

ARTIGO



AUTORES:

Antonio Rodrigues
Fernandes¹

Anderson Martins de
Souza Braz²

Ronilson de Souza
Santos³

Neilo Bergamin Moreira²

Herdjania Veras de Lima¹

Manoel da Silva Cravo⁴

¹Universidade Federal Rural da
Amazônia, Av. Presidente Tancredo
Neves, 2501, 66077-530, Belém,
PA, Brasil

²Doutorando, Escola Superior
de Agricultura Luiz de Queiroz,
Avenida Pádua Dias, 11 -
Piracicaba/SP - CEP 13418-900

³Universidade Federal do Pará,
Campus Altamira, Rua José Porfírio,
nº 2515, no Bairro de São Sebastião,
CEP: 68.370-000 Altamira - PA

⁴Aposentado, Embrapa Amazônia
Oriental

Recebido: 01/11/2011

Aprovado: 29/12/2012

AUTOR CORRESPONDENTE:

Anderson Martins de Souza Braz
E-mail: andersonbraz@usp.br

PALAVRAS-CHAVE:

Caupi

Milho

Mandioca

Atributos físicos

Compactação

KEY WORDS:

cowpea

zea

cassava

physical attributes

compaction

Estoque de carbono orgânico e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Amarelo sob adubação orgânica

Stock of carbon organic and Least Limiting Water Range of a Typic Hapludox under fertilization organic

RESUMO: A adubação orgânica utilizando resíduos de origem vegetal e animal disponíveis no campo, pode ser uma alternativa viável e sustentável para o pequeno produtor em substituição a adubação mineral fosfatada que possui custo muito elevado. Estoque de carbono orgânico e Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) são indicadores de sustentabilidade dos sistemas agrícolas que podem favorecer na tomada de decisão de escolha de melhores sistemas de manejo e uso do solo. Estudou-se o efeito da adubação fosfatada e orgânica sobre o estoque de carbono orgânico e IHO do solo, como indicadores da qualidade física do solo e sobre a produção de caupi, milho e mandioca. Os tratamentos utilizados foram: esterco bovino (EB), esterco de galinha (EG), resíduo de agroindústria de mandioca (RM), adubação fosfatada (AF), adubação verde com feijão de porco (FP) (*Canavalia ensiformis*) e controle (Cont), sem adubação. As quantidades foram de 20 Mg ha⁻¹ para as fontes orgânicas (exceto adubação verde) e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicados 50% em 2002 e 50% em 2003, antes do plantio do primeiro cultivo anual. Ocorreu incremento no estoque de carbono no solo para todos os tratamentos, sendo o maior valor obtido com o uso de esterco de galinha e o menor para esterco bovino. Os valores de resistência do solo a penetração (limite inferior) e da capacidade de campo (limite superior) foram os parâmetros que delimitaram o IHO. Houve um aumento da água disponível em todos os tratamentos em relação ao tratamento controle. Maiores produtividades foram obtidas com os tratamentos esterco de galinha, para o caupi e milho, e adubação fosfatada para a mandioca.

ABSTRACT: The organic fertilizer using residue plant and animal origin available in the field, can be a viable and sustainable for small farmers to substitute mineral fertilizer phosphated which has very high cost. Stock of organic carbon and Least Limiting Water Range (LLWR) are indicators of sustainability of agricultural systems production that can support decision making in the choice of best management systems and use of soil. We studied the effect of phosphated and organic fertilization on the stock of organic carbon and LLWR, as indicators of soil physical quality and yield of *Vigna unguiculata*, *Zea mayz* and *Manihot sculenta*. The treatments were: cattle manure (EB), chicken manure (EG), cassava agroindustry residue (RM), phosphate fertilizer (AF), mulching *Canavalia ensiformis* (FP) and control (Cont) without fertilization. The amounts were 20 Mg ha⁻¹ for organic sources (except mulching) and 200 kg P₂O₅ ha⁻¹ applied to 50% in 2002 and 50% in 2003, before planting the first crop year. Increase occurred in the stock of carbon in the soil for all treatments, the largest value obtained with the use of chicken manure and the lowest for cattle manure. The values of soil resistance to penetration (lower limit) and field capacity (upper limit) were the parameters that delimit the LLWR. There was an increase in available water in all treatments compared to control. Higher productivity was obtained with chicken manure treatments for both *Vigna unguiculata* and *Zea mayz*, and phosphated fertilizers for cassava.

1 Introdução

A mesorregião do Nordeste paraense é grande produtora de grãos e farinha, cujas atividades são desenvolvidas por pequenos produtores, sendo as culturas prioritárias o milho (*Zea mays* L), caupi (*Vigna unguiculata* L Walp) e mandioca (*Manihot esculenta*). Esses cultivos, normalmente constituem um sistema de sucessão das três culturas (milho, caupi e mandioca) que têm grande importância econômica e social, visto ser a alternativa de sobrevivência e permanência de grande parte da população no meio rural.

