

Utilização de Resíduos de Carvão Vegetal Associado a Fontes Orgânicas de Nutrientes no Manejo Sustentável do Solo e do Guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) na Amazônia Central

Murilo Rodrigues de Arruda
Wenceslau Geraldes Teixeira

O Guaranazeiro

O guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) é um dos produtos agrícolas mais importantes do Amazonas, sendo cultivado por muitos produtores, em especial, agricultores familiares. O guaranazeiro é uma dicotiledônea, com flores e sementes, pertencente à família Sapindaceae, com 140 gêneros e cerca de 1.500 espécies conhecidas, entre as quais a lichia (*Litchi chinensis*) e o rambutan (*Nephelium lappaceum*) (Botany, 2007).

Nas matas, tem hábito de crescimento escandente, crescendo na forma de um cipó ou liana até atingir o extrato superior das árvores, chegando a 10m de altura e, quando cultivado em campo aberto, tem a forma de um arbusto subereto com no máximo três metros de altura (Cavalcante, 1976). O guaranazeiro é uma espécie monóica e alógama, com a polinização sendo feita basicamente por abelhas (Gondim, 1978).

O guaranazeiro deve ser preferencialmente cultivado em locais com temperatura média anual mínima e máxima de 23°C e 28°C respectivamente, e precipitação anual variando entre 1.500 mm e 3.000 mm, com um período de seca definido, para que haja indução do florescimento (Pereira, 2005).

A produtividade do guaranazeiro no Amazonas está muito aquém de seu real potencial, além do fato da cultura estar sendo paulatinamente superada, em produção, por outros Estados. Em 2004 o Brasil produziu 3.844 t de guaraná, das quais 886 t se originaram do Amazonas, ou seja, 23 % do total, com uma produtividade de 153 kg ha⁻¹, enquanto a Bahia obteve em 2004 uma produção de 2.350 t (61 % do total), com uma produtividade de 391 kg ha⁻¹ (IBGE, 2007).

A baixa produtividade do guaranazeiro no Amazonas ocorre devido à falta de qualidade das mudas utilizadas, idade avançada das plantações e ataque de pragas e doenças (Atroch, 2001; Cravo, 2001), além do manejo inadequado, como o controle de plantas daninhas e a adubação. O lançamento de variedades de guaranazeiro de alta produtividade e resistentes à antracnose (Atroch, 2001), a partir de 1999, foi o ponto de partida para solucionar estes problemas, na medida em que as plantações velhas, originadas de sementes, estão sendo substituídas por novos cultivos com o uso de mudas produzidas por estaquia. Com isso, a nutrição das plantas passou a ser uma limitação para o guaranazeiro atingir todo o seu potencial produtivo.

As recomendações de adubação para o guaranazeiro foram, no passado, baseadas nas exigências de outras culturas, como o cacau (Cravo et al., 1999). Castro (1992) afirmou que a elevada variabilidade genética dos guaranazais, oriundos de propagação sexuada (sementes), interferiu consideravelmente nos resultados dos experimentos de adubação. Isso porque, muitas vezes, não se conseguia diferenciar o resultado do tratamento aplicado do comportamento do genótipo dentro do experimento, impedindo concluir se a resposta a um determinado tratamento era em razão do tratamento em si, ou do comportamento genético peculiar de cada planta.

Chepote et al. (1984), demonstraram, através de um experimento com mudas de guaranazeiro em solução nutritiva, que a omissão de nitrogênio, fósforo ou enxofre diminuiu a produção de matéria seca em mais de 90%, quando comparado com a solução completa. Em menor grau, a omissão de potássio e magnésio diminuiu a produção de matéria seca das mudas em 50% aproximadamente. Os autores verificaram, ainda, diminuição na quantidade de matéria seca produzida quando foram omitidos o ferro e o manganês. Para o zinco, cobre e molibdênio não foram observadas diferenças no desenvolvimento da planta, pois provavelmente, a concentração destes micronutrientes nas sementes foi suficiente para atender a demanda das mudas de guaranazeiro durante os 45 dias do estudo.

