



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – SOLOS E
NUTRIÇÃO DE PLANTAS

JOSÉ DE SOUZA OLIVEIRA FILHO

DINÂMICA DO FÓSFORO E DA MATÉRIA ORGÂNICA EM NEOSSOLO
CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR COLHIDA SEM QUEIMA

FEVEREIRO – 2012
FORTALEZA – CEARÁ
BRASIL

JOSÉ DE SOUZA OLIVEIRA FILHO

DINÂMICA DO FÓSFORO E DA MATÉRIA ORGÂNICA EM NEOSSOLO CULTIVADO
COM CANA-DE-AÇÚCAR COLHIDA SEM QUEIMA

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Orientador: Prof. PhD. Boanerges Freire de Aquino

FEVEREIRO – 2012
FORTALEZA – CEARÁ
BRASIL

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- O47d Oliveira Filho, José de Souza.
 Dinâmica do fósforo e da matéria orgânica em neossolo cultivado com cana-de-açúcar colhida sem
 queima / José de Souza Oliveira Filho. – 2012.
 59 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,
 Departamento de Ciências do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Solos e Nutrição de
 Plantas, Fortaleza, 2012.
 Área de Concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo.
 Orientação: Prof. Dr. Boanerges Freire de Aquino.
1. Solos – Manejo. 2. Humus. 3. Solos – Teor de fósforo. I. Título.

CDD 631.4

JOSÉ DE SOUZA OLIVEIRA FILHO

DINÂMICA DO FÓSFORO E DA MATÉRIA ORGÂNICA EM NEOSSOLO CULTIVADO
COM CANA-DE-AÇÚCAR COLHIDA SEM QUEIMA

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Orientador: Prof. PhD. Boanerges Freire de Aquino

Aprovada em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. PhD. Boanerges Freire de Aquino (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota
Universidade Federal do Ceará - UFC

Dr. Geocleber Gomes de Sousa
Pesquisador/ PNPd/CAPES/UFC

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida.

Ao professor Boanerges Freire de Aquino pela orientação e principal responsável pelo meu fascínio pela Ciência do Solo.

Ao professor Marcos Gervásio Pereira pelos conselhos, pela amizade, pela orientação e pela confiança que depositou em mim. Exemplo de dedicação ao trabalho, me ensinou o que é ser profissional. Obrigado por tudo.

Ao Departamento de Ciências do Solo da UFC pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao Departamento de Solos da UFFRJ pela estrutura laboratorial que tornou este trabalho possível.

Ao amigo Felipe Gomes Brasileiro e aos amigos da cobertura do alojamento M – 4, pela amizade e pela agradável acolhida na UFFRJ. M – 4 COBERTURA: ACIMA DE NÓS, SÓ DEUS!

Aos amigos Sidnei, Wanderlei, Júlio e Rafael Cavassani pela agradável companhia nas noites laboratoriais que tanto me ajudou para a execução deste trabalho.

Aos colegas do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas da UFC pelos momentos de alegria e amizade. Obrigado a todos.

À minha família. Meu alicerce. Obrigado pela confiança dispensada em todas as etapas da minha vida.

À Escola Agrícola de 1º Grau Dep. Leorne Belém. Onde tudo começou.

À Escola Agrotécnica Federal do Crato – CE pelos conhecimentos adquiridos.

À CAPES

Aos professores, pesquisadores e amigos dos quais as informações me valeram para a execução deste trabalho.

Obrigado a todos!

RESUMO

Na cultura da cana-de-açúcar, por razões econômicas e ambientais, a queima da palhada, feita para facilitar a colheita e o transporte, vem sendo substituída pela colheita mecanizada. Sabe-se que a manutenção da palhada sobre o solo influencia a dinâmica da água, nutrientes e matéria orgânica, mas seus efeitos ainda não são suficientemente conhecidos. Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito do manejo do solo cultivado com cana-de-açúcar sem a queima prévia do canavial para a colheita, comparado com a mata nativa, sobre a matéria orgânica do solo e, por consequência, os efeitos desta sobre o fósforo do solo. Para tanto, foram determinados, nas profundidades de 0 – 2,5, 2,5 – 5, 5 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 cm, os teores de carbono orgânico total (COT) e particulado (COP) e seus respectivos estoques (EstCOT e EstCOP), a matéria orgânica leve (MOL), fracionada pelo método da flotação em água, as concentrações de fósforo orgânico e inorgânico obtidas através da extração sequencial proposta por Hedley et al.(1982) com modificações e a capacidade máxima de adsorção de fósforo do solo (CMAP). As amostras de solo para as análises foram coletadas de uma área sob cultivo de cana-de-açúcar e de uma área contígua sob vegetação nativa, ambas localizadas no município de Paraipaba – CE. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e comparados entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$) utilizando-se para tanto, o programa estatístico Assistat. Os maiores teores de COT e COP foram encontrados na primeira camada da área de mata. Em profundidade, os teores de COP na área de cana foram superiores. O EstCOT foi superior na área de mata, no entanto, o EstCOP foi superior na área sob cultivo de cana. As maiores concentrações de MOL foram encontradas nas primeiras camadas da área cultivada, não diferindo da área de mata em profundidade. A concentração de fósforo orgânico foi superior a concentração de fósforo inorgânico nas duas áreas. Entre as frações orgânicas obtidas pelo fracionamento de Hedley, a fração orgânica bicarbonato (Po bic) foi a que obteve maior proporção em relação ao fósforo total do solo. Dentre as frações inorgânicas, a fração inorgânica hidróxido 0,1 (Pi hid 0,1) apresentou-se em maiores concentrações que as demais. O maior valor de CMAP foi obtido na última camada da área de mata e o menor valor encontrado na primeira camada da área cultivada. Observou-se correlação negativa entre os valores de COP e MOL com os valores de CMAP na área sob cultivo. Os maiores valores de CMAP foram encontrados nas camadas com menores concentrações de COP e MOL. Essa tendência não foi observada na área de mata. No geral, na última camada avaliada (20 – 30 cm), não se observou diferenças

significativas para as características avaliadas entre as duas áreas. Nessa profundidade, a influência do sistema de manejo é mínima.

Palavras-chave: Frações de carbono, formas de P, isotermas de adsorção.

ABSTRACT

Considering the sugar cane crop, for economic and environmental reasons, the burning of straw, used to facilitate the crop harvest and transportation, has been replaced by mechanical harvesting. It is known that the maintenance of straw on the soil influences the dynamics of water, nutrients and organic matter, but its effects are not yet sufficiently known. In this context, the objective of this study was to evaluate the effect of soil management cultivated with sugar cane without burning the plants prior to harvest, compared with the soil under native forest, on soil organic matter and, consequently, the effect on the phosphorus in the soil profile. To do so, it was determined, at depths from 0 - 2.5, 2.5 - 5, 5-10, 10-20 and 20 - 30 cm, the concentrations of the total organic carbon (TOC) and the particulate organic carbon (POC), as well as their accumulated amounts (EstCOT and EstCOP), light organic matter (LOM), which was fractionated by the method of flotation in water, concentrations of organic and inorganic phosphorus, obtained by sequential extraction proposed by Hedley et al. (1982) with modifications, and soil P maximum adsorption capacity (PMAC). Soil samples for analysis were collected from an area under cultivation of sugar cane and from a contiguous soil area under native vegetation, both located in the municipality of Paraipaba - CE. The results were subjected to analysis of variance and compared by Tukey test ($p < 0.05$), using, for this purpose, the statistical program Assistat. The highest TOC and POC were found in the first soil layer of the forest area. At depth, the concentrations of COP in the area of sugar cane crop were higher. The EstCOT was higher in the forest, however, it was also higher in EstCOP in the area under sugar cane cultivation. The highest concentrations of MOL were found in the first soil layers of the sugar cane cultivated area, but not differing from the soil forest area in depth. The concentration of organic phosphorus was higher than the concentration of inorganic phosphorus in the two areas. Among the organic fractions, obtained by fractionation of Hedley method, the organic bicarbonate fraction P (bic Po) was proportionally the highest one present in the total soil phosphorus. Among the inorganic, the 0.1 hydroxide inorganic P fraction (Pi hid 0.1) appeared in higher concentrations than the others. The highest value of PMAC was obtained in the deepest soil layer of the forest area and the lowest PMAC value was found in the first soil layer of the sugar cane cultivated area. There was negative correlation between the values of both COP and MOL with CMAP values in the area under cane cultivation. The highest values of CMAP were found in layers with lower concentrations of COP and MOL. This trend was not observed in the forested area.

Considering the deepest soil layer evaluated (20-30 cm) for the two soil areas, it was found no significant differences for the evaluated characteristics between the two areas. At this soil layer, the influence of the management system was almost null.

Keywords: Fractions of carbon, forms of P, adsorption isotherms.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação esquemática do município de Paraipaba – CE.	23
Figura 2	Área de mata nativa (referência).	24
Figura 3	Área cultivada com cana-de-açúcar (9 anos)	24
Figura 4	Perfil do solo sob mata nativa.	24
Figura 5	Perfil do solo da área de sob cultivo de cana-de-açúcar.	24
Figura 6	Esquema do fracionamento do fósforo proposto por Hedley et al., (1982) com modificações. Retirado de Gatibone (2003).	30
Figura 7	Carbono orgânico total em profundidade em área cultivada com cana-de-açúcar (AC) e área de mata (AM) em Paraipaba – CE.	34
Figura 8	Carbono orgânico particulado em profundidade em área cultivada com cana-de-açúcar (AC) e área de mata (AM) em Paraipaba – CE.	35
Figura 9	Porcentagem de COP e COAM em relação ao COT na área de cana-de-açúcar e na área de mata.	35
Figura 10	Matéria orgânica leve (g kg^{-1}) em profundidade em área cultivada com cana-de-açúcar (AC) e área de mata (AM) em Paraipaba – CE.	36
Figura 11	Estoque de carbono orgânico total (EstCOT), estoque de carbono orgânico particulado (EstCOP) e estoque de carbono orgânico associado aos minerais (EstCOAM) na profundidade de 0 – 30 cm em área cultivada com cana-de-açúcar (AC) e na área de mata (AM) em Paraipaba – CE.	37
Figura 12	Porcentagem de cada fração orgânica de P em relação ao P total em área sob cultivo de cana-de-açúcar e na mata nativa em Paraipaba – CE.	43
Figura 13	Valores percentuais de P orgânico e inorgânico em relação ao P total do solo em área cultivada com cana-de-açúcar e na mata nativa em Paraipaba – CE.	44

Figura 14	Isotermas de Langmuir (forma hiperbólica) nas profundidades de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm na área cultivada com cana-de-açúcar.	56
Figura 15	Isotermas de Langmuir (forma hiperbólica) nas profundidades de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm na área de mata.	57
Figura 16	Isotermas de Langmuir (forma linear) nas profundidades de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm na área cultivada com cana-de-açúcar.	58
Figura 17	Isotermas de Langmuir (forma Linear) nas profundidades de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm na área de mata.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico órtico solódico cultivado com cana-de-açúcar (AC) e na área de mata (AM) em Paraipaba – CE.	25
Tabela 2	Análises granulométricas de um Neossolo Quartzarênico órtico solódico cultivado com cana-de-açúcar (AC) e na área de mata (AM) em Paraipaba – CE.	25
Tabela 3	Valores médios das frações de fósforo inorgânico obtidas pelo fracionamento de Hedley na área de cana-de-açúcar (AC) e na área de mata (AM) nas diferentes profundidades em Paraipaba – CE.	40
Tabela 4	Valores médios do P residual obtidos pelo fracionamento de Hedley na área de cana-de-açúcar (AC) e na área de mata (AM) nas diferentes profundidades em Paraipaba – CE.	41
Tabela 5	Valores médios das frações de fósforo orgânico obtidas pelo fracionamento de Hedley na área de cana-de-açúcar (AC) e na área de mata (AM) nas diferentes profundidades em Paraipaba – CE.	42
Tabela 6	Valores médios de P total obtido pela soma das frações do fracionamento de Hedley na área de cana-de-açúcar (AC) e na área de mata (AM) nas diferentes profundidades em Paraipaba – CE.	43
Tabela 7	Valores de P orgânico total obtido pelo somatório das frações orgânicas do fracionamento de Hedley na área de cana-de-açúcar (AC) e na área de mata (AM) nas diferentes profundidades em Paraipaba – CE.	44
Tabela 8	Valores médios de fósforo remanescente (Prem) em área cultivada com cana-de-açúcar (AC) e em área de mata (AM) nas diferentes profundidades avaliadas em Paraipaba – CE.	45
Tabela 9	Valores médios (4 repetições) de capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) em área de cana-de-açúcar (AC) e área de mata (AM) nas diferentes profundidades em Paraipaba – CE.	46

Tabela 10	Coeficientes de correlação linear simples entre os valores de fósforo remanescente (Prem) e capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) e os valores de COT, frações físicas da matéria orgânica (COP, COAM e MOL) e fósforo extraído com MEHLICH 1 nas profundidades de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm na área cultivada com cana-de-açúcar.	48
Tabela 11	Coeficientes de correlação linear simples entre os valores de fósforo remanescente (Prem) e capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) e os valores de COT, frações físicas da matéria orgânica (COP, COAM e MOL) e fósforo extraído com MEHLICH 1 nas profundidades de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm na área de mata nativa.	48
Tabela 12	Dados utilizados nos ajustamentos das isotermas de Langmuir nas profundidades de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm na área cultivada com cana-de-açúcar.	56
Tabela 13	Dados utilizados nos ajustamentos das isotermas de Langmuir nas profundidades de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm na área de mata nativa.	57
Tabela 14	Equações da forma linear das isotermas de Langmuir e os respectivos valores de CMAP na área de cana-de-açúcar (AC) e na área de mata (AM) nas diferentes profundidades em Paraipaba – CE.	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Área de cana
AM	Área de mata
CMAP	Capacidade máxima de adsorção de fósforo
COAM	Carbono orgânico associado aos minerais
COP	Carbono orgânico particulado
COT	Carbono orgânico total
ESTCOAM	Estoque de carbono orgânico associado aos minerais
ESTCOP	Estoque de carbono orgânico particulado
ESTCOT	Estoque de carbono orgânico total
MOL	Matéria orgânica leve
MOS	Matéria orgânica do solo
P	Fósforo
Pi bic	Fósforo inorgânico extraído com NaHCO_3
Pi HCl	Fósforo inorgânico extraído com $\text{HCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$
Pi hid 0,1	Fósforo inorgânico extraído com $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$
Pi hid 0,5	Fósforo inorgânico extraído com $\text{NaOH } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$
Po bic	Fósforo orgânico extraído com NaHCO_3
Po hid 0,1	Fósforo orgânico extraído com $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$
Po hid 0,5	Fósforo orgânico extraído com $\text{NaOH } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$
Prem	Fósforo remanescente
Pt bic	Fósforo total extraído com NaHCO_3
Pt hid 0,1	Fósforo total extraído com $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$
Pt hid 0,5	Fósforo total extraído com $\text{NaOH } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$
Presidual	Fósforo residual

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	A cultura da cana-de-açúcar.....	17
2.2	Os sistemas de colheita da cana-de-açúcar.....	17
2.3	Matéria orgânica do solo.....	18
2.4	Fracionamento físico da matéria orgânica do solo.....	19
2.5	Dinâmica do fósforo no solo.....	20
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1	Área de estudo: clima, solo e planta.....	23
3.2	Condução da pesquisa em campo.....	26
3.3	Estudo em laboratório.....	26
4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5.1	Frações físicas da matéria orgânica e estoques de carbono no solo.....	33
5.2	Fracionamento do fósforo do solo.....	38
5.3	Fósforo remanescente e capacidade máxima de adsorção de fósforo.....	45
6	CONCLUSÕES.....	49
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
	ANEXOS.....	55

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Sacharum officinarum*), seguido pela Índia e China. A grande importância desta cultura para o nosso país é devida à contribuição econômica, social e ambiental que desempenha, caracterizando-se como a segunda cultura mais importante para o agronegócio brasileiro.