Os solos cultivados na região (Latosolos e Argissolos) apresentam baixa fertilidade natural, cujo nutriente mais limitante é o fósforo (P), exigindo aplicação de elevadas doses de fertilizantes que tem custo muito elevado. Nos solos altamente intemperizados dos trópicos úmidos esse elemento é considerado o nutriente mais limitante para a produtividade das plantas, devido à sua baixa disponibilidade (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007). Como o pequeno agricultor na região dispõe de poucos recursos financeiros para investir nas culturas, a ausência de reposição de fertilizantes ou ainda reposição em quantidades inadequadas, após sucessivas alternâncias de culturas, tem propiciado produtividades baixas e cada vez menores (CRAVO; SMYTH, 1997). Assim sendo, a adubação fosfatada tem se constituído em prática indispensável a obtenção de elevadas produtividades (SILVA et al., 2010), principalmente das culturas de grãos.

Além disso, o preparo convencional favorece a degradação do solo pela erosão, resultando em perdas de solo, água, nutrientes e arraste de resíduos de agrotóxicos pelas enxurradas, reduzindo também o estoque de matéria orgânica e a estabilidade de agregados, causando a compactação, e consequentemente a queda da produtividade (ARGENTON et al., 2005).

A adubação orgânica pode se constituir em alternativa para reduzir o custo de produção em substituição ao adubo mineral fosfatado, utilizando produtos de origem vegetal e animal disponíveis no campo, além de ter preços mais acessíveis, e segundo Pires et al. (2008) influenciam positivamente as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Na mesorregião do Nordeste paraense há produção de resíduo orgânico, dentre os quais se destacam o esterco bovino, a cama de frango e os resíduos das casas de farinha de mandioca, que podem ter seu uso destinado para a agricultura.

Os adubos orgânicos contribuem para o aumento da produtividade das culturas (SANTOS et al., 2010) melhorando a fertilidade e disponibilizando nutrientes, promovendo conservação do solo, aumentando a capacidade de retenção de água, reduzindo a vulnerabilidade à erosão e à compactação, diminuindo a densidade e a resistência do solo à penetração (MO-SADDEGHI; MAHBOUBI; SAFADOUST, 2009).

O uso de plantas de cobertura pode ser importante para reduzir o uso da adubação química e amenizar o impacto do cultivo convencional uma vez que contribui para preservar e até mesmo recuperar a estrutura do solo, mantendo o carbono orgânico do solo em níveis adequados, a capacidade de produção dos solos agrícolas (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009) e a reciclagem de nutrientes.

A estrutura é um dos atributos importantes na avaliação da qualidade dos solos, por ser alterada pelas práticas de manejo e influenciar a produção. A influência sobre a produtividade das culturas ocorre devido a modificações na disponibilidade de água, na difusão de oxigênio e na resistência do solo à penetração das raízes (TORMENA; SILVA; LIBARDI, 1998), cuja quantificação tem sido realizada por várias variáveis. Em função de complexas interações que ocorrem entre as variáveis (TOPP et al., 1994), o intervalo hídrico ótimo que integra num só índice fatores relacionando crescimento das plantas a estrutura do solo (SILVA; KAY; PERFECT, 1994) tem se constituído num indicador de qualidade estrutural do solo (MEDEIROS et al., 2011). Além disso, define o nível de água no solo em que, teoricamente, as restrições físicas ao crescimento das plantas são mínimas (BLAINSKI et al., 2009).

Objetivou-se avaliar o efeito da adubação fosfatada e orgânica sobre o estoque de carbono orgânico e intervalo hídrico ótimo (IHO) do solo, como indicadores da qualidade física do solo, e sobre a produção de caupi, milho e mandioca.

2 Material e Métodos

O estudo foi realizado no município de Terra Alta, na mesorregião do Nordeste Paraense (01° 07' 30" S e 47° 52'30" W, altitude de 35 m) em Latossolo Amarelo, relevo plano e textura média. O clima local é Ami, segundo classificação de Köppen, caracterizado por temperaturas elevadas, com média anual de 27 °C. Entre os meses de julho a dezembro predomina o período de menor índice pluviométrico. Precipitação média anual no período de 2002 a 2006 (Figura 1) e umidade relativa do ar entre 80 e 90% (INMET, 2007).

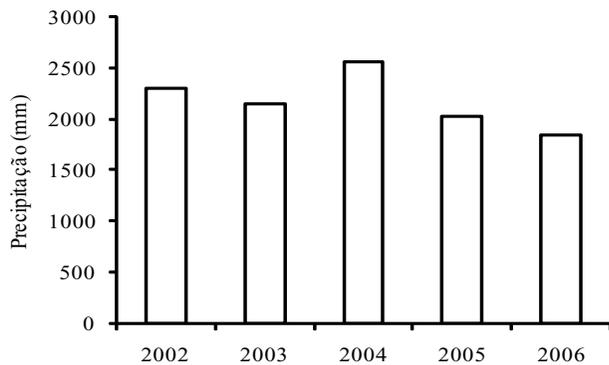


Figura 1. Precipitação pluviométrica no período de 2002 a 2006.

