

## Redistribuição de carbono orgânico e fósforo pelo escoamento superficial em sistemas agrícolas convencionais e agroflorestais no semi-árido cearense

Rafaela da Silva Nogueira<sup>1</sup>  
Teógenes Sena de Oliveira<sup>2</sup>  
Adunias dos Santos Texeira<sup>3</sup>  
João Ambrósio de Araújo Filho<sup>4</sup>

### RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a redistribuição de carbono orgânico e fósforo (P) pelo escoamento superficial, para verificar a hipótese de que os sistemas agroflorestais promovem uma menor redistribuição de carbono orgânico e P no solo. A área experimental localiza-se na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos da EMBRAPA, no município de Sobral-CE. A partir de projeto desenvolvido desde 1997 foram selecionadas as seguintes áreas: Agrossilvipastoril (AGP), Silvipastoril (SILV), Tradicional (TR), Cultivo Intensivo em Pousio (CIP), Mata Nativa 1 (MN-1) e Mata Nativa 2 (MN-2). A área estudada foi georeferenciada, sendo alocados transectos para coleta de amostras de solo na profundidade de 0-5 cm, a cada 10 m. Em seguida, foi feito o levantamento altimétrico utilizando-se o nível topográfico. Os teores de carbono orgânico foram determinados por oxidação úmida e o P disponível por extração com Mehlich I e colorimetria. Os resultados foram avaliados por meio de medidas descritivas e técnicas geoestatísticas. Observou-se a existência de grande variabilidade quantitativa dos teores de C e P entre as áreas estudadas. Entretanto, quando se avaliou a variabilidade espacial em cada uma das áreas estudadas, constatou-se o predomínio de um aspecto uniforme da distribuição de C e P nas áreas TR e CIP, enquanto que isto não ocorreu com as áreas mais conservadoras (AGP e SILV). Tais resultados podem ser explicados pela maior ação dos agentes erosivos no caso específico da área CIP que apresentou uma tendência de redistribuir os nutrientes para outras regiões. O mesmo não acontece com a área AGP, um sistema muito mais conservador: tanto que a variação espacial é muito semelhante à da condição natural.

**Palavras-chave:** Erosão, semi-árido, manejo agroflorestal.

### ABSTRACT

#### Redistribution of organic carbon and phosphorus by surface runoff in agroforestry and conventional systems in the semi-arid region of Ceará

The objective of this study was to evaluate the redistribution of organic carbon and phosphorus (P) by surface runoff, in order to verify the hypothesis that agroforestry systems promote lower redistribution of organic carbon and P than conventional systems. The experimental area is located in the Crioula Farm, CNPC – EMBRAPA, in the municipality of Sobral, CE. The following systems were selected: Agrisilvipastoral (AGP), Silvipastoral (SILV), Traditional (TR) Fallow Intense Cropping (FIC), Natural Forest-1 (NF-1) and Natural Forest-2 (NF-2). The studied field was georeferenced and transects were allocated for sampling every 10 m along the area at 0-5 cm depth. An altimetric survey was carried

Recebido para publicação em outubro de 2006 e aprovado em junho de 2008.

<sup>1</sup> Estudante de graduação em Agronomia, Universidade Federal do Ceará – UFC. CEP 60110-480 Fortaleza (CE) E-mail: rafaellanogueira@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Prof. Adjunto, UFC, Departamento de Ciências do Solo, CEP 60021-970, Fortaleza-CE, e-mail: teo@ufc.br, Bolsista do CNPq

<sup>3</sup> Professor da Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Agrícola. CEP 60451-970 Fortaleza (CE) E-mail: adunias@ufc.br, Bolsista do CNPq.

out using topographic leveling. C content was determined by wet oxidation and P was extracted by Mehlich-1 and determined by colorimetry. The results were analyzed using descriptive statistic and geostatistic techniques. Large variability of C and P content was observed, however, when spatial variability was evaluated in each area, it showed a uniform pattern of C and P for TR and FIC systems, but not for the most conservative systems such as AGP and SILV. These results can be explained by the more intense action of erosive agents in FIC that tends to redistribute nutrients to other areas. But the same does not occur in AGP, a much more conservative system, in which spatial variation is very similar to natural conditions.

