as coletas das análises físicas (granulometria, densidade da partícula e porosidade total) e químicas (macronutrientes, micronutrientes, carbono orgânico (CO) e matéria orgânica (M.O) foram utilizadas as amostras deformadas de solos, retirando-se de cada trincheira três amostras, sendo uma por camada. Logo, para cada unidade experimental obtiveram-se 3 amostras por camada, totalizando 36 amostras no geral.

Para a determinação da densidade do solo foi utilizado o método do anel volumétrico. Foram coletadas 3 amostras de cada camada, 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade do solo, em 12 pontos, perfazendo um total de 108 amostras de solo.

Para as análises microbiológicas de respirometria utilizou-se a metodologia proposta pela norma ABNT 14.283 de fevereiro de 1999. Foram coletadas amostras de solo, compostas por 5 (cinco) amostras simples, em pontos próximos à trincheira, com uma profundidade de 0-10 cm, pois nessa profundidade encontra-se grande parte da população microbiana aeróbica, perfazendo um total de 12 amostras. Para tal retirou-se a palhada sobre a superfície no local de cada amostra simples, para em seguida se proceder à coleta.

Para a análise das raízes foram coletados blocos (monólitos) com 20 cm de profundidade, 20 cm de largura e 20 cm de comprimento, localizados na borda da trincheira, a uma distância de 20 cm da linha de plantio de cana-de-açúcar. Para a retirada do monólito utilizaram-se instrumentos como facão, pé de cabra e enxadeco. As amostragens foram feitas nas camadas de 0 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm, pois nessas profundidades se concentra o maior volume de raízes.

Após coletadas as amostras de solo para as análises físicas e químicas, foram secas ao ar, homogeneizadas e tamisadas em peneira com 2 mm de abertura de malha para obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). Posteriormente, foram colocadas em depósitos plásticos identificados e armazenados até análise.

As amostras de solo da análise microbiológica da respirometria, após coletadas, foram passadas em peneira com malha de 2,0 mm de abertura e guardadas sob-refrigeração até o momento da análise.

Os monólitos, após terem sido coletados, foram destorroados e lavados em uma peneira com malha de 2,0 mm de abertura, e em seguida as raízes foram armazenadas para análise.

3.3 Coleta da amostra de vinhaça

A vinhaça analisada foi resultado do processo de destilação do álcool a partir do melaço. A vinhaça foi coletada no dia 10 de janeiro de 2016 em um açude de vinhaça próximo ao canavial. A vinhaça foi primeiramente diluída na Usina, conforme figura 2.

Figura 2 – Tanque de diluição da vinhaça.



Fonte: A autora, 2016.

Após diluição a vinhaça foi bombeada através de tubulações para o açude de vinhaça figura 3, onde fica armazenada até ser aplicada nos canaviais.

Figura 3 – Açude de vinhaça



Fonte: A autora, 2016.

Para a coleta foi utilizado um balde e em seguida a vinhaça foi colocada em uma garrafa de 1 L e levada para o armazenamento sob refrigeração entre 6 °C a 10 °C, até o momento da análise.

3.4 Análises químicas, físicas e biológicas do solo

3.4.1 Análises químicas do solo

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Solos da Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (EECAC - UFRPE), exceto a análise de N, que foi realizada no Laboratório de Química Ambiental do DEPA – UFRPE.

Os seguintes atributos químicos foram determinados na TFSA: pH em H₂O, Carbono Orgânico (CO), Cálcio (Ca²⁺), Magnésio (Mg²⁺), Potássio (K⁺), Sódio (Na⁺), acidez potencial (H⁺ + Al³⁺), Hidrogênio (H⁺), Nitrogênio (N), matéria orgânica (M.O.), Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e Soma de bases (SB).

Para determinação do *pH em H₂O* utilizou-se o procedimento descrito no manual da EMBRAPA (2011).

O *carbono orgânico (CO)* foi quantificado pelo método de oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇), titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal (FeSO₄. 7H₂O) 0,1 mol.L⁻¹ e a Matéria Orgânica (M.O.) foi calculada pela

multiplicação do carbono orgânico pelo fator médio de carbono presente na composição do húmus (EMBRAPA, 2011).

O *estoque de carbono* do solo foi obtido pela soma do estoque de C orgânico de cada camada correspondente ao produto do teor de C do solo (C , g kg^{-1}) pela densidade do solo (DS , g.cm^{-3}) e pela profundidade da camada (GATTO, et. al., 2010), empregando-se a equação 1:

$$ECS = \frac{(C*DS*p)}{10} \quad (1)$$

Onde:

ECS = estoque de carbono do solo (t ha^{-1});

C = teor de carbono do solo (g kg^{-1});

DS = densidade do solo (g cm^{-3});

p = profundidade da camada do solo (cm).

Para a determinação do *fósforo*, utilizou-se a solução extratora de Mehlich 1 (Ácido Clorídrico 0,05 M + ácido sulfúrico 0,0125 M) por Espectrofotometria (EMBRAPA, 2011).

O *Cálcio* (Ca^{2+}), *Magnésio* (Mg^{2+}) e *Alumínio* (Al^{3+}) foram obtidos por meio da extração com solução de cloreto de potássio (KCl) 1 mol.L^{-1} , e determinados por espectrofotometria de absorção atômica. (EMBRAPA, 2011).

Para o *Sódio* (Na^+) e *Potássio* (K^+), utilizou-se o método de fotometria de chama, utilizando-se como extrator do solo a solução de Mehlich 1 (EMBRAPA, 2011).

A *acidez potencial* ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) foi determinada pela extração com solução de acetato de cálcio $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ com indicador fenolftaleína, seguido de titulação com solução de Hidróxido de Sódio $0,025 \text{ mol.L}^{-1}$, sendo possível calcular pela equação 2, o teor de acidez potencial (EMBRAPA, 2011).

$$H^+ + Al^{3+} = (L - Lb) \cdot 1,65 \quad (2)$$

Onde:

$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ é a acidez potencial, ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$);

L é a solução gasta na titulação da amostra, (mL);

Lb é a solução gasta na titulação da prova em branco, (mL);

1,65 fator de correção, decorrente das alíquotas tomadas e da limitação da metodologia extrair apenas 90% da acidez.

O **Hidrogênio** (H^+) foi estimado por meio da subtração do Alumínio (Al^{3+}) da quantidade de acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) (EMBRAPA, 2011).

Para análise do **Nitrogênio** (N), a amostra foi triturada em almofariz e passada em peneira de 60 mesh (0,250 mm), dosado por destilação da amônia, em destilador Kjeldahl, após digestão sulfúrica (BREMNER e MULVANEY, 1982; TEDESCO et. al., 1995, adaptado por MENDONÇA e MATOS, 2005).

A soma de bases (SB) trocáveis foi determinada a partir da equação 3. O resultado foi expresso em $cmolc.dm^{-3}$ (EMBRAPA, 2011).

$$SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+ \quad (3)$$

A CTC efetiva (t) foi calculada pela soma dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e Al^{3+} trocáveis, utilizando-se a equação 4, (LOPES; GUILHERME, 2004).

$$t = SB + Al^{3+} \quad (4)$$

A CTC (T) a pH 7,0, foi obtida pela soma dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e H^+ e Al^{3+} , pela equação 5. O resultado foi expresso em $cmolc.dm^{-3}$ (EMBRAPA, 2011).

$$T = SB + H^+ + Al^{3+} \quad (5)$$

A percentagem de saturação por bases (V%) foi calculada pela equação 6. O resultado é expresso em percentagem (%) (EMBRAPA, 2011).

$$V(\%) = SB \times 100 / T \quad (6)$$

A saturação por alumínio foi determinada a partir da equação 7. O resultado é expresso em percentagem (%) (EMBRAPA, 2011).

$$m(\%) = Al^{3+} \times 100 / t \quad (7)$$

Os parâmetros químicos encontrados para os solos em estudos estão dispostos no Apêndice A.

3.4.2 Análises físicas do solo

Todas as análises físicas foram realizadas no Laboratório de Solos da Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (EECAC - UFRPE).

3.4.2.1 Granulometria

A análise de granulometria do solo foi realizada através do método do densímetro (EMBRAPA, 1997 modificado por ALMEIDA, 2008). Para tanto foram pesados 20g de solo TFSA e colocados em garrafas pet de 500 ml, adicionando-se 100 ml de água e 25 ml do dispersante, hidróxido de sódio. As mesmas foram colocadas em agitador tipo Wagner, por 16 horas. Após agitação, o conteúdo foi lavado com água e passado através de peneira com malha de 0,053mm, colocada sobre um funil apoiado em um suporte. A suspensão foi coletada em proveta de 1.000 ml, cujo conteúdo foi completado até aproximadamente 840 ml, agitando-se com um bastão o líquido contido na proveta por 20s, sendo depois mantido em repouso por 24 horas. Posteriormente, realizou-se a leitura com o densímetro. A areia retida na peneira foi lavada e colocada em estufa a 65°C até peso constante e o silte foi determinado por diferença. As classes dos solos foram obtidas pelo triângulo textural do United States Department of Agriculture (USDA).

3.4.2.2 Densidade do solo pelo Método do Anel Volumétrico

Para a determinação da densidade do solo, foi empregado o amostrador tipo Uhland, cujas dimensões do anel volumétrico foram de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura, mantendo-se não deformadas as estruturas do solo. Após a retirada do anel do amostrador, foi efetuado a

toilette, segundo (EMBRAPA, 2011). Os cálculos foram realizados de acordo com a equação 8, (FLINT; FLINT, 2002).

$$D_s = \frac{M_{ss}}{V_t} \quad (8)$$

Onde: D_s é a densidade de solo, g.cm^{-3} ; M_{ss} é a massa do solo seco em estufa, g; V_t é o volume total do solo, cm^3 .

3.4.2.3 Densidade da Partícula

Para a determinação da densidade de partículas, foram pesadas 20g de solo seco em estufa a 105°C , empregando-se o método do balão volumétrico. Nessa análise utilizaram-se 50 mL de álcool etílico, e em seguida subtraiu-se o volume de álcool gasto para preencher o espaço poroso do solo. A densidade de partícula foi determinada segundo a equação 9, (FLINT; FLINT, 2002).

$$D_p = \frac{M_{ss}}{V_s} \quad (9)$$

Onde: D_p é a densidade de partículas sólidas, g.cm^{-3} ; M_{ss} é a massa do solo seco em estufa, g; V_s é o volume de sólidos, cm^3 .

3.4.2.4 Porosidade Total

A porosidade total foi determinada a partir dos valores encontrados na densidade da partícula e na densidade do solo (EMBRAPA, 2011), pela equação 10.

$$PT(\%) = \left(1 - \frac{D_s}{D_p} \right) \cdot 100 \quad (10)$$

Onde: PT é a porosidade total, (%); D_s é a densidade do solo, (g.cm^{-3}); D_p é a densidade de partícula (g.cm^{-3}).

Os parâmetros físicos dos solos analisados encontram-se dispostos no Apêndice B.

3.4.3 Análises biológicas do solo

Para a avaliação das características biológicas utilizou-se o método de análise da respirometria e o da análise das raízes.

3.4.3.1 Análise respirométrica

Antes de serem analisadas, as amostras ficaram em aclimação (fora da geladeira) durante um período de 12 horas.

Essa análise foi executada no laboratório de Microbiologia do Solo, do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (DEPA - UFRPE).

A análise respirométrica foi executada utilizando-se a metodologia descrita no manual da EMBRAPA (1999), que possibilita a medição do consumo de oxigênio pelos microorganismos envolvidos nos processos de oxidação, apresentado por Bernardes e Klapwijk (1996), Chudoba et al. (1989), Fleps (1975), Huang e Cheng (1984), Tebbutt e Berkun (1976), Therien et al. (1984) e Vernimmen et al. (1967).

3.4.3.2 Análise das raízes

A análise foi executada no laboratório de Nematoides da Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (EECAC - UFRPE).

Os monólitos de solo coletados no campo foram lavados em peneiras com malha de 2 mm, separando-se as raízes do solo, segundo Böhm (1979). Depois de lavadas, as raízes foram separadas das impurezas como pedras, seixos, galhos, etc. Em seguida realizou-se a pesagem das raízes.

3.5 Análise da vinhaça

A análise química da vinhaça foi realizada no Laboratório FERMENTA - Biotecnologia Industrial, localizado na rua Cleto Campelo, N° 17 A, Bairro Novo, Olinda – PE.

A amostra da vinhaça foi submetida à caracterização físico-química nos equipamentos: peagâmetro, espectrofotômetro, espectrômetro de absorção atômica por chama, espectrômetro por emissão em chama e aparelho para digestão e destilação macro Kjeldahl. O potencial hidrogeniônico (pH) foi aferido com o auxílio do peagâmetro de bancada.

As determinações do fósforo, cálcio, potássio e nitrogênio foram feitas de acordo com a Norma Brasileira 12772 (ABNTa, 1992), 13812 (ABNTb, 1997), 13805 (ABNTc, 1997) e 13796 (ABNTd, 1997), respectivamente.

3.6 Análise dos dados

Para as análises físicas e químicas a coleta de dados foi realizada através de um experimento em Delineamento Inteiramente Casualizado, com esquema fatorial, em três repetições, a fim de se analisar a interação entre os fatores tratamentos x profundidades. Para tanto, foram utilizados quatro tratamentos (T1, T2, T3 e T4), em três profundidades (0 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm).