Antes do início do estudo foram coletadas amostras simples de solo para formar uma composta em cada parcela e analisadas (EMBRAPA, 1997), cujos resultados foram: pH= 4,3; matéria orgânica 6,5 g kg⁻¹; P = 3 mg dm⁻³; K = 0,5 mmol_c dm⁻³; Ca = 10 mmol_c dm⁻³; Mg = 4,0 mmol_c dm⁻³; Al = 0,7 mmol_c dm⁻³. A partir dos resultados foi calculada a CTC efetiva = 21,4 mmol_c dm⁻³ e saturação por alumínio = 30,4%. Foi realizada análise granulométrica pelo método da pipeta na camada de 0-0,3 m de profundidade. A dispersão das frações do solo foram feita com NaOH 1 mol L⁻¹ por meio de agitação mecânica horizontal e peneiramento úmido obtendo-se a fração areia (757 g kg⁻¹). A argila (139 g kg⁻¹) foi obtida por sedimentação e o silte (104 g kg⁻¹) por diferença (EMBRAPA, 1997). Para os atributos físicos foram coletadas amostras indeformadas em anéis cilíndricos de aço inox de 5 cm³ nas profundidades de 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m (EMBRAPA, 1997).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial 6 x 3 (seis tratamentos e três profundidades). Os tratamentos utilizados foram: esterco bovino (EB), esterco de galinha (EG), resíduo de agroindústria de mandioca (RM), adubação fosfatada (AF), adubação verde com feijão de porco (FP) (*Canavalia ensiformis*) e controle (Cont), sem adubação. As quantidades foram de 20 Mg ha⁻¹ para as fontes orgânicas (exceto adubação verde) e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triplo) aplicados 50% em 2002 e 50% em 2003, antes do plantio do milho (primeiro cultivo anual). Os adubos orgânicos e fosfatado foram distribuídos a lanço sobre as parcelas, seguidos de incorporação com grade niveladora a 0,15 m de profundidade, inclusive o adubo verde.

De acordo com resultados obtidos na literatura os teores de matéria orgânica os adubos orgânicos são:

cama de frango = 265 g kg⁻¹ (OLIVEIRA; FREITAS NETO; SANTOS, 2002); esterco bovino = 39,25 g kg⁻¹ (média de quatro esterco) (LEONEL; DAMATTO JUNIOR, 2008); raspa de mandioca = 65,34 g kg⁻¹ (SILVA, 2010); feijão de porco = 446,76 g kg⁻¹ (SOARES, 2006), cuja produtividade média nos anos de 2003 e 2004 foi 6,6 Mg ha⁻¹ de massa seca, em área próxima, com condições edafoclimáticas semelhantes. Para adubação fosfatada foi utilizado o superfosfato triplo com 44% de P₂O₅.

A área experimental (1.885 m²) em setembro de 2001 (antes do preparo) apresentava vegetação remanescente com aproximadamente oito anos, a qual foi eliminada com trator de esteira e garfo enleirador e sequencialmente recebeu 2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, que foi incorporado com arado de discos a 0,3 m profundidade. Após a aração foram realizadas duas gradagens na área dos tratamentos. Em todos os tratamentos foi realizada adubação básica com uréia (50%) e sulfato de amônio (50%), no total de 120 kg ha⁻¹ de N, e cloreto de potássio (120 kg ha⁻¹ de K₂O), aplicados a lanço na linha de cultivo e parcelado de duas vezes, em todos os anos de cultivo, ou seja, no período de 2002 a 2006, sempre no primeiro cultivo do ano (cultura do milho).

Antecedendo o semeio das culturas a área foi gradeada com incorporação dos restos culturais e vegetação espontânea, inclusive o tratamento que recebeu adubação verde, a qual foi sempre cultivada antes do semeio das culturas econômicas até o período de floração, sendo que o primeiro semeio ocorreu em março de 2002.

A área foi cultivada com as seguintes culturas: caupi em maio 2002, cultivar BR3-Tracueteua; milho em janeiro de 2003, cultivar BR 5102, seguido de caupi em maio e mandioca em junho; caupi em junho de 2005, logo após a colheita da mandioca e milho em janeiro de 2006, cultivar BRS 2110 e caupi em maio.

A semeadura do feijão caupi foi realizada com espaçamento de 0,50 x 0,25 m, permanecendo, depois do desbaste, duas plantas por cova com densidade aproximada de 160.000 plantas ha⁻¹. A área útil foi de 18 m² (sete linhas centrais, deixando-se bordaduras de 2 linhas em cada lateral e 2 m em cada extremidade), numa área total de 5 x 10 m. O semeio do milho foi no espaçamento de 1,0 x 0,3 m, deixando-se duas plantas por cova após o desbaste, com uma densidade aproximada de 66.667 plantas por hectare. A área útil das parcelas foi de 4 x 6 m = 24 m² (4 linhas centrais, deixando-se bordadura de 2 m em cada extremidade).

No ano de 2006 no centro da parcela de todos os tratamentos, na época da floração do milho, co-

letaram-se amostras de solo deformadas para avaliação dos atributos químicos (carbono orgânico) e indeformada para os atributos físicos (densidade, porosidade, retenção de água no solo), em três profundidades (0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m). As análises foram realizadas de acordo com Embrapa (1997).

O estoque de carbono (EC) foi calculado utilizando o teor de carbono orgânico (g kg^{-1}), densidade do solo (Mg m^{-3}) e a profundidade (0,3 m), fazendo uso da equação: $E = D_s \cdot h \cdot C$, em que E é o estoque de carbono do solo (Mg ha^{-1}); D_s , a densidade do solo (média 0-0,3 m); h, a espessura da camada amostrada e C, o teor de carbono do solo (BERNOUX et al., 1998). A partir do EC obtido pelo tratamento controle e os estoques totais após os tratamentos, foi calculado o EC incorporado devido à adubação fosfatada e as fontes de resíduos orgânicos.