No Amazonas, em levantamentos de campo, observa-se que o guaranazeiro é cultivado principalmente em Latossolos amarelos, textura muito argilosa, pobres em nutrientes e suscetíveis à degradação se manejados inadequadamente. A planta não tolera solos encharcados e compactados, devendo ser cultivada em locais drenados (Pereira, 2005).

Solos da Amazônia e Terras Pretas de Índio

De acordo com Cravo e Smith (1997), as maiores limitações em termos de fertilidade de solo para a agropecuária na Amazônia são a deficiência de fósforo, seguido do potássio, nitrogênio e magnésio, além da elevada concentração de alumínio e da acidez. Segundo Moreira e Malavolta (2002) 82, 75, 88 e 74% dos solos do estado do Amazonas possuem teores baixos ou muito baixos de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, respectivamente. Ainda segundo os autores, 93% destes solos possuem saturação de bases inferior a 20%, e 76% possuem saturação com alumínio alta ou muito alta, ou seja, pelo menos $\frac{3}{4}$ da CTC destes solos é preenchida por alumínio tóxico às plantas.

Essa predominância de solos pobres em nutrientes e com restrições à agricultura seria um fator limitante para a manutenção de grandes populações na Amazônia, como se verifica hoje, na produção incipiente de alimentos no Amazonas. Entretanto, alguns autores defendem que populações de quase sete milhões de pessoas podem ter habitado no passado a Amazônia (Denevan, 1976; Smith, 1980), em grandes e densas povoações (Heckenberger, 2003). Este contingente de pessoas pode ter sido mantido pela agricultura praticada nas várzeas, com seus solos fertilizados pelas enchentes dos rios de água barrenta (com elevada quantidade de substâncias minerais e orgânicas em suspensão) e através de plantios sobre manchas de solo com características químicas e físicas distintas dos solos adjacentes, as denominadas Terras Pretas de Índio (TPI).

Estes solos, ricos em matéria orgânica, fósforo, cálcio e magnésio, zinco e manganês, estão discutidos em detalhes neste volume quanto às características químicas (Falcao et al.; Adonis et al.; Madari et al.), físicas e hídricas (Teixeira et al.) e geoquímicas e históricas (Kern et al.). Uma característica que merece atenção especial nas TPIs é o elevado teor de matéria orgânica e de carbono total, altamente estável, e que lhes fornece a propriedade de ser cultivadas por anos, com poucas alterações em suas características físico-químicas (Glaser et al 2001), além de ter potencial para funcionar como um dreno de carbono da atmosfera, aspecto que é discutido em detalhes neste volume por Tony et al.

A gênese da formação dos horizontes antrópicos nas TPIs não é ainda totalmente compreendida. Entretanto, há indícios de ação do homem pela acumulação de resíduos orgânicos e uso do fogo. O entendimento da formação e da estabilidade dos elevados teores de carbono e estoques de nutrientes nos horizontes antrópicos das TPIs pode ser um caminho para transformar este conhecimento em tecnologia e disponibilizá-lo para os agricultores.

Uma tentativa para a obtenção de algumas propriedades semelhantes às encontradas nos horizontes antrópicos das TPIs é o uso de resíduos de carvão vegetal como fonte de carbono estável, em conjunto com fontes de nutrientes orgânicos, como os esterco, farinhas de osso e peixe, de forma provavelmente semelhante aos resíduos orgânicos utilizados, de forma intencional ou não, pelas populações indígenas no passado, criando um horizonte com elevados teores de carbono e rico em nutrientes.

Há na literatura resultados promissores sobre o uso de resíduos de carvão vegetal como condicionador, aumentando a disponibilidade de nutrientes e diminuindo a acidez do solo (Topoliantz et al., 2002; Topoliantz et al. 2005). Dessa forma, a tecnologia inspirada nas características das TPIs poderá vir a ser uma alternativa agrônômica, social e ambientalmente sustentável, para a agricultura familiar na Amazônia e, em especial, para a guaranaicultura pelo seu caráter de planta pouco extrativa e perene.