Para manter a homogeneidade das condições experimentais, os tratamentos foram escolhidos em unidades experimentais, de modo que estivessem uma próxima da outra, a fim de serem minimizadas interferências pluviométricas. Todos os tratamentos estavam localizados em unidades experimentais com o mesmo tipo de solo.

Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA e comparados pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$) a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, utilizando-se o programa estatístico ASSISTAT 7.7 beta.

Para a análise da vinhaça, raízes e respirometria, os dados foram analisados de forma descritiva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da vinhaça

O pH da vinhaça analisada no estudo apresenta um caráter levemente ácido (tabela 4), diferindo dos resultados encontrados por Marques (2006) e Rossetto; Santiago (2007), os quais apresentam caráter ácido.

Em relação aos macronutrientes Nitrogênio, Fósforo, Potássio e Cálcio, verifica-se que todos os valores também se encontram abaixo dos descritos por Marques (2006) e Rossetto; Santiago (2007). Esses resultados podem ser justificados devido à vinhaça está diluída conforme figura 2, enquanto que a vinhaça presente na literatura se encontra in natura.

De qualquer forma, verifica-se que a vinhaça analisada possui altos teores de N, P e principalmente de K onde, segundo Agujaro (1979), a grande vantagem no emprego da vinhaça é que ela pode substituir em grande parte os nutrientes da adubação mineral.

Tabela 4 - resultados de algumas características químicas da vinhaça diluída.

Parâmetros	Valores	Unidades
pH	6,79	Potenciométrico
N	26,4956	mg/L
P ₂ O ₅	21,976	mg/L
K ₂ O	1096	mg/L
Ca ⁺²	5,395	mg/L

Fonte: Elaboração da Autora, 2016.

*Os valores apresentados são referentes ao final da safra (2015/2016) da Usina Petribú S/A

**Os valores podem alterar de acordo com a época da moagem e diluição.

4.2 Análise química do solo

Conforme a tabela 5, a análise de variância indicou que a interação entre tratamentos x profundidades foi significativa para Ca⁺², Mg⁺², V (%), (H⁺ + Al³⁺) e m (%). Os atributos pH, K⁺, N, P, SB, CTC, C, M.O. e ECS não apresentaram interação significativa entre tratamentos x profundidades, logo os fatores tratamentos e profundidades foram analisados independentemente. Para pH, K⁺, N, P, SB, e CTC houve efeito significativo para os

diferentes tratamentos enquanto que para C, M.O. e ECS não houve efeito significativo. Em relação à profundidade, todos esses parâmetros variaram significativamente.

Tabela 5 - Resultados da análise de variância.

Análise estatística	Atributos químicos
Significativo para tratamento e profundidade (com interação)	Ca ⁺² , Mg ⁺² , V (%), (H ⁺ + Al ³⁺), m (%)
Significativo para tratamento e profundidade (sem interação)	pH, K ⁺ , N, P, SB, CTC
Significativo apenas para profundidade	C, M.O., ECS
Significativo apenas para tratamento	-
Não significativo para nenhum dos fatores	-

4.2.1 Análise dos elementos químicos do solo que tiveram interação significativa entre tratamentos x profundidades

A análise de variância indicou que a interação entre tratamentos x profundidades (tabela 6), foi significativa para Ca⁺², Mg⁺², V(%), (H⁺ + Al³⁺) e m(%).

Para a análise dos resultados presentes na tabela 6, as relações entre o mesmo tratamento para as diferentes profundidades são verificadas nas linhas da tabela através das letras maiúsculas. Para a análise da interação entre os diferentes tratamentos na mesma profundidade verificam-se as colunas da tabela através das letras minúscula.

Os resultados apresentados mostraram que a profundidade de 0 – 20 cm, apresentou os maiores valores médios de Ca²⁺ e Mg²⁺ para todos os tratamentos. Silva Jr; Melo (2006) e Ferreira (2004), verificaram conteúdos decrescentes de Ca²⁺ e Mg²⁺, com a profundidade em Latossolo Amarelo no estado do Pará. Verifica-se na tabela 6, que os maiores valores de cálcio se encontram nas camadas superficiais do solo, concordando com os resultados de Perez et al. (2004) e Araújo et al. (2004) que observaram em sistemas agroflorestais, valores mais elevados de pH e Ca²⁺, na superfície do solo. Os resultados encontrados de V(%) na tabela 6 estão de acordo com os encontrados por Catani e Gallo (1955) e Kiehl (1979) os quais afirmam que solos com baixo V(%), isto é, com altos teores de H⁺ e Al³⁺, são ácidos e solos com V(%) acima de 80 até 100% têm pH próximo à neutralidade. Ronquim (2010)

também verificou uma baixa percentagem de saturação por bases V(%) e uma alta saturação por alumínio m(%) em solos ácidos.

Diante dos resultados apresentados verificou-se que as unidades experimentais (T₂, T₃ e T₄), tratadas com vinhaça apresentaram os melhores resultados em relação a unidade experimental (T₁) sem aplicação de vinhaça, para Ca²⁺, Mg²⁺ e V(%) em todas as profundidades.

Os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ diminuíram com o aumento da profundidade, porém os tratamentos com aplicação de vinhaça proporcionaram um aumento dos valores de Ca²⁺ e Mg²⁺, quando comparados com o tratamento que não houve aplicação de vinhaça. Esse resultado concorda com Santos et al. (2012) que estudando a adição de vinhaça ao solo, por 30 anos, verificaram uma elevação do conteúdo de cálcio, magnésio e zinco em profundidade, quando compararam com áreas sem aplicação de vinhaça.

Para os valores encontrado de (H⁺ + Al³⁺) e m (%), observou-se que os tratamentos com cana queimada (T₁ e T₄), apresentaram valores mais elevados quando comparados com os tratamentos com cana crua (T₂ e T₃). Esses resultados também foram obtidos por Souza et al. (2012), os quais observaram em Latossolo Vermelho do estado de São Paulo, valores menores de acidez potencial (H⁺ + Al³⁺), Al³⁺ e saturação por alumínio m (%) em áreas sob cultivo sem queima da cana em comparação com a cana queimada.

Tabela 6 - Análise dos elementos químicos do solo que tiveram interação significativa entre tratamentos x profundidades.

Profundidade	Tratamento	Ca ⁺²	Mg ⁺²	V (%)	(H ⁺ + Al ³⁺)	m (%)	Al ³⁺	H ⁺
0 - 20 cm	T1	1,8333dA	0,3333cA	47,4088bA	2,7667aA	10,8682aB	0,3000aA	2,4667aA
	T2	3,3667aA	1,0000aA	80,1502aA	1,2000bB	0,0000bB	0,0000aB	1,2000bB
	T3	2,6667bA	0,8333bA	80,7180aA	1,0000bB	0,0000bB	0,0000aB	1,0000bB
	T4	2,2667cA	0,4000cA	54,6346bA	2,8667aA	8,3176abA	0,3000aA	2,5667aA
20 - 40 cm	T1	0,3333cB	0,3000aA	18,8289bB	3,2333aA	66,2234aA	1,4667aA	1,7667aB
	T2	1,9000abB	0,3333aB	53,8280aB	2,2000bA	5,1571bB	0,1333bB	2,0667aA
	T3	1,5667bB	0,3333aB	57,8104aB	1,9333bA	8,5908bA	0,2333baA	1,7000aA
	T4	2,1000aA	0,3333aA	57,1899aA	2,2667bB	12,9174bA	0,4333bA	1,8333aB
40 - 60 cm	T1	0,3333cB	0,3000aA	18,1992cB	3,1333aA	68,4890aA	1,5000aA	1,6333abB
	T2	0,9000bC	0,3000aB	36,3197bC	2,5667abA	37,3688bA	0,8000bA	1,7667aA
	T3	1,3000aB	0,3333aB	58,8662aB	1,5667cAB	16,9467cA	0,4333cA	1,1333bB
	T4	1,3667aB	0,3000aA	51,9883aA	2,0333bcB	8,6383cA	0,2000cA	1,8333aB

Ca²⁺ = Cálcio; Mg²⁺ = Magnésio; V(%) Percentagem de saturação por base; (H⁺ + Al³⁺) = Hidrogênio + Alumínio; m(%) = Percentagem de saturação por alumínio; Al³⁺ = Alumínio; H⁺ = Hidrogênio. T1 = Tratamento 1; T2 = Tratamento 2; T3 = Tratamento 3; T4 = Tratamento 4. Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística pelo teste de tukey (p < 0,05), Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste tukey (p < 0,05), letras iguais não diferem entre si significativamente.

4.2.2 Análise dos elementos químicos do solo que não tiveram interação significativa entre tratamentos x profundidades

Para a análise dos resultados presentes na tabela 7, não houve interação significativa entre tratamentos x profundidades, logo os resultados das análises independentes dos fatores são apresentados a seguir.

Tabela 7- Análise dos elementos químicos do solo que não tiveram interação significativa entre tratamentos x profundidades.

	Tratamento				Profundidade		
	T1	T2	T3	T4	0 -20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
pH	4,08889b	5,07778a	5,51111a	4,86667a	5,6000a	4,78333b	4,27500b
K	0,14498c	0,26410b	0,60057a	0,52279a	0,48803a	0,37543b	0,28587c
N	0,05324b	0,06160b	0,05751b	0,07804a	0,08177a	0,06290b	0,04313c
S.B	1,41692b	2,97811a	3,03632a	2,90057a	3,75217a	2,23956b	1,75722b
CTC	2.50581b	3,28922a	3,25854a	3,21168ab	3,90217a	2,80623b	2,49055b
P	1,44444b	5,66667a	3,55556ab	2,55556b	5,33333a	3,41667a	1,16667b

pH = potencial hidrogeniônico; K⁺ = Potássio; N = Nitrogênio; SB = Soma de Bases; CTC = Capacidade de Troca Catiônica; P = Fósforo; T1 = Tratamento 1; T2 = Tratamento 2; T3 = Tratamento 3; T4 = Tratamento 4; Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey (P < 0,05), Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste Tukey (P < 0,05), Letras iguais não diferem entre si significativamente.

Em relação aos tratamentos verificou-se que as variáveis que apresentaram relação de significância quanto aos tratamentos foram: pH, K⁺, N, P, SB e CTC.

Para o pH e SB, observou-se que T2, T3 e T4 não apresentaram diferenças significativas entre si, mas apresentaram diferenças significativas em relação a T1.

Observou-se que os solos com manejo de vinhaça apresentaram um pH mais elevado em relação ao solo sem manejo de vinhaça. A análise química da vinhaça de acordo com Marques (2006) e Rossetto; Santiago (2007), na tabela 1, resultou num caráter ácido. A princípio esperava-se que a adição de vinhaça ao solo acarretasse uma diminuição no valor do pH do solo. Segundo Magalhães (2010), a elevação do pH ocorre pela ação de microrganismos, causado pela proliferação de fungos na área onde a vinhaça foi aplicada e com isso o solo vai neutralizando; logo quando a vinhaça é aplicada, a acidez aumenta, depois que ocorre a redução, aumentando as bactérias. No entanto os valores da vinhaça aplicada ao

solo, para esse experimento, apresentaram um caráter levemente ácido (tabela 4), o qual provavelmente auxiliou na elevação do pH dos solos manejados com vinhaça.

Baseando-se na figura 1, constata-se que os solos com aplicação de vinhaça apresentaram um pH que favorece a disponibilidade de nutrientes no solo.

Em relação a SB constatou-se que os solos com manejo de vinhaça apresentaram maior índice de fertilidade, que segundo Lobo e Silva (2008) a soma de bases é indicadora da fertilidade do solo, assim, quanto maior for o valor obtido para este parâmetro, maior será a fertilidade do solo.

Observou-se que os tratamentos com aplicação de vinhaça proporcionaram melhor $CTC_{efetiva}$ em relação ao solo sem manejo de vinhaça. Segundo Glória e Orlando Filho (1983), a elevação da CTC pode ser justificada pelo grande aporte de matéria orgânica representada pelas adições da vinhaça e torta de filtro. Pela característica coloidal da matéria orgânica contida na vinhaça, sua adição confere ao solo maior quantidade de cargas negativas, diminuindo o potencial de lixiviação de cátions.

Os resultados mostram um teor de K^+ maior nos solos onde houve aplicação de vinhaça. Esse fato está evidenciado na tabela 4, onde se observa que a vinhaça é rica nesse nutriente. Esse resultado concorda com Glória e Orlando Filho (1983), Camargo et al. (1983), Paula et al. (1989) e Rosado et al. (2007).

Quanto ao P foi observado aumento significativo nos tratamentos sem queima (tabela 7). Canellas et al. (2003) observaram aumento no conteúdo de P disponível em um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar sem queima. Os resultados também concordam com Reis e Monnerat (2002), os quais observaram um aumento no teor de P no sistema cana crua e no sistema cana com vinhaça, em comparação aos sistemas cana queimada e cana sem vinhaça. A preservação da palhada e a adição de vinhaça podem ser estratégias importantes na manutenção e aumento da fertilidade do solo a longo prazo em lavouras de cana-de-açúcar.