A densidade do solo (D_s) foi determinada pelo método do anel volumétrico; a densidade de partículas (D_p), pelo método do balão volumétrico e porosidade total (Pt) calculada pela fórmula, $Pt = [1 - (D_s / D_p)] \cdot 100$ (EMBRAPA, 1997).

O intervalo hídrico ótimo (IHO) é determinado por meio das curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração, obtendo-se a relação funcional entre potencial mátrico e conteúdo volumétrico de água. Esse procedimento foi ajustado conforme descrito por Silva, Kay e Perfect (1994). Para tanto, delimitou-se que a capacidade de campo, a umidade obtida quando aplicado o potencial de -0,01 MPa (HAISE et al., 1955), o ponto de murchamento permanente no potencial de -1,5 MPa (SAVAGE et al., 1996), o conteúdo de água no solo em que a resistência a penetração atinge 2,0 MPa (TAYLOR et al., 1966), a porosidade de aeração em $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (GRABLE; SIEMER, 1968). A densidade média de partículas obtida foi de $2,65 \text{ Mg m}^{-3}$. O IHO foi calculado conforme descrito por Tormena, Silva e Libardi (1998). O ajuste dos modelos de resistência e de retenção de água foi feito por meio do programa estatístico R®, 2011.

Os dados de produção foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Calculou-se a eficiência de produção do milho, do caupi e da mandioca, considerando a adubação fosfatada como referência (100%) por ser prática comum entre os produtores.

3 Resultados e Discussão

Em todos os tratamentos o estoque total de carbono (EC) aumentou em relação ao tratamento controle, exceto naquele que recebeu esterco bovino (EB) (Figura 2a). Estoques de carbono maiores em Latossolo Vermelho Amarelo da Amazônia com diferentes sistemas de cultivo foram observados por Carvalho et al. (2009). Os maiores estoques de carbono observados por aqueles autores pode estar relacionado ao maior teor de argila do solo, que oferece maior proteção ao carbono do solo.

O EC incorporado pelos tratamentos atingiu $5,88 \text{ Mg ha}^{-1}$, no tratamento com esterco de galinha (EG), valor mais elevado, e $1,70 \text{ Mg ha}^{-1}$, com a aplicação de EB, menor valor, após quatro anos da última aplicação (Figura 2b). Em solos sob sistemas de manejo conservacionista, vários autores têm observado relação linear positiva entre o aporte de resíduos vegetais (BONO et al., 2008) ou outras fontes de C orgânico ao solo (NICOLOSO, 2009) e o incremento no estoque de C da camada arável (CHUNG et al., 2008), independentemente do sistema de preparo investigado. Incrementos no estoque de C em solos da Amazônia têm sido verificado na transformação de áreas de mata nativa em pastagens, em Latossolo Amarelo no município de Tailândia-PA (SOUZA BRAZ et al., 2011) e Argissolo Vermelho-Amarelo nos municípios de Rio Branco e Senador Guimard-AC (ARAÚJO et al., 2011).

A macroporosidade foi menor nos tratamentos que receberam AF e EG, ao mesmo tempo em que a microporosidade foi maior nesses tratamentos,

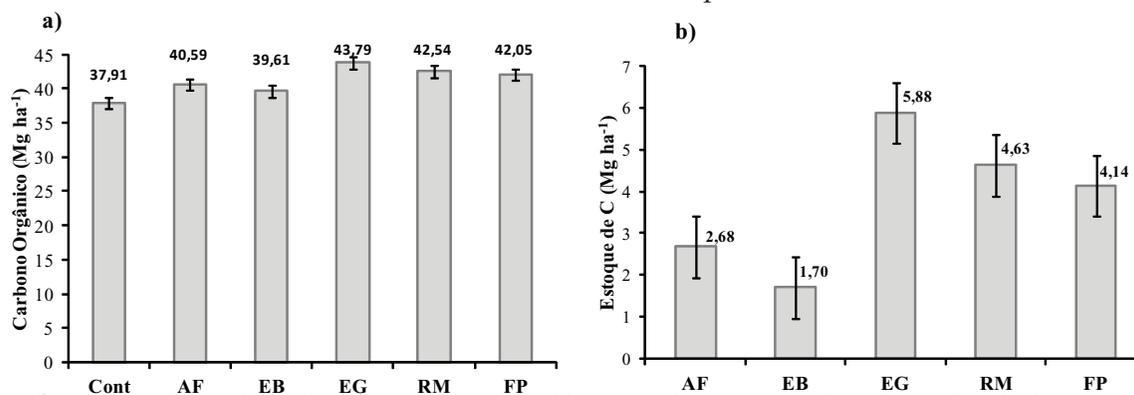


Figura 2. Estoque total de carbono do solo por tratamento (a) e acúmulo no estoque de carbono do solo dos tratamentos em relação ao controle (b). Controle (cont), adubação fosfatada (AF), esterco bovino (EB), esterco de galinha (EG), resíduo de mandioca (RM) e adubação com feijão de porco (FP).

quando comparado ao controle (Figura 3). No entanto, a macroporosidade apresentou valores acima daquele considerado crítico ($0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) ao crescimento das plantas (OLIVEIRA et al., 2003). Os macroporos de origem estrutural ou oriundas da atividade biológica são os principais responsáveis pela infiltração da água no solo (CULLUM, 2009). A relação macroporosidade: microporosidade foi maior no tratamento controle (0,91) e menor na AF (0,59), relação essa próxima daquela considerada adequada ao cultivo de 0,50 (OLIVEIRA et al., 2003).