Neste capítulo serão apresentados resultados iniciais de um experimento de longo prazo cujo objetivo é conhecer a influência de resíduos de carvão vegetal, esterco de galinha e farinha de osso nas propriedades químicas e físicas do solo, bem como na sustentabilidade da cultura do guaranazeiro

Material e Métodos

O experimento foi instalado em março de 2003 no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental em Manaus (latitude 2°53'29.14"S e longitude 59°58'39.90"O, 99m de altitude), em um Latossolo Amarelo distrófico, textura muito argilosa. O local do experimento foi utilizado até o final dos anos 80 para o cultivo de seringueira em consórcio com espécies frutíferas, tendo sido abandonado a partir do início da década de 90. Em 2002, época do preparo do terreno para o plantio do guaranazeiro, a área se encontrava na forma de capoeira.

A área total do experimento é de dois hectares. Neles foram plantadas cinco cultivares de guaranazeiro: BRS - Amazonas, BRS - Maués, BRS - CG189, BRS - CG611 e BRS - CG612. O espaçamento utilizado foi de 5 x 5 m com 400 plantas por hectare. Aplicou-se na cova, 30 dias antes do plantio, três litros de esterco de galinha em todas as plantas, conforme recomendado pela Embrapa (1999). Estão sendo comparadas duas fontes de adubos orgânicos: esterco de galinha e farinha de osso e um condicionador do solo, no caso, resíduos de carvão vegetal.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial. Os fatores principais são carvão, esterco de galinha e farinha de osso em três doses, totalizando 27 tratamentos (parcelas) por cultivar. Cada parcela é constituída de seis plantas, totalizando 162 plantas por clone. As doses de esterco de galinha e de resíduos de carvão foram de 0; 8 e 16 L por planta, e de farinha de osso de 0; 200 g e 400 g por planta. Os resíduos de carvão foram passados em peneira de 10 mm de abertura para homogeneização do produto. O esterco de galinha foi originado de animais destinados à produção de ovos, ou seja, não se trata de cama de frango com a adição de outros materiais, como serragem, mas sim do esterco "puro". Cada cultivar é considerada um experimento independente e pode ser avaliada independentemente, no caso de uma ou mais cultivares não apresentarem desenvolvimento satisfatório.

Os adubos foram aplicados a lanço, em cobertura, sem incorporação, na área de projeção da copa das plantas. Nos três primeiros anos após o plantio (2003, 2004 e 2005), a adubação de cobertura ocorreu em outubro, antes do início do período mais chuvoso, priorizando o estabelecimento e o desenvolvimento vegetativo da plantas. A partir de 2006, as adubações foram realizadas em maio, antes do florescimento, visando à produção de sementes.

Para avaliar o efeito dos tratamentos no solo, foram coletadas amostras apenas na cultivar BRS Maués, por apresentar o melhor desenvolvimento vegetativo e maior potencial de produção. As amostras de solo foram retiradas em abril de 2004 e janeiro de 2007, seis e 39 meses após a primeira adubação, respectivamente. A amostragem foi feita com trado, na profundidade de 0 a 10cm na projeção da copa das quatro plantas com maior crescimento por tratamento, em quatro diferentes pontos (Norte Sul Leste Oeste), para sua posterior homogeneização e retirada de uma amostra composta.

Analisou-se o pH em água; carbono orgânico (Método de Walkley e Black); fósforo; potássio; cálcio; magnésio; hidrogênio e alumínio, de acordo com as metodologias propostas por Silva (1999). Foi avaliado ainda o grau de floculação das argilas a partir de sua dispersão em água e NaOH 1 mol L⁻¹, pelo método da pipeta, de acordo com metodologia descrita por Embrapa, 1997, nas amostras coletadas em abril de 2004.

Em 2003, foi realizada a análise do esterco de galinha, utilizando-se metodologia para análise de solos descrita por Silva (1999). A farinha de osso foi analisada por duas metodologias: $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ (3:1) utilizada em análise foliar e que a rigor mostraria o teor total dos nutrientes, de acordo com o proposto por Malavolta et al. (1997) e metodologia para análise de carbonato de cálcio (calcário) descrita por Silva (1999) para efeito de comparação, em razão dos poucos trabalhos na área, que utilizam esta fonte de nutrientes.

Foi avaliado o grau de floculação das argilas a partir de sua dispersão em água e NaOH 1 mol L^{-1} , pelo método da pipeta, de acordo com metodologia descrita por Embrapa, 1997, nas amostras coletadas em abril de 2004.