A cultura da cana-de-açúcar pode ser manejada sob dois sistemas de colheita: com e sem queimada da palhada. No segundo caso, o ciclo produtivo da cultura é mantido em um ambiente em que todo resto cultural não aproveitado no momento da colheita é depositado na superfície do solo, mantendo-o coberto por longo período.

A prática de queimada do canavial tem como objetivo facilitar as operações de corte e carregamento, entretanto, tal prática está associada a impactos ambientais, tais como elevadas emissões de gases para a atmosfera, a degradação do solo e a poluição de centros urbanos. A adoção do sistema de colheita sem queima do canavial pode acarretar significativo incremento de matéria orgânica no solo (MOS), em função da adição da palhada que fica depositada sobre a superfície. Desta forma, os atributos químicos, físicos e biológicos do solo podem apresentar diferenças significativas quando comparado ao sistema convencional com queimada dos restos culturais.

Sabe-se da influência do acúmulo de palhada no aumento da MOS, no entanto, alterações podem não ser verificadas quando medidos pelo carbono orgânico total (COT). Desse modo, o estudo das frações físicas da MOS, com tempo de ciclagem e formas de proteção diferentes, têm sido usadas para melhor detectar a dinâmica do carbono em solos sob diferentes sistemas de manejo. Entre essas frações, a matéria orgânica leve (MOL) e o carbono orgânico particulado (COP) apresentam-se sensíveis para verificar mudanças em função do uso do solo e por esta razão são consideradas frações lábeis da MOS.

É conhecido que os diferentes sistemas de manejo alteram a biodisponibilidade dos nutrientes no solo. Nesse contexto, o fósforo (P), por ser um nutriente escasso na maioria dos sistemas agrícolas, assume papel de destaque, pois, dependendo do manejo adotado, sua disponibilidade para as plantas pode ser aumentada. Portanto, no manejo da cana-de-açúcar sem queima do canavial, o acúmulo dos resíduos na superfície do solo, favorecendo o aporte de matéria orgânica, pode aumentar a participação da fração orgânica de P no conteúdo de fósforo total (Pt) do solo, assim como modificar as reações de adsorção do íon fosfato com a matriz mineral do solo.

Este panorama abre uma nova dinâmica da disponibilidade de P, que é importante para seu fornecimento para a cultura. Nesse contexto, há necessidade de entender melhor a

dinâmica desse nutriente, no que se refere às características de adsorção e biodisponibilidade, associado à decomposição dos resíduos provenientes do acúmulo de palhada da cana-de-açúcar na superfície do solo, a fim de que possamos adotar sistemas de manejo que aumentem a produtividade da cultura e minimizem o uso de fertilizantes.

Nesse contexto, o estudo teve a seguinte hipótese:

O manejo do solo cultivado com cana-de-açúcar sem a queima do canavial tem efeito sobre o estoque de carbono, sobre a distribuição das frações físicas da matéria orgânica e sobre a dinâmica do fósforo do solo.

Deste modo, o objetivo geral do presente estudo foi avaliar os efeitos do manejo sem queima da cana-de-açúcar, comparado com a mata nativa, sobre a matéria orgânica do solo e, por consequência, os efeitos desta sobre o fósforo do solo.

Os objetivos específicos foram:

- a) determinar os estoques de COT e COP do solo;
- b) determinar as concentrações de MOL em profundidade;
- c) fracionar o fósforo do solo em diferentes graus de labilidade;
- d) determinar as concentrações de fósforo orgânico em função da profundidade;
- e) determinar a adsorção máxima de fósforo em função da profundidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta de ciclo semiperene, pertencente à família *Gramineae (Poaceae)*, própria de climas tropicais e subtropicais, e provavelmente tenha sido originária do sudeste da Ásia (GOMES, 2006).

O cultivo de cana-de-açúcar no Brasil ocupa cerca de 7 milhões de hectares ou cerca de 2% de toda terra arável do país, que é o maior produtor mundial. As principais regiões de cultivo são Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste (UNICA, 2009).

Na safra 2009/2010, a cana-de-açúcar cultivada no Brasil, teve expressiva participação no mercado mundial com produção de 612 milhões de toneladas em 7,5 milhões de hectares e produtividade de 58 t ha⁻¹. No Nordeste, foram produzidas 62 milhões de toneladas em 1,1 milhões de hectares; suplantado apenas pelo Sudeste (CONAB, 2009). No Ceará foram produzidas mais de 122 mil toneladas (UNICA, 2009).

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas brasileiras servindo como matéria – prima de grande flexibilidade. Além de ser considerada fonte de alimentação animal, produz álcool de vários tipos, a exemplo do etanol, usado como biocombustível, bebidas como cachaça, licor, rum e vodka e gera energia a partir do bagaço (UNICA, 2009).

2.2 Os sistemas de colheita da cana-de-açúcar

2.2.1 *Cana queimada e colheita manual*

Em meados da década de 60, acompanhando a revolução mundial ocorrida na agricultura, a produção da cana-de-açúcar apresentou grandes avanços, principalmente devido o crescimento do setor açucareiro, estimulando práticas culturais que facilitassem o manejo e reduzissem o uso de mão-de-obra sem, no entanto, reduzir a produção (CAMPOS, 2003). A redução da mão-de-obra e a maior facilidade de manejo tornaram-se possíveis pela prática da queima prévia do canavial antes da colheita.

A queima da cana na pré-colheita objetiva, sobretudo, eliminar seu resíduo, para facilitar a colheita manual, diminuir a incidência de doenças e plantas daninhas e facilitar o seu carregamento.

Apesar dos benefícios operacionais que a queima dos canaviais proporciona na colheita, são muitas as manifestações contrárias ao seu uso devido à grande quantidade de gases do efeito estufa emitidos na atmosfera, entre eles o CO₂, principal gás do efeito estufa (GONÇALVES, 2006). Com esse sistema, todos os anos toneladas de poluentes são lançados na atmosfera, gerando grande impacto ambiental e na saúde pública.

2.2.2 Cana crua e colheita mecanizada

A colheita mecanizada da cana-de-açúcar sem queima da palhada proporciona inúmeros benefícios ambientais, dentre os quais podem ser listados a redução da emissão dos gases do efeito estufa, proteção e conservação do solo, adição de matéria orgânica e diversos nutrientes que irão provocar mudanças significativas no manejo da cultura, com influência direta na fertilidade do solo sob cultivo (RESENDE et al., 2006).

Segundo Canellas et al. (2003) a preservação da palhada contribui para a melhoria da fertilidade do solo. A interação entre fatores climáticos, especialmente temperatura e precipitação e o acúmulo de restos culturais na superfície do solo resulta na melhoria ambiental para a biomassa microbiana, aumentando a sua atividade.

Nestas condições, a dinâmica da matéria orgânica em sistema de colheita sem queima é alterada, interferindo não apenas nos ciclos de transformação de nutrientes, mas também na estruturação do solo (MENDOZA et al., 2000).

Da mesma forma como na cana colhida com queima prévia, a cana colhida crua (sem queima) também apresenta desvantagens, entre elas a substituição de mão-de-obra pelo sistema operacional mecanizado, deixando de cumprir sua função social. Além do aspecto socioeconômico, a deposição e a manutenção de palhada sobre a superfície do solo, mesmo contribuindo com a sua conservação, podem causar problemas relacionados ao manejo da cultura. Entre eles podem ser citados dificuldade de execução de controle seletivo de plantas daninhas e aumento das populações de pragas que se abrigam e multiplicam-se sob a palhada (MACEDO et al., 2003).

Segundo Vasconcelos (2002), o grande volume de palha sobre a cana – soca dificulta a sua emergência, causando falha na rebrota, especialmente nas variedades melhoradas que foram desenvolvidas num sistema de colheita com queima, que favorecia a maior taxa de emergência das socas subsequentes.

2.3 Matéria orgânica do solo

A MOS é representada pelos resíduos vegetais em vários estágios de decomposição, incluindo a fração mais estável denominada de húmus, biomassa microbiana, sistema radicular das plantas e restos culturais depositados na superfície do solo (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

O teor de MOS é provavelmente o principal indicativo da qualidade do solo, pois o seu declínio ao longo do tempo indica alguma inadequação no sistema de manejo adotado, podendo ser baixa fertilidade, déficit na produção de resíduos vegetais, excesso de

revolvimento do solo, erosão acelerada, entre outros. O incremento de MOS indica o manejo eficiente do solo (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

2.4 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

O conceito de fracionamento físico enfatiza o papel das frações minerais na estabilização e transformação da MOS. Recentes estudos têm demonstrado que o fracionamento físico reflete mais diretamente a dinâmica da MOS do que o clássico fracionamento químico (ROSCOE; MACHADO, 2002).

De acordo com Stevenson e Cole (1999), o fracionamento físico tem sido usado nos seguintes tipos de estudo: 1) recuperar a fração leve que consiste de restos vegetais não decompostos e seus produtos em decomposição parcial; 2) estabelecer a natureza e a significância biológica da matéria orgânica nas frações do solo dos diferentes tamanhos; e 3) determinar os tipos de matéria orgânica envolvidos na formação de agregados estáveis em água.

Roscoe e Machado (2002), dividiram em dois os tipos de fracionamento físico: o densimétrico e o granulométrico.

No método densimétrico são utilizados sais com densidade variando de 1,5 a 2,0 g cm⁻³. O princípio do método baseia-se na separação de materiais orgânicos (densidades menores que 1,5 g cm⁻³) e minerais (densidades superiores a 2,0 g cm⁻³), considerando, portanto, diferenças de densidade. Dessa forma, a matéria orgânica do solo pode ser dividida em matéria orgânica leve (MOL) e pesada (associada aos minerais). Pela sua simplicidade e economia, Leite (1999) utilizou água para separar a MOL por flutuação de amostras de solo de caatinga hiperxerófila em Caruarú – PE. No estudo, a matéria orgânica separada por flutuação em água foi chamada de MOL em água.

No método granulométrico, conforme o grau de associação com a matriz do solo, a MOS pode estar livre ou fracamente associada às partículas do solo, sendo chamada de carbono orgânico particulado (COP) ou estar formando complexos organo – minerais sendo denominado carbono orgânico associado aos minerais (COAM). Neste método, o fracionamento é com base no tamanho das partículas.

Cambardela e Elliott (1992) separam a MOS por fracionamento físico granulométrico e consideraram duas frações. Após dispersão e passagem em peneira de 53 µm, separou-se a matéria orgânica particulada (> 53 µm) daquela de tamanho silte e argila (< 53 µm). A primeira fração é composta por materiais que ainda apresentam tecidos intactos, como pedaços de folhas e raízes, apresentando tempo de reciclagem mais rápido do que a menor do que a de 53 µm. A fração do tamanho silte e argila é denominada associada aos

minerais, e, portanto, apresenta forma de proteção que proporcionam tempo de reciclagem muito lento.

2.5 Dinâmica do fósforo nos solos

O P quando comparado a outros macronutrientes é requerido em menor quantidade pela planta, mas as adubações são elevadas, pois características inerentes a determinados tipos de solo fazem com que a maior parte do P adicionado se torne indisponível à planta (SIMÕES NETO, 2008).

No que se refere à fertilidade do solo, o P apresenta três problemas principais: o primeiro é com relação ao seu baixo teor no solo, o segundo problema diz respeito à baixa solubilidade dos compostos de P comumente encontrados nos solos, tornando-o muito pouco disponível à absorção pelas plantas e o terceiro problema diz respeito às mudanças para formas não-lábeis (fixação), quando fontes solúveis de P, na forma de fertilizantes e resíduos orgânicos, são adicionadas ao solo (ROLIM NETO et al., 2004).

2.5.1 Formas de fósforo no solo

O P no solo é encontrado sob a forma orgânica e inorgânica, em que o sistema de manejo adotado poderá contribuir para que uma forma se sobressaia sobre a outra. Segundo Gatibone (2003), o P inorgânico (Pi) pode ser separado em duas partes: o P dos minerais primários ou estrutural e o P adsorvido, além do P na solução do solo, que se encontra em baixa concentração.

O Pi adsorvido pode ocorrer em todos os minerais presentes no solo por causa de sua facilidade em formar complexos de alta energia de ligação. Assim, o Pi do solo pode ser encontrado ligado ao ferro, alumínio e cálcio, adsorvido a argilas silicatadas do tipo 1:1, adsorvido à matéria orgânica do solo por meio de pontes de cátions e, principalmente, adsorvido a oxihidróxidos de ferro e alumínio, resultando em baixos teores na solução do solo (GATIBONE, 2003).

Segundo Rheinheimer (2000), a fração orgânica do P pode contribuir com 20 a 80% do P total na camada de 0 – 20 cm, atingindo mais de 90% em solos de altitude. A maior parte desse P é proveniente dos resíduos vegetais depositados no solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição.

A composição de grande parte do fósforo orgânico (Po) não está ainda quimicamente identificada. Da fração conhecida, 10 – 80% estão na forma de P – inositol, 1 – 10% de P – DNA/RNA, 0,1 – 5% de P – Lipídeos e menos de 5% como P – éster simples (RHEINHEIMER et al., 2008). A estabilidade destes compostos é dependente de sua natureza e de sua interação com a fração mineral, pois estes mesmos compostos são usados como fonte

de carbono para os microrganismos, cujo resultado é a sua mineralização e disponibilização do fósforo.