**Key words:** Erosion, semiarid, agroforestry management

## INTRODUÇÃO

O aumento populacional faz com que seja cada vez maior a demanda por recursos naturais, para tanto, a principal solução tem sido a incorporação de novas áreas ao processo produtivo. Apesar de existirem grandes quantidades de terra disponíveis, as áreas consideradas inaptas passam a ser exploradas, intensificando ainda mais os problemas de degradação ambiental (Azevedo, 2004).

No semi-árido nordestino a degradação dos solos é intensificada pela erosão hídrica, pois a típica agricultura convencional favorece bastante a elevação do percentual de áreas descobertas e com isso o aumento nas perdas de nutrientes e matéria orgânica nos solos desta região.

A proposição de alternativas que visem à mínima interferência nos ecossistemas naturais se faz necessária para reduzir o impacto ambiental promovido pela erosão hídrica. Neste sentido, os sistemas agroflorestais (SAF's) que utilizam a combinação de espécies arbóreas com culturas agrícolas e/ou animais visam a constituir um ambiente natural com aumentos da diversidade, desta maneira, estes sistemas tornam-se uma alternativa viável principalmente, para a região semi-árida.

A erosão hídrica é um dos principais agentes causadores do empobrecimento dos solos, pois por meio desta os nutrientes podem ser transportados e acumulados em regiões de menor declividade (Bertol *et al.*, 2004). Este contínuo transporte de sedimentos contribui para que os solos sejam um ambiente cada vez mais heterogêneo.

Neste sentido, Silva & Chaves (2001) ressaltam que a agricultura não pode ser vista de maneira homogênea, uma vez que, os solos são sistemas abertos e dinâmicos em constante modificação. Assim, estudos detalhados dos atributos químicos do solo proporcionam uma aplicação mais precisa de insumos, o que permite uma otimização dos recursos de produção e um aumento na produtividade sem causar efeitos indesejáveis ao meio ambiente (Souza *et al.*, 2004).

De acordo com Queiroz *et al.* (1997) a geoestatística possibilita uma caracterização mais detalhada dos atributos

do solo, pois permite uma descrição quantitativa da variabilidade espacial dos mesmos, por meio de uma estimativa não tendenciosa e uma variância mínima para aqueles valores não amostrados. Além disso, a utilização desta técnica pode ser aplicada para identificar, usando mapas de valores, o sistema de amostragem mais eficiente. No entanto, para estas aplicações a dependência espacial de uma variável deve ser analisada.

O semivariograma corresponde ao gráfico que relaciona o valor da semivariância com a distância de amostragem. A maior proximidade entre os pontos tende a torná-los mais semelhantes, porém mesmo quando a distância é aproximadamente zero existe uma semivariância. Logo, o semivariograma tem início a partir de um pequeno valor conhecido por efeito pepita ou "nugget effect", que é atribuído aos erros oriundos do processo de obtenção dos dados. O aumento da distância entre as amostras proporciona uma maior semivariância, isso ocorre, porém até que um determinado valor apresente um comportamento constante. Este recebe a denominação de patamar e a distância em que a semivariância cresce até atingir o padrão uniforme é denominado de alcance (Queiroz *et al.*, 1997).

Nos estudos envolvendo a variabilidade espacial do solo, a geoestatística é uma ferramenta bastante utilizada. Vários autores (Miranda, 2004; Souza *et al.*, 2004; Farias *et al.*, 2003; Gonçalves *et al.*, 2001) têm demonstrado a importância do conhecimento da variação de atributos químicos na adoção de um sistema de manejo eficiente.