Resultados e Discussão

A elevada acidez (pH em água de 3,1) e saturação de bases, de apenas 2,2%, com os teores de P, Ca e Mg muito baixos e a CTC basicamente preenchida por hidrogênio e alumínio (Tabela 1) mostram as limitações dos solos da Amazônia Central em termos de fertilidade. Contudo, especificamente neste experimento, é provável que tenha ocorrido uma maior degradação da área como consequência de seu preparo e uso inadequados no passado, quando foi cultivada com seringueira em consórcio com fruteiras. Além disso, o preparo inicial da área para o plantio atual também foi feito incorretamente com a retirada da camada superficial de solo, particularmente dos primeiros cinco centímetros, onde se concentra a maior parte da serrapilheira, matéria orgânica e nutrientes desses solos.

Tabela 1. Análise de solo, imediatamente antes da instalação dos tratamentos. Embrapa Amazônia Ocidental - Manaus, 2002.

pH água	P mg/dm ³	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V %	M.O.
0 - 20 cm									
3,1	3	32	0,06	0,06	1,5	8,9	15,2	2,2	3,7
20 - 40 cm									
3,6	0	20	0,04	0,05	1,2	6,5	6,7	2,1	2,2

P, K e Na, extrator Mehlich-1; Ca e Mg, extrator KCl 1 mol/L; H + Al, extrator Acetato de Cálcio, 0,5 mol/L-pH 7; M.O. carbono orgânico * 1,724 Walkley-Black.

A análise do esterco de galinha poedeira utilizado na adubação de cova e em cobertura, encontra-se na Tabela 2. Observam-se os elevados teores de fósforo e potássio assim como quantidades consideráveis de cálcio, magnésio e sódio, além de 29% de matéria orgânica. Destaca-se, ainda, que, por se tratar de material orgânico, as características deste fertilizante poderão variar, dependendo do fornecedor. A elevada concentração de sódio (3.700 cmol/dm³) indica que o uso de esterco de galinha exige um acompanhamento sistemático de sua aplicação no solo, no longo prazo, para se evitar um possível processo de salinização, apesar da precipitação média de 2.400 mm anuais observada na região, o que poderia minimizar o problema.

A análise química da farinha de osso, feita com duas metodologias, mostrou resultados distintos, dependendo do nutriente quantificado (Tabela 3). Quando se analisou a farinha de osso, utilizando-se a metodologia para análise de tecido vegetal proposta por Malavolta et Al. (1997), determinou-se uma quantidade menor de fósforo e teores muito mais altos de micronutrientes, especialmente ferro e zinco, quando comparados aos obtidos com a metodologia usada para análise de calcário descrita por Silva (1999). Entretanto, o método de Silva foi muito mais efetivo na determinação do fósforo da farinha de osso.

Tabela 2. Análise do esterco de galinhas poedeiras. (Embrapa Amazônia Ocidental - Manaus, 2002).

pH água	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	C	N	M.O.
	mg/dm ³		cmol/dm ³				g kg ⁻¹		%	
7,1	4766	17200	3700	8,7	4,7	0,0	4,2	17,0	22,5	29,1

P, K e Na, extrator Mehlich-1; Ca e Mg, extrator KCl 1 mol/L; H + Al, extrator Acetato de Cálcio, 0,5 mol/L-pH 7; M.O. carbono orgânico * 1,724 Walkley-Black.

Tabela 3. Análise química de farinha de osso com uso de dois extratores. (Embrapa Amazônia Ocidental - Manaus, 2002).

Metodologia	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹						
Malavolta et al(1997)	12,9	74,0	0,9	265	9,8	10,2	2440	163	83,0
Silva (1999)	-	176,0	1,2	199	8,4	3,0	163	80	0,0

P, K e Na, extrator Mehlich-1; Ca e Mg, extrator KCl 1 mol/L; H + Al, extrator Acetato de Cálcio, 0,5 mol/L-pH 7; M.O. carbono orgânico * 1,724 Walkley-Black.