Em relação às profundidades (tabela 7), verificou-se que o pH diminuiu com o aumento da profundidade. Esse resultado concorda com Malavolta (1980) o qual afirma que a acidez geralmente aumenta com a profundidade do solo. Os resultados para os teores de SB corroboram com os de Silva, Silva Jr e Melo (2006), os quais observaram que a SB diminuiu com o aumento da profundidade, quando estudaram os efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um Latossolo Amarelo do Estado do Pará. Os estudos de

Silva Jr; Melo (2006) e Ferreira (2004), Perez et al. (2004) e Araújo et al. (2004) também encontraram uma diminuição da CTC com o aumento da profundidade.

Em relação ao potássio, os resultados estão de acordo com Brito et al. (2009), que estudando o comportamento da vinhaça em diferentes solos, verificaram que o aumento do teor de K^+ no solo variou em profundidade.

Para o P, observa-se um decaimento nos valores médios com o aumento da profundidade. Esse fato também foi observado por Giacomini et al. (2003), os quais afirmam que se deve ao fato de que, a liberação do fósforo ocorre em maiores quantidades nas primeiras camadas do solo, devido ao acúmulo de resíduos vegetais de cultivos anteriores, proporcionado pelo plantio direto, o que vai depender da quantidade de nutrientes acumulados pelas plantas de cobertura. De acordo com Berwanger (2006) a movimentação vertical do P no perfil do solo é condicionada pelo tipo de solo, sendo que dependendo da textura e mineralogia, pode haver maior interação entre o solo e o nutriente, resultando em elevada adsorção do P. A lixiviação de P em solos com textura argilosa e com altas concentrações de alumínio é reduzida (SIMS et al., 1998).

4.2.3 Análises de variância dos atributos químicos avaliados que apresentaram interação significativa apenas para as profundidades

Para análise de C, M.O. e ECS, observou-se que não houve interação significativa entre tratamentos x profundidades (tabela 8).

Tabela 8 - análise dos elementos químicos do solo que apresentaram interação significativa apenas para as profundidades.

	Tratamento				Profundidade		
	T1	T2	T3	T4	0 -20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
C	0,85111a	0,83444a	0,78111a	0,96556a	1,16583a	0,80000b	0,60833c
M.O.	1,46732a	1,43858a	1,34664a	1,66462a	2,00990a	1,37920b	1,04877c
E.C.S	2,69267a	2,91020a	2,94516a	3,10757a	3,96013a	2,71378b	2,06779c

C=teor de carbono do solo ($g\ kg^{-1}$); ECS=estoque de carbono do solo ($t\ ha^{-1}$); M.O.=Matéria orgânica do solo (%)

Os diferentes tratamentos não apresentaram significância em relação a C, M.O. e ECS. Esse resultado concorda com Canellas et al. (2007), que verificaram que a adição de vinhaça, durante 35 anos ao canavial, não estimulou significativamente o aumento da matéria orgânica armazenada. Barros et al. (2013) avaliando o teor de C e N estocados no solo com cana-de-açúcar com e sem aplicação de vinhaça, em comparação ao solo de mata, não observaram diferença significativa para os teores de estoques de carbono e de nitrogênio do solo entre os tratamentos de cana-de-açúcar com e sem aplicação de vinhaça.

Esses atributos apresentaram significância apenas para o fator profundidade, com os valores de ECS, C. M.O. diminuindo com o aumento da profundidade (tabela 8). Freixo (2002) constatou que no solo sob Cerrado, a diminuição dos teores de C e N totais em profundidade deveu-se ao fato de que a maior parte dos resíduos orgânicos ficam depositados na superfície do solo, aumentando, assim, o acúmulo de matéria orgânica em superfície. Vasconcelos et al. (2010) caracterizando amostras de Latossolo Amarelo distrocoeso sob diferentes sistemas de manejo e profundidades, verificaram que os teores de C.O. nas amostras de solo estudadas decresceram significativamente com a profundidade. Gatto et al. (2010) obtiveram o mesmo resultado, quando estimaram o estoque de carbono em solo sob plantações de eucalipto na região Centro-leste do Estado de Minas Gerais.

A profundidade de 0 - 20 cm apresentou o maior resultado médio para C, M.O e ESC. De acordo com Lovato et al. (2004), este efeito pode estar associado, à adição de material orgânico e à alta decomposição de raízes, em geral mais abundantes nesta faixa. Segundo Canellas et al. (2003), a manutenção do palhico da cana-de-açúcar sobre o solo, bem como a aplicação dos resíduos da indústria sucroalcooleira como a torta de filtro e vinhaça, promovem aumento nos teores de matéria orgânica do solo (MOS).

4.3 Análise física do solo

Conforme a tabela 9, os atributos físicos analisados (DS, PT e DP) não apresentaram interação significativa entre tratamentos x profundidades, logo os fatores tratamentos e profundidades foram analisados independentemente.

A análise de variância indicou que a densidade do solo e a porosidade total apresentaram interação significativa apenas para o fator tratamento enquanto que a densidade de partícula não foi significativo para nenhum dos fatores.

Tabela 9- Resultados da análise de variância.

Análise estatística	Atributos físicos
Significativo para tratamento e profundidade (Com interação)	-
Significativo para tratamento e profundidade (Sem interação)	-
Significativo apenas para profundidade	-
Significativo apenas para tratamento	DS, PT
Não significativo para nenhum dos fatores	DP

DS = Densidade do Solo (g.cm^{-3}); PT = Porosidade total (%); DP = Densidade da partícula (g.cm^{-3})

4.3.1 Análises dos resultados significativos apenas para tratamento

Os resultados das análises de densidade do solo e porosidade total estão apresentados na tabela 10.

Tabela 10 - Análise dos elementos físicos do solo que apresentaram significância apenas para tratamento.

	Tratamento				Profundidade		
	T1	T2	T3	T4	0 -20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
DS	1,58815c	1,75482b	1,88222a	1,59074c	1,70583a	1,69139a	1,71472a
PT	37,68871a	30,57092b	26,90074b	36,89685a	33,17583a	33,60528a	32,26181a

DS = Densidade do Solo (g.cm^{-3}); PT = Porosidade total (%)

De acordo com os resultados para densidade do solo e porosidade total (tabela 10), verificou-se que não houve interação significativa entre tratamentos x profundidades, logo esses fatores são independentes entre si.

Analisando-se a relação entre os diferentes tratamentos para densidade do solo (tabela 10), observou-se que T3 e T2 diferiram significativamente em relação aos outros tratamentos, apresentando um maior resultado médio. Segundo Camargo (1997), uma das principais causas da degradação do solo é a compactação, resultado do processo de aumento da densidade e resistência à penetração. A compactação do solo ocorre de maneira muito frequente em ambientes que utilizam máquinas e implementos ou em áreas onde o pisoteio de animais é intenso, constituindo um dos mais sérios fatores de restrição ao desenvolvimento das plantas.

Kiehl (1979) afirma que para solos argilosos a densidade do solo é considerada ideal quando assume valores entre 1,0 e 1,2 g. cm⁻³. Para os solos analisados os valores médios de densidade foram superiores ao sugerido por Kiehl (1979), conforme tabela 10. Esse fato pode está relacionado com o manejo do solo durante a colheita da cana-de-açúcar, onde máquinas pesadas como tratores e caminhões trafegam sobre o solo. De acordo com os resultados estatísticos, os tratamentos T1 e T4 foram semelhantes entre si. Esses tratamentos não utilizam colheita mecanizada e evidenciaram um menor valor médio para densidade do solo.

Em relação à porosidade total (tabela 10), observou-se que os tratamentos T2 e T3 apresentaram os menores valores médios de porosidade total do solo, possivelmente por conta da mecanização da colheita, corroborando com os valores mais altos encontrados na densidade de solos desses tratamentos. Para Grego (2010) a intensificação no maior grau de mecanização nas diversas fases do processo de produção da cana-de-açúcar tem um forte impacto sobre o solo, o que diminui sua porosidade e permeabilidade.

4.3.2 Análises dos resultados não significativos para nenhum dos fatores

Os resultados das análises de densidade do solo e porosidade total estão apresentados na tabela 11.

Tabela 11 - Análise dos elementos físicos do solo que não apresentaram significância.

Tratamento				Profundidade		
T1	T2	T3	T4	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
DP 2,55060a	2,53070a	2,57706a	2,52181a	2,55263a	2,54906a	2,53343a

DP = Densidade da partícula (g.cm⁻³)

De acordo com a tabela 11, observou-se que a variável densidade da partícula não apresentou nenhuma variância significativa tanto em relação ao tratamento quanto à profundidade.

4.3.3 Análise granulométrica e classificação textural

As análises granulométricas dos solos estão apresentadas na tabela 12 e na figura 4. Para a classificação das classes texturais foi tirada uma média das repetições de cada camada.

A classe textural do solo foi classificada de acordo com o triângulo de Ferret. Observou-se que para a unidade experimental – T1, a classe textural difere de acordo com a profundidade, sendo a camada de 0 – 20 cm classificada como argilo arenosa, a de 20 – 40 cm como argilosa e a de 40 – 60 cm como muito argilosa. A unidade experimental – T4 apresentou a mesma classificação textural da unidade experimental – T1 para todas as camadas.

Para a unidade experimental – T2, a classe textural das camadas 0 – 20 cm e 20 - 40 cm, foram classificadas como argilo arenosa, enquanto que a camada de 40 – 60 cm foi argilosa. A unidade experimental - T3 apresentou a mesma classificação textural da unidade experimental - T2 para todas as camadas.

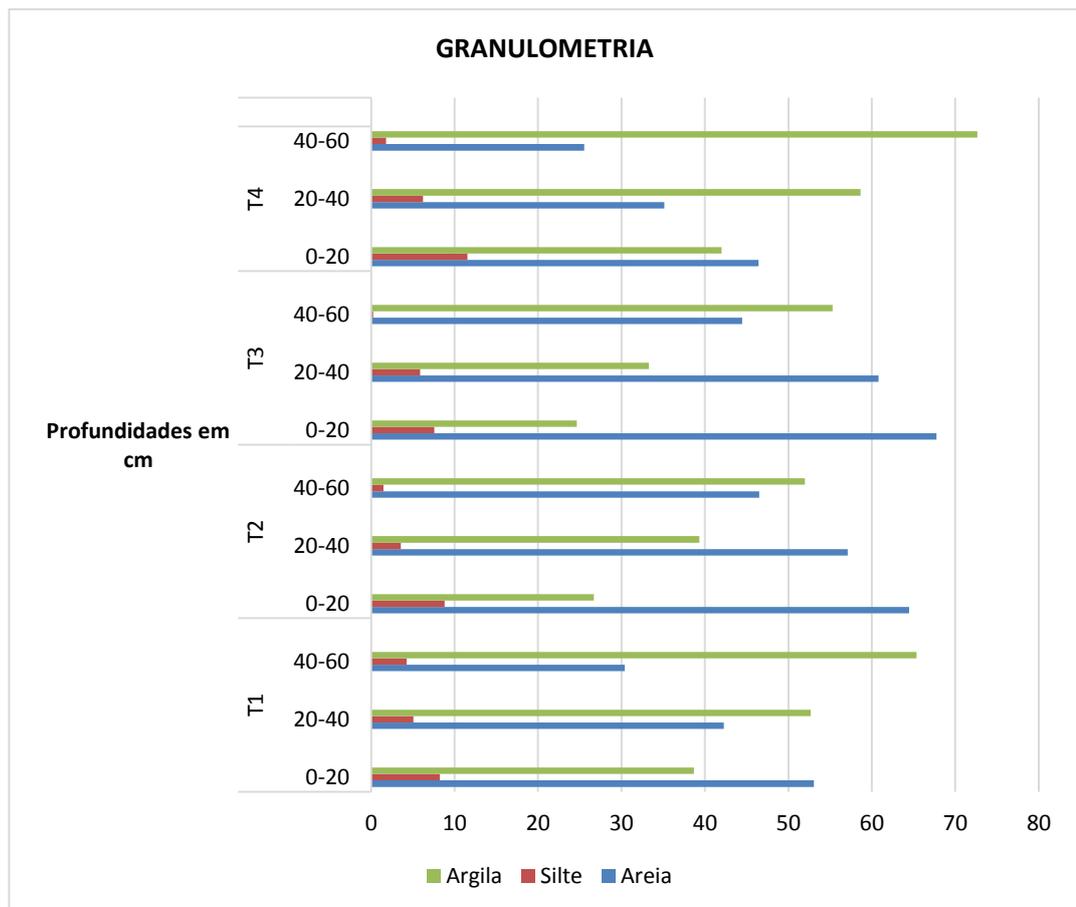
Verifica-se que em todos os tratamentos a camada superficial (0 – 20 cm) dos solos apresentam mesma classe textural, entretanto, nota-se que os valores (%) da argila nos tratamentos T1 e T3 são inferiores quando comparados aos dos tratamentos T2 e T4. Nota-se também que o incremento de argila em profundidade dos tratamentos T1 e T4 são bem maiores que os demais. Este aumento no percentual de argila condiz com a classe dos Argissolos, caracterizados pela presença de horizonte B textural, onde ocorre um incremento de argila em profundidade (EMBRAPA, 2013).

Tabela 12 - Análise granulométrica das unidades experimentais analisadas.