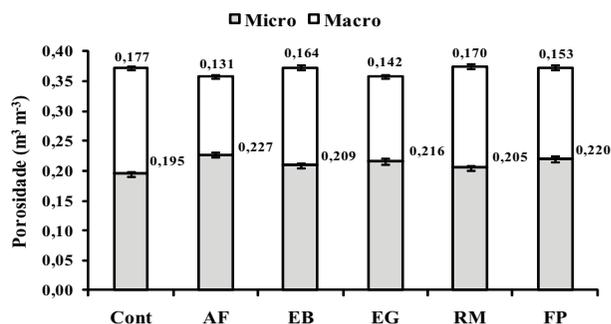


Figura 3. Porosidade total (macroporosidade = e microporosidade =) de um Latossolo Amarelo em função dos tratamentos. Controle (Cont), adubação fosfatada (AF), esterco bovino (EB), esterco de galinha (EG), resíduo de mandioca (RM) e adubação com feijão de porco (FP).

Os valores de porosidade total (Pt) foram inversamente proporcionais aos da Ds, sendo que os menores resultados foram em EB e FP, na profundidade 0,1 m (Figura 4). A densidade do solo pode ser considerada restritiva ao crescimento e desenvolvimento das plantas e ao fluxo da água no solo, em valores superiores a $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$, valor considerado crítico, para solos de textura média (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003). A Ds apresentou maior valor para o tratamento EG, na profundidade 0,2 m (Figura 4), devido à baixa quantidade de poros nessa profundidade.

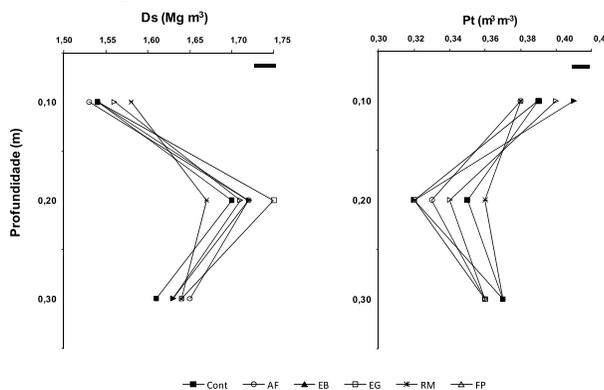


Figura 4. Valores de densidade do solo (Ds) e porosidade total do solo (Pt) em função da profundidade. Controle (cont), adubação fosfatada (AF), esterco bovino (EB), esterco de galinha (EG), resíduo de mandioca (RM) e adubação com feijão de porco (FP).

Com o aumento da densidade do solo a resistência do solo à penetração (rp) também aumentou causando o efeito inverso na porosidade de aeração (pa) em todos os tratamentos (Figura 5). A resistência à penetração foi o limite inferior do intervalo hídrico ótimo (IHO) para todos os tratamentos conforme encontrado também por Silva, Kay e Perfect (1994), onde a resistência foi o fator que mais, frequentemente, limitou o IHO em solos sob diferentes condições de textura e manejo. Os valores de resistência à penetração e capacidade de campo foram mais fortemente influenciados pela densidade, revelando ser o IHO sensível às modificações na estrutura do solo. Observa-se pelo gráfico do IHO no tratamento controle que esse solo compromete diretamente a produtividade das culturas devido à inibição física do crescimento imposta pelos limites de resistência à penetração e de capacidade de campo (Figura 5).

O IHO foi muito útil para verificar os parâmetros resistência a penetração, porosidade de aeração, ponto de murchamento permanente e capacidade de campo, pois constatou-se que o tratamento controle é o mais alterado, apresentando-se ser bastante limitante ao sucesso agrícola apresentando o menor IHO. Todos os outros tratamentos apresentaram melhores condições de IHO. No tratamento controle, a resistência do solo a penetração rapidamente ultrapassa a capacidade de campo limitando o desenvolvimento radicular das plantas, mesmo o solo ainda possuindo considerável quantidade de água. Houve um aumento da água disponível em todos os tratamentos em relação ao tratamento controle indicado pela maior área do IHO. A adição de esterco, crescimento de plantas com sistema radicular vigoroso associada à própria adubação verde são as prováveis explicações para a melhoria das condições de solo, conforme verificado pela área hachurada que representa o IHO (Figura 5).

O aumento da resistência do solo a penetração e da densidade do solo, delimitam o ponto em que o IHO é máximo e esse fator apresenta uma correlação positiva entre essas duas variáveis (TORMENA; SILVA; LIBARDI, 1998). Nesse caso o IHO foi bastante limitante no tratamento controle em relação aos demais com uma densidade do solo crítica de $1,60 \text{ Mg m}^{-3}$ (Figura 5). Portanto, as espécies de plantas mais sensíveis aos efeitos da resistência à penetração serão afetadas mais rapidamente e apresentarão baixa produtividade. Todos os demais tratamentos apresentaram uma densidade do solo crítica a partir de $1,70 \text{ Mg m}^{-3}$.