A aplicação convencional de insumos é baseada em teores médios de fertilidade do solo, estes teores, portanto, podem ser subestimados ou superestimados, ocasionando sérias alterações nutricionais às plantas. De acordo com Dias (2004), a aplicação inadequada de insumos pode reduzir a produtividade em função do desequilíbrio nutricional das plantas, aumentar os custos de produção e as perdas por lixiviação, o que contribui para a salinização do solo e a contaminação dos mananciais de águas.

Além disso, os atributos químicos do solo são submetidos a sucessivas alterações provocadas pelas atividades agrícolas, e por isso comportam-se de forma bastante diferenciada ao longo da área (Souza *et al.*, 2004). Desse modo, conhecer a variabilidade espacial do solo se faz cada vez mais necessário, já que possibilita uma melhor decisão sobre o sistema de manejo mais eficiente.

O presente trabalho foi desenvolvido a partir da hipótese de que os sistemas conservacionistas, quando comparados aos convencionais, reduzem o transporte de nutrientes promovidos pelo escoamento de água na superfície do solo. O estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a redistribuição de carbono orgânico e fósforo em sistemas de cultivo agrícola convencional e agroflorestal.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na área experimental localizada na Fazenda Crioula, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos (CNPQ) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). A Fazenda encontra-se situada no município de Sobral-CE, na região semi-árida cearense, estando a 3° 41'S e 40° 20'W com altitude de 69 m. Apresenta uma temperatura média anual de 30°C e precipitação média anual de 798 mm.

A partir do projeto de pesquisa desenvolvido no CNPC desde 1997, foram avaliadas as seguintes situações:

a) Tratamento Agrossilvipastoril (AGP): tratamento que adotou o cultivo de feijão caupi e milho em faixas de 3,0 m de largura, separadas por fileiras de leucena e outras leguminosas nativas. Esta área teve a sua vegetação natural raleada, tendo sido preservadas as coberturas vegetais arbóreas nativas de 22%. O restolho folhoso foi deixado sobre o solo e durante o período chuvoso, a parte aérea da leucena foi cortada e a massa verde incorporada ao solo. No período seco, a parcela foi utilizada como banco de proteínas.

b) Silvicultura (SILV): este tratamento foi submetido ao processo de raleamento, preservando-se 260 árvores, ou seja, 38% da cobertura. O restolho lenhoso e folhoso produzido pelo raleamento foi deixado sobre o solo. Esta área também foi utilizada como pastagem de manutenção do rebanho de 20 matrizes ovinas.

c) Tratamento Tradicional (TR): tratamento submetido ao desmatamento, este produziu restolhos lenhoso e folhoso que foram queimados no ano de 1997. A parcela foi cultivada com milho e feijão em 1998, em seguida foi submetida novamente à queima da vegetação para ser cultivada no ano de 1999. Este processo se repetiu no ano de 2001 para implantação das referidas culturas em 2002. No período seco, a forragem e os resíduos culturais da área cultivada foram usados para a suplementação alimentar de um rebanho de 10 matrizes ovinas.

d) Cultivo Intensivo em Pousio (CIP): neste tratamento uma parcela de 1,0 hectare foi desmatada e queimada em 1997 e cultivada, sem aplicação de fertilizantes, com milho e feijão nos períodos de 1998 a 2002.

e) Mata Nativa-1 (MN-1): área considerada como testemunha, com uma deposição anual de folhas de 4,0 Mg ha<sup>-1</sup> (MS) e uma retirada anual de aproximadamente 0,3 Mg ha<sup>-1</sup> (MS) devido o pastejo.

f) Mata Nativa-2 (MN-2): outra área de caatinga nativa sendo considerada como testemunha, sobretudo para o tratamento cultivo intensivo, porém é utilizada no período seco como piquete de manutenção dos animais e também como fonte madeireira.

As coordenadas da área estudada foram determinadas com auxílio do Sistema de Posicionamento Global (GPS) da marca Garmin e modelo GPSmap60CSx, as quais foram digitalizadas, utilizando o programa Arcview para geração de um mapa georeferenciado. Os transectos foram alocados de maneira que os diversos sentidos de movimento de solo fossem interceptados, aumentando assim a representatividade da amostragem na área experimental.