Camada cm	Granulometria da TFSA - T1				Classe Textural	Camada cm	Granulometria da TFSA - T2				Classe Textural
	Areia	Silte %	Argila				Areia	Silte %	Argila		
0-20	53,08	8,22	38,69		Argilo arenosa	0-20	64,48	8,82	26,69	Argilo arenosa	
20-40	42,25	5,05	52,69		Argilosa	20-40	57,1	3,56	39,33	Argilo arenosa	
40-60	30,38	4,26	65,35		Muito argilosa	40-60	46,5	1,49	52	Argilosa	

Camada cm	Granulometria da TFSA - T3				Classe Textural	Camada cm	Granulometria da TFSA - T1				Classe Textural
	Areia	Silte %	Argila				Areia	Silte %	Argila		
0-20	67,75	7,58	24,66		Argilo arenosa	0-20	46,44	11,56	42	Argilo arenosa	
20-40	60,82	5,87	33,3		Argilo arenosa	20-40	35,14	6,21	58,64	Argilosa	
40-60	44,45	0,23	55,3		Argilosa	40-60	25,54	1,79	72,66	Muito Argilosa	

Figura 4 - Gráfico das relações entre profundidades e granulometria para as diferentes unidades experimentais analisadas.



4.4 Análise das raízes

Com base nos valores obtidos de massa seca das raízes (figura 5) realizou-se análise estatística, porém não foi possível obtenção de dados satisfatórios, visto que houve grande variação entre os valores, não possuindo uma distribuição normal, com valor altíssimo de coeficiente de variação. Por conta disso, realizou-se uma análise descritiva dos dados.

Verificou-se que o tratamento T1, sem aplicação de vinhaça, apresentou maior quantidade de matéria seca de raízes em relação aos tratamentos manejados com vinhaça, conforme figura 5.

Esse resultado contradiz Paulino et al. (2010), os quais estudando o uso de vinhaça ao longo do tempo, verificaram que houve aumento na quantidade de raízes no perfil do solo. Silva et al. (2006), também estudando as alterações físicas e químicas de um Argissolo Amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo, verificaram que o solo que recebeu vinhaça apresentou os maiores valores de massa seca de raízes nas camadas de 0 – 20 cm e de 20 – 40 cm. Esses autores atribuíram o maior desenvolvimento do sistema radicular, pelo fato da aplicação de vinhaça ter proporcionado melhor condição química nessas camadas.

Para os tratamentos com aplicação de vinhaça, observou-se que o tratamento T4 apresentou uma maior quantidade de raízes, quando comparados com T2 e T3. Esse fato ocorreu, provavelmente, porque nas unidades experimentais dos tratamentos T2 e T3 trafegam máquinas durante a colheita, acarretando um aumento na densidade do solo. Dessa forma, segundo Boone e Veen (1994) o aumento da densidade ou resistência à penetração, causa redução do crescimento radicular, diminuindo o potencial de crescimento da cultura e da taxa de crescimento radicular.

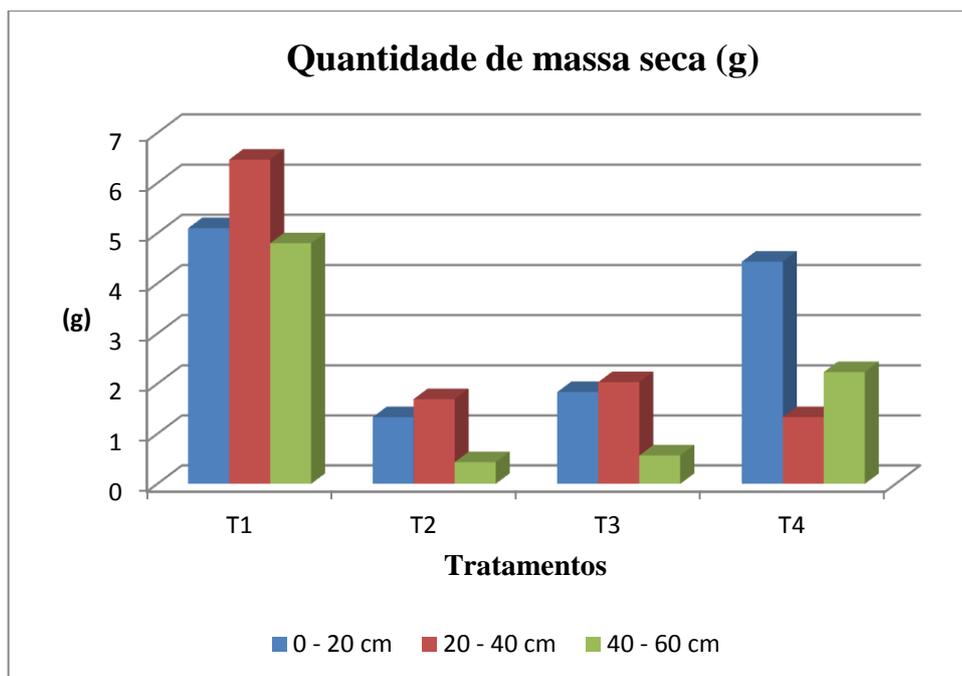
Na camada de 20 – 40 cm ocorreram as maiores quantidades de matéria seca de raízes para todos os tratamentos, com exceção do tratamento T4, o qual apresentou a maior quantidade de matéria seca na camada 0 – 20 cm.

Para todas as unidades experimentais observou-se uma maior quantidade de raízes presentes nas camadas superficiais 0 – 20 cm. Os resultados obtidos estão de acordo com Lima et al. (2013) e Oliveira et al. (2013), os quais afirmam que na cultura da cana-de-açúcar 85% das raízes se encontram na camada de 0 - 50 cm de profundidade, sendo que deste valor, 60% concentram-se na camada de 20 - 30 cm.

Durante a análise de raízes foi possível identificar que as coletadas na unidade experimental manejada sem aplicação de vinhaça, apresentaram-se mais grossas e quebradiças. Para as raízes oriundas das unidades experimentais manejadas com vinhaça, verificou-se que elas apresentavam um diâmetro menor e com maior quantidade de pêlos. Segundo Stolzy e Barley (1968), os pêlos radiculares atuam na absorção de água e nutrientes e mediante compactação do solo, seu desenvolvimento é comprometido.

De modo geral, segundo Tinker (1981), é essencial que raízes e nutrientes se distribuam apropriadamente entre si para haver máxima eficiência do sistema radicular e isso também deve ser considerado em relação à variável tempo, devido ao crescimento e distribuição das raízes, ao movimento de íons no solo, às alterações de demanda pela cultura e às mudanças do teor de água no solo.

Figura 5 – Resultado da massa seca das raízes.



4.5 Respiração basal do solo

A atividade microbiana, nas diferentes áreas estudadas, foi estimada pela produção de CO₂ pela respiração basal acumulada ao final de 07 dias de incubação. De acordo com a figura 6, observou-se que a maior respiração basal do solo foi identificada nas áreas manejadas com vinhaça. Segundo Islam e Weil (2000), a respiração basal é um dos

indicadores mais sensíveis da atividade dos microrganismos do solo. Maiores valores de respiração microbiana podem ocorrer em solos mais perturbados ou em solos com elevada produtividade. Os tratamentos T2 e T3 apresentaram os maiores valores quando comparados com o tratamento T4, isso provavelmente é atribuído à constante adição ao solo de composto orgânico (palhada), pois os tratamentos T2 e T3 possuem colheita mecanizada com a cana crua, enquanto que no tratamento T4 a cana é queimada. De acordo com Della Bruna et al. (1991) a atividade microbiana pode ser aumentada em cerca de 5 vezes pelo efeito da serapilheira. Alves et al. (2011) obtiveram maiores valores de respiração microbiana em áreas de mata, quando comparada com áreas de lavoura, pecuária e integração lavoura-pecuária. A área que não é manejada com vinhaça, T1 apresentou o menor valor para a respiração basal do solo, provavelmente devido a ausência da aplicação de vinhaça e da realização da queima. Elevada taxa respiratória indica alta atividade biológica, podendo ser uma característica desejável, uma vez que pode significar transformação rápida de resíduos orgânicos em nutrientes disponíveis para as plantas. A qualidade do substrato pode afetar a respiração microbiana (WANG et al., 2004). Alguns autores como Penã et al. (2005) e Silveira et al. (2005) avaliaram a respiração microbiana como indicador de qualidade do solo em ecossistema florestal e em solos de áreas degradadas e concluíram que a respiração microbiana seria um bom indicador microbiológico para caracterizar a qualidade desses solos.

Figura 6 - Respiração basal do solo ($\mu\text{G CO}_2\cdot\text{G SOLO}^{-1}\cdot\text{DIA}^{-1}$).



4.6 Produtividade das unidades experimentais analisadas nos últimos cinco anos

Conforme tabela 13, os fatores levados em consideração quanto à produtividade foram: manejo aplicado, idade do canavial e números de cortes.

Em relação ao manejo aplicado, observou-se que nas unidades experimentais T2, T3 e T4, todas manejadas com vinhaça, houve uma maior produtividade quando comparadas com a unidade experimental T1, o qual não é manejado com vinhaça. Porém, na unidade experimental T2, na safra 2015/2016, houve um decréscimo na sua produtividade. Esse fato pode ter ocorrido por conta que durante esse período o seu manejo foi alterado, não havendo aplicação de vinhaça e irrigação.

A idade do canavial é um fator de grande importância na produtividade, segundo Única (2004), o primeiro ciclo da cultura, chamada de cana planta, pode ser de 12 meses (cana de ano – CA) ou 18 meses (cana de ano e meio – CAM). Após o primeiro corte, o ciclo passa a ser de 12 meses para todas as variedades, conhecida como cana soca (CS). A mesma cana-de-açúcar pode ser colhida cinco ou mais vezes, porém, a cada ciclo devem ser feitos investimentos significativos em insumos e tratos culturais para se manter a produtividade. De acordo com Silva et al. (2010) um canavial mantém-se produtivo por cinco a seis cortes, quando a produtividade média atinge ao redor de 65 t/ha de colmos.

O corte da cana está diretamente relacionado com a idade do canavial, para tanto se deve considerar a maior concentração de sacarose nos colmos para o momento mais propício da colheita.

Os resultados demonstraram que as unidades experimentais que apresentaram a idade do canavial superior aos 11 meses, apresentaram um aumento na produtividade. Ainda se observou que a colheita em soqueiras, apresentaram maior produtividade do que a colheita com cana planta. Logo a renovação do canavial depende da queda do rendimento físico ao longo de ciclos sucessivos e da vantagem que essa renovação oferece.

As unidades experimentais T3 e T4 apresentaram um decréscimo na produtividade para a safra 2015/2016, provavelmente por conta da idade dos canaviais serem inferiores ao prazo de 12 meses, conforme recomendado pela Única (2004). Além disso, a unidade experimental T4 estava com um tempo de corte bastante elevado.

Em relação a unidade experimental T1, observou-se que a mesma não apresentou uma produtividade satisfatória, provavelmente pelo manejo sem aplicação de vinhaça e o elevado número de cortes apresentados nessa unidade, a qual mesmo apresentando uma produtividade baixa, não foi renovada. Além desses fatores, obteve-se a informação de que essa unidade experimental na safra 2012/1013 teve parte do seu canavial queimado e como a Usina Petribú não se encontrava em tempo de safra, a sua produção foi perdida. Na safra 2014/2015 toda a unidade foi renovada, vindo a ter a sua primeira colheita na safra 2015/2016, com uma área colhida menor, pois parte desse canavial foi destinada ao plantio de eucaliptos.

Fazendo-se um comparativo entre as últimas safras, observou-se que a safra 15/16 apresentou uma queda de produtividade em relação à safra anterior. Esse fato pode ser justificado pelo forte período de seca nessa região.

De modo geral as unidades experimentais manejadas com vinhaça apresentaram uma maior produtividade, destacando-se as unidades experimentais T2 e T3.

Tabela 13 – resultado da produtividade das unidades experimentais nos últimos cinco anos.

Safrá	Área	Idade	Nº de corte	TCH
	ha	mês		t/há
Tratamento 1				
2011/2012	5,82	8,70	9	16,27
2012/2013	3,00	13,30	10	42,33
2013/2014	5,82	14,01	11	18,32
2014/2015	5,82			
2015/2016	1,50	0,00	1	81,84
Tratamento 2				
2011/2012	15,73	11,90	6	71,98
2012/2013	15,73	12,60	1	41,94
2013/2014	11,05	7,90	2	163,21
2014/2015	13,33	14,90	3	179,10
2015/2016	13,81	7,70	4	81,45
Tratamento 3				
2011/2012	25,07	10,40	10	73,99
2012/2013	24,57	14,30	11	64,45
2013/2014	23,58	11,40	1	67,09
2014/2015	25,07	11,60	2	89,39
2015/2016	25,07	9,30	3	47,13
Tratamento 4				
2011/2012	10,87	10,70	7	69,78
2012/2013	5,87	12,30	8	43,67
2013/2014	10,87	12,30	9	117,48
2014/2015	10,87	12,20	10	80,38
2015/2016	10,87	9,20	11	42,65

TCH = Tonelda de Cana por Hectare; ha = hectare (área)

*Dados fornecidos pelo Depto técnico da Usina Petribú.

5 CONCLUSÕES

Em relação aos atributos químicos do solo observou-se que os tratamentos manejados com vinhaça apresentaram os melhores resultados, sendo aquele sem aplicação de vinhaça o que apresentou pH mais ácido e elevados teores de saturação por alumínio, ocasionando uma diminuição na disponibilidade de nutrientes no solo.

A aplicação de vinhaça proporcionou aumentos significativos nos teores de potássio no solo, diminuindo com a profundidade.