A farinha de osso, de acordo com a tabela 3, é uma fonte com elevado teor de fósforo, cerca de 18 % de seu peso seco, além de possuir cálcio, ferro, manganês e zinco. Entretanto, os extratores podem estar mostrando os teores totais e que não necessariamente estarão prontamente disponíveis para a planta no curto prazo, ficando sua liberação condicionada à sua degradação pela atividade biológica.

Nas tabelas 4 e 5, estão os teores médios de fósforo, potássio, sódio, cálcio, magnésio, hidrogênio + alumínio, além do pH, a partir da aplicação de esterco de galinha, farinha de osso e carvão vegetal na cultura do guaranzeiro nas amostras de solo coletadas em 2004 e 2007, respectivamente.

Observa-se que em 2004, em relação aos resíduos de carvão vegetal, não houve diferenças estatísticas em nenhum dos parâmetros avaliados. Uma possível explicação para esse fato é que o intervalo de tempo entre a sua primeira aplicação em 2003 e a amostragem do solo, seis meses depois, foi insuficiente para a detecção da possível influência do carvão nas características químicas do solo.

Tabela 4. Teores médios de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, hidrogênio + alumínio e pH, na cultura do guaranzeiro, sob diferentes doses de esterco de galinha, farinha de osso e carvão vegetal, na profundidade de 0 a 10 cm no ano de 2004¹. Embrapa Amazônia Ocidental Manaus, 2004.

Dose (por planta)	pH	Fósforo	Potássio	Sódio	Cálcio	Magnésio	H + Al
		mg dm ⁻³			cmol dm ⁻³		
Carvão							
0,0L	4,8ns	209ns	34ns	21,1ns	2,1ns	0,4ns	6,4ns
8,0L	5,2ns	253ns	50ns	43,4ns	3,0ns	0,7ns	5,5ns
16,0L	5,0ns	196ns	54ns	37,0ns	2,2ns	0,5ns	5,7ns
Farinha de ossos							
0,0 kg	4,8ns	160ns	47ns	22,7ns	1,9ns	0,4ns	6,3ns
0,2 kg	5,0ns	216,ns	43ns	26,7ns	2,2ns	0,7ns	5,8ns
0,4 kg	5,2ns	282ns	47ns	52,2ns	3,2ns	0,6ns	5,5ns
Esterco de galinha							
0,0L	4,3*	68*	22*	8,0*	0,8*	0,1*	7,5*
8,0L	5,0*	193*	44*	25,3*	2,2*	0,4*	5,6*
16,0L	5,7*	387*	72*	67,7*	4,3*	1,1*	4,4*

¹P, K e Na, extrator Mehlich-1; Ca e Mg, extrator KCl 1 mol/L; H + Al, extrator Acetato de Cálcio, 0,5 mol/L-pH 7.

* teste de F a 5% de probabilidade na mesma coluna, dentro de cada fonte.

Quatro anos após o início do experimento, nas amostras de solo retiradas nos diferentes tratamentos em 2007, os teores de potássio, sódio e magnésio apresentaram diferenças estatísticas (Tabela 5), com um aumento de suas respectivas concentrações, com o incremento das doses de carvão. Como a princípio, o carvão não possuiria outros nutrientes e sódio em sua constituição original, senão carbono, oxigênio e hidrogênio, pode-se supor que o carvão poderia estar funcionando com um material com capacidade de troca de cátions, diminuindo a lixiviação e retendo potássio, sódio e magnésio ou que poderia estar havendo uma “contaminação” por cinzas no seu processo de produção ou ainda uma combinação de ambas as hipóteses.

Tabela 5. Teores médios de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, hidrogênio + alumínio e pH, na cultura do guaranazeiro, submetida a diferentes doses de esterco de galinha, farinha de osso e carvão vegetal, na profundidade de 0 a 10cm no ano de 2007¹. Embrapa Amazônia ocidental - Manaus, 2007.