As amostras de solo, representando um total de 368, foram coletadas em outubro de 2005 na profundidade de 0-5 cm. Ao longo dos transectos utilizou-se o espaçamento de 10 m para cada amostra coletada e em cada local amostrado determinou-se a cota com o auxílio do nível topográfico.

Os teores de carbono orgânico foram obtidos a partir do método de Walkley-Black conforme Yeomans & Bremner (1988) e os de fósforo disponível foram determinados por meio da solução extratora de Mehlich I (Embrapa, 1997).

O comportamento geral das variáveis do solo foi avaliado primeiramente, usando medidas descritivas: média, mediana, valores máximos e mínimos, amplitude total, coeficiente de variação (CV), curtose e assimetria. A distribuição de frequência dos dados foi analisada a fim de verificar se os mesmos apresentavam distribuição normal, para tanto aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) a 5% de probabilidade.

A análise da dependência espacial foi realizada com o auxílio do programa Surfer 7.0, em que foi utilizado o inverso do quadrado da distância para obtenção dos semivariogramas experimentais. O modelo de melhor ajuste foi determinado para cada semivariograma, o que proporcionou a obtenção dos parâmetros necessários para interpolação dos valores nos pontos não amostrados.

Os mapas de isolinhas foram elaborados de acordo com as informações provenientes dos semivariogramas durante a interpolação dos dados pelo processo de krigagem. No entanto, foram verificados valores discrepantes em relação à média dos dados, que poderiam ocasionar

uma subestimação ou superestimação dos resultados. Diante disto, foi adotada uma padronização dos valores em relação à média e ao desvio, por meio da seguinte equação:

$$V_n = \frac{x - \bar{a}}{s}$$

onde:  $V_n$  consiste no valor normalizado,  $x$  é o valor da variável analisada,  $\bar{a}$  representa a média dos valores e  $s$  o desvio padrão. Assim, os valores que apresentaram este valor normalizado abaixo ou acima de 2,0 foram eliminados do conjunto de dados.

A validação dos parâmetros obtidos pelos dos semivariogramas foi realizada para verificar se os ajustes dos modelos adotados foram eficientes na obtenção dos valores estimados. Para tanto, utilizaram-se cinco amostras de cada tratamento estudado, que foram retiradas aleatoriamente do conjunto de dados submetidos à análise variográfica, para comparar o valor observado com o estimado pelo método de krigagem. A relação entre a média dos valores observados e estimados foi denominada de erro médio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos tratamentos estudados, observou-se, de modo geral, que os teores de fósforo (P) e carbono orgânico (CO) apresentaram um elevado coeficiente de variação. Diante disto, foram observados o comportamento dos dados por meio de medidas que são fundamentais para estatística descritiva.

Os resultados referentes à análise descritiva para os teores de carbono orgânico são apresentados na Tabela 1. Nesta, observa-se que os maiores teores de

CO foram encontrados nos sistemas mais conservadores, aos quais proporcionaram incrementos de até 43% desta variável quando comparados aos sistemas convencionais.

As áreas TR, AGP e SILV apresentaram reduções de 42, 33, 30% em relação à área de referência (MN-1), enquanto que o CIP foi reduzido em apenas 21% quando comparadas a MN-2. Porém, ao comparar os sistemas SILV e AGP com o CIP, verificaram-se aumentos nos teores de carbono orgânico em 42 e 37%. Estes resultados confirmam a hipótese de que os sistemas tradicionais e a não adoção de práticas conservacionistas favorecem menores teores de matéria orgânica no solo.

A média aritmética é uma medida de posição importante que muitas vezes é utilizada para representar um conjunto de dados. Porém, verificar a distribuição dos valores é fundamental para garantir uma maior exatidão durante a interpretação dos dados.