Os tratamentos não diferiram entre si para Estoque de Carbono no Solo, sendo comprovado que a vinhaça não interferiu nessa estocagem.

As unidades experimentais que tiveram aplicação de vinhaça apresentaram maior compactação, com maior destaque para os tratamentos com colheita mecanizada.

O manejo com aplicação de vinhaça não interferiu no aumento da quantidade de massa seca de raízes no solo.

As unidades experimentais manejadas com vinhaça apresentaram os melhores valores para a respiração basal do solo.

As unidades experimentais tratadas com vinhaça tiveram um aumento na disponibilidade de nutrientes e produtividade.

6 REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 14.283. **Resíduos em solos - Determinação da biodegradação pelo método respirométrico**. Rio de Janeiro, 1999.

_____ a. **NBR 12772**: 1992: Água - Determinação de fósforo: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.

_____ b. **NBR 13812**: 1997: Água - Determinação de cálcio: método da espectrometria de absorção atômica por chama. Rio de Janeiro, 1997.

_____ c. **NBR 13805**: 1997: Água - Determinação de potássio: método da espectrofotometria por emissão de chama. Rio de Janeiro, 1997.

_____ d. **NBR 13796**: 1997: Água - Determinação do nitrogênio: método macro e semimicro Kjeldahl. Rio de Janeiro, 1997.

ABREU, C. A. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. **Micronutrientes**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. cap. XI, p. 645-736.

AGUJARO, R. **O uso da vinhaça na Usina Tamoio como fertilizante**. Saccharum. STAB, São Paulo, v.2, p.4, mar., 1979.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London, Academic Press, 1995. 576p.

ALFONSI, R. R.; PEDRO, J. M. J.; BRUNIN, O.; BARBIERI, V. **Condições climáticas para a cana-de-açúcar**. In: PARANHOS, S. B. (Ed.). **Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização**. 1. Ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 42-55.

ALMEIDA, B. A. D. L.; BARRETO, G. F. B.; GONÇALVES, C. M. N. **Resíduos da agroindústria canavieira no Estado de Minas Gerais: usos e conservação ambiental**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte. v. 28, n. 28, p. 96-100. 2007.

ALMEIDA, B. G. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo**. 2008. 105 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, São Paulo: ESALQ/USP, SP. 2008.

ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. **Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos**. Acta Scientiarum Agronomy. Maringá, v.33, n.2, p.341-347, 2011.

AMÉRICO, J. L. **Características físicas e fator de erodibilidade de quatro solos representativos do município de São Mamede – Paraíba**. Areia. 1979. 89p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba UFPB, Areia/PB, 1979.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Manual de conservação e reúso de água na agroindústria sucroenergética**. Brasília: ANA, 2009.

ANDRADE, M. C. (Ed.). **Pernambuco cinco séculos de colonização**. João Pessoa: Grafset, 2004. 168 p.

ANGHINONI, I.; MEURER, E. J. **Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes**. In: Whorkshop sobre sistema radicular: Metodologia e estudo de casos, Aracaju, 1999. Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p. 57-87.

AFOCAPI/COPLACANA; **Métodos de Correção do Solo** – 2010. Disponível em <http://www.cana.com.br/afocapi/METODOS_DE_CORRECAO_DO_SOLO.pdf>. Acesso em 07 de Abril de 2016.

ARAÚJO, E. A.; LANI, J. L.; AMARAL, E. F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, Mar./Apr. 2004.

ASSOULINE, S.; TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Effects of compaction on soil physical and hydraulic properties: experimental results modeling. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p.390-398, 1997.

AZEVEDO, H. M. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros da Paraíba**. Campina Grande: UFCG, 2002. 112p. Tese Doutorado

BARBIERI, V. **Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): Um modelo matemático-fisiológico de estimativa**. Piracicaba, 1993. 140 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

BARNES, A. C. (Ed). **The sugar cane**. New York: The New York Interscience Publishers, 1964. 456 p.

BARROS. J. D. S.; CHAVES. L. H. G.; CHAVES. I. B.; FARIAS. C. H. A.; PEREIRA. W. E. Estoque de carbono e nitrogênio em sistemas de manejo do solo, nos tabuleiros costeiros paraibanos. **Revista Caatinga, Mossoró**, v. 26, n. 1, p. 35-42, jan.-mar., 2013.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; CERETTA, C.A. **Effect of on no till ropping systems on soil organic matter in an sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance of ¹³C**. Soil Tillage, Amsterdam, v. 53, p. 95-104, 2000.

BERNARDES, R. S., KLAPWIJK, A. Biological nutrient removal in a sequencing batch reactor treating domestic wastewater. **Water Science & Technology** 33 (9), p. 29-38, 1996.

BERWANGER, A. L. **Alterações e transferências de fósforo do solo para o meio aquático com o uso de dejetos líquidos de suínos**. 2006. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2006.

BÖHM, W. Methods of studying root systems. Berlim: Springer-Verlag, 1979.188p. **J. Agric. Sci.**, 87:365-368, 1979.

BOONE, F. R.; VEEN, B. W. **Mechanisms of crop responses to soil compaction**. In: SOANE, B. D.; van OUWERKERK, C. (Eds.). Soil Compaction in crop production. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.237-264.

BOWEN, H. D. **Alleviating mechanical impedance**. IN: ARKIN, G. F. & TAYLOR, H. M., eds. Modifying the root environment to reduce crop stress. 1981. p. 18-57. Michigan. (ASAE monograph, 4).

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. **Nitrogen-total**. In: PAGE, A.L. (Ed.). Methods of soil analysis. Madison: ASA, 1982. pt.2, p.595-624.

BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Efeito da aplicação de vinhaça nas características químicas de solo da Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência Agrárias**, Recife, v. 4, n. 4, p. 456-462, 2009.

BROOKES, P. C. **The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals**. Biol. Fert. Soils, 19:269-279, 1995.

BUSS, A. **Viabilidade do uso de herbicida em mistura com vinhaça em soqueiras de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 1977.

CÂMARA, G. M. S. **Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar**. In: CÂMARA, G.M.S. (Ed.) Produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: ESALQ, 1993, p.31-64.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. São Paulo: Divisão de biblioteca e documentação - ESALQ/USP, 1997. 132 p.

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

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

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

CANAOESTE. Setor sucroalcooleiro. 2008. Disponível em: http://www.canaoeste.com.br/principal.php?mai=35&local=setor_canavieiro. Acesso em 13 maio 2016.

CANELLAS, L. P. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003.

CANELLAS, L. P.; BALDOTTO, M. A.; BUSATO, J. G.; MARCIANO, C. R.; MENEZES, S. C.; SILVA, N. M. D.; RUMJANEK, V. M.; VELLOSO, A. C. X.; SIMÕES, M. L.; MARTIN-NETO, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 331-340, 2007.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003.

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

CARRIJO, O. A.; VIDAL, M. C.; REIS, N. V. B.; SOUZA, R. B.; MAKISHIMA N. 2004. Produtividade do tomateiro em diferentes substratos e modelos de casas de vegetação. **Horticultura Brasileira** 22: 5-9.

CASCUDO, L. C. **Sociologia do açúcar: pesquisa e educação**. Rio de Janeiro: Instituto do Açúcar e do Alcool. Serviço de Documentação, 1971. 478 p. (Coleção canavieira, 5).

CASTRO, J. de. **Geografia da fome**. Rio de Janeiro, 1952. 322 p

CASTRO, P. R. C. **Maturadores químicos em cana-de-açúcar**. In: SEMANA DA CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 4., Piracicaba, 1999. Anais. Saccharum, v.1, p. 12-16, 1999.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (ed). **Ecofisiologia de culturas extrativas: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendezeiro e oliveira**. Cosmópolis: Editora Stoller do Brasil. 138p. 2001.

CATANI, R. A.; GALLO, J. R. Avaliação da Exigência em Calcário dos Solos do Estado de São Paulo, Mediante Correlação entre o pH e a Porcentagem da Saturação de Bases, **Revista de Agricultura**, Piracicaba, SP. v: 30, p.49-60, 1955.

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

CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília: Embrapa, 2004. 307 p.

CHAIN, K. Y.; DALAL, R. C. **Soil organic matter in rainfed cropping system of the Australian cereal belt**. Austr. J. Soil Res., 39:435-465, 2001.

CHAVES, L. H. G.; TITO, G. A.; CHAVES, I. B.; LUNA, J. G. e SILVA, P. C. M. Propriedades químicas do solo aluvial da Ilha de Assunção – Cabrobó (Pernambuco). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:431-437, Viçosa. maio/jun. 2004.

CHUDOBA, J., ALBOKOVA, J., CECH, J. **Determination of Kinetic constant of activated sludge microorganisms responsible for degradation of xenobiotics**. Wat. Res. 23: 1431-1438, 1989.

CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 7:197-201, 1983.

COELHO, M. B.; PEIXOTO, M. J. C. **Considerações econômicas sobre aplicação da vinhaça por aspersão em cana-de-açúcar.** In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2, Rio de Janeiro, 1986.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Safras:** Cana: 2015/2016: Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em 15 maio 2016.

CRONQUIST, A. 1981. **An Integrated System of Classification of Flowering Plants.** New York: Columbia University Press

CURI, N. **Vocabulário de Ciência do Solo.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. 1993. 89p.

CURTIS, R. O.; POST, B. W. **Estimating bulk density from organic matter content in some Vermont forest soils.** Soil Sci. Soc. Am. Proc., 28:285-286, 1964.

DELGADO, A. A.; AZEREDO CÉSAR, M. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana.** Vol. II. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1977.

DELLA BRUNA, E.; BORGES, A. C.; FERNANDES, B.; BARROS, N. F.; MUCHOVEJ, R. M. C. Atividade da microbiota de solos adicionados de serapilheira de eucalipto e de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 15-20, 1991.

DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M. S. **Indicadores de qualidade de solo.** In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (eds) Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília – DF: Embrapa, 2005. p. 17-28.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, p.201-214, 2004.

DIAS JUNIOR, M. S.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; SILVA, A. R.; FERREIRA, D. F. Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural dos solos em sistemas florestais na região de Aracruz - ES. **Revista Árvore**, Viçosa, v.23, n.4, p.371-380, 1999.

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

DIAS, B. O. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido à aplicação contínua de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 701- 711, 2007.

DIAS, L. E.; GRIFITH, J. J. **Conceituação e caracterização de áreas degradadas.** In: Recuperação de Áreas Degradadas. Dias, L.E. & Mello, J.W.V. (eds). Viçosa-UFV, Departamento de Solos, 1998. p. 1-8.

DOELSCH, E.; MASON, A.; CAZEVIEILLE, P.; CONDOM, N. Spectroscopic characterization of organic matter of a soil and vinasse mixture during aerobic or anaerobic incubation. **Waste Management, Oxford**, v. 29, n. 6, p. 1929-1935, June 2009.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water.** Rome: FAO, 1979, 193p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).

ECKERT, D. J. **Soil test interpretations: Basic cation saturation ratios and sufficiency levels.** In: Brown, J.R. (ed.) Soil testing: Sampling, correlation, calibration, and interpretation. Soil Science Society of America, Madison. 1987. p.53-64.

EKWUE, E. J.; STONE, R. J. **Organic matter effects on the strength properties of compacted agricultural soils.** Trans. Am. Soc. Agron. Eng., 38:357-365, 1995.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

FANTE JÚNIOR, L.; REICHARDT, K.; JORGE, L. A. C.; CRESTANA, S. Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada latossólica: I. Comparação de metodologias. **Scientia Agricola**, v.51, p.513-518, 1994.

FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. **La Caña de azucar.** Barcelona, Editorial Blume, 1975. 433p.

FAUSTO, B. **História Concisa do Brasil.** 2. ed. São Paulo: Edusp, 2006.

FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização física de substratos para plantas.** 2003. 81f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L., STOLF, R. **O subsolador alado como implemento de preparo de solo para a cana-de-açúcar.** Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, v.96, n.6, p.33-40, 1980.

FERREIRA, C. P. **Atributos físicos-hídricos e químicos do solo em sistemas agrícolas na microrregião de Castanhal, Pará.** 2004. UFRA, Belém, 2004. Tese (Doutorado). 145 p.il.

FERREIRA, E. S. da; MONTEIRO, A. O. de. **Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo.** Boletim Técnico Copersucar, São Paulo, (36):3-7. 1987.

FLEPS, W. **An automatic, continuous flow respirometer, its description and use.** Prog. Wat. Tech. 7:1 – 12, 1975.

FLINT, A. L.; FLINT, L. E. Particle density. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis.** Madison: Soil Science Society of America, pt. 4, p. 229-240, 2002.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar.** Guaíra: Agropecuária, 2000. 203 p.

FREITAS, C. E. **Qualidade da matéria prima.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. 2007, Brasília, DF. Anais.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S.; Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de latossolo do

cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p. 425-434, 2002.

FREIXO, A. A.; CANELLAS, L. P.; MACHADO, P. L. O. A. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e leve intra-agregados de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.445-453, 2002.

FREYRE, G. (Ed.). **Açúcar em torno da etnografia da história e da sociologia do doce no Nordeste canavieiro do Brasil**. 3. ed. Recife: Massangana, 1987. 213 p.

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

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HÜBNER, A. P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E. **Liberção de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto**, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 38, p. 1097-1104, 2003.