Para a obtenção das frações orgânicas e inorgânicas de P nos solos, utiliza-se na grande maioria dos trabalhos, um fracionamento seqüencial do P proposto por Hedley et al. (1982). Este fracionamento determina inicialmente uma fração extraível com resina trocadora de ânions, considerada lábil ou disponível para as plantas. Segue-se uma extração com NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, que por ser alcalina solubiliza tanto P_i quanto P_o . Ambas as frações são consideradas também lábeis, embora o P_o deva ser mineralizado antes de ser utilizado pelas plantas. A extração seguinte é um álcali mais forte (NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$), que solubiliza formas de P_i e P_o consideradas menos lábeis, principalmente associadas com oxi-hidróxidos de ferro e alumínio (SALCEDO, 2006). Em seguida, utiliza-se como extrator o NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ que extrai P_i e P_o química e fisicamente protegidos nas superfícies internas dos microagregados. O tratamento do solo com HCl 1 mol L^{-1} extrai o P_i contido nos fosfatos de cálcio e fortemente adsorvidos. Finalmente, a digestão do resíduo com ácidos fortes extrai o P residual inorgânico mais orgânico, chamado também de P recalcitrante (GATIBONE, 2003).

2.5.2 Adsorção de P no solo

A retenção do P adicionado ao solo, em formas lábeis ou não, ocorre tanto pela precipitação do P em solução com formas iônicas de Fe, Al e Ca, como, principalmente, de maneira mais significativa, pela sua adsorção pelos oxidróxidos de Fe e Al, presentes, de modo geral, em maiores quantidades em solos tropicais mais intemperizados (NOVAIS; SMYTH, 1999).

O solo pode assumir o papel de fonte ou dreno de P, quando apresentar reservas favoráveis à planta ou competir com a planta, fixando parte do P como fertilizante. Com o aumento do intemperismo, os solos passam de fonte para dreno, adsorvendo e retendo o ânion fosfato (ROLIM NETO et al., 2004).

Uma das características usadas para avaliar o grau de interação do P com os sólidos do solo é a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), a qual pode ser calculada pela isoterma de Langmuir. Segundo Alvarez e Fonseca (1990), outro atributo que pode medir a atividade sortiva dos solos é o P remanescente (Prem), que também pode ser utilizado como estimador da CMAP.

2.5.3 Fósforo em solos sob sistemas conservacionistas.

A utilização de sistemas de manejo com menores perturbações no solo preservam as condições ambientais e aumentam a produtividade das culturas. A presença constante de cobertura no solo altera a dinâmica do fósforo, provocando aumento na concentração desse

nutriente na camada mais superficial do solo, inclusive na forma orgânica, havendo diminuição no processo de adsorção, pois não há mobilização do solo e, ainda, pela produção de ânions orgânicos, que competem pelos sítios de adsorção (RHEINHEIMER, 2000).

Em sistemas agrícolas manejados com a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, pode-se reduzir a taxa de decomposição desses resíduos, aumentando o conteúdo de matéria orgânica e de P orgânico.

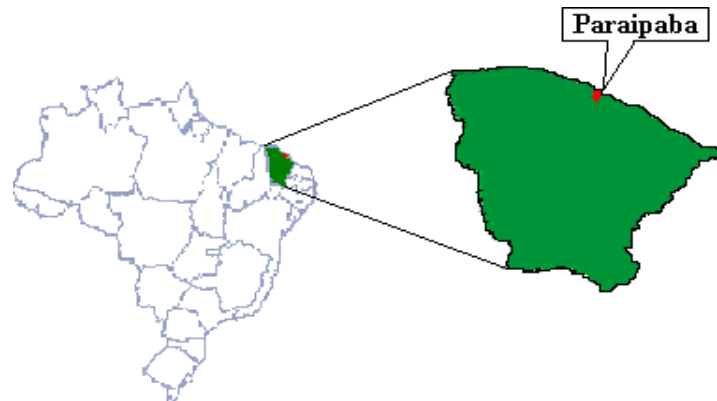
Rheinheimer (2000) estudando as formas de P em solos com diferentes teores de argila submetidos ao sistema convencional de cultivo e ao sistema plantio direto (SPD), observou que no SPD houve aumento de P nas camadas superficiais, principalmente nas formas inorgânicas disponíveis e moderadamente disponíveis, permitindo a manutenção de teores de P na solução do solo mais elevados do que no preparo convencional. Contudo, em solos sob SPD, ainda não há como precisar a participação efetiva das formas de P na biodisponibilidade, pois, embora já tenham sido caracterizadas, pouco se sabe sobre a capacidade de dessorção dessas formas de P e sua atuação no tamponamento da solução do solo (GATIBONE et al., 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo: clima, solo e planta

O estudo foi realizado em uma área no município de Paraipaba-CE, localizada entre as coordenadas geográficas 3°30'08" de latitude S e 39°12'68" de longitude W com altitude de 76m em relação ao nível do mar (Figura 1).

Figura 1. Representação esquemática do município de Paraipaba – CE.



Fonte: Autor

O clima da região é do tipo Aw, segundo Köpper, ou seja, tropical chuvoso, com as chuvas distribuídas irregularmente no primeiro semestre do ano e grande concentração no período de fevereiro a maio. A temperatura média anual é de 27,0°C e a umidade relativa média do ar em torno de 80%.

O solo da área experimental foi classificado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico (EMBRAPA, 2006) (Figuras 4 e 5). Os atributos químicos e físicos do solo são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 1 e 2. A topografia da área é tipicamente plana, com declividade de até 3%, apresentando boa drenagem (Rocha et al., 2002). A área total da fazenda é de 2500 ha, sendo que 1220 ha estão plantados com cana-de-açúcar.

A variedade plantada no local no momento das coletas de solo era a SP 716949. Nesta área, foram aplicados entre os anos de 2001 à 2008, 500 kg/ha/ano de fertilizante mineral na formulação 20-10-20. Nos anos de 2009 a 2010 foram aplicados 500 kg/ha/ano de fertilizante mineral na formulação 20-05-20. No ano de 2007 e 2009, foram aplicados respectivamente 198 e 445 toneladas de composto orgânico.

Figura 2. Área de mata nativa (referência).



Fonte: Autor

Figura 3. Área cultivada com cana-de-açúcar (9 anos)



Fonte: Autor

Figura 4. Perfil do solo sob mata nativa



Fonte: Autor

Figura 5. Perfil do solo da área sob cultivo de cana.



Fonte: Autor

Tabela 1. Atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico órtico típico cultivado com cana-de-açúcar (AC) e na área de mata (AM) em Paraipaba – CE.

Áreas	Prof. (cm)	pH	Ca	Mg	Na	K	H + Al	C	P disp.	P total
			cmol _c dm ⁻³				g kg ⁻¹		mg dm ⁻³	
AC	0 – 10	6,0	2,4	1,1	0,06	0,07	0,7	11,8	4	96,5
	10 – 20	6,4	2,1	1,0	0,07	0,07	1,7	11,0	2	88,5
	20 – 30	6,5	1,2	0,8	0,11	0,06	1,2	5,7	1	78,1
	30 – 40	6,8	1,2	0,8	0,15	0,04	1,2	2,1	1	71,1
	40 – 60	6,7	1,0	0,5	0,15	0,03	1,2	3,5	1	58,2
	60 – 80	6,6	0,5	0,5	0,13	0,03	1,2	6,7	1	-
	80 – 100	6,0	0,5	0,5	0,10	0,02	1,5	0,2	1	-
AM	0 – 10	5,4	1,8	1,2	0,06	0,11	2,0	9,8	2	85,3
	10 – 20	5,4	1,7	1,0	0,06	0,10	1,7	8,0	2	80,3
	20 – 30	5,4	0,4	0,6	0,07	0,09	1,5	5,2	1	63,2
	30 – 40	5,6	0,3	0,3	0,06	0,06	1,5	9,5	1	59,5
	40 – 60	5,2	0,3	0,1	0,06	0,04	1,2	1,8	1	-
	60 – 80	5,1	0,3	0,1	0,06	0,04	2,0	6,5	1	-
	80 - 100	5,1	0,3	0,1	0,06	0,04	1,5	5,2	1	-

Ca, Mg, Na, K, H + Al, P disponível e pH em água obtidos segundo metodologia da Embrapa (2009). P total obtido segundo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995). Carbono (C) obtido segundo Yeomans & Bremner (1988).

Tabela 2. Análises granulométricas de um Neossolo Quartzarênico órtico típico cultivado com cana-de-açúcar (AC) e na área de mata (AM) em Paraipaba – CE.

Áreas	Profundidade(cm)	Areia Total	Silte	Argila
		g kg ⁻¹		
AC	0 – 10	850	50	100
	10 – 20	800	90	110
	20 – 30	780	90	130
	30 – 40	780	110	110
	40 – 60	760	50	190
	60 – 80	760	100	140
	80 – 100	760	130	110
AM	0 – 10	840	60	100
	10 – 20	840	80	80
	20 – 30	770	120	110
	30 – 40	790	80	130
	40 – 60	760	90	150
	60 – 80	740	120	140
	80 – 100	760	110	130

Valores de areia, silte e argila obtidos pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

3.2 Condução da pesquisa em campo

As coletas de solo foram realizadas em uma área de 1 ha representativa da área de 25 ha cultivados há 9 anos sem a queima prévia do canavial para a colheita e na mata nativa. Foram abertas 8 minitrincheiras de 30 x 40 cm, sendo 4 na área cultivada e 4 na mata nativa, com local escolhido aleatoriamente, para retirada das amostras nas diferentes profundidades. Além destas, foi feita uma trincheira de 1 m de profundidade na área cultivada e outra na mesma profundidade na mata nativa para classificação do solo.

Foram coletadas amostras de solo com estrutura deformada e indeformada nas camadas de 0 – 2,5, 2,5 – 5, 5 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 cm de profundidade nas duas áreas. As amostras com estrutura indeformada foram coletadas com o auxílio de um anel de metal de dimensões conhecidas (anéis de Kopecky), tomando-se sempre o cuidado para não compactar o solo no momento da retirada das amostras. Após a retirada do excesso de solo externamente aos anéis, foi transferido o conteúdo para saco plástico, sendo este transportado para o laboratório de Física do Solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará para pesagem das amostras. As amostras com estrutura deformada foram retiradas com o auxílio de uma espátula, colocadas para secar ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA).

3.3 Estudo em laboratório

3.3.1 Determinação do carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono orgânico total (EstCOT).

Os teores de COT foram determinados por meio da oxidação da matéria orgânica pelo dicromato de potássio $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ em meio sulfúrico e pela titulação por sulfato ferroso amoniacal $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ (YEOMANS; BREMNER, 1988) como descrito a seguir: Pesou-se 0,5 g de solo e transferiu-o para erlenmeyer de 250 mL. Adicionou-se 5 mL da solução de dicromato de potássio $0,167 \text{ mol L}^{-1}$. Em seguida, acrescentaram-se 7,5 mL de H_2SO_4 concentrado. As amostras foram mantidas em bloco digestor com temperatura de 170 °C durante 30 minutos. Em seguida, deixou-se esfriar por 15 minutos e fez-se a adição de 50 mL de água destilada. Adicionaram-se 3 gotas de ferroin e titulou-se com solução de sulfato ferroso amoniacal $0,2 \text{ mol L}^{-1}$. O ponto de viragem da titulação ocorreu na passagem da cor verde para violeta-escuro. A densidade do solo (Ds) foi realizada pelo método do anel volumétrico.

Em todo sistema agrícola, a movimentação do solo e o tráfego de máquinas nas etapas de preparo do solo, tratamentos culturais, e/ou colheita, provocam uma compactação das camadas mais superficiais do solo (PINHEIRO, 2007). Neste sentido, Sisti et al. (2004)

propõem que para comparar estoques de nutrientes no solo sob sistemas agrícolas com estoques em área de vegetação natural, as camadas de solo a serem comparadas devem possuir a mesma massa de solo do tratamento empregado como referência. Para tal ajuste, utilizou-se a equação 1, desenvolvida por Sisti et al.(2004) para o cálculo do EstCOT do solo na profundidade de 0 – 30 cm.

$$\text{EstCOT} = \sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti} + \left[M_{Tn} - \left(\sum_{i=1}^n M_{Ti} - \sum_{i=1}^n M_{Si} \right) \right] C_{Tn}$$

Eq. 1

em que:

EstCOT, é o estoque total de carbono (Mg ha⁻¹) no solo para uma profundidade equivalente a mesma massa do solo escolhida do perfil de referência;

$\sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti}$ é o somatório dos estoques de carbono sem correção da primeira à penúltima camada amostrada na área cultivada com cana (Mg ha⁻¹);

$\sum_{i=1}^n M_{Si}$ é o somatório da massa total do solo amostrado na área de referência (Mg ha⁻¹);

$\sum_{i=1}^n M_{Ti}$ é o somatório da massa total do solo das camadas amostradas na área cultivada (Mg ha⁻¹);

M_{Tn} é a massa do solo da última camada amostrada na área de cana (Mg ha⁻¹);

C_{Tn} é o teor de carbono na última camada da área de cana (Mg de C Mg⁻¹ de solo).

Considerou-se a mata nativa como área de referência.

3.3.2 Determinação da matéria orgânica leve (MOL), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM).

Para obtenção da MOL utilizou-se o fracionamento pela flotação em água (ANDERSON; INGRAM, 1989). Para tanto, 50 g de TFSA foram transferidos para erlenmeyer de 250 mL e adicionaram-se 100 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹. O conteúdo foi agitado vagarosamente com bastão de vidro. Deixou-se o material em repouso por uma noite. Decorrido o tempo, agitou-se com bastão de vidro novamente e passou-se todo o material por peneira de 0,25 mm eliminando toda a argila. O material retido na peneira (MOL e areia) foi transferido para um Becker. Adicionou-se água e o material flotado (em suspensão) foi passado novamente em peneira de 0,25 mm, tomando-se cuidado em separar a MOL da areia. Repetiu-se este procedimento até que todo material que flutuou fosse removido. Lavou-se bem

o material retido na peneira (MOL) e transferiu-o para recipiente previamente tarado e levou-se para secar em estufa a 60°C até a secagem completa do material.