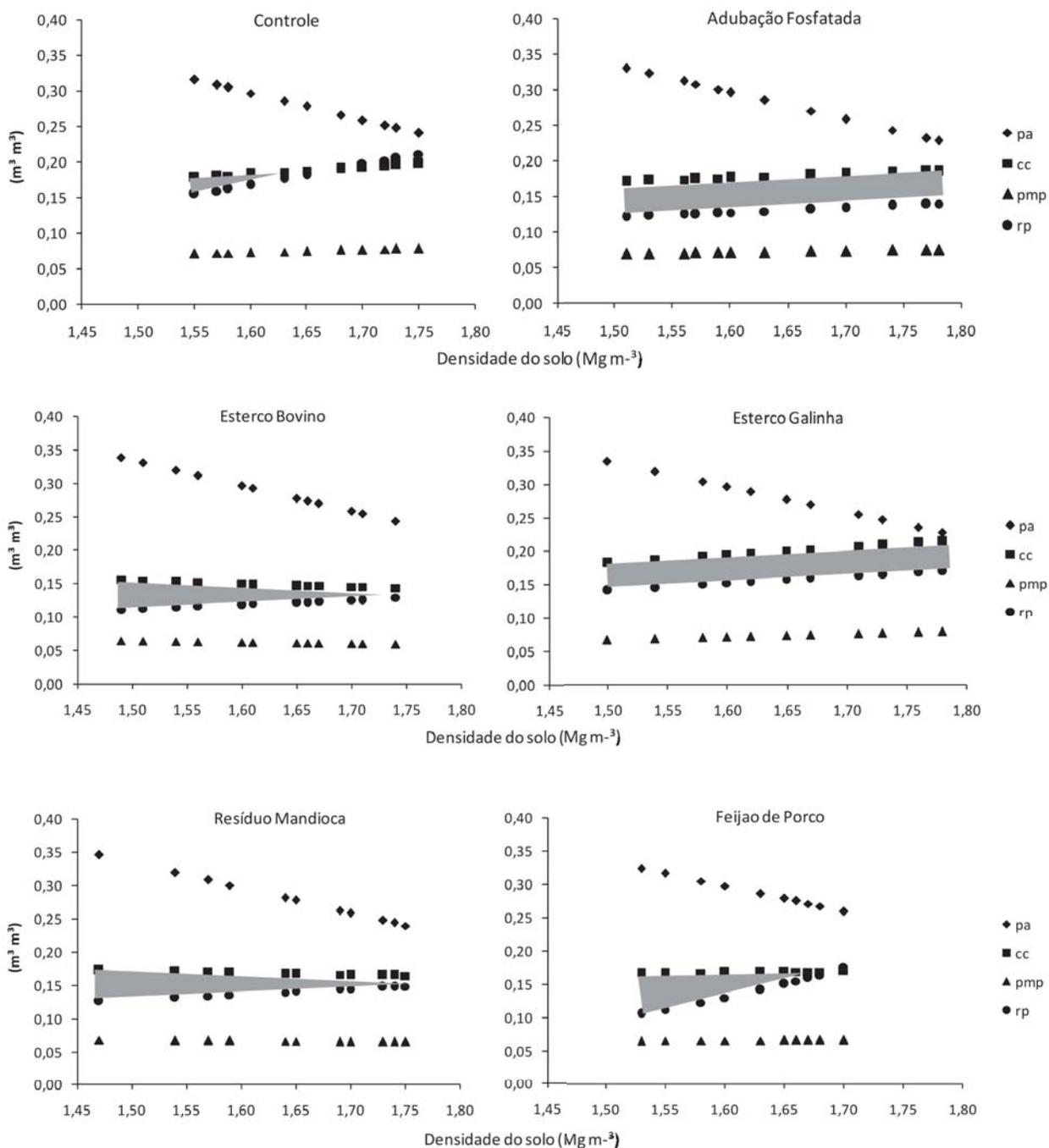


Figura 5. Variação do conteúdo de água com a densidade nos níveis críticos da capacidade de campo (cc ou $\psi = -0,01$ MPa), ponto de murcha (pmp ou $\psi = -1,5$ MPa), porosidade de aeração de 10% (pa) e resistência à penetração de 2,0 MPa (rp). A área hachurada representa o Intervalo Hídrico Ótimo do Solo (IHO).

A adubação, independente da fonte, aumentou a produção média do caupi, sendo que o esterco de galinha (EG) foi o tratamento que proporcionou maior produtividade (Tabela 1), com uma eficiência positiva de 27,5% em relação a adubação fosfatada (Figura 6). No tratamento controle a produtividade ficou abaixo de 60% daquela atingida com a adubação fosfatada e menor que 50% da produção alcançada com o EG.