GILBERT, R. A.; SHINE JUNIOR, J. M.; MILLER, J. D.; RICE, R. W.; RAINBOLT, C. R. The effect of genotype, environment and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. **Field Crops Research**, v.95, p.156-170, 2006.

GLINSKI, J.; LIPIEC, J. **Soil physical conditions and plant roots**. Florida: CRC, 1990. 250p.

GLÓRIA, N. A. da; SANTA ANA, A. G. Métodos de análise de resíduos de usinas de açúcar e destilarias. **Revista da Agricultura**, Piracicaba, v.50, n.1/2, p.29-34, 1975.

GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. **Aplicação de vinhaça como fertilizante**. SÃO Paulo: COPERSUCAR, 1983. p.5-38. (Boletim Técnico do Planalsucar, 5).

GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça: um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. **Álcool e Açúcar**, v.4, n15, p. 22-31, 1984.

GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. Determinação de nitrogênio, fósforo e potássio em tecido vegetal e vinhaça por digestão sulfúrica. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.88, n.4, p.298-304, 1975.

GOMES, G. (Ed.). **Engenho e arquitetura**. Recife: Massangana, 2006. 411 p.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R.; XAVIER, M. A. **Spatial variability of some biometric attributes of sugarcane plants (variety IACSP93-3046) and its relation to physical and chemical soil attributes**. **Bragantia**, Campinas, v. 69, suppl., p. 107-119, 2010.

GROFF, A. M. **Fatores de produção agropecuária**, apostila, transparências e notas de aulas. Campo Mourão: Departamento de Engenharia de Produção, FECILCAM, 2010.

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

HATANO, R.; IWANAGA, K.; OKAJIMA, H.; SAKUMA, T. Relationship between the distribution of soil macropores and root elongation. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.34, n.4, p.535-546, 1988.

HILLEL, D. **Solo e água: fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970. 231p.

HUANG, J. Y. C.; CHENG, M. D. **Measurements and new applications of oxygen uptake rates in activated sludge processes**. J. Wat. Poll. Cont. Fed. v. 56, p. 259-265, 1984.

HUMBERT, R. P. **The growing of sugar cane**. Amsterdam: Elsevier, 1968. 779 p.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.79, p.9-16, 2000.

JANZEN, H. H.; CAMPBELL, C. A.; BRANDT, S. A.; LAFOND, G. P.; TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.1799-1806, 1992.

KEATING, B. A.; ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C.; HUTH, N. I. Modelling sugarcane production systems I. Development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research**, v. 61, n. 3, p. 253-271, May 1999.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia: Relação Solo-Planta**. Editora Agronômica Ceres. São Paulo – SP. 1979.

KOPI, A. J.; DOUGLAS, J. T. A rapid inexpensive and quantitative procedure for assessing soil structure with respect to cropping. **Soil Use and Management**, Oxford, v.7, p.52-6, 1991.

LA SCALA, N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G. T. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 91, n. 1, p. 244-248, 2006.

LAL, R. **Carbon sequestration in soil**. CAB Reviews: perspectives in agriculture, veterinary science, nutrition and natural resources, v. 3, n. 30. p. 1-20, 2008.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EdUSP, 2005. 335 p.

LIMA, R. P.; LEON, M. J.; GONZAGA, B. A. B. S.; SANTOS, R. F. 2009. **Resistência a Penetração e Densidade do Solo como Indicativos de Compactação do Solo em Área de Cultivo da Cana-de-Açúcar**.

LIMA, R. P.; LEON, M. J.; SILVA, A. R. Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. **Revista Ceres**, v.60, p.577-581, 2013.

LOBO, M. F. G.; SILVA, M. R. A. **Estudo da adubação verde em solo de áreas em recuperação**. ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, IX, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, SP. 2008.

LOPES, A. S. – **Manual de Fertilidade do Solo**, São Paulo, ANDA/Potafós, 1989, 153 p.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações.** ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos, n. 2, p. 50, 2004.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adições de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.175-187, 2004.

MAGALHÃES, V. R. **Influência de doses de vinhaça nas características agrônômicas de variedade de cana de açúcar cana-planta e atributos químicos do solo.** 2010. 89f. Dissertação (Mestrado Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Montes Claros – Unimontes, Janaúba, 2010.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 1980.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 2006. 631p.

MARCHIORI, L. F. S. **Influência da época de plantio e corte na produtividade da cana-de-açúcar.** 2004. 277p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

MARQUES, D. **Guia da cana.** Conselho de Informações sobre Biotecnologia – CIB. 2009, São Paulo, SP. Anais.

MARQUES, M. O. **Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça.** In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: Editorial 2006. p.369-375.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.425-433, 2003.

MAXIMILIANO, S. S. **Modelos para a previsão da produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) através de parâmetros climáticos.** 2002. 79 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MCLEAN, E. O. **Contrasting concepts in soil test interpretation: Sufficiency levels of available nutrients versus basic cation saturation ratios.** In: Stelly, M. (ed.) Soil testing: Correlating and interpreting the analytical results. Madison: American. Society of Agronomy, 1977. p.39-54.

MELO, A. S. S. A.; SILVA M. P. **Estimando o valor da “externalidade positiva” do uso da vinhaça na produção de cana de açúcar: um estudo de caso.** IV Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, Belém - PA, 2001.

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

MENDOZA, H. N. S.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. A.; CEDDIA, M. B.; ANTUNES, M. V. M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com

cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:201-207, 2000.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BESAN, F. M.; LOVATO, T.; FERNÁNDEZ, F. F. DEBARBA, L. **Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo**. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ V, V. H. (Ed.) Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 3, n. 7, 2003, p. 209-248.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Cana de-açúcar**, 2006. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em 15 maio 2016.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. **Relação solo-planta**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ VENEGAS, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS/UFV, 2007, p. 133-170.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. **Fósforo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2007, p.471-550.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, R. E.; MARQUES JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, E. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo Háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1103-1112, 2013.

OLIVEIRA, M. W.; FREIRE, F. M.; MACÊDO, G. A. R.; FERREIRA, J. J. **Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar**. Informe agropecuário, Belo horizonte, v.28, n.239, p. 30-43. 2007.

ORLANDO FILHO, J. **Calagem e adubação da cana-de-açúcar**. In: CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. (Orgs.). Produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: FEALQ-USP, 1993. p. 133-146.

ORLANDO FILHO, J. **Seja o doutor do seu canavial**. Piracicaba: POTAFOS, 1994. 17 p. (Arquivo do Agrônomo, 6).

PAULA, M. B. de; FONTES, P. C. R.; CARVALHO, V. D. de; NOGUEIRA, F. D. Utilização de vinhaça como fonte de potássio para a cultura da batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.7, n.2, p.6-8, 1989.

PAULINO, J.; ZOLIN, C. A.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; FOLEGATTI, M. V. Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. II Características da cana-de-açúcar, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.244-249, 2010.

PEDÓ, F. **Rendimento e distribuição de raízes de seis espécies de plantas em dois níveis de compactação do solo**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986. (Tese de Mestrado).

PELUCO, R. G. Suscetibilidade magnética do solo e estimação da capacidade de suporte à aplicação de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.6, p.661-672, jun. 2013.

- PEÑA, M. L. P.; Marques, R.; Jahnel, M. C.; Anjos, A. dos (2005), **Respiração microbiana como indicador de qualidade de solo em ecossistema florestal**. Floresta, Curitiba, v.35, n. 1: 117-127.
- PEREZ, A. M. M.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M. Impactos da implementação de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo. **Agropecuária Técnica**, v.25, n.1, p.25. 2004.
- PILLON, C. N.; SCIVITTARO, W. B.; POTES, M. L.; MORAES, C. S.; MICHELS, G. H.; PEREIRA, J. S. Acúmulo de carbono orgânico por sistemas de cultura sob plantio direto em terras baixas. Resumos do II Congresso Brasileiro de Agroecologia. **Revista Brasileira de Agroecologia**. Cruz Alta, RS, v.2, n.1, 2007.
- PORTUGAL, A. F. et al. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 2091-2100, 2008.
- QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.929-938, 2000.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/Potafos, 1991. 343p.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; CURTS, H. **Biologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1996. 728 p.
- REINERT, D. J. e REICHERT, J. M. **Propriedades física do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- REIS, R. A.; MONNERAT, P. H. Diagnose nutricional da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes (RJ-Brasil). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:67-372, 2002.
- RENNER, Rosana Maria. **Sequestro de Carbono e viabilização de novos reflorestamentos no Brasil**. Disponível em://www.ufrgs.br/necon/2evavea(3).pdf. Acesso em 04 de março de 2016.
- RIBEIRO, D. O; VILELA, L. A. F. **Nutrientes**. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/macronutrientes-do-solo-pdf-a44792.html>. Acesso em: 16 de jan.2016.
- RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C.; CASAGRANDI, D. V.; IDE, B. Y. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**, p. 82- 90. 2ª ed. Piracicaba: T.C.C. Ripoli, 2007.
- ROCHA, G. J. M.; GONÇALVES, A. R. Bagaço de cana: a principal matéria-prima da pesquisa aplicada no grupo de conversão de biomassa vegetal da Faenquil. **Revista ALCOOLbrás**, ano VII, n. 96, p. 98-99, 2005.
- RODRIGUES, R. Século XXI, o novo tempo da agroenergia renovável. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 1, p. 4-7, 2004.

ROLIM, M. M.; LYRA, M. R. C. C.; DUARTE, A. S.; MEDEIROS, P. R. F.; SILVA, E. F. F.; PEDROSA, E. M. R. Influência de uma lagoa de distribuição de vinhaça na qualidade da água freática. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 155-171, 2013.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as Regiões tropicais**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Monitoramento Por Satélite, Campinas: 26 p. 2010.

ROSADO, T. L.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V. **Influência da aplicação de diferentes doses de vinhaça no desenvolvimento da braquiária (*Brachiaria decumbens*) cultivada em dois solos**. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 31, GRAMADO, 2007.

ROSEMBERG, N. J. **Response of plants to the physical effects of soil compaction**. Adv. Agron., 16:181-196, 1964.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **Adubação: resíduos alternativos**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2007. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html#> Acesso em: 09 de Abril de 2016.

ROSOLEM, C. A. **Interpretação de análise de solo e desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar**. In: Seminário sobre Tecnologias de Manejo de Solo e Adubação da Cana-de-Açúcar, 1994. Ribeirão Preto. Anais. Ribeirão Preto: 1994. p.53-73.

RUELLAN, A.; DOSSO, M. Soldidac 2003. RUELLAN, A.; CASTRO, S. S. de. (tradução). Paris: Educagri éditions e AUF, 2005.

RUSSEL, R. S.; GOSS, M. J. Physical aspects of soil fertility: the response of roots to the mechanical impedance. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 22, p. 305-318, 1974.

SANTOS, A. L. da S.; PEREIRA, E. C. G.; ANDRADE, L. de H. C. A expansão da cana-de-açúcar no espaço alagoano e suas consequências sobre o meio ambiente e a identidade cultural. **CAMPO-TERRITÓRIO: revista de geografia agrária**, v.2, n. 4, p. 19-37, ago. 2007.

SANTOS, I. A.; SILVA, M. B.; SOUZA, M. A. S.; **Alterações nos atributos químicos do solo por aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar**. Rio Verde – 2012.

SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. **A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities**. Forest Ecology and Management, Amsterdam, v.138, p.335-356, 2000.

SCHOLES, M. C.; POWLSON, D.; TIAN, G. 1997. Input control of organic matter dynamics. **Geoderma**, 79: 25-47.

SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.34, p.811-820, 2010.

- SILVA, A. J. N. DA; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. de. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.759- 585, 2006.
- SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 10:91-95, 1986.
- SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G. Uso do DRIS na avaliação do estado nutricional do cafeeiro em resposta à adubação potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 247 – 255, 2003.
- SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)**. Comunicado Técnico 99. Embrapa. 2007.
- SILVA, G. R.; SILVA Jr., M. L.; MELO, V. S. Efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um latossolo amarelo do estado do Pará. **Acta Amaz.**, 2006, vol.36, n° 2, p.151.
- 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**, Campina Grande, v. 11, n.1, p. 108–114, 2007.
- SILVA, M. A.; CATO, S. C.; COSTA, A. G. F. Produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar submetida à aplicação de biorregulador e fertilizantes líquidos. **Ciência Rural**, v. 40, n.4, p. 774-780, 2010.
- SILVA, M. A.; SILVA, G. L. **Utilização da vinhaça e demais efluentes líquidos**. In.: SEMINÁRIO DA AGROINDÚSTRIA AÇÚCAREIRA DE PE. 3, Recife, 1986.
- SILVA, M. S. C. **Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais, em Paraty, RJ**. 2006. 54 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006.
- SILVEIRA, M. L. A.; ALEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C. (2005) **Adsorption in oxidic soils after removal of organic matter and iron oxides**. *Plant Anal.*33: 3581-3592.
- SIMONSEN, R. C. **História econômica do Brasil: 1500-1820**. São Paulo, Companhia da Editora Nacional, 1937. (Série 5, vol. 100), (Capítulo V).
- SIMS, J. T.; SIMARD, R. R.; JOERN, C. B. Phosphorus losses in agricultural drainage: Historical perspective and current research. **Journal Environmental Quality**, v.27, p.277-293, 1998.
- SINGER, M.; EWING, S. **Soil quality**. In: SUMNER, M. E. (Ed.) *Handbook of soil science*. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.271-298
- SOJKA, R. E. Stomatal closure in oxygen-stressed plants. **Soil Science Society of America Journal**, v.154, p.269-280, 1992.