Para a obtenção do COP pesou-se 20 g de TFSA, adicionou-se 60 mL de hexametáfosfato de sódio (5 g L⁻¹) e em seguida agitou-se o material por 16 horas em agitador horizontal (CAMBARDELLA; ELLIOT, 1992). Depois de agitada, a suspensão foi passada em peneira de 53 µm (0,053 mm) com auxílio de jato de água, com o objetivo de remover toda areia e silte. O material retido na peneira que consiste no COP, associado à fração areia, foi seco em estufa a 60°C, sendo posteriormente quantificada sua massa, moído em gral de porcelana e analisado quanto ao teor de carbono orgânico total (COT) segundo metodologia de Yeomans & Bremner (1988). O material que passou pela peneira de 53 µm, que consiste no carbono orgânico associado aos minerais (COAM) das frações silte e argila, foi obtido por diferença entre o COT e COP.

Obteve-se ainda o estoque de carbono orgânico particulado (EstCOP) e estoque de carbono orgânico associado aos minerais (EstCOAM), utilizando-se a equação 3, como efetuado para o cálculo do EstCOT descrito no item 3.3.1.

3.3.3 Extração sequencial do fósforo do solo.

O fósforo inorgânico (Pi) e total (Pt) do solo foi extraído sequencialmente com NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ (Pi bic e Pt bic), NaOH 0,1 mol L⁻¹ (Pi hid 0,1 e Pt hid 0,1), HCl 1,0 mol L⁻¹ (Pi HCl) e NaOH 0,5 mol L⁻¹ (Pi hid 0,5 e Pt hid 0,5) obtendo-se o teor de fósforo orgânico através da subtração dos valores de Pi dos valores de Pt obtidos em cada etapa da extração. Seguiu-se a metodologia proposta por Hedley et al. (1982) com modificações descrito a seguir.

Amostras de 1 g de TFSA foram colocadas em tubo de centrífuga de 50 mL e adicionou-se 30 mL de solução de NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ com pH corrigido para 8,5. As amostras foram mantidas em agitador horizontal por 16 horas e, após o tempo decorrido, centrifugadas a 5000 rpm durante 5 minutos. Coletou-se 5 mL do sobrenadante para quantificação do Pi bic pelo método de Murphy & Riley (1962). Do extrato restante, pipetou-se 20 mL para digestão, para a quantificação do Pt bic. Adicionou-se 2 mL de cloreto de magnésio saturado e em seguida, vagorosamente, 3 mL de ácido perclórico concentrado. Iniciou-se a digestão com temperatura de 75°C e aumentou-se vagorosamente até o extrato ficar com coloração incolor e textura de gel. A quantificação do Pt bic fez-se semelhante a do Pi bic. O P orgânico NaHCO₃ (Po bic) foi obtido pela diferença entre Pt bic e Pi bic.

O extrato restante (5 mL) foi descartado. Adicionou-se 30 mL de água destilada no tubo e centrifugou-se o material a 5000 rpm por 5 min para lavar as amostras. Após a

centrifugação, eliminou-se toda a água tomando o cuidado para não desprender o solo do fundo do tubo.

Adicionou-se ao solo contido no tubo de centrífuga 30 mL da solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹. As amostras foram submetidas aos procedimentos de agitação e centrifugação como descrito anteriormente. Em seguida, retirou-se uma alíquota de 20 mL do extrato para quantificação do Pt hid 0,1. O extrato foi levado para digestão e, posteriormente, foi quantificado o Pt hid 0,1 conforme procedimentos realizados para quantificação do Pt bic.

Nos 10 mL restantes, dos 30 mL adicionados inicialmente, reduziu-se o pH para valores próximos de 1,0 para precipitação dos ácidos húmicos e clareamento das amostras. Utilizou-se para isso H₂SO₄ 20%. Deste modo, as leituras para quantificação do Pi hid 0,1 puderam ser realizadas pelo mesmo procedimento das quantificações anteriores (MURPHY; RILEY, 1962).

Adicionou-se 30 mL de água destilada para lavagem do solo, como descrito após a extração da fração NaHCO₃.

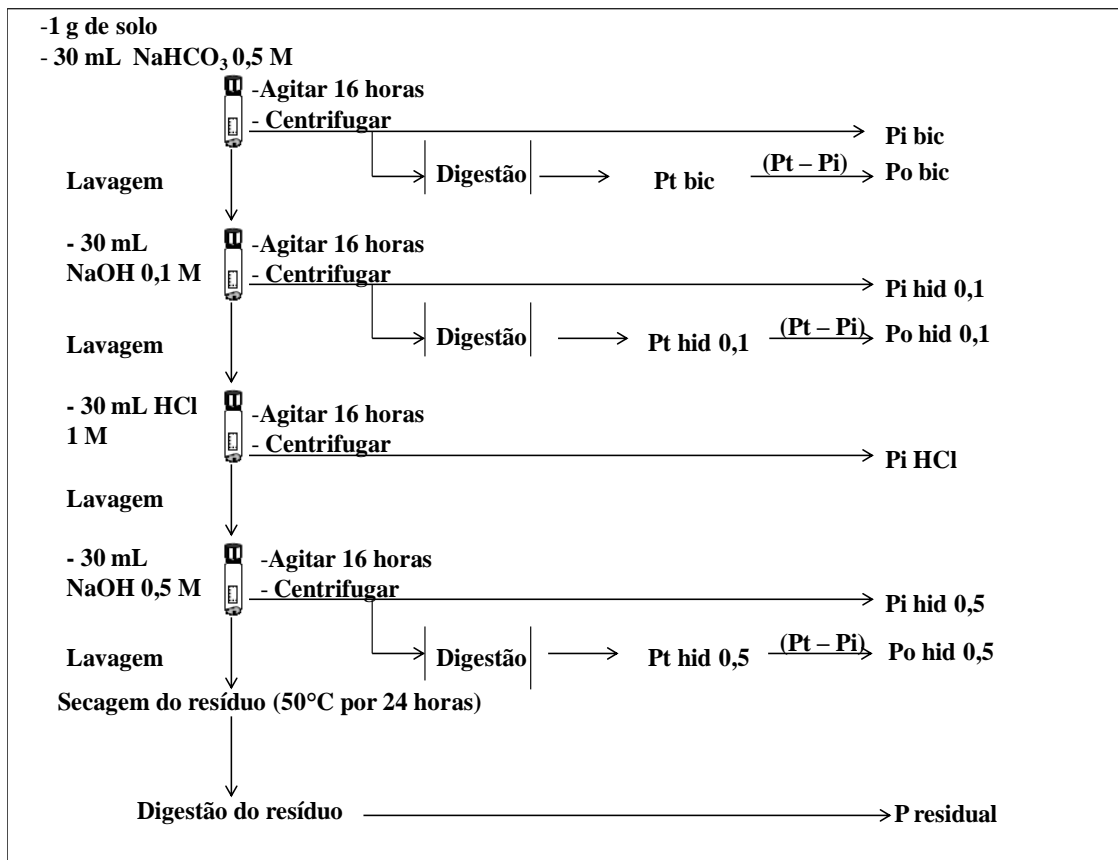
Adicionou-se ao solo 30 mL da solução de HCl 1,0 mol L⁻¹. As amostras foram agitadas e centrifugadas e o sobrenadante recolhido para a quantificação do Pi HCl.

Para realizar a leitura da concentração de P pelo espectrofotômetro nessa fração, elevou-se o pH das amostras em torno de 5,4 – 7,0 utilizando p-nitrofenol 0,25% e NaOH 10 M. Este procedimento deve ser realizado nos extratos ácidos para o desenvolvimento da cor azul para as leituras.

Após lavagem das amostras, adicionou-se 30 mL da solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹. Em seguida, realizaram-se os mesmos procedimentos utilizados na quantificação do Pt hid 0,1 e Pi hid 0,1.

Realizou-se a lavagem das amostras e procedeu-se a quantificação do conteúdo de P no resíduo da seguinte forma: pesou-se 0,2 g do resíduo previamente seco em estufa a 50°C por 24 horas. Adicionou-se 2 mL de cloreto de magnésio saturado e 3 mL de ácido perclórico concentrado. Levou-se as amostras para digestão até a temperatura de 200°C, permanecendo nessa temperatura até apresentarem coloração verde-claro. Para leitura das amostras, procedeu-se a correção do pH com o p-nitrofenol como realizado na quantificação do Pi HCl. Todo o procedimento laboratorial para a realização do fracionamento de Hedley foi esquematizado na figura 6.

Figura 6. Esquema do fracionamento do fósforo proposto por Hedley et al. (1982) com modificações. Adaptado de Gatibone (2003).



Fonte: Gatiboni (2003)

3.3.4 Determinação do fósforo remanescente (*Prem*) e capacidade máxima de adsorção de fósforo (*CMAP*).

O *Prem* das amostras foi quantificado segundo Alvarez & Fonseca (1990). Para tanto, pesou-se 2,0 g de TFSA em erlenmeyer de 125 cm³. Neste recipiente, foram adicionados 20 mL da solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ contendo 60 mg de P na forma de KH₂PO₄. O recipiente foi colocado em agitador horizontal a 220 rpm durante 5 minutos. Após esse período, deixou-se a suspensão em repouso por uma noite, sendo no dia seguinte, retirado uma alíquota da solução sobrenadante para quantificação do *Prem*. Os valores de *Prem* foram utilizados para definir as doses de P a serem usadas na quantificação da *CMAP* conforme Alvarez & Fonseca (1990).

A Capacidade Máxima de Adsorção de P (*CMAP*) foi obtida colocando-se 2,0 g de TFSA em contato com 20 mL de solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ contendo 3, 5, 8 12, 15, 18 e 20 mg kg⁻¹ de P na forma de KH₂PO₄. As amostras foram colocadas em erlenmeyer e fechados com papel alumínio, agitadas em agitador horizontal a 150 rpm, em ambiente com

temperatura controlada (26°C), por um período de 24 horas, seguido de repouso por uma hora. Logo depois, a suspensão foi filtrada e parte do filtrado foi recolhido e quantificado o P na solução de equilíbrio. A partir daí, procedeu-se o ajuste da isoterma de Langmuir através da equação abaixo:

$$X / m = (abC) / (1 + AC) \quad \text{Eq. 2}$$

em que:

x/m = quantidade de P adsorvido ao solo em mg de P kg^{-1} de solo

a = energia de ligação (L mg^{-1})

b = CMAP (mg kg^{-1})

C = Concentração de equilíbrio (mg L^{-1})

Para a estimativa da constante b , a equação 2 deve ser transformada para sua forma linear:

$$C / (x/m) = 1 / (ab) + (1/b)C \quad \text{Eq. 3}$$

4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Adotou-se um delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas. As parcelas foram constituídas pela área de cana e área de mata e as subparcelas constituídas pelas profundidades de 0 – 2,5, 2,5 – 5, 5 – 10, 10 – 20 e 20 – 30 cm. Cada minitrincheira representou uma repetição e, portanto, obtiveram-se quatro repetições por tratamento.

Para os valores obtidos foi feita a avaliação da normalidade dos dados (Teste de Lilliefors) e da homogeneidade das variâncias dos erros (Teste de Cochran & Bartlett). Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância com a aplicação do teste – F e os valores médios comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade com o auxílio do programa estatístico Assistat, versão 7.6 beta.

Foi utilizada regressão não linear para o ajuste das isotermas de Langmuir (modelo hiperbólico) e linearização desse modelo para a estimativa da adsorção máxima de fósforo no solo.

Utilizou-se teste de correlação linear simples entre os valores de Prem e CMAP nas profundidades de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm com os valores de COT, COP, COAM, MOL e P - MEHLICH 1 nas duas áreas avaliadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Frações físicas da matéria orgânica e estoques de carbono orgânico do solo

Os valores de COT na área de mata foram superiores aos valores encontrados na área de cana, notadamente na camada superficial do solo (Figura 7). Em profundidade, observou-se pouca diferença entre os valores de COT nas duas áreas. Os valores de COT na área de mata são considerados elevados quando comparados com outros trabalhos com mesma época de coleta das amostras (AMORIM, 2009; SOUZA, 2006).

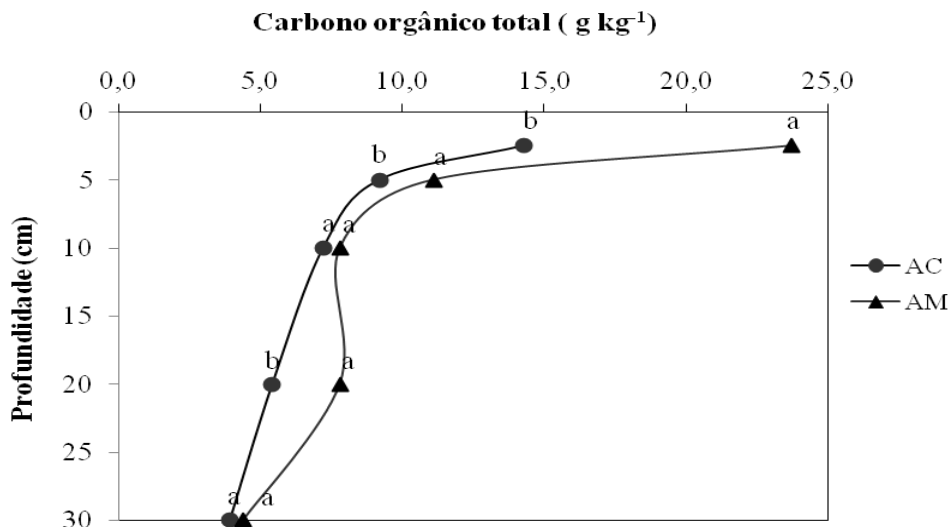
Amorim (2009) observou valor máximo para COT de $9,88 \text{ g kg}^{-1}$ na profundidade de 0 – 10 cm em solo sob caatinga, no período úmido, em Petrolina – PE. No entanto, Silva (2003), avaliando diferentes sistemas do solo em Boca da Mata – AL, encontrou valores para COT, na profundidade de 0 – 20 cm na mata nativa de $28,1 \text{ g kg}^{-1}$, valor este, superior ao encontrado no presente estudo.

Os valores de COT na AC foram inferiores aos encontrados por Silva (2003), que quantificou valores entre $17,5$ e $10,8 \text{ g kg}^{-1}$ para o COT nas profundidades de 0 – 20 e 20 – 40 cm respectivamente em solo cultivado com cana-de-açúcar sem a queima do canavial por 12 anos em Linhares – ES. O maior valor de COT no trabalho de Silva (2003) pode ser atribuído ao maior tempo de adoção do sistema sem queima do canavial (12 anos), já que na área do presente estudo, a adoção do sistema sem queima do canavial foi iniciada há 9 anos.

Na camada de 20 – 30 cm, os teores de COT nas duas áreas não diferiram pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Essa característica também foi observada por Pinheiro (2007) avaliando sistemas de colheita de cana-de-açúcar em Linhares – ES. Segundo o autor, na profundidade de 30 cm não observou-se diferença significativa no valor de COT entre as áreas avaliadas. A partir desta profundidade, o efeito do manejo dos sistemas de colheita e o efeito da palhada são bem menores.