Dose (por planta)	pH	Fósforo mg dm ⁻³	Potássio	Sódio	Cálcio	Magnésio	H + Al
					cmol. dm ⁻³		
Carvão							
0,0L	6,0ns	486ns	120*	44,9*	3,6ns	0,9*	3,7ns
8,0L	6,1ns	444ns	160*	52,3*	4,0ns	1,1*	3,3ns
16,0L	6,1ns	486ns	162*	59,9*	4,4ns	1,2*	3,0ns
Farinha de ossos							
0,0 kg	6,0ns	495ns	149ns	47,7ns	3,5ns	1,1	2,8ns
0,2 kg	6,1ns	463ns	148ns	51,5ns	4,1ns	1,0	3,3ns
0,4 kg	6,1	458ns	144ns	57,9ns	4,4ns	1,1	3,4ns
Esterco de galinha							
0,0L	5,1*	119*	39*	14,0*	1,3*	0,3*	5,9*
8,0L	6,5*	586*	170*	54,5*	5,2*	1,3*	2,2*
16,0L	6,8*	731*	240*	90,4*	5,7*	1,8*	1,7*

¹P, K e Na, extrator Mehlich-1; Ca e Mg, extrator KCl 1 mol/L; H + Al, extrator Acetato de Cálcio, 0,5 mol/L-pH 7.

* teste de F a 5% de probabilidade na mesma coluna, dentro de cada fonte.

Um outro ponto a que se deve atentar é se, no caso das diferenças estatísticas observadas com o uso de carvão vegetal no solo, trata-se apenas de cátions monovalentes; sendo interessante determinar se isto é regra para os solos tropicais ao longo do tempo ou se é o início de um processo mais complexo de reações no solo.

É importante salientar ainda que a aplicação do carvão, assim como a do esterco de galinha, foi cumulativa. Portanto, em 2007, cada planta já havia sido submetida a quatro adubações (2003, 2004, 2005 e 2006), com o volume de carvão acumulado aplicado de 0, 32 e 64 litros por em cada planta por tratamento, assim como o esterco de galinha. Por isso, é fundamental avaliar se está ocorrendo decomposição do carvão vegetal adicionado ao solo e, se estiver, qual sua velocidade e possível influência nas características químicas do solo ao longo do tempo, verificando-se, inclusive, a possibilidade de estar havendo ou não mitigação do carbono da atmosfera, diminuindo o impacto da atividade agrícola.

Outro indício da capacidade do carvão vegetal em diminuir a lixiviação de cátions é o fato de ter sido verificada uma interação entre carvão e esterco de galinha nas análises realizadas em 2004 (Tabela 6). Doses crescentes de carvão levaram a um aumento dos teores de magnésio no solo. Em 2007, essa interação para o magnésio não se repetiu, possivelmente devido ao substancial aumento da concentração deste nutriente em relação a 2004 (Tabelas 4 e 5), atingindo um teto entre os tratamentos, em função do delineamento utilizado, com confundimento entre os tratamentos. No entanto, nesse mesmo ano, verificaram-se interações significativas entre o esterco de galinha e os resíduos de carvão para o potássio, sódio e H + Al. Doses crescentes de carvão aumentaram os teores de potássio e sódio no solo e diminuíram a concentração de H + Al, quando aplicado com o esterco de galinha (Tabela 7).

Tabela 6. Análise de variância da interação carvão x esterco de galinha, para o magnésio, na profundidade de 0 a 10cm, ano 2004. Embrapa Amazônia ocidental - Manaus, 2004.

Interação	Soma de quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Magnésio					
Esterco x carvão	1,055	4	0,264	4,830	0,044

Tabela 7. Análise de variância das interações carvão x esterco de galinha, na profundidade de 0 a 10cm, ano 2007. Embrapa Amazônia ocidental - Manaus, 2007.

Interação	Soma de quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Potássio					
Esterco x carvão	12531,812	4	3132,953	3,685	0,05
Sódio					
Esterco x carvão	1942,230	4	485,558	3,675	0,05
H + Al					
Esterco x carvão	5,859	4	1,465	3,949	0,04

Esses dados vêm ao encontro daqueles verificados por Topoliantz et al (2002), em que houve um aumento do pH e estreitamento da relação C/N com a aplicação de carvão vegetal, favorecendo a disponibilidade de nitrogênio no solo e também dos observados por Topoliantz et al. (2005), em que a aplicação de carvão diminuiu a acidez e a concentração de alumínio trocável do solo, mas aumentou os teores de cálcio e magnésio disponíveis.