SOUSA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v.21, p.367-372, 1997.

SOUZA, R. A.; TELLES, T. S.; MACHADO, W.; HUNGRIA, M.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F. Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.155, p.1-6, 2012.

SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.3, p.271-278, 2005.

STEPNIEWSKI, W. Effects of compaction on soil aeration properties. In: SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. (Ed.). **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.167-189.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI-NETO, V.L. **Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf**. STAB. Açúcar, Álcool Subprodutos, v. 1, n. 3, p.18-23, jan./fev. 1983.

STOLZY, L. H.; BARLEY, K. P. Mechanical resistance encountered by roots entering compact soils. **Soil Science**. V. 105, p. 297 – 301, 1968.

STONE, R. J.; EKWUE, E. I. **Maximum bulk density achieved during soil compaction as effected by the incorporation of three organic materials**. Trans. Am. Soc. Agron. Eng., 36:1713-1719, 1993.

SUGUITANI, C. **Fenologia da cana-de-açúcar (Saccharum sp.) sob o efeito do fósforo**. Piracicaba, 2001. 79p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

TAYLOR, H. M.; HENDERSON, D. W. Some effects of organic additives on compressibility of Yolo silt loam soil. **Soil Sci.**, 88:101-106, 1959.

TEBBUT, T. H. Y.; BERKUN, M. **Respirometric determination of BOD**. Wat. Res. V. 10, p. 613-617, 1976.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS-Departamento de Solos, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

THERIEN, N.; LE CLAVE, P.; JONES, P. **A respirometric study of the influence of aliphatic alcohols on activated sludges**. Wat. Res. 18: 905-910, 1984.

TINKER, P. B. **Root distribution and nutrient uptake**. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM, 1., 1980, Londrina. Proceedings. Londrina: Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1981. p. 115-136.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4th ed. New York: MacMilan Publ., 1985.

- TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D.; COOK, F. J.; KIRBY, J. M.; CARTER, M. R. Physical attributes of soil quality. In: GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R. (Ed.) Soil quality for crop production and ecosystem health. Amsterdam: **Elsevier Science**, 1997. p.21-58
- TORMENA, C. A.; ROLLOF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, p.333-339, 1996.
- TOWNSEND, C. R. **Recomendações técnicas para o cultivo da cana-de-açúcar forrageira em Rondônia**. Embrapa. Rondônia, n°21, nov./2000, p. 1-5.
- URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; OLIVEIRA, O. C.de; LIMA, E.; GUIMARÃES, D. H. V. **A Importância de não Queimar a Palha na Cultura de Cana-de-açúcar**. Comunicado Técnico. EMBRAPA/CNPBS, n. 5, p. 1-6, mar. 1991.
- 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**, v.34, p. 309-316, 2010.
- VEPRASKAS, M. J. Plant response mechanisms to soil compaction. In: WILKINSON, R. E. **Plant-environment interactions**. New York: Marcel Dekker, 1994. p. 263-287.
- VERNIMMEN, A. P., HENKEN, E. R., LARUB, J. C. **A short-term biochemical oxygen demand test**. J. Wat. Poll. Control Fed. 39: 1006-1020, 1967.
- VIDAL, M. de F.; SANTOS, J. A. N.; SANTOS, M. A. **Setor sucroalcooleiro no nordeste brasileiro: estruturação da cadeia produtiva, produção e mercado**. Fortaleza, CE: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2006. Disponível em: <http://www.banconordeste.com/contente/aplicação/etene/artigos/docs/sober_sucroalcooleiro.pdf>. Acesso: 10 mar. 2016.
- VIEIRA, D. B. Fertirrigação sistemática da cana-de-açúcar com vinhaça. **Álcool e Açúcar**, v.6, n.28, p.26-30, 1986.
- WANG, X.; Divos, F.; Pilon, C.; Brashaw, B. K.; Ross, R. J.; Pellerini, R. F. (2004) **Assessment of decay in standing timber using stress wave timing nondestructive evaluation tools**. Madison: US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- WIEDENFELD, R. P. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilization. **Agricultural Water Management**, v.43, p.173-182, 2000.
- WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:891-900, 2004.
- ZORZETO T. Q. 2011. **Caracterização física e química de substratos para plantas e sua avaliação no rendimento do morangueiro (Fragaria x ananassa)**. Campinas: IAC. 96p. (Dissertação mestrado).

APÊNDICES

Apêndice A - Caracterização das médias dos atributos químicos analisados no solo.

Prof.	pH (H ₂ O)	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	SB	CTC	m	V	C	M.O	N	C/N	ECS
	-	.mg/dm ³ .	------(cmolc/dm ³)-----									------(%)-----				-	..-(t/ha)-.
T1																	
0 - 20 cm	4,767	2,333	0,300	1,833	0,333	2,467	0,300	2,767	2,560	2,860	10,867	47,407	1,067	1,840	0,073	14,729	3,363
20 - 40 cm	3,833	1,000	0,093	0,333	0,300	1,767	1,467	3,233	0,880	2,347	66,223	18,827	0,790	1,363	0,040	21,895	2,513
40 - 60 cm	3,667	1,000	0,040	0,333	0,300	1,633	1,500	3,133	0,807	2,307	68,487	18,200	0,697	1,200	0,043	18,338	2,200
T2																	
0 - 20 cm	6,033	61,333	0,397	3,367	1,000	1,200	0,000	1,200	4,853	4,853	0,000	80,153	1,233	2,127	0,087	14,522	4,240
20 - 40 cm	5,000	8,000	0,243	1,900	0,333	2,067	0,133	2,200	2,543	2,677	5,160	53,827	0,767	1,320	0,070	11,444	2,690
40 - 60 cm	4,200	1,667	0,150	0,900	0,300	1,767	0,800	2,567	1,537	2,337	37,370	36,317	0,503	0,867	0,033	18,169	1,800
T3																	
0 - 20 cm	6,433	7,000	0,637	2,467	0,900	1,000	0,000	1,000	4,087	4,087	0,000	80,717	1,000	1,727	0,067	15,321	3,813
20 - 40 cm	5,400	2,667	0,667	1,567	0,467	1,700	0,233	1,933	2,740	2,973	8,590	57,810	0,807	1,387	0,070	11,665	3,020
40 - 60 cm	4,700	1,000	0,500	1,267	0,467	1,133	0,433	1,567	2,283	2,717	16,943	58,863	0,537	0,923	0,037	14,386	2,007
T4																	
0 - 20 cm	5,167	4,667	0,617	2,233	0,700	2,567	0,300	2,867	3,507	3,807	8,317	54,637	1,363	2,350	0,103	13,333	4,427
20 - 40 cm	4,900	2,000	0,503	2,100	0,300	1,833	0,433	2,267	2,793	3,227	12,917	57,190	0,837	1,440	0,073	11,260	2,630
40 - 60 cm	4,533	1,000	0,450	1,500	0,300	1,833	0,200	2,033	2,400	2,600	8,637	51,990	0,697	1,200	0,060	12,285	2,267

pH(H₂O) = potencial hidrogeniônico em água; P = Fósforo; K⁺ = Potássio; Ca²⁺ = Cálcio; Mg²⁺ = Magnésio; H⁺ = Hidrogênio; Al³⁺ = Alumínio; (H⁺ + Al³⁺) = Hidrogênio + Alumínio; SB = Soma de Bases; CTC = Capacidade de Troca Catiônica; m = Percentagem de saturação por alumínio; V = Percentagem de saturação; C = Carbono; M.O. = Matéria Orgânica; N = Nitrogênio; ECS = Estoque de carbono no solo; C/N = Relação Carbono Nitrogênio no solo; T1 = tratamento 1; T2 = Tratamento 2; T3 = Tratamento 3; T4 = Tratamento 4.

Apêndice B - Caracterização das médias dos atributos físicos analisados no solo.

Profundidade	DS	DP	PT
	g.cm ⁻³		%
T1			
0 - 20 cm	1,5778	2,5430	37,9367
20 - 40 cm	1,6011	2,5324	36,6867
40 - 60 cm	1,5856	2,5763	38,4428
T2			
0 - 20 cm	1,7189	2,5224	31,7678
20 - 40 cm	1,7533	2,5666	31,5983
40 - 60 cm	1,7922	2,5031	28,3467
T3			
0 - 20 cm	1,9111	2,6124	26,7244
20 - 40 cm	1,8711	2,5652	27,0100
40 - 60 cm	1,8644	2,5536	26,9678
T4			
0 - 20 cm	1,6156	2,5327	36,2744
20 - 40 cm	1,5400	2,5319	39,1261
40 - 60 cm	1,6167	2,5008	35,2900

DS = Densidade do solo; DP = Densidade de partícula; PT = Porosidade total; T1 = tratamento 1; T2 = Tratamento 2; T3 = Tratamento 3; T4 = Tratamento 4.

Apêndice C - Análises de variância dos atributos químicos analisados que tiveram interação entre tratamento x profundidade.

Ca ²⁺ (cmolc/dm ³)					Mg ²⁺ (cmolc/dm ³)					V (%)				
FV	GL	SQ	QM	F	FV	GL	SQ	QM	F	FV	GL	SQ	QM	F
FATOR1 (F1)	3	8,4322	2,8107	97,2949**	FATOR1 (F1)	3	0,3542	0,1181	35,4167**	FATOR1 (F1)	3	7084,0041	2361,3347	125,1403**
FATOR2 (F2)	2	15,1939	7,5969	262,9712**	FATOR2 (F2)	2	0,8467	0,4233	127,0000**	FATOR2 (F2)	2	3918,3429	1959,1714	103,8274**
Int. F1xF2	6	3,0661	0,511	17,6891**	Int. F1xF2	6	0,6067	0,1011	30,3333**	Int. F1xF2	6	1716,541	286,0902	15,1615**
TRATAMENTO	11	26,6922	2,4266	83,9965**	TRATAMENTO	11	1,8075	0,1643	49,2955**	TRATAMENTO	11	12718,888	1156,2625	61,2768**
RESÍDUO	24	0,6933	0,0289		RESÍDUO	24	0,08	0,0033		RESÍDUO	24	452,868	18,8695	
TOTAL	35	27,3856			TOTAL	35	1,8875			TOTAL	35	13171,7559		

H ⁺ + Al ³⁺ (cmolc/dm ³)					m (%)					Al ³⁺ (cmolc/dm ³)				
FV	GL	SQ	QM	F	FV	GL	SQ	QM	F	FV	GL	SQ	QM	F
FATOR1 (F1)	3	11,5164	3,8388	44,7238**	FATOR1 (F1)	3	9721,5709	3840,5236	184,7146**	FATOR1 (F1)	3	444,778	148,259	58,0145 **
FATOR2 (F2)	2	1,3756	0,6878	8,0129**	FATOR2 (F2)	2	4880,0313	2440,0156	139,0844**	FATOR2 (F2)	2	216,667	108,333	42,3913 **
Int. F1xF2	6	4,4244	0,7374	8,5912**	Int. F1xF2	6	4440,44	740,0733	42,1853**	Int. F1xF2	6	210,222	0,35037	13,7101 **
TRATAMENTO	11	17,3164	1,5742	18,3404**	TRATAMENTO	11	19042,0421	1731,0947	98,6749**	TRATAMENTO	11	871,667	0,79242	31,0079 **
RESÍDUO	24	2,06	0,0858		RESÍDUO	24	421,0419	17,5434		RESÍDUO	24	0,61333	0,02556	
TOTAL	35	19,3764			TOTAL	35	19463,084			TOTAL	35	933,000		

H ⁺ (cmolc/dm ³)				
FV	GL	SQ	QM	F
FATOR1 (F1)	3	3,40083	1,1336	18,3829**
FATOR2 (F2)	2	0,44222	0,2211	3,5856*
Int. F1xF2	6	3,82667	0,6378	10,3423**
TRATAMENTO	11	7,66972	0,6973	11,3067**
RESÍDUO	24	1,48	0,0617	
TOTAL	35	9,14972		

Ca²⁺ = Cálcio; Mg²⁺ = Magnésio; V (%) Percentagem de saturação por base; (H⁺ + Al³⁺) = Hidrogênio + Alumínio; m (%) = Percentagem de saturação por alumínio; Al³⁺ = Alumínio; H⁺ = Hidrogênio. FV = Fonte de variação; GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrado; QM = Quadrado médio; F = Variável do teste F; Fator 1 = Tratamento; Fator 2 = Profundidade; Int. F1xF2 = Interação do Tratamento x Profundidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0.01); * significativo ao nível de 5% de probabilidade (0.01 =< p < 0.05); ns não significativo (p >= 0.05).

Apêndice D - Matrizes dos atributos químicos analisados que apresentaram interação entre tratamento x profundidade.