A proximidade dos valores de média e mediana foi observada em todos os tratamentos estudados, em que se destaca a área AGP por apresentar valores semelhantes para estas duas medidas. A normalidade dos dados pode ser indicada pela pequena diferença entre a média e a mediana (Queiroz *et al.*, 1999). Esta característica foi confirmada, utilizando-se teste de Kolmogorov-Smirnov que foi significativo a 5% de probabilidade.

A elevada variabilidade nos teores de fósforo disponível contribuiu para que alguns valores considerados discrepantes fossem excluídos. Na Tabela 2 observam-se as medidas estatísticas e o número de amostras que foram utilizados para obtenção destas medidas.

A normalidade dos dados foi indicada pela pequena diferença entre médias e medianas, entretanto nem todas

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos teores de carbono orgânico (CO) do solo, nos diferentes tratamentos agroflorestal e convencional, na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

Medidas	Tratamentos					
	AGP	SILV	TR	CIP	MN-1	MN-2
	CO (dag kg <sup>-1</sup> )					
Média	2,62	2,72	2,24	1,91	3,89	2,42
Mediana	2,62	2,58	2,19	1,86	4,04	2,32
Mínimo	1,40	1,17	1,07	0,98	1,20	1,31
Máximo	4,10	4,20	3,01	2,30	8,62	3,50
Variância	0,77	0,97	0,43	0,23	5,52	0,59
CV <sup>(1)</sup>	38,16	36,19	29,24	25,09	41,97	36,83
Desvio Padrão	1,14	0,99	0,65	0,48	2,35	0,77
Assimetria	0,48	0,49	0,13	0,24	0,46	0,54
Curtose	-0,81	-0,70	-0,96	-0,46	-1,00	-0,84
KS <sup>(2)</sup>	0,17*	0,11*	0,10*	0,11*	0,06*	0,09*
Observações	30	45	150	41	25	45

AGP: agrossilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR: tradicional, CIP: cultivo intensivo em pousio, MN-1: mata nativa 1, MN-2: mata nativa 2.

<sup>(1)</sup> Coeficiente de variação

<sup>(2)</sup> Teste de Kolmogorov-Smirnov, \* significativo a 5% de probabilidade.

**Tabela 2.** Estatística descritiva dos teores de fósforo disponível (P) do solo, nos diferentes tratamentos agroflorestal e convencional no município de Sobral-CE.

Medidas	Tratamentos					
	AGP	SILV	TR	CIP	MN-1	MN-2
	P (mg dm <sup>-3</sup> )					
Média	56,15	24,10	23,68	20,29	29,29	32,80
Mediana	54,14	22,69	22,52	19,86	28,04	32,79
Mínimo	32,55	20,07	13,81	17,43	19,87	25,40
Máximo	80,95	29,70	35,60	33,55	40,92	39,23
Variância	50,77	20,97	19,43	18,71	35,38	25,59
CV <sup>(1)</sup>	38,99	19,79	20,24	16,96	25,30	23,83
Desvio Padrão	10,96	3,32	6,16	4,34	5,95	2,97
Assimetria	0,55	0,58	0,39	0,23	0,68	0,02
Curtose	-1,02	-1,30	-0,74	-0,76	-0,66	0,11
KS <sup>(2)</sup>	0,17	0,18*	0,10*	0,08	0,17	0,07
Observações	25	41	135	36	23	39

AGP: agrossilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR: tradicional, CIP: cultivo intensivo em pousio, MN-1: mata nativa 1, MN-2: mata nativa 2.

<sup>(1)</sup> Coeficiente de variação

<sup>(2)</sup> Teste de Kolmogorov-Smirnov, \* significativo a 5% de probabilidade

as áreas estudadas se ajustaram à distribuição normal, conforme o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade. Neste sentido, visando a evitar um aumento no índice de valores discrepantes, o que poderia mascarar a realidade, optou-se por não aplicar o referido teste a 20% de probabilidade.