Em área com cultivo convencional de caupi do Estado de Roraima, utilizando adubação fosfatada, Silva et al. (2010) obtiveram média de produção de 1.177 kg ha⁻¹, superior a atingida neste estudo com a adubação fosfatada, porém semelhante a proporcionada pelo EG. Oliveira et al. (2001) avaliando o rendimento de feijão caupi cultivado com esterco bovino (EB) e adubo mineral, em Latossolo Vermelho-Amarelo, obtiveram

uma produção máxima de grãos secos de 2 Mg ha⁻¹ com a dose de 25 Mg ha⁻¹ e de 3,03 Mg ha⁻¹ quando associou adubação química com 21 Mg ha⁻¹ de EB. Esses resultados são superiores aos atingidos neste estudo, o que se deve, em parte, a menor quantidade de esterco utilizado e a produção considerada ser uma média de quatro anos de cultivo, cujo adubo foi aplicado apenas nos dois primeiros anos. Avaliando o desempenho agrônomico e a qualidade fisiológica de sementes de cultivares de feijão caupi nas condições edafoclimáticas do Sudeste goiano, Teixeira et al. (2010) observaram que o cultivar BRS Guariba se destacou entre os melhores, apresentando produtividade de 2.211 kg ha⁻¹. Produção esta superior a obtida neste estudo.

A maior produção de milho foi obtida com o tratamento EG, seguida da adubação fosfatada, cuja eficiência do EG foi de 10,1% para a adubação fosfatada e 40,1% para o tratamento controle. A adubação verde com feijão de porco (FP) seguido do tratamento com resíduo de mandioca proporcionaram as menores produções de milho, correspondendo a 51,1 e 46% da produção obtida com a adubação fosfatada, respectivamente. Diferentemente da cultura do caupi e do milho, a maior produção de mandioca foi obtida com a adubação fosfatada (AF), seguida pelo EG (Tabela 1), no entanto a eficiência do EG correspondeu a 93% da produção obtida com a AF (Figura 6). Isto sugere que a adubação com EG pode ser uma alternativa importante, também, para produção de mandioca, desde que o custo seja inferior a AF.

Tabela 1. Produtividade média de grãos de caupi (2002, 2003, 2005 e 2006), de milho (2003 e 2006) e de mandioca (2004), cultivados em sucessão em função de adubações orgânica, fosfatada e verde.

Tratamentos	Caupi	Milho	Mandioca
kg ha ⁻¹		
Cont	538d	2.137c	19.333d
AF	930b	3.008b	37.267a
EB	658c	2.026c	16.333e
EG	1.186a	3.312a	34.667b
RM	638c	1.381d	16.660e
FP	660c	1.537d	27.867c
CV (%)	25	23	18

Controle (cont), adubação fosfatada (AF), esterco bovino (EB), esterco de galinha (EG), resíduo de mandioca (RM) e adubação com feijão de porco (FP). Médias com letras distintas, na mesma coluna, diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

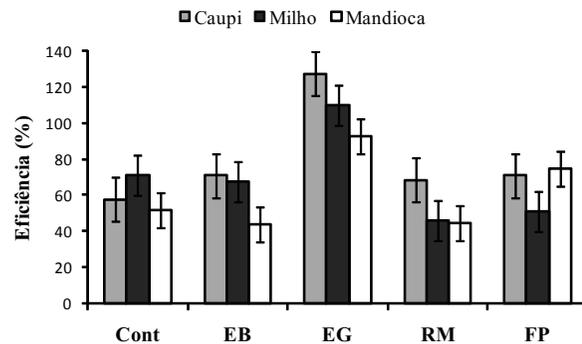


Figura 6. Eficiência das adubações orgânica e verde em relação à adubação fosfatada. Controle (cont), esterco bovino (EB), esterco de galinha (EG), resíduo de mandioca (RM) e adubação com feijão de porco (FP).

4 Conclusões

Ocorreu incremento no estoque de carbono no solo para todos os tratamentos, sendo o maior valor em esterco de galinha e o menor para esterco bovino.

Os valores de resistência à penetração (limite inferior) e capacidade de campo (limite superior) foram os parâmetros que delimitaram o intervalo hídrico ótimo.

Houve um aumento da água disponível em todos os tratamentos em relação ao tratamento controle.

Maiores produtividades foram obtidas com os tratamentos esterco de galinha, para o caupi e milho, e adubação fosfatada para a mandioca.

Referências

- ARAÚJO, E.A.; KER, J.C.; SÁ MENDONÇA, E.; SILVA, I.R.; OLIVEIRA, E.K. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. *Acta Amazonica*, v.41, n.1, p.103-114, 2011.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:425-435, 2005.
- BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C. C.; BOURENNANE, H. Modeling vertical distribution carbon in Oxisols of the Western Brazilian Amazon (Rondonia). *Soil Sci.*, 163: 941-951. 1998.
- BLAINSKI, E.; GONÇALVES, A.C.A.; TORMENA, C.A.; FOLEGATTI, M.V. & GUIMARÃES,