Ca^{2+} (cmolc/dm ³)				Mg^{2+} (cmolc/dm ³)				V (%)			
TxP	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm	TxP	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm	TxP	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
T1	1,8333dA	0,3333cB	0,3333cB	T1	0,3333cA	0,3000Aa	0,3000aA	T1	47,4088bA	18,8289bB	18,1992cB
T2	3,3667aA	1,9000abB	0,9000bC	T2	1,0000aA	0,3333Ab	0,3000aB	T2	80,1502aA	53,8280aB	36,3197bC
T3	2,6667bA	1,5667bB	1,3000aB	T3	0,8333bA	0,3333Ab	0,3333aB	T3	80,7180aA	57,8104aB	58,8662aB
T4	2,2667cA	2,1000aA	1,3667aB	T4	0,4000cA	0,3333aA	0,3000aA	T4	54,6346bA	57,1899aA	51,9883aA

$(\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$ (cmolc/dm ³)				m (%)				Al^{3+} (cmolc/dm ³)			
TxP	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm	TxP	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm	TxP	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
T1	2,7667aA	3,2333aA	3,1333aA	T1	10,8682aB	66,2234aA	68,4890aA	T1	0,3000aB	1,4667aA	1,5000aA
T2	1,2000bB	2,2000bA	2,5667abA	T2	0,0000bB	5,1571bB	37,3688bA	T2	0,0000aB	0,1333bB	0,8000bA
T3	1,0000bB	1,9333bA	1,5667cAB	T3	0,0000bB	8,5908bA	16,9467cA	T3	0,0000aB	0,2333baA	0,4333cA
T4	2,8667aA	2,2667bB	2,0333bcB	T4	8,3176abA	12,9174bA	8,6383cA	T4	0,3000aA	0,4333bA	0,2000cA

H^+ (cmolc/dm ³)			
TxP	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
T1	2,4667aA	1,7667aB	1,6333abB
T2	1,2000bB	2,0667aA	1,7667aA
T3	1,0000bB	1,7000aA	1,1333bB
T4	2,5667aA	1,8333aB	1,8333aB

Ca^{2+} = Cálcio; Mg^{2+} = Magnésio; V (%) = Percentagem de saturação por base; $(\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$ = Hidrogênio + Alumínio; m (%) = Percentagem de saturação por alumínio; Al^{3+} = Alumínio; H^+ = Hidrogênio.

T1 = Tratamento 1; T2 = Tratamento 2; T3 = Tratamento 3; T4 = Tratamento 4; TxP = Tratamento x Profundidade.

Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística pelo teste de tukey ($p < 0,05$), Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste tukey ($p < 0,05$), letras iguais não diferem entre si significativamente.

Apêndice E - Análises de variância dos atributos químicos que não apresentaram interação significativa entre tratamentos x profundidades.

pH					K ⁺ (cmolc/dm ³)					N (%)				
FV	GL	SQ	QM	F	FV	GL	SQ	QM	F	FV	GL	SQ	QM	F
FATOR1 (F1)	3	9,5697	3,1899	11,8023**	FATOR1 (F1)	3	1,2390	0,4130	73,9156**	FATOR1 (F1)	3	0,00318	0,00106	6,9940**
FATOR2 (F2)	2	10,7239	5,3619	19,8386**	FATOR2 (F2)	2	0,2463	0,1231	22,0384**	FATOR2 (F2)	2	0,00896	0,00448	29,5809**
Int. F1xF2	6	1,6228	0,2705	1,0007ns	Int. F1xF2	6	0,0514	0,0086	1,5330ns	Int. F1xF2	6	0,00211	0,00035	2,3236ns
TRATAMENTO	11	21,9164	1,9924	7,3717**	TRATAMENTO	11	1,5367	0,1397	25,0020**	TRATAMENTO	11	0,01424	0,00129	8,5532**
RESÍDUO	24	6,4867	0,2703		RESÍDUO	24	0,1341	0,0056		RESÍDUO	24	0,00363	0,00015	
TOTAL	35	28,4031			TOTAL	35	1,6708			TOTAL	35	0,01788		

SB (cmolc/dm ³)					CTC (cmolc/dm ³)					P (mg/dm ³)				
FV	GL	SQ	QM	F	FV	GL	SQ	QM	F	FV	GL	SQ	QM	F
FATOR1 (F1)	3	16,3998	5,4666	15,0161**	FATOR1 (F1)	3	4,05835	1,35278	4,2318*	FATOR1 (F1)	3	86,97222	28,99074	6,8662**
FATOR2 (F2)	2	26,0018	13,0009	35,7119**	FATOR2 (F2)	2	16,40165	8,20083	25,6540**	FATOR2 (F2)	2	104,38889	52,19444	12,3618**
Int. F1xF2	6	4,4062	0,7344	2,0172ns	Int. F1xF2	6	1,21293	0,20216	0,6324ns	Int. F1xF2	6	50,94444	8,49074	2,0110ns
TRATAMENTO	11	46,8078	4,2553	11,6887**	TRATAMENTO	11	21,67293	1,97027	6,1634**	TRATAMENTO	11	242,30556	22,02778	5,2171**
RESÍDUO	24	8,7372	0,3641		RESÍDUO	24	7,67208	0,31967		RESÍDUO	24	101,33333	4,22222	
TOTAL	35	55,5449			TOTAL	35	29,34501			TOTAL	35	343,63889		

pH = potencial hidrogeniônico; K⁺ = Potássio; N = Nitrogênio; SB = Soma de Bases; CTC = Capacidade de Troca Catiônica; P = Fósforo; FV = Fonte de variação; GL = Graus de liberdade; SQ. = Soma de quadrado; QM = Quadrado médio; F = Variável do teste F; Fator 1 = Tratamento; Fator 2 = Profundidade; Int. F1xF2 = Interação do tratamento x profundidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$), * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$), ns não significativo ($p \geq 0.05$).

**Apêndice F - Médias dos atributos químicos analisados que não apresentaram interação significativa entre tratamentos x profundidades –
Análise independentes dos fatores.**

pH							K ⁺ (cmolc/dm ³)						
Médias do fator 1				Médias do fator 2			Médias do fator 1				Médias do fator 2		
T1	T2	T3	T4	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm	T1	T2	T3	T4	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
4,08889b	5,07778a	5,51111a	4,86667a	5,6000a	4,78333b	4,27500b	0,14498c	0,26410b	0,60057a	0,52279a	0,48803a	0,37543b	0,28587c
dms = 0,67585				dms = 0,52977			dms = 0,09717				dms = 0,07617		

N (%)							SB (cmolc/dm ³)						
Médias do fator 1				Médias do fator 2			Médias do fator 1				Médias do fator 2		
T1	T2	T3	T4	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm	T1	T2	T3	T4	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
0,05324b	0,06160b	0,05751b	0,07804a	0,08177a	0,06290b	0,04313c	1,41692b	2,97811a	3,03632a	2,90057a	3,75217a	2,23956b	1,75722b
dms = 0,016				dms = 0,01254			dms = 0,78437				dms = 0,61484		

CTC (cmolc/dm ³)							P (mg/dm ³)						
Médias do fator 1				Médias do fator 2			Médias do fator 1				Médias do fator 2		
T1	T2	T3	T4	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm	T1	T2	T3	T4	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm
2,50581b	3,28922a	3,25854a	3,21168ab	3,90217a	2,80623b	2,49055b	1,44444b	5,66667a	3,55556ab	2,55556b	5,33333a	3,41667a	1,16667b
dms = 0,73501				dms = 0,57615			dms = 2,67125				dms = 2,09389		

pH = potencial hidrogeniônico; K⁺ = Potássio; N = Nitrogênio; SB = Soma de Bases; CTC = Capacidade de Troca Catiônica; T1 = Tratamento 1; T2 = Tratamento 2; T3 = Tratamento 3; T4 = Tratamento 4; dms = diferença mínima significativa; Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey (P < 0,05), Letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste Tukey (P < 0,05), Letras iguais não diferem entre si significativamente.

Apêndice G - Análises de variância dos atributos químicos avaliados que apresentaram interação significativa apenas para as profundidades.

C (%)					M.O (%)					ECS (Ton/ha)				
FV	GL	SQ	QM	F	FV	GL	SQ	QM	F	FV	GL	SQ	QM	F
FATOR1 (F1)	3	0,16274	0,05425	2,37729ns	FATOR1 (F1)	3	0,48370	0,16123	2,3729ns	FATOR1 (F1)	3	0,78699	0,26233	0,7802ns
FATOR2 (F2)	2	1,92551	0,96275	42,1131**	FATOR2 (F2)	2	5,72294	2,86147	42,1131**	FATOR2 (F2)	2	22,20643	11,10322	33,0241**
Int. F1xF2	6	0,18305	0,03051	1,3345ns	Int. F1xF2	6	0,54406	0,09068	1,3345ns	Int. F1xF2	6	2,04764	0,34127	1,0150ns
TRATAMENTO	11	2,27130	0,20648	9,0320**	TRATAMENTO	11	6,75070	0,61370	9,0320**	TRATAMENTO	11	25,04107	2,27646	6,7708**
RESÍDUO	24	0,54867	0,02286		RESÍDUO	24	1,63073	0,06795		RESÍDUO	24	8,06917	0,33622	
TOTAL	35	2,81996			TOTAL	35	8,38143			TOTAL	35	33,11023		

C = Carbono; M.O = Matéria Orgânica; FV = Fonte de variação; GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrado; QM = Quadrado médio; F = Variável do teste F; Fator 1 = Tratamento; Fator 2 = Profundidade; Int. F1xF2 = Interação do tratamento X profundidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$), * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$), ns não significativo ($p \geq 0.05$).

Apêndice H - Médias das variáveis que apresentaram interação significativa apenas para a profundidade – Análise independente dos fatores.

C (%)				Médias do fator 2			M.O (%)				Médias do fator 2		
Médias do fator 1				0 - 20	20 - 40	40 - 60	Médias do fator 1				0 - 20	20 - 40	40 - 60
T1	T2	T3	T4				T1	T2	T3	T4			
0,85111a	0,83444a	0,78111a	0,96556a	1,16583a	0,80000b	0,60833c	1,46732a	1,43858a	1,34664a	1,66462a	2,00990a	1,37920b	1,04877c
dms = 0,19656				dms = 0,15408			dms = 0,33887				dms = 0,26563		

ECS (ton/ha)				Médias do fator 2		
Médias do fator 1				0 - 20	20 - 40	40 - 60
T1	T2	T3	T4			
2,69267a	2,91020a	2,94516a	3,10757a	3,96013a	2,71378b	2,06779c
dms = 0,75379				dms = 0,59087		

M.O = Matéria Orgânica; C = Carbono; T1 = tratamento 1; T2 = Tratamento 2; T3 = Tratamento 3; T4 = Tratamento 4; dms = diferença mínima significativa; Fator 1 = Tratamento; Fator 2 = Profundidade.

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores referentes à média das repetições.

Apêndice I - Análise de variância dos atributos físicos analisados.

Densidade do solo g.cm ⁻³					Densidade da partícula g.cm ⁻³					Porosidade Total %				
FV	GL	SQ	QM	F	FV	GL	SQ	QM	F	FV	GL	SQ	QM	F
FATOR1 (F1)	3	0,545	0,182	21,9237**	FATOR1 (F1)	3	0,016	0,005	1,0039ns	FATOR1 (F1)	3	722,429	240,810	12,5567**
FATOR2 (F2)	2	0,003	0,002	0,2007ns	FATOR2 (F2)	2	0,003	0,001	0,2325ns	FATOR2 (F2)	2	11,299	5,650	0,2946ns
Int. F1xF2	6	0,021	0,004	0,4222ns	Int. F1xF2	6	0,015	0,002	0,4590ns	Int. F1xF2	6	39,869	6,645	0,3465ns
TRATAMENTO	11	0,570	0,052	6,2460**	TRATAMENTO	11	0,034	0,003	0,5664ns	TRATAMENTO	11	773,597	70,327	3,6671**
RESÍDUO	24	0,199	0,008		RESÍDUO	24	0,129	0,005		RESÍDUO	24	460,269	19,178	
TOTAL	35	0,769			TOTAL	35	0,163			TOTAL	35	1233,866		

FV = Fonte de variação; GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrado; QM = Quadrado médio; F = Variável do teste F; Fator 1 = Tratamento; Fator 2 = Profundidade; Int. F1xF2 = Interação do Tratamento X Profundidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0.01), * significativo ao nível de 5% de probabilidade (0.01 =< p < 0.05), ns não significativo (p >= 0.05).

Apêndice J - Médias das variáveis físicas – Análise independente dos fatores.

Densidade do solo g.cm ⁻³				Densidade da partícula g.cm ⁻³			Densidade da partícula g.cm ⁻³						
Médias do fator 1				Médias do fator 2			Médias do fator 1						
T1	T2	T3	T4	0 - 20	20 - 40	40 - 60	T1	T2	T3	T4	0 - 20	20 - 40	40 - 60
1,58815c	1,75482b	1,88222 ^a	1,59074c	1,70583a	1,69139a	1,71472a	2,55060a	2,53070a	2,57706a	2,52181a	2,55263a	2,54906a	2,53343a
dms =	0,11838			dms =	0,09279		dms =	0,09538			dms =	0,07477	

Porosidade total %						
Médias do fator 1				Médias do fator 2		
T1	T2	T3	T4	0 - 20	20 - 40	40 - 60
37,68871a	30,57092b	26,90074b	36,89685a	33,17583a	33,60528a	32,26181a
dms =	5,69303			dms =	4,46256	

T1 = Tratamento 1; T2 = Tratamento 2; T3 = Tratamento 3; T4 = Tratamento 4; dms = diferença mínima significativa; Fator 1 = Tratamento; Fator 2 = Profundidade. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Valores referentes a média das repetições