Os maiores teores de P disponível foram observados na área AGP que apresentou valores superiores em 48% quando comparado a MN-1. Por outro lado, foi verificado que a média dos dados foi diminuída em 18%, em relação à condição natural (MN-1), de 18%. Nos sistemas convencionais, (TR e CIP), os teores médios de fósforo disponível foram inferiores em 27 e 38%, respectivamente em relação a áreas de MN-2.

A maior concentração de fósforo na área AGP pode ser atribuída tanto ao adubo orgânico, que é aplicado na área, como às práticas conservacionistas que são adotadas pelos sistemas agroflorestais, pois o uso destas práticas pode proporcionar uma maior ciclagem deste nutriente.

Os resultados obtidos por Peneireiro (1999), ao comparar sistemas convencionais com agroflorestais, demonstram que os sistemas agroflorestais tendem a favorecer a ciclagem de fósforo no solo. Este autor ressalta que a alta concentração de fósforo nas áreas submetidas ao sistema agroflorestal pode ser resultante tanto da grande diversidade de materiais que são depositados na superfície do solo como também das árvores que ao interagir com as culturas permite, por meio das raízes, que o fósforo localizado nas camadas mais profundas do solo seja transportado para superfície e assim se torne mais prontamente disponível às plantas.

Nas áreas cultivadas tradicionalmente, (TR e CIP), os baixos teores de P disponível podem ser atribuídos, principalmente, ao uso contínuo do solo. Logo, a adoção de práticas conservacionistas se faz necessária para evitar que ao longo do tempo estas áreas sejam consideradas impróprias ao cultivo.

No tratamento AGP, o fósforo disponível apresentou um elevado coeficiente de variação (68,9%). Neste sentido, Silva & Chaves (2001) verificaram em seus estudos, que o fósforo foi o nutriente que apresentou a maior variabilidade espacial. Silveira *et al.* (2000) ressaltam que nos solos onde a interferência é reduzida, a tendência é que ocorra uma maior variabilidade dos valores quando comparados aos sistemas convencionais.

De modo geral, na Tabela 3 observa-se que o modelo esférico foi o que melhor se ajustou aos dados de cotas e de carbono orgânico, enquanto que para os teores de P verificou-se uma diversidade entre os modelos que proporcionaram melhor ajuste. Nas áreas AGP, SILV e MN-1 o exponencial foi o modelo que proporcionou melhor ajuste, comportamento diferente foi observado nos tratamentos TR, CIP e MN-2 que tiveram no linear e no esférico, respectivamente, os modelos mais apropriados para a variável analisada.

Os modelos ajustados aos semivariogramas experimentais desta pesquisa estão de acordo como os propostos por Silva & Chaves (2004) que ao analisarem a variabilidade do fósforo, potássio e da matéria orgânica em Alissolos verificaram que o modelo exponencial e o esférico foram os tipos que mais se ajustaram, respectivamente, aos teores de fósforo e matéria orgânica. Neste sentido, alguns trabalhos (Brito 1998; Cerri, 2003; Souza *et al.*, 2004) que descreveram as propriedades do solo, demonstram que

**Tabela 3.** Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas dos valores de cota, carbono orgânico (CO) e fósforo (P) nos diferentes sistemas estudados, na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