A dificuldade na manutenção de níveis elevados de carbono nos solos cultivados de regiões tropicais deve-se as elevadas temperaturas (SILVA, 2003) e, no caso deste trabalho, aos baixos teores de argila encontrados no solo facilitando a decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos.

Figura 7. Carbono orgânico total em profundidade em área cultivada com cana – de – açúcar (AC) e área de mata (AM) em Paraipaba - CE.



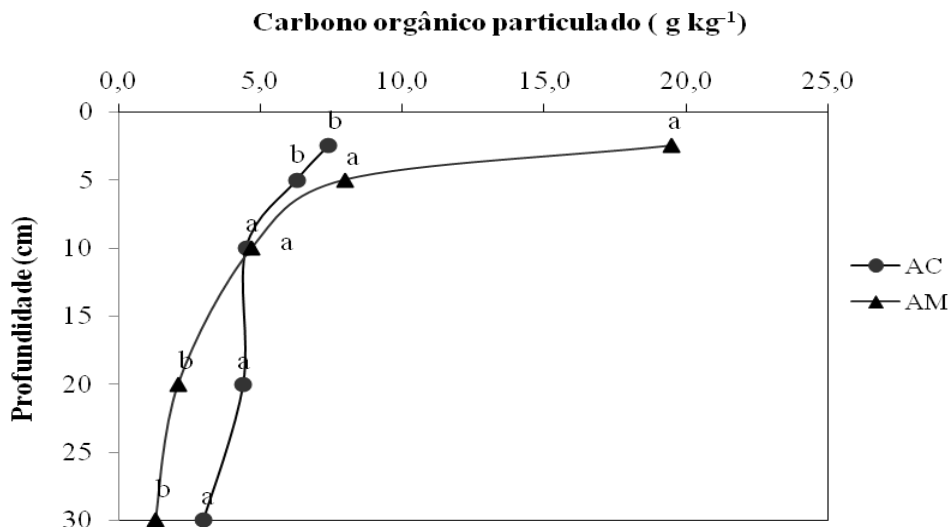
Médias seguidas de letras iguais para comparação entre as áreas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores de COP seguiram a mesma tendência dos valores encontrados para o COT, decrescendo com a profundidade nas duas áreas (Figura 8). Nas camadas 0 – 2,5 e 2,5 – 5 cm, os teores de COP na área de mata foram superiores aos da área de cana. Esse padrão indica que pode estar havendo uma maior adição de matéria orgânica nas primeiras camadas na área de mata em detrimento da adição nas mesmas camadas da área cultivada, podendo estar ocorrendo ainda uma menor humificação da matéria orgânica nas primeiras camadas da área de mata (PINHEIRO, 2007).

O menor conteúdo de COP na superfície do solo na área sob cultivo pode ser explicado pela presença, nessa região, de condições de umidade mais favoráveis a atividade microbiana, proporcionada pelo manejo da irrigação, além da maior exposição dessa fração da matéria orgânica para o ataque dos microrganismos causado pelo uso dos implementos agrícolas, reduzindo com isto, a recalcitrância do material vegetal depositado. À medida que a profundidade aumenta, ocorre uma redução mais acentuada nos valores de COP na área de mata do que na área sob cultivo. Ao que parece, a decomposição do sistema radicular da cana-de-açúcar pode estar contribuindo para a manutenção dos teores de COP em profundidade.

Silva (2003), em estudos com o manejo da matéria orgânica no agrossistema da cana-de-açúcar em ambiente de caatinga, verificou valores de COP na área de mata sempre superiores aos observados na área cultivada com cana-de-açúcar.

Figura 8. Carbono orgânico particulado em profundidade em área cultivada com cana – de – açúcar (AC) e área de mata (AM) em Paraipaba - CE.

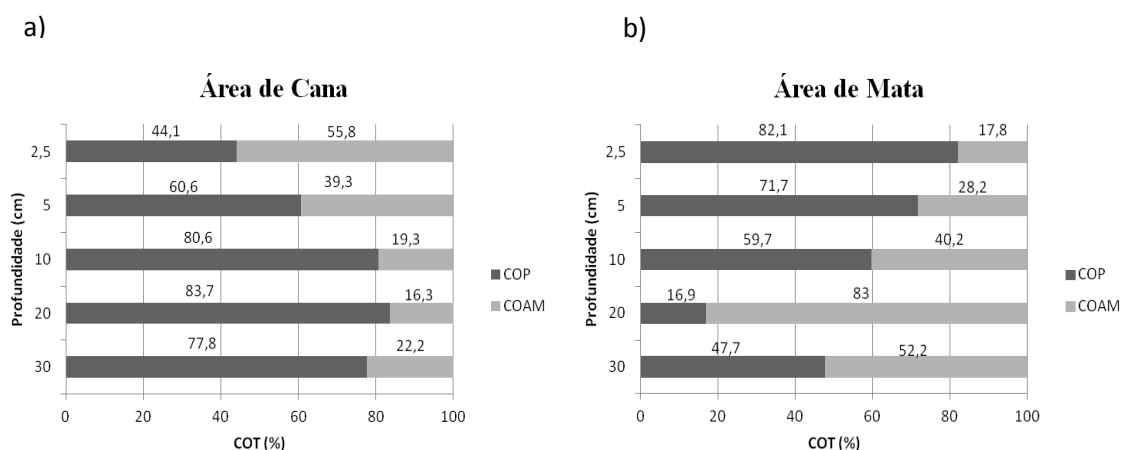


Médias seguidas de letras iguais para comparação entre as áreas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quando comparou-se a percentagem das frações físicas da matéria orgânica (COP e COAM) em relação ao COT nos sistemas avaliados (Figura 9 a e b), observou-se na primeira camada da área de cana um equilíbrio entre as duas frações.

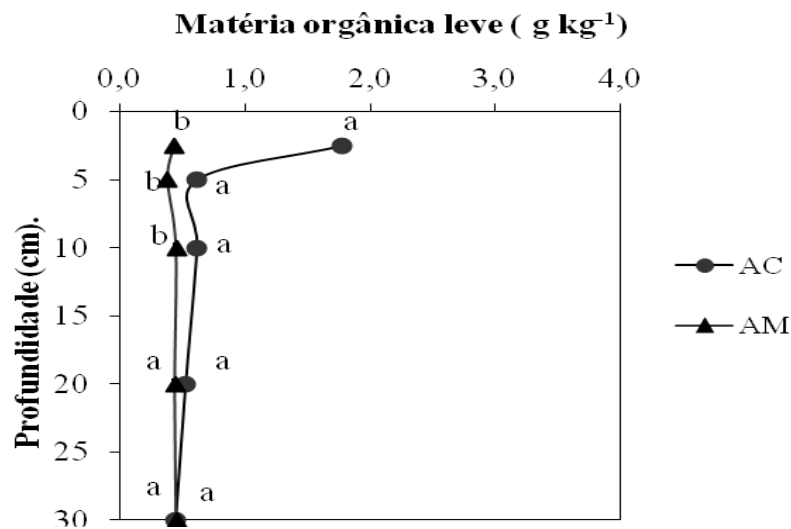
Na camada de 0 – 2,5 cm na área de mata, observou-se o predomínio da fração COP em detrimento da fração COAM, comprovando a menor humificação nessa região como foi descrito anteriormente. No geral, a percentagem de COP no COT na área cultivada aumentou em profundidade, sendo que padrão inverso foi observado na área de mata. No caso da distribuição da fração COAM, ocorreu um decréscimo na sua concentração em profundidade na área sob cultivo e o inverso ocorreu na área de mata.

Figura 9. Percentagem de COP e COAM em relação ao COT na área de cana (a) e na área de mata (b).



Os valores de MOL variaram de 1,77 a 0,38 g kg⁻¹ sendo a primeira camada da área cultivada responsável pelos maiores valores desse material. Nas primeiras camadas da área sob cultivo (0 – 2,5; 2,5 – 5 e 5 – 10 cm) observou-se sempre maiores valores de MOL quando comparada as mesmas camadas da área de mata. Nas camadas inferiores (10 – 20 e 20 – 30 cm), não houve diferença estatística entre as duas áreas (Figura 10).

Figura 10. Matéria orgânica leve (g kg⁻¹) em profundidade em área cultivada com cana – de – açúcar (AC) e área de mata (AM) em Paraipaba - CE.



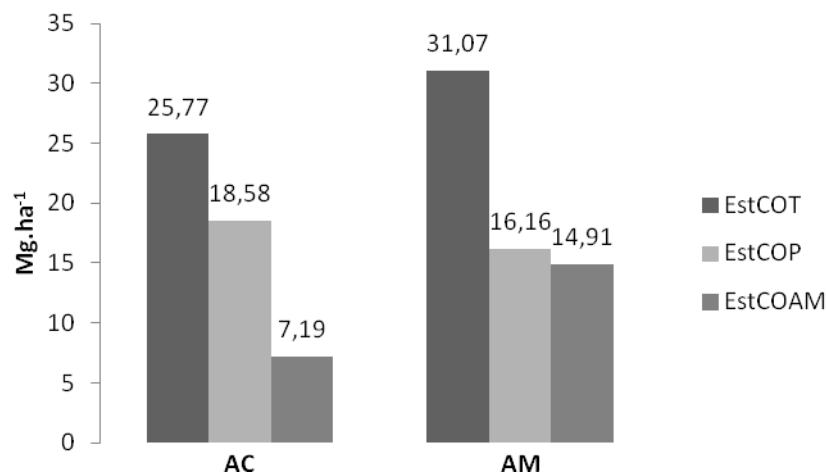
Médias seguidas de letras iguais para comparação entre as áreas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Inúmeros trabalhos destacam o maior acúmulo de MOL em áreas de cultivo conservacionista quando comparados com a mata nativa de referência (XAVIER et al., 2006; LOSS et al., 2010). No entanto, Fraga (2002), ao comparar áreas sob vegetação de caatinga com áreas sob agricultura de subsistência em manejo conservacionista, encontrou valores de MOL na mata nativa (2,0 g kg⁻¹) superior ao encontrado na área cultivada (1,8 g kg⁻¹). Os valores de MOL encontrados na área de mata no presente estudo são inferiores aos encontrados por Leite (1999) e Souza (2006) que encontraram respectivamente valores médios de 1,4 e 2,35 g kg⁻¹ de MOL na camada de 0 – 20 cm em solos sob caatinga preservada.

Estudos avaliando a fração leve da matéria orgânica (MOL) no agroecossistema da cana-de-açúcar no nordeste do Brasil são escassos na literatura. Esforços devem ser feitos para otimizar os estudos sobre essa fração da matéria orgânica, visto a importância que esta desempenha na manutenção da fertilidade do solo, seja como fonte de nutrientes para as plantas ou mesmo como fonte primária de energia para a atividade da microbiota do solo.

O EstCOT na área de mata foi superior ao encontrado na área de cana (Figura 11). O grande incremento de material orgânico na primeira camada da área de mata foi responsável por essa característica, já que observou-se pouca diferença entre os teores de carbono nas demais profundidades nos dois sistemas avaliados.

Figura 11. Estoque de carbono orgânico total (EstCOT), estoque de carbono orgânico particulado (EstCOP) e estoque de carbono orgânico associado aos minerais (EstCOAM) na profundidade de 0 – 30 cm em área cultivada com cana-de-açúcar (AC) e na área de mata



Kauffman et al. (1993) em estudos realizados em Serra Talhada – PE obtiveram valor de EstCOT na camada de 0 – 20 cm de 26,2 Mg ha⁻¹. No entanto, Maia et al. (2007), em estudos realizados em caatinga hiperxerófila no Ceará reportaram valores de EstCOT na camada de 0 – 20 cm de 48,4 Mg ha⁻¹. Uma característica comum a esses dois trabalhos pode ser considerada para um maior valor de EstCOT quando comparado aos valores obtidos no presente estudo. O primeiro foi realizado em um Luvissole e o segundo em um Argissolo, ambos com maiores teores de argila que o Neossolo Quartzarênico do presente estudo. Segundo Salcedo e Sampaio (2008), solos com maior teor de argila, tendem a armazenar maiores quantidades de carbono quando comparados com solos mais arenosos. Este fato está relacionado com uma maior proteção física da matéria orgânica nos solos com maiores teores de argila contra os efeitos do clima e ao ataque dos organismos decompositores.

Os resultados obtidos mostraram que a manutenção da palhada sobre o solo não aumentou o EstCOT na camada de 0 – 30 cm em comparação a mata nativa de referência. A manutenção da palhada está promovendo maior retenção de água no solo, oferecendo assim condições propícias para a atividade da fauna do solo, aumentando a decomposição da matéria orgânica.

O EstCOP na área de cana foi superior ao encontrado na área de mata. Característica semelhante foi observada por Pinheiro (2007), estudando as frações físicas da matéria orgânica em solo cultivado com cana-de-açúcar em Linhares – ES. A justificativa apresentada pelo autor a tal característica é o fato do sistema radicular da cana-de-açúcar adicionar matéria orgânica em profundidade o que não ocorre para a área de mata nativa. Segundo Pinheiro (2007), grande parte da matéria orgânica incorporada ao solo em profundidade pela decomposição do sistema radicular da cana-de-açúcar é material orgânico particulado.

5.2 Fracionamento do fósforo do solo

As tabelas 3, 4 e 5 mostram, respectivamente, os valores médios das frações inorgânicas, de P residual e das frações orgânicas obtidas pelo fracionamento sequencial de Hedley et al. (1982).

Silveira et al. (2006), estudando a distribuição de P em diferentes classes de solos do semi-árido da Paraíba e Pernambuco, propuseram em seu estudo que a análise da camada superficial do solo pode ser suficiente para um bom diagnóstico da disponibilidade de P, dispensando análise das camadas mais profundas. A justificativa para tal argumento está no fato de que, neste trabalho, os autores verificaram pouca diferença entre os valores de P da camada superficial (0 – 20 cm) quando comparada com a mais profunda (20 – 40 cm).

Diferentemente dos resultados encontrados por Silveira et al. (2006), observou-se no presente estudo diferenças significativas em profundidade para a grande maioria das frações obtidas no fracionamento, notadamente as frações de P_i e P residual.

No que se refere às frações de P_i (Tabela 3), a fração P_i bic apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) em profundidade, tanto na área de cana-de-açúcar quanto na área de mata. Essa fração representa o P disponível, que está sujeito aos fenômenos de adsorção e dessorção com a matriz mineral do solo. Deste modo, admitindo-se que a matéria orgânica do solo seja um fator importante na regulação desse fenômeno (ver item 5.3), é justificável as diferenças em profundidade para esta fração, já que observa-se também diferenças em profundidade para o teor de COT, assim como das frações COP e MOL.