Estatisticamente, a farinha de osso não alterou a concentração de nutrientes, sódio, acidez ou pH do solo em nenhum dos anos avaliados (Tabelas 4 e 5), apesar dos elevados teores de fósforo e cálcio presentes neste fertilizante (Tabela 3). É provável que a farinha de osso seja uma fonte de baixa solubilidade, que exija mais tempo para a liberação de nutrientes e para a ocorrência de possíveis reações significativas no solo. Outro ponto a ser levantado é que no delineamento estatístico utilizado, há um confundimento entre os tratamentos, e como o esterco de galinha possui elevados teores de fósforo e cálcio, pode ter ocorrido uma sobreposição de resultados, não sendo possível determinar a influência da aplicação da farinha de osso no solo.

O esterco de galinha aumentou, de maneira estatisticamente significativa, a concentração de fósforo, potássio, sódio e magnésio no solo, além de ter elevado o pH e diminuído o alumínio trocável, tanto nas análises feitas em 2004 quanto nas de 2007 (Tabelas 4 e 5). O pH original do solo elevou-se de 3,1 (Tabela 1) para 5,7 em 2004 e 6,8 em 2007 nos tratamentos com a aplicação de 16 litros de esterco de galinha por planta, enquanto a concentração de H + Al trocáveis decresceu de 8,9 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ para 4,4 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ em 2004 e 1,7 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no ano de 2007. A concentração de fósforo subiu de 3 mg dm^{-3} antes da instalação do experimento para 381 mg dm^{-3} em 2004 e 731 mg dm^{-3} em 2007.

Todavia, observou-se um aumento na concentração de sódio, que passou de 8,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no solo sem a aplicação de esterco de galinha em 2004 para 67,7 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de solo, no tratamento com a aplicação de 16 litros de esterco de galinha em 2007, indicando que altas doses de esterco de galinha podem levar a uma excessiva concentração de sódio no solo, mesmo nas condições de elevada pluviosidade da Amazônia Central.

Não houve diferenças estatísticas em relação à dispersão de argilas com a aplicação de esterco de galinha, farinha de osso ou resíduos de carvão (Tabela 8) no ano de 2004, apesar da elevação do pH e diminuição do alumínio e hidrogênio trocáveis no solo.

Tabela 8. Análise de variância para diferentes doses de esterco de galinha, farinha de osso e carvão na dispersão de argilas para a profundidade de 0 a 10cm em 2004. Embrapa Amazônia ocidental - Manaus, 2004.

Fonte	Soma de quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Carvão	46,628	2	23,314	0,360	0,712
Esterco	192,315	2	96,157	1,484	0,299
Farinha de osso	1,592	2	0,796	0,012	0,988

A elevação do pH do solo, em especial os tropicais, majoritariamente eletronegativos pela a adição de fertilizantes ou corretivos, causa a neutralização do Al^{3+} e H^+ da solução do solo, levando a uma predominância de cargas negativas e conseqüentemente repulsão entre as partículas de argila (Morelli e Ferreira, 1987), favorecendo sua dispersão e perda da estrutura do solo (Silva et al. 2005).

Entretanto, solos com altos teores de matéria orgânica, cálcio e magnésio, aliados a uma elevada atividade microbiana, favorecem a flocculação de argilas e o equilíbrio de cargas do solo (Silva et al., 2006; Costa et al., 2004; Albuquerque et al. 2003; Benites e Mendonça, 1998), minimizando os possíveis efeitos deletérios da neutralização de ânions Al^{3+} e H^+ , o que explicaria a inexistência de diferenças estatísticas entre os tratamentos no que se refere à dispersão das argilas.

Em resumo, a aplicação de resíduos de carvão vegetal, associados a fontes de nutrientes orgânicos, como os estercos, apesar de possuir potencial para tornar sustentável a agricultura nos solos tropicais, exige estudos mais detalhados para avaliar suas conseqüências nas propriedades químicas e físicas do solo além da própria planta. Estudos de longo prazo para quantificar os efeitos deste tipo de agricultura, priorizando a estrutura do solo, questões relacionadas à salinização do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade das culturas envolvidas são uma prerrogativa fundamental para o uso dos solos amazônicos, com benefícios para o ambiente e o produtor rural.