- R.M.L. Intervalo hídrico ótimo num Nitossolo Vermelho distroférico irrigado. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:273-281, 2009.
- BONO, A.; ALVAREZ, R.; BUSCHIAZZO, D.E.; CANTET, R.J.C. Tillage effects on soil carbon balance in a semiarid agroecosystem. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 72:1140-1149, 2008.
- CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.; PICCOLO, M.C.; GODINHO, V.; CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil & Tillage Research*, v.103, p.342-349, 2009.
- CHUNG, H.; GROVE, J.H.; SIX, J. Indications for soil carbon saturation in a temperate agroecosystem. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 72: 1132-1139, 2008.
- CRAVO, M. S.; SMYTH, T. J. Manejo sustentado da fertilidade de um Latossolo da Amazônia Central sob cultivos sucessivos. *Rev. Bras. de Ci. do Solo*, Viçosa, 2:607-616, 1997.
- CULLUM, R.F. Macropore flow estimations under no-till and till systems. *Catena*, 78:87-91, 2009.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro. 212pp. 1997.
- GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32:180-186, 1968.
- HAISE, H.R.; HAAS, H.J.; JENSEN, L.R. Soil mixture studies of some great plains soils. II. Field capacity as related to 1/3-atmosphere percentage, and "minimum point" as related to 15- and 26-atmosphere percentage. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 34:20-25, 1955.
- INMET-2ºD. M/ Instituto Nacional de Meteorologia. Médias Anuais de precipitação pluviométrica da região do município de Castanhal/Terra-Alta, PA, 2007.
- LEONEL, S. DAMATTO JUNIOR, E.R. Efeitos do esterco de curral na fertilidade do solo, no estado nutricional e na produção da figueira. *Rev. Bras. Frutic.*, v.30, n.2, p.534-539, 2008.
- MEDEIROS, J.C.; SILVA, A.P. da; CERRI, C.E.P.; GIAROLA, N.F.B.; FIGUEIREDO, G.C.; FRACETTO, F.J.C. Linking physical quality and CO₂ emissions under long-term no-till and conventional-till in a subtropical soil in Brazil. *Plant Soil*, v.338, n.1-2, p.5-15, 2011.
- MOSADDEGHI, M.R.; MAHBOUBI, A.A.; SAFADOUST, A. Shortterm effects of tillage and manure on some soil physical properties and maize root growth in a sandy loam soil in western Iran. *Soil & Tillage Research*, v.104, p.173-179, 2009.
- NICOLOSO, R.S. Mecanismos de estabilização do carbono orgânico do solo em agroecossistemas de clima temperado e sub-tropical. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2009. 108p. (Tese de Doutorado)
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: Novais Roberto Ferreira et al (ed). *Fertilidade do solo*. Viçosa (MG): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- OLIVEIRA, A.P.; FREITAS NETO, P.A.; SANTOS, E.S. Qualidade do inhame 'Da Costa' em função das épocas de colheita e da adubação orgânica. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.20, n.1, p.115-118, 2002.
- OLIVEIRA, A.P.; ARAÚJO, J.S.; ALVES, E.U.; NORONHA, M.A.S.; CASSIMIRO, C.M.; MENDONÇA, F.G. Rendimento de feijão-caupi cultivado com esterco bovino e adubo mineral. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.19, n.1, p.81-84, 2001.
- OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38:291-299, 2003.
- PIRES, A.A.; MONNERAT, P.H.M.; MARCIANO, C.R.; PINHO, L.G.R.; ZAMPIROLI, P.D.; ROSA, R.C.C.; MUNIZ, R.A. Efeito da adubação alternativa do maracujazeiro-amarelo nas características químicas e físicas do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.32, n.5, p.1997-2005, 2008.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J.A. Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *R. Ci. Amb.*, 27: 29-48, 2003.
- SANTOS, A.F. dos; MENEZES, R.S.C.; FRAGA, V.S.; PEREZ-MARIN, A.M. Efeito residual da adubação orgânica sobre a produtividade de milho em sistema agroflorestal. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, v.14, n.12, p.1267-1272, 2010
- SAVAGE, M.J.; RITCHIE, J.T.; BLAND, W.L.; DUGAS, W.A. Lower limit of soil water availability. *Agron. J.*, 88:844-651, 1996.
- SILVA, A.L.F. Atributos químicos e biológicos no solo do uso de compostagem da casca de mandioca.

- 2010, 98 f. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2010.
- SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1775-1781, 1994.
- SILVA, J.S.; UCHÔA, S.C.P.; ALVES, J.M.A.; LIMA, A.C.S.; SANTOS, C.S.V.; OLIVEIRA, J.M.F.; MELO, V.F. Resposta do feijão caupi à doses e formas de aplicação de fósforo em Latossolo Amarelo de Roraima. *Acta Amazônica*, v.40, n.1, p.31-36, 2010.
- SOARES, T.G. Produção de palhada e reciclagem de nutrientes de leguminosas e gramíneas para implantação do sistema de plantio direto na mesorregião do Nordeste paraense. 2006, 51 f. (*Dissertação de mestrado*). Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2006.
- SOUZA BRAZ, A.M. de, FERNANDES, A.R.; ALLEONI, L. R. F. Soil attributes after the conversion from forest to pasture in amazon. *Land Degradation & Development*. doi: 10.1002/ldr.1100 (2011).
- TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER Jr., J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. *Soil Sci.*, 102:18-22, 1966.
- TEIXEIRA, I.R.; SILVA, G.C.; OLIVEIRA, J.P.R.; SILVA, A.G.; PELÁ, A. Desempenho agronômico e qualidade de sementes de cultivares de feijão-caupi na região do cerrado. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, n.2, p.300-307, 2010.
- TOPP, G.C.; GALGANOV, Y.T.; WIRES, K.C.; CULLEY, J.L.B. Non limiting water range (NLWR): an approach for assessing soil structure. *Soil Quality Evaluation Program*. Ottawa, Agriculture and Agri-Food Canada, 1994. 36p. (Technical report, 2).
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:573-581, 1998.
- VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:743-755, 2009.