A fração P_i hid 0,1 não apresentou diferença em profundidade na área cultivada, porém na mata nativa este fato foi verificado. Na fração P_i HCl tanto os valores obtidos para a área cultivada quanto para a área de mata não apresentaram diferenças em profundidade. Essas frações representam, respectivamente, o P_i adsorvido com maior energia as superfícies dos minerais e a fração de P_i ligado ao cálcio, formando o fosfato de cálcio altamente estável. O P dessas frações são as formas preferenciais de acúmulo de P_i nos solos que recebem

adubação mineral (CONTE et al., 2003; SANTOS et al., 2008; GONÇALVES; MEURER et al., 2009). Tendo em vista que a adubação fosfatada da cana-de-açúcar foi realizada em fundação no sulco de plantio, é justificável que na profundidade estudada (0 – 30 cm) não se observe diferenças entre as camadas amostradas.

Na fração Pi hid 0,5, observou-se diferença em profundidade para a área cultivada, no entanto, não observou-se tal diferença para a área de mata.

Para os valores de P orgânico (Tabela 5), verificou-se nas frações Po bic e Po hid 0,1 a tendência de distribuição uniforme em profundidade como observado por Silveira et al., (2006), com os valores médios das frações não diferindo em profundidade nas duas áreas avaliadas. No entanto, a fração Po hid 0,5 apresentou diferenças significativas em profundidade tanto na área de cana quanto na área de mata, notadamente nas profundidades abaixo de 5 cm. No que se refere aos valores de P residual, observou-se variação em profundidade nas duas áreas avaliadas (Tabela 4).

Dentre as frações inorgânicas apresentadas na tabela 3, o Pi bic apresentou-se em baixas concentrações nas duas áreas, comprovando a dificuldade da manutenção do conteúdo de Pi prontamente disponível para as plantas nesta classe de solo, visto que esta fração representa o Pi fracamente adsorvido a matriz mineral do solo. Na área sob cultivo de cana, observou-se valores superiores de Pi bic em relação a área de referência. Esta situação reflete a adição de fontes externas de P na forma de fertilizantes na área cultivada, o que não ocorre na área de mata.

Diversos trabalhos realizados em regiões de clima e solo semelhantes aos do presente estudo, comprovam as baixas concentrações da fração Pi bic no conteúdo do fósforo total do solo. Xavier et al. (2009), estudando as formas de fósforo em Neossolo Quartzarênico em manejo orgânico em Ibiapaba-CE, encontrou valores que variaram entre 6,97 a 38,94 mg kg⁻¹ de Pi bic, sendo o menor valor atribuído à área de referência. Já Tokura et al. (2011) estudando as formas de fósforo em um Neossolo Quartzarênico cultivado com arroz em Minas Gerais, encontraram 5,2 mg kg⁻¹ de P para o valor de Pi bic. Canellas et al. (2010) avaliando as formas de fósforo em um Neossolo em Campos dos Goytacazes no estado do Rio de Janeiro cultivado com cana-de-açúcar por 55 anos em diferentes sistemas de manejo, concluíram que as formas de P bic representaram 5,2 % do total de P do tratamento sem queima do canavial. Estudos enfocando as frações de fósforo em Neossolos cultivados com cana-de-açúcar na região semi-árida do nordeste do Brasil são escassos na literatura.

Tabela 3. Valores médios das frações de fósforo inorgânico obtidas pelo fracionamento de Hedley na área de cana-de-açúcar (AC) e na área de mata (AM) nas diferentes profundidades em Paraipaba - CE.

Tratamentos	Profundidade (cm)				
	0 – 2,5	2,5 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30
Pi bic (mg kg ⁻¹)					
AC	8,1 aA	4,3 aC	5,5 aB	3,3 D	2,7 D
AM	3,2 bA	2,7 bA	0,6 bB	-	-
Pi hid 0,1 (mg kg ⁻¹)					
AC	24,0 aA	22,0 aAB	22,1 aAB	20,4 aAB	18,5 aB
AM	26,1 aA	16,5 bB	15,2 bBC	12,8 bBC	12,3 bC
Pi HCl (mg kg ⁻¹)					
AC	5,8 aA	5,3 aA	5,7a A	5,5 aA	4,5 aA
AM	5,0 bA	4,7 bA	4,6 bA	4,6 bA	4,5a A
Pi hid 0,5 (mg kg ⁻¹)					
AC	5,3 aA	4,8 aAB	4,2 aB	4,1 aB	2,8 aC
AM	2,6 bA	2,4 bA	2,9 bA	2,4 bA	1,9 bA

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas nas linhas, para comparação entre profundidades, e letras minúsculas nas colunas, para comparação entre áreas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A fração Pi hid 0,1 representou a maior proporção de P dentre as demais frações inorgânicas. Resultado semelhante ao do presente estudo foi encontrado por Tokura et al. (2011), onde os autores relatam concentrações de 12,6 mg kg⁻¹ de P extraído com NaOH 0,1 mol L⁻¹. O autor sugere ser a fração Pi hid 0,1 a principal tamponante das frações mais lábeis de Pi do solo, ou seja, a medida que o Pi bic vai sendo removido do solo, parte do Pi hid 0,1 vai sendo deslocado para manter o nível adequado do Pi bic, afim de garantir o equilíbrio do sistema. Segundo alguns autores (CONTE et al., 2003; SANTOS et al., 2008; GONÇALVES; MEURER et al., 2009), com a adição de fertilizantes fosfatados no sistema, ocorre o acúmulo de fósforo notadamente na fração Pi hid 0,1 para a grande maioria dos solos ácidos.

O Pi HCl que representa a fração de fósforo que esta fortemente adsorvido ou precipitado como fosfato de cálcio, apresentou valores muito baixos nas duas áreas avaliadas. Esse mesmo padrão foi observado por Xavier et al. (2009). A ausência de condições para a formação do fosfato de cálcio no solo estudado, justifica os baixos valores de Pi encontrados nessa fração.

Semelhantemente aos valores encontrados na fração Pi HCl, os valores da fração Pi hid 0,5 foram baixos nas duas áreas estudadas. Essa fração representa o Pi química e fisicamente protegido nas superfícies internas dos microagregados. Deste modo, tendo em

vista as condições texturais e estruturais do solo estudado, a formação desta fração de P torna-se pouco pronunciada.

O P residual (Tabela 4), que representa o P inorgânico e orgânico recalcitrante, não disponível para os vegetais, apresentou-se também em baixas concentrações, porém superiores as encontradas para o Pi HCl e Pi hid 0,5 nas duas áreas avaliadas. Nesta fração, os valores encontrados na mata nativa foram superiores aos encontrados na área de cana. No entanto, quando da aplicação do teste estatístico, não observou-se diferença significativa entre as áreas, notadamente nas camadas inferiores do solo.

Tabela 4. Valores médios do P residual obtido pelo fracionamento de Hedley na área de cana-de-açúcar (AC) e na área de mata (AM) nas diferentes profundidades em Paraipaba - CE

Profundidade (cm)	Residual (mg kg ⁻¹)	
	AC	AM
0 – 2,5	9,1 bA	10,4 aA
2,5 – 5	6,5 bB	10,2 aA
5 – 10	6,1 bB	10,5 aA
10 – 20	6,0 bB	8,4 aB
20- 30	7,7 aB	8,6 aB

Médias seguidas de letras iguais minúsculas nas linhas, para comparação entre áreas, e letras iguais maiúsculas nas colunas, para comparação entre profundidades, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No que se refere às frações orgânicas de P (Tabela 5), o fracionamento de Hedley nos proporcionou três frações distintas: a primeira (Po bic) é a mais lábil e representa o P orgânico passível para a mineralização. A segunda e terceira são frações mais estáveis quimicamente e são representadas pelo Po hid 0,1 e Po hid 0,5 respectivamente. Essas frações mais estáveis agem principalmente no tamponamento dos níveis de Po do solo, notadamente quando da mineralização do Po bic.

No geral, quando compararam-se as frações de Po entre as áreas, não observou-se diferença significativa na maioria das profundidades avaliadas. Diferença significativa foi observada apenas nas últimas camadas entre as áreas para a fração Po hid 0,5.

Segundo Salcedo (2006), em ecossistemas naturais, onde não há adição de uma fonte externa de fósforo, a disponibilidade deste nutriente está relacionada principalmente a ciclagem do Po existente no solo e os valores de Po tendem a serem estáveis no tempo. Quando da perturbação do sistema pela introdução de cultivos comerciais, com aumento da biomassa vegetal e adubação, ocorrerá também um aumento da atividade microbiana, acarretando em aumento da mineralização.

Seria esperado, portanto, na área cultivada com cana-de-açúcar uma menor concentração das frações orgânicas de P, principalmente a mais lábel (Po bic). Como podemos observar na tabela 5, esse fato não ocorreu. Observou-se pouca diferença entre as concentrações das frações de Po nas duas áreas avaliadas. Percebe-se, portanto, que o manejo adotado na área cultivada com cana-de-açúcar está mantendo os mesmos níveis de Po encontrados na área de referência.

Tabela 5. Valores médios das frações de fósforo orgânico obtidas pelo fracionamento de Hedley na área de cana-de-açúcar (AC) e na área de mata (AM) nas diferentes profundidades em Paraipaba - CE.

Tratamentos	Profundidade (cm)				
	0 - 2,5	2,5 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 30
Po bic (mg kg ⁻¹)					
AC	28,4 aA	27,0 aA	25,9 aA	26,9 aA	23,2 aA
AM	24,0 aA	26,2 aA	25,8 aA	25,2 aA	25,0 aA
Po hid 0,1 (mg kg ⁻¹)					
AC	13,0 aA	12,1 aA	12,7 aA	8,9 aAB	3,6 bB
AM	11,4 aA	12,0 aA	8,0 bA	7,3 aA	6,7 aA
Po hid 0,5 (mg kg ⁻¹)					
AC	7,9 aA	8,9 aA	6,0 aAB	2,7 aB	1,0 bB
AM	7,4 aA	5,2 bAB	2,8 bBC	1,9 bC	2,9 aBC

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas nas linhas, para comparação entre profundidades, e letras minúsculas nas colunas, para comparação entre áreas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A fração Po bic apresentou as maiores concentrações dentre as demais frações nas duas áreas avaliadas (Figura 12). Tanto na área de mata quanto na área cultivada, essa fração pode ser uma fonte importante de P para as plantas que não é quantificada nos métodos usuais de determinação da disponibilidade de P.

O Pt do solo variou de 62,3 a 101,9 mg kg⁻¹, sendo os maiores valores encontrados na camada superficial da área cultivada e os menores valores observados na última camada da área de mata (Tabela 6). Os baixos valores de Pt obtidos são decorrentes da pobreza em fosfatos do material de origem do solo. No geral, os valores de Pt na área sob cultivo foram sempre superiores aos encontrados na área de mata. Esta característica é coerente pelo fato da aplicação de fertilizantes fosfatados na área sob cultivo. Percebe-se que, assim como as demais características avaliadas anteriormente no presente estudo, notadamente, COT, COP e MOL, não observou-se a influência do sistema de manejo na última camada avaliada.

Figura 12. Porcentagem de cada fração orgânica de P em relação ao P total do solo em área sob cultivo de cana-de-açúcar (a) e na mata nativa (b) em Paraipaba – CE.

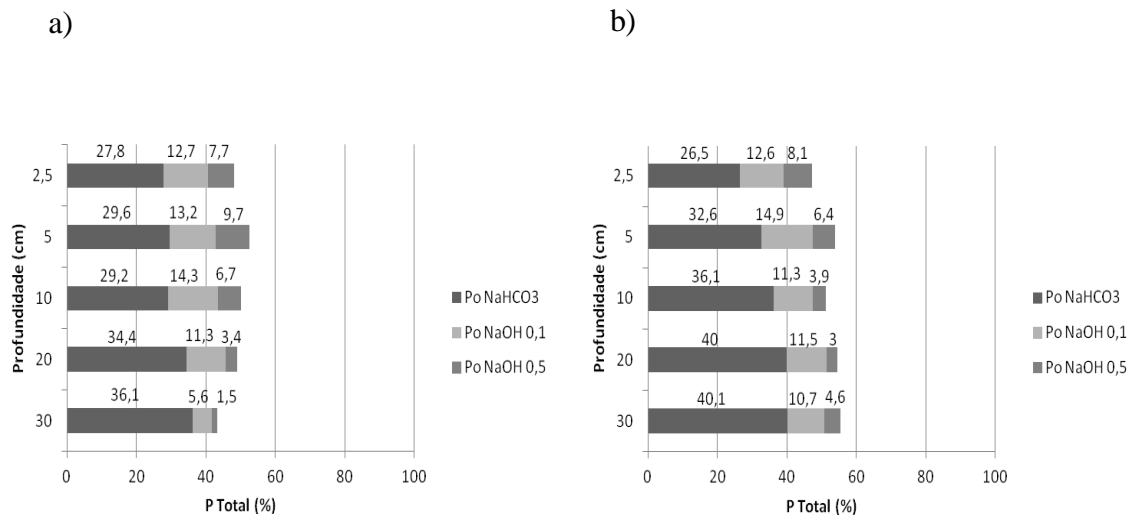


Tabela 6. Valores médios de P total obtidos pela soma das frações do fracionamento de Hedley na área de cana-de-açúcar (AC) e na área de mata (AM) nas diferentes profundidades em Paraipaba - CE.

Profundidade (cm)	P Total (mg kg ⁻¹)	
	AC	AM
0 – 2,5	101,9 a	90,4 b
2,5 – 5	91,2 a	80,3 b
5 – 10	88,5 a	70,6 b
10 – 20	78,1 a	63,0 b
20- 30	64,2 a	62,3 b

Médias seguidas de letras iguais nas linhas para comparação entre áreas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No geral, o P orgânico total foi ligeiramente superior na área cultivada em todas as profundidades, com exceção apenas da ultima camada avaliada (Tabela 7). No entanto, não observou-se diferença estatística entre as áreas, notadamente nas camadas mais superficiais do solo.