Medidas	Tratamentos					
	AGP	SILV	TR	CIP	MN-1	MN-2
	Cotas (m)					
Modelo	Linear	Esfér. <sup>(4)</sup>	Esfér.	Esfér.	Esfér.	Esfér.
C <sub>0</sub> <sup>(1)</sup>	0,00	0,00	8,70	0,86	0,00	0,98
C <sub>0</sub> + C <sub>1</sub> <sup>c</sup>	0,46	13,42	25,25	5,51	38,62	4,80
Alcance	-	533	345	302	457	139
[C <sub>0</sub> /(C <sub>0</sub> + C <sub>1</sub> )] <sup>(3)</sup>	< 1 %	< 1 %	34 %	16 %	< 1 %	20 %
CO (dag kg <sup>-1</sup> )						
Modelo	Esfér.	Esfér.	Esfér.	Esfér.	Esfér.	Esfér.
C <sub>0</sub> <sup>(1)</sup>	0,13	0,01	0,00	0,15	0,30	0,00
C <sub>0</sub> + C <sub>1</sub> <sup>c</sup>	1,70	0,56	0,25	0,51	0,62	0,29
Alcance	177	38	21	233	12	24
[C <sub>0</sub> /(C <sub>0</sub> + C <sub>1</sub> )] <sup>(3)</sup>	8 %	2 %	1 %	29 %	48 %	< 1 %
P (mg dm <sup>-3</sup> )						
Modelo	Expon. <sup>(5)</sup>	Expon.	Linear	Esfér.	Expon.	Esfér.
C <sub>0</sub> <sup>(1)</sup>	0,00	0,00	0,00	0,99	5,38	2,33
C <sub>0</sub> + C <sub>1</sub> <sup>(2)</sup>	28,57	12,00	0,30	5,86	26,10	0,01
Alcance	259	311	-	27	11	274
[C <sub>0</sub> /(C <sub>0</sub> + C <sub>1</sub> )] <sup>(3)</sup>	< 1 %	< 1 %	< 1 %	17 %	21 %	< 1 %

AGP: agrossilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR: tradicional, CIP: cultivo intensivo em pousio, MN-1: mata nativa 1, MN-2: mata nativa 2.

<sup>(1)</sup> efeito pepita <sup>(2)</sup> patamar <sup>(3)</sup> relação efeito pepita/ patamar <sup>(4)</sup> esférico <sup>(5)</sup> exponencial

estes modelos promovem um melhor ajuste aos semivariogramas experimentais.

A dependência espacial das variáveis estudadas, indicada pela relação entre o efeito pepita e o patamar, indicou uma elevada dependência espacial nas áreas AGP, SILV, TR e MN-2 que apresentaram relações inferiores a 10%. Por outro lado, nos sistemas de MN-1 e CIP observou-se uma moderada dependência espacial, sendo que para a variável carbono orgânico ela foi representada pelas relações de 48 e 29%. Porém, para os teores de fósforo disponível houve redução, respectivamente para 21 e 17%. Estes resultados apontam que a variabilidade espacial nas áreas em estudo não é puramente aleatória e por isso pode ser explicada por meio dos parâmetros obtidos a partir da geoestatística.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 3, constata-se que as variáveis estudadas apresentaram diferenças em suas estruturas espaciais. Os valores de alcance variaram de 12 a 233 m para os dados de carbono orgânico e de 11 a 311 m para os teores de fósforo. Este parâmetro indica até que ponto as amostras possuem dependência espacial, ou seja, o alcance representa a distância em que a utilização das técnicas geoestatísticas conduz a estimativas com maior precisão. Assim, todas as amostras situadas nesta distância são utilizadas para estimar valores em locais não amostrados.

Os diferentes alcances obtidos nesta pesquisa indicam que os métodos estatísticos clássicos, que conside-

ram a média como um valor que pode ser obtido em qualquer local da área, deve ser aplicada com cuidado, pois, observando os resultados expostos neste estudo pode-se inferir que esta medida deve ser utilizada a partir dos limites estabelecidos pelo alcance, no qual não existe dependência espacial entre as amostras.

Em geral, as variáveis estudadas apresentaram valores de erro médio (EM) bastante baixos (Tabela 4). Os dados de cotas destacaram-se por apresentar os menores índices de erro médio, porém para variável carbono orgânico observaram-se os maiores valores de EM nas áreas de MN-1, MN-2, TR e AGP. Nos teores de fósforo disponível observou-se que os tratamentos MN-1 e AGP apresentaram os mais elevados valores de erro médio. O maior erro médio nestas áreas pode estar associado à variabilidade dos dados que diminui a eficiência dos modelos ajustados aos semivariogramas.