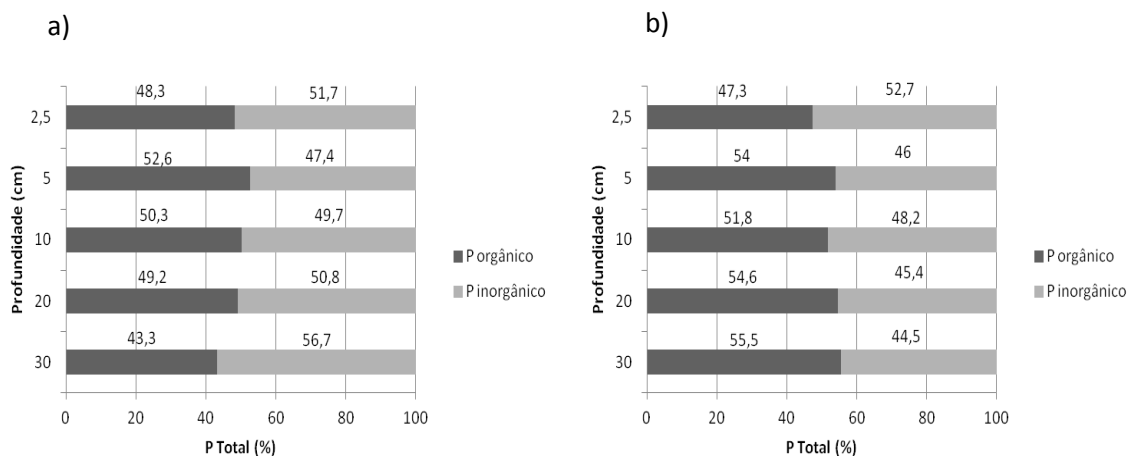
Tabela 7. Valores de P orgânico total obtido pelo somatório das frações orgânicas do fracionamento de Hedley na área de cana-de-açúcar (AC) e na área de mata (AM) nas diferentes profundidades em Paraipaba - CE

Profundidade (cm)	Po Total (mg kg ⁻¹)	
	AC	AM
0 – 2,5	49,3 aA	42,8 aA
2,5 – 5	48,0 aA	43,4 aA
5 – 10	44,6 aA	36,6 bA
10 – 20	38,5 aAB	34,4 aA
20- 30	27,8 bB	34,6 aA

Médias seguidas de letras iguais minúsculas nas linhas, para comparação entre as áreas, e letras iguais maiúsculas nas colunas, para comparação entre profundidades, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quando avaliou-se a porcentagem do fósforo orgânico e inorgânico no conteúdo de fósforo total do solo (Figura 13), observou-se basicamente as mesmas proporções de Po e Pi nas duas áreas e nas diferentes profundidades. É importante destacar que com o aumento da profundidade, ocorreu uma diminuição da fração orgânica na área de cana-de-açúcar e na área de mata ocorreu o inverso, aumentando a participação da fração orgânica em detrimento da inorgânica em profundidade.

Figura 13. Valores percentuais de P orgânico e inorgânico em relação ao P total do solo em área cultivada com cana-de-açúcar e na mata nativa em Paraipaba – CE.



P orgânico = Po bic + Po hid 0,1 + Po hid 0,5; P inorgânico = Pi bic + Pi hid 0,1 + Pi HCl + Pi hid 0,5; P total = P orgânico + P inorgânico + P residual.

5.3. Fósforo remanescente e capacidade máxima de adsorção de fósforo

Os valores de Prem obtidos no estudo apresentaram pequena amplitude, variando de 55,1 a 58,2 mg kg⁻¹ de P, indicando baixo potencial para adsorção de fósforo pelo solo. (Tabela 8).

Tabela 8. Valores médios de fósforo remanescente (Prem) em área cultivada com cana-de-açúcar (AC) e em área de mata (AM) nas diferentes profundidades avaliadas em Paraipaba – CE.

Profundidade (cm)	Prem (mg kg ⁻¹)	
	AC	AM
0 – 2,5	58,2 aA	55,8 bA
2,5 – 5	57,7 aB	55,6 bB
5 – 10	57,8 aB	55,5 bB
10 – 20	57,7 aB	55,8 bA
20 – 30	55,1 bC	55,1 bC

Médias seguidas de letras iguais minúsculas nas linhas, para comparação entre áreas, e letras iguais maiúsculas nas colunas, para comparação entre profundidades, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Boschetti et al. (1998) trabalhando em um Neossolo em Entre Rios na Argentina, obtiveram 54,5 mg kg⁻¹ de Prem na camada superficial deste solo. Já Côrrea et al. (2011), em estudos realizados em dez solos do estado de Pernambuco, encontraram 57,8 mg kg⁻¹ de Prem na camada superficial de um Neossolo Quartzarênico. Esses valores são semelhantes aos encontrados no presente estudo, confirmando a baixa capacidade de adsorção de fosfato nesta classe de solo.

O maior valor de Prem foi encontrado na camada superficial da área de cana. Nessa área, não houve diferença entre os valores de Prem nas camadas intermediárias, observando-se maior diferença entre a primeira e a última camada. O mesmo ocorreu para a área de mata, onde foi verificada diferença significativa apenas entre a camada de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm.

Em todas as profundidades, a área sob cultivo apresentou maiores valores de Prem quando comparada com a área de mata nativa, com exceção da última camada que apresentou os mesmos valores nos dois sistemas avaliados. Nessa região, acredita-se que os efeitos do sistema de cultivo não influenciem na dinâmica de adsorção do P como ocorre na superfície das áreas estudadas.

Os valores de Prem obtidos nos proporcionaram um diagnóstico preliminar do mecanismo de adsorção de P pelo solo. Nesse sentido, os cálculos para a determinação da CMAP foram realizados utilizando apenas as camadas de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm nas duas áreas

avaliadas por apresentarem maior diferença dentre as demais. Pressupõe-se que nas camadas onde os valores de Prem foram semelhantes, os valores de CMAP também sejam iguais.

Para a CMAP obtiveram-se valores médios que variaram de 59,5 a 133,3 mg kg⁻¹ de P. Na área de cana a adsorção foi maior em profundidade (20 – 30 cm). Na área de mata, observaram-se valores semelhantes nas duas profundidades, no entanto, esses valores foram sempre superiores aos encontrados nas duas profundidades na área de cana (Tabela 9).

Tabela 9. Valores médios (4 repetições) de capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) em área de cana-de-açúcar (AC) e área de mata (AM) nas diferentes profundidades em Paraipaba - CE

Profundidade (cm)	CMAP (mg kg ⁻¹)	
	AC	AM
0 – 2,5	59,5 bA	132,7 aA
20 – 30	114,9 bB	133,3 aA

Médias seguidas de letras iguais minúsculas nas linhas, para comparação entre áreas, e letras iguais maiúsculas nas colunas, para comparação entre profundidades, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Moreira et al. (2006) em um estudo de adsorção de fósforo em solos do estado do Ceará encontraram 256,41 mg kg⁻¹ de P para a CMAP na camada superficial de um Neossolo Quartzarênico em Ibiapaba - CE. Já Corrêa et al. (2011) estudando um Neossolo em Pernambuco encontraram 44,58 mg kg⁻¹ para a CMAP. Observou-se com esses estudos uma grande diferença quanto à adsorção máxima de P dentro de uma mesma classe de solo. Os principais fatores que influenciaram na diferença nos valores da CMAP entre os dois estudos foram os teores de argila e de matéria orgânica.

É do conhecimento de todos que a MOS está diretamente associada com o processo de adsorção do fósforo pelo solo. Segundo Novais e Smyth (1999), dado o caráter aniônico da MOS, a adsorção do P pode ocorrer via pontes de cátions com alumínio, ferro e cálcio a ela adsorvidos. No entanto, alguns trabalhos mostram participação negativa da MOS atuando na redução da adsorção de P por meio de ácidos orgânicos que bloqueiam os sítios de adsorção (PEREIRA et al., 2010).

No presente estudo, observou-se na camada mais profunda (20 – 30 cm), tanto na AC quanto na AM, valores elevados de CMAP. Essas regiões caracterizam-se por apresentarem baixas concentrações de COT. No entanto, na camada superficial da AM (0 – 2,5 cm), observou-se valor de CMAP elevado, mesmo apresentando elevados teores de COT. Tendo em vista os resultados obtidos, sugere-se que a adsorção máxima de P pelo solo esteja

mais correlacionada com a qualidade do material orgânico presente do que com o seu teor no solo.

Para comprovar o argumento proposto acima, procedeu-se um teste de correlação linear simples entre algumas frações da matéria orgânica com os valores de Prem e CMAP nas duas áreas avaliadas e nas duas profundidades. Tendo em vista ainda, uma suposta influência do teor de fósforo disponível (P – Mehlich 1) na adsorção de P pelo solo, procedeu-se também o teste de correlação para essa característica (Tabelas 10 e 11).

Observou-se na área sob cultivo de cana-de-açúcar (Tabela 10) correlação positiva entre o Prem e o COT nas duas profundidades avaliadas. Observou-se claramente o aumento das concentrações do Prem nas profundidades onde foram encontrados os maiores valores de COT. No entanto, quando correlacionou-se o Prem com as frações da matéria orgânica e P-Mehlich 1, não observou-se correlação significativa.

Os valores de CMAP se correlacionaram negativamente com os valores de COP e MOL na camada superficial da área de cana. Nessa camada, foram encontradas maiores concentrações de COP e MOL e menores valores de CMAP. Na camada mais profunda, essa característica não foi observada. Nas duas profundidades na área de cana não observou-se correlação significativa entre CMAP e COT.

Tendo em vista que o COP e a MOL representam frações da matéria orgânica em estágios iniciais de decomposição e que este material encontra-se prontamente acessível ao ataque microbiano, sugere-se que a produção de ácidos orgânicos oriundos da decomposição das frações COP e MOL, assim como da exsudação desses ácidos pelas raízes e pelo metabolismo dos microrganismos na camada superficial da área de cana, podem estar competindo com os sítios de adsorção de P e aumentando a disponibilidade desse nutriente em solução.

Na camada superficial da área de mata não observou-se correlação significativa entre os valores de Prem e CMAP com nenhuma das características avaliadas. Em profundidade, observou-se correlação positiva entre os valores de Prem e COT, Prem e COAM e correlação negativa entre CMAP e P-Mehlich 1.

Tabela 10. Coeficientes de correlação linear simples entre os valores de fósforo remanescente (Prem) e capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) e os valores de COT, frações físicas da matéria orgânica (COP, COAM e MOL) e fósforo extraído com Mehlich 1 nas profundidades de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm na área cultivada com cana-de-açúcar.

	COT	COP	COAM	MOL	P-Mehlich 1
			0 – 2,5 cm		
Prem	0,91**	0,49 ^{ns}	- 0,77 ^{ns}	0,54 ^{ns}	-0,43 ^{ns}
CMAP	0,34 ^{ns}	- 0,81*	0,66 ^{ns}	- 0,81*	0,69 ^{ns}
			20 – 30 cm		
Prem	0,95**	- 0,18 ^{ns}	- 0,16 ^{ns}	- 0,34 ^{ns}	0,25 ^{ns}
CMAP	- 0,50 ^{ns}	- 0,65 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,60 ^{ns}

^{ns} Não significativo; *,** significativos a 5 e 1%, respectivamente; COT – carbono orgânico total (g kg⁻¹); COP – carbono orgânico particulado (g kg⁻¹); COAM – carbono orgânico associado aos minerais (g kg⁻¹); MOL – matéria orgânica leve (g kg⁻¹); P Mehlich 1 – fósforo extraído com solução de mehlich 1 (mg kg⁻¹).

Tabela 11. Coeficientes de correlação linear simples entre os valores de fósforo remanescente (Prem) e capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) e os valores de COT, frações físicas da matéria orgânica (COP, COAM e MOL) e fósforo extraído com Mehlich 1 nas profundidades de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm na área de mata nativa.

	COT	COP	COAM	MOL	P Mehlich 1
			0 – 2,5 cm		
Prem	0,53 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,53 ^{ns}
CMAP	0,14 ^{ns}	- 0,05 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,25 ^{ns}
			20 – 30 cm		
Prem	0,92**	- 0,72 ^{ns}	0,91**	0,69 ^{ns}	- 0,32 ^{ns}
CMAP	- 0,22 ^{ns}	0,16 ^{ns}	- 0,21 ^{ns}	- 0,32 ^{ns}	- 0,86*

^{ns} Não significativo; *,** significativos a 5 e 1%, respectivamente; COT – carbono orgânico total (g kg⁻¹); COP – carbono orgânico particulado (g kg⁻¹); COAM – carbono orgânico associado aos minerais (g kg⁻¹); MOL – matéria orgânica leve (g kg⁻¹); P Mehlich 1 – fósforo extraído com solução de mehlich 1 (mg kg⁻¹).

Como podemos perceber, a influência da matéria orgânica na adsorção de P no solo é uma questão controversa, e novos estudos serão necessários para obter resultados conclusivos.

As curvas de adsorção de fósforo e os respectivos procedimentos para a obtenção das mesmas estão descritos em anexo.

6 CONCLUSÕES

- 1) O sistema de cultivo da cana-de-açúcar modificou os valores de EstCOT e EstCOP, quando comparado com a mata nativa. O EstCOT foi superior na área de mata e o EstCOP foi superior na área sob cultivo.
- 2) A distribuição das frações físicas da matéria orgânica do solo foi influenciada pelo sistema de cultivo da cana-de-açúcar. A MOL foi superior na área de cana-de-açúcar em todas as profundidades avaliadas e o COP foi superior nas camadas superficiais da área de mata, no entanto, em profundidade os valores de COP foram superiores na área sob cultivo de cana.
- 3) A dinâmica do fósforo do solo foi modificada pelo sistema de manejo adotado. A CMAP foi superior na área de mata. A concentração de fósforo inorgânico foi superior na área sob cultivo de cana e a concentração de fósforo orgânico não apresentou diferença significativa entre as áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, V.H.; FONSECA, D. M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 49-55, 1990.
- AMORIM, L. B. **Caracterização da serrapilheira em caatinga preservada e mudanças no carbono do solo após o desmatamento sem queima**. 2009. 75 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife – PE.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. Wallingford: CAB International, 1989. 171 p.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2 Ed, Porto Alegre, Metrópole, 2008. P. 7 – 18.
- BOSCHETTIA, N. G.; QUINTERO, G. C. E.; BENAVIDEZ, Q. R. A. Caracterização do fator capacidade de fósforo em solos de Entre Rios, Argentina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 22, p. 95-99, 1998.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic – matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 56, n. 3, p. 777 – 783, 1992.
- CAMPOS, D.C. **Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o sequestro de carbono**. 2003. 103 p. Tese - Doutorado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Piracicaba- SP.
- CANELLAS, L. P.; BUSATO, J. G.; DOBBSS, L.B.; BALDOTTO, M. A.; RUMJANEK, V. M.; OLIVARES, F. L. Soil organic matter and nutrient pools under long – term burning management of sugar cane. **European Journal of Soil Science**, v. 61,p. 375 – 383, 2010.
- 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 Ciências do Solo**, Viçosa: v.27 n.5, p.935-944, 2003.
- CLAESSEN, M.E.C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB 2009: **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar safra 2009, 3º levantamento dezembro de 2009**. Brasília: Companhia Nacional do Abastecimento, 2009.
- CONTE, E.; ANGHINONI, T.; RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 23, p. 893 – 900, 2003.

CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; ROCHA, A. T. Adsorção de fósforo em dez solos do Estado de Pernambuco e suas relações com parâmetros físicos e químicos. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 33, n. 1, p. 153 – 159, 2011.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006, 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA
INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília- DF, 2009, 627 p.

FRAGA, V. S. **Mudanças na matéria orgânica (C, N e P) de solos sob agricultura de subsistência**. 2002. 76 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pernambuco, Recife – PE.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 247 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; CASSOL FLORES, J. P. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 691–699, 2007.

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

GONÇALVES, G. K.; MEURER, E. J. Frações de fósforo no solo e sua relação com a absorção pelas plantas de arroz irrigado por alagamento em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 357 – 362, 2009.

GONÇALVES, T. M. **Impacto da queima da palha da cana-de-açúcar na saúde**. II Fórum Ambiental da Alta Paulista, p.1-13, 2006. www.amigosdanatureza.org.br. (acessado em 15/06/2009). 02 mar.2011

HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B.; CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 46, p. 970 – 976, 1982.

KAUFFMAN, J. B.; SANFORD, J. R.; CUMMINGS, D. L.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. **Ecology**, v. 74, p. 140 – 150, 1993.

LEITE, L. F. C. **Biomassa de raízes finas e fertilidade do solo sob vegetação de caatinga em Caruaru – PE**. 1999. 73p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife – PE.

- LOSS, A.; MORAIS, A. G. L.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M. R.; ANJOS, L. H. C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, Teresina, v. 1, n. 1, p. 57 – 64, 2010.
- MACEDO, N.M.; BOTELHO, P.S.M.; CAMPOS, M.B.S. Controle químico de cigarinha-da raiz em cana-de-açúcar e impacto sobre a população de artrópodes. **Stab – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.21, p.30-33, 2003.
- MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi – arid of Ceará, Brazil. **Agroforest System**, v. 71, p. 127 – 138, 2007.
- MENDOZA, H. N. S.; LIMA, E.; SILVA, L. A.; ANJOS, L. H. C. 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**. v.24, n.1, p.201-07, 2000.
- MOREIRA, F. L. M.; MOTA, F. O.; CLEMENTE, C. A.; AZEVEDO, B. M.; BOMFIM, G. V. Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 1, p. 7 – 12, 2006.
- MURPHY, L.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural Waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p. 31 – 36, 1962.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa , 1999. 399p.
- PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 508 – 514, 2010.
- PINHEIRO, E. F. M. **Fracionamento físico e caracterização da matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais**. 2007. 98 p. Tese de Doutorado – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ.
- RHEINHEIMER, D. S. **Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo do solo**. 2000. 210 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS.
- RHEINHEIMER, D. S.; CASSOL, P. C.; KAMINSKI, J.; ANGHINONI, I. **Fósforo orgânico do solo**. In: SANTOS, G. S.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ª Ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p. 419 – 441.
- RESENDE, A. S.; SANTOS, A.; XAVIER, R. P.; COELHO, C. H.; GONDIM, A.; OLIVEIRA, O. C.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; S. URQUIAGA. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.6, p.937-941, 2006.
- ROCHA, F. C. S.; LEÃO, M. C. S.; ASSIS JUNIOR, F. N. Avaliação técnica de um plantio comercial de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) microirrigada por gotejamento subsuperficial. **Revista Irriga**, v.7, n.1, 2002.

ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; CORRÊA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 953-964, 2004.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86 p.

SALCEDO, I. H. Biogeoquímica do fósforo em solos da região semi-árida do nordeste do Brasil. **Revista Geografia**, v. 23, p. 108 – 123, 2006.

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. **Matéria orgânica do solo no bioma caatinga**. In: SANTOS, G. S.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2^a Ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p. 419 – 441.

SANTOS, J. Z. L.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; CURI, N.; CARNEIRO, L. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 705 – 714, 2008.

SILVEIRA, M. M. L.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, E. V. S. B. Distribuição de fósforo em diferentes ordens de solo do semi-árido da Paraíba e de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 30, p. 281 – 291, 2006.

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

SIMÕES NETO, D. E. **Avaliação da disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação fosfatada para a cana-planta em solos do estado de Pernambuco**. 2008. 106 p. Tese (Doutorado)- Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife - PE.

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P. dos; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004.

SOUZA, S. M. S. C. **Relações entre vegetação, relevo, fertilidade do solo e matéria orgânica em bacia hidrográfica de região semi-árida**. 2006. 64p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areia – PB.

STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. **Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfúrio, micronutrients**. 2. Ed. New York: J. Wiley, 1999. 427 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre – UFRGS, 1995, 174 p.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; CURI, N.; SANTOS, J. Z. L.; ALOVISI, A. A. Dinâmica das formas de fósforo em solos de textura e mineralogia contrastantes cultivadas com arroz. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 33, n. 1, p. 171 – 179, 2011.

UNIÃO AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO. UNICA. **Estatísticas**. São Paulo: União da Agroindústria Canaveira de São Paulo, 2009. Disponível em <<http://www.portalunica.com.br/ação/cana.jsp>>. Acesso: em 01 mar. 2011.

VASCONCELOS, A.C.M. **Desenvolvimento do sistema radicular da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual**. 2002. 140 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal - SP.

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

XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S. Phosphorus fractionation in a Sandy soil under organic agriculture in Northeastern Brasil. **Geoderma**, v. 151, p. 417 – 423, 2009.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbonic in soil. **Comunicata Soil Science Plant Analysis**, v. 19, p. 1476 – 1476, 1988.

ANEXOS

No estudo da estimativa da CMAP, fez – se quatro repetições para todas as profundidades obtendo-se, portanto, quatro curvas (forma hiperbólica) e quatro retas (forma linear) da isoterma de Langmuir para cada profundidade. Com o intuito de exemplificar o procedimento de obtenção das curvas e, posteriormente, dos valores de CMAP, utilizou-se apenas a isoterma que apresentou o maior coeficiente de determinação (r^2), quando da sua forma linear, das quatro repetições realizadas para cada profundidade nas duas áreas avaliadas.

ANEXO A – Procedimentos para obtenção das isotermas de Langmuir (forma hiperbólica) na área cultivada com cana-de-açúcar.

Tabela 12. Dados utilizados nos ajustamentos das isotermas de Langmuir nas profundidades de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm na área cultivada com cana-de-açúcar.

0 – 2,5			20 – 30		
Prof. (cm)	C (mg L ⁻¹)	X/m (mg kg ⁻¹)	Prof. (cm)	C (mg L ⁻¹)	X/m (mg kg ⁻¹)
0	0	0	0	0	0
3	0,83	21,7	3	0,45	25,5
5	1,45	35,5	5	0,84	41,6
8	3,55	44,5	8	2,05	59,5
12	6,75	52,5	12	3,5	85,0
15	9,65	53,5	15	4,9	101,0
-	-	-	18	7,88	101,2

Pi – P adicionado; C - Concentração de equilíbrio; X/m – P adsorvido.

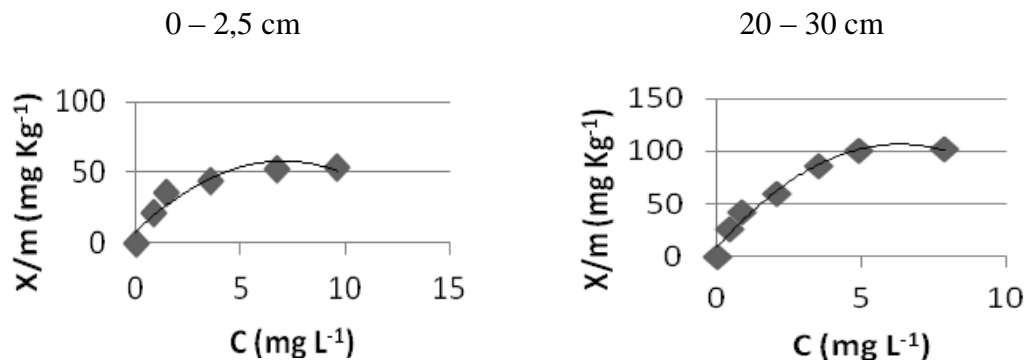


Figura 14. Isotermas de Langmuir (forma hiperbólica) nas profundidades de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm na área cultivada com cana-de-açúcar.

ANEXO B – Procedimentos para obtenção das isotermas de Langmuir (forma hiperbólica) na área de mata nativa.

Tabela 13. Dados utilizados nos ajustamentos das isotermas de Langmuir nas profundidades de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm na área de mata.

Prof. (cm) 0 – 2,5			Prof. (cm) 20 – 30		
Pi (mg L ⁻¹)	C (mg L ⁻¹)	X/m (mg kg ⁻¹)	Pi (mg L ⁻¹)	C (mg L ⁻¹)	X/m (mg kg ⁻¹)
0	0	0	0	0	0
3	0,56	24,4	3	0,52	24,8
5	0,97	40,3	5	0,87	41,3
8	2,05	59,5	8	1,55	64,5
12	3,49	85,1	12	3,39	86,1
15	4,85	101,5	15	4,87	101,3
18	6,62	113,8	18	6,72	112,8
20	8,86	111,4	20	8,23	117,7

Pi – P adicionado; C - Concentração de equilíbrio; X/m – P adsorvido.

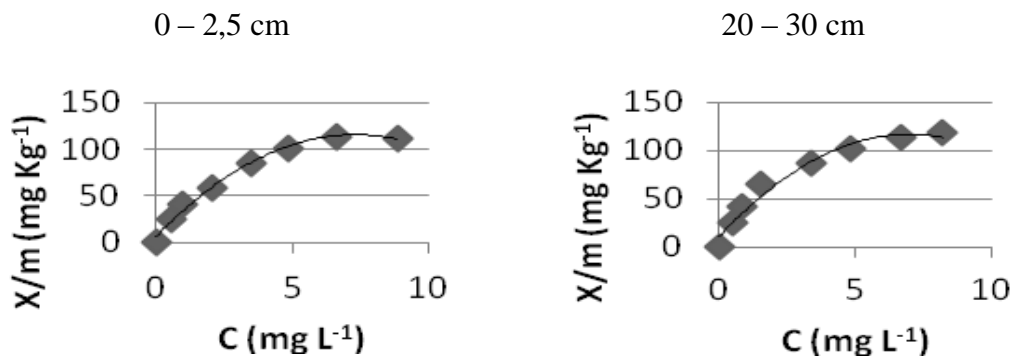


Figura 15. Isotermas de Langmuir (forma hiperbólica) nas profundidades de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm na área de mata.

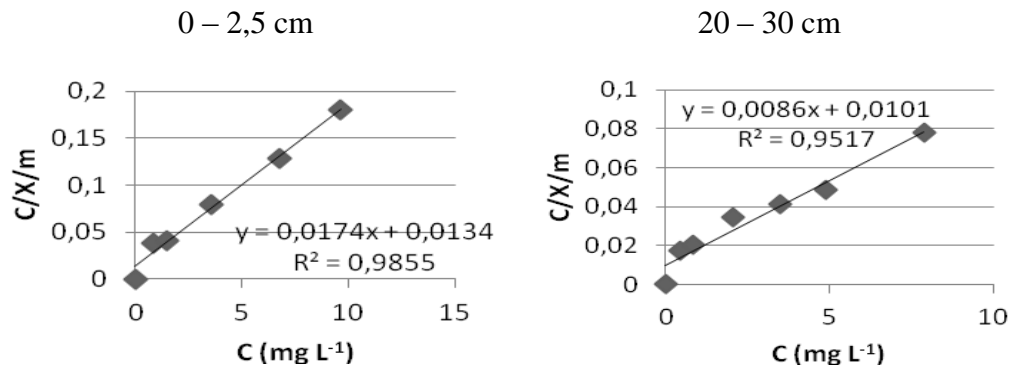
ANEXO C – Isotermas de Langmuir (forma linear) na área cultivada com cana-de-açúcar.

Figura 16. Isotermas de Langmuir (forma linear) nas profundidades de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm na área cultivada com cana-de-açúcar.

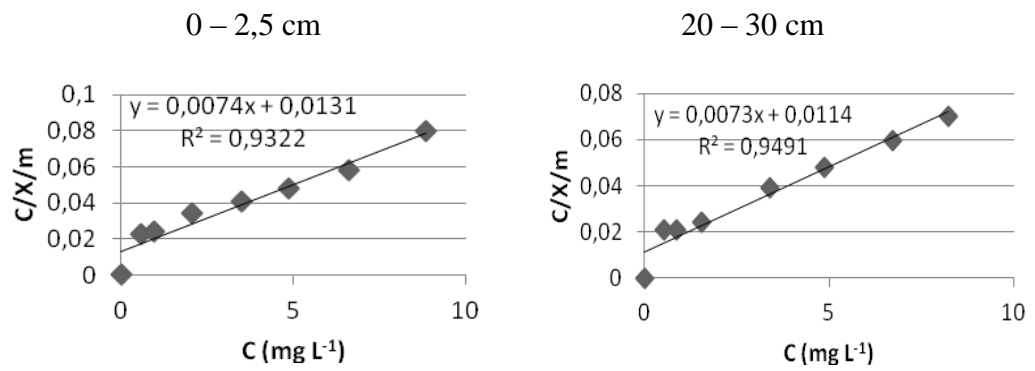
ANEXO D – Isotermas de Langmuir (forma linear) na área de mata.

Figura 17. Isotermas de Langmuir (forma linear) nas profundidades de 0 – 2,5 e 20 – 30 cm na área de mata.

ANEXO E – Obtenção dos valores de CMAP através do coeficiente angular da equação de regressão.

Tabela 14. Equações das formas lineares das isotermas de Langmuir e os respectivos valores de CMAP na área de cana-de-açúcar (AC) e na área de mata (AM) nas diferentes profundidades em Paraipaba – CE.

Áreas	Prof.(cm)	Equação de Regressão	R ²	CMAP (mg kg ⁻¹)
AC	0 – 2,5	Y = 0,0174 X + 0,0134	0,98	57,47
	20 – 30	Y = 0,086 X + 0,0101	0,95	116,27
AM	0 – 2,5	Y = 0,0074 X + 0,0131	0,93	135,13
	20 – 30	Y = 0,0073 X + 0,0114	0,94	136,98