Cerri (2003), avaliando a variabilidade espacial do carbono e de outras propriedades do solo adotou um processo de validação e verificou em seus estudos valores de erro médio variando de 0,1 a 8,0%. Desta forma, observa-se que os dados de validação obtidos nesta pesquisa apresentaram resultados satisfatórios para a interpolação dos dados pelo processo de krigagem.

A estimativa dos valores para locais não amostrados, por meio da interpolação dos dados pelo método de krigagem, permitiu a obtenção dos mapas de isolinhas. Estes possibilitaram analisar os dife-

**Tabela 4.** Validação dos modelos ajustados aos semivariogramas, através do erro médio (EM), para os valores de cota, carbono orgânico (CO) e fósforo (P) nos diferentes sistemas estudados, na Fazenda Crioula, Sobral-CE.

Parâmetros	Tratamentos					
	AGP	SILV	TR	CIP	MN-1	MN-2
	Cotas (m)					
MO <sup>(1)</sup>	98,56	108,65	100,68	102,63	106,71	98,30
ME <sup>(2)</sup>	99,17	108,42	100,65	102,78	106,69	98,75
EM <sup>(3)</sup> (%)	0,60	0,20	0,00	0,10	0,00	0,40
	CO (dag kg <sup>-1</sup> )					
MO <sup>(1)</sup>	2,81	2,16	1,78	1,96	3,01	2,07
ME <sup>(2)</sup>	2,86	2,18	1,82	1,97	3,16	2,15
EM <sup>(3)</sup> (%)	1,80	0,90	4,00	0,50	4,80	3,80
	P (mg dm <sup>-3</sup> )					
MO <sup>(1)</sup>	48,27	25,19	27,04	26,44	27,60	33,28
ME <sup>(2)</sup>	51,18	24,81	27,61	26,27	29,87	32,98
EM <sup>(3)</sup> (%)	6,00	1,50	2,10	0,60	8,20	0,90

AGP: agrossilvipastoril, SILV: silvipastoril, TR: tradicional, CIP: cultivo intensivo em pousio, MN-1: mata nativa 1, MN-2: mata nativa 2.

<sup>(1)</sup> média dos valores observados <sup>(2)</sup> média dos valores esperados <sup>(3)</sup> erro médio

rentes comportamentos das áreas em estudo a partir da visualização espacial dos pontos estimados.

Os dados referentes às cotas foram utilizados na interpolação para obtenção da distribuição espacial desses valores em todos os sistemas de manejo da área em estudo.

Na Figura 1, observa-se na área AGP a existência de uma maior declividade, onde a topografia é composta por cotas que variam de 85 a 109 m de altitude, sendo que na região central da área predominam as porções de menor altitude. Assim, a formação do relevo desta área pode favorecer o acúmulo de nutrientes transportados pelos agentes erosivos.

Por outro lado, na área onde foi implantado o sistema SILV verificou-se o predomínio de um relevo mais suavizado com cotas de 95 a 109 m. Esta área também pode promover acúmulos de sedimentos oriundos de outras regiões, pois apresenta as menores altitudes localizadas na região central. Comportamento semelhante foi observado nas áreas de MN-1 e TR.

A MN-2 e o CIP apresentaram altitudes variando de 95 a 105 m, sendo que na região central da área de CIP verifica-se a ocorrência de uma porção mais elevada que pode proporcionar a redistribuição de nutrientes para as porções mais baixas. Na área de MN-2, embora tenha apresentado uma ampla zona com tons de cinza mais escuro que variam de 95 a 102 m, observou-se que as porções mais altas estão situadas na região sul e que estas tendem a decrescer em direção a região central da referida área.

A distribuição espacial dos valores de carbono orgânico (Figura 2) assim (como para a altitude) por meio de

faixas que variam de 0,5 a 5,5 dag kg<sup>-1</sup>. As áreas de referência MN-1 e MN-2 destacaram-se por apresentar uma notável variabilidade de carbono orgânico no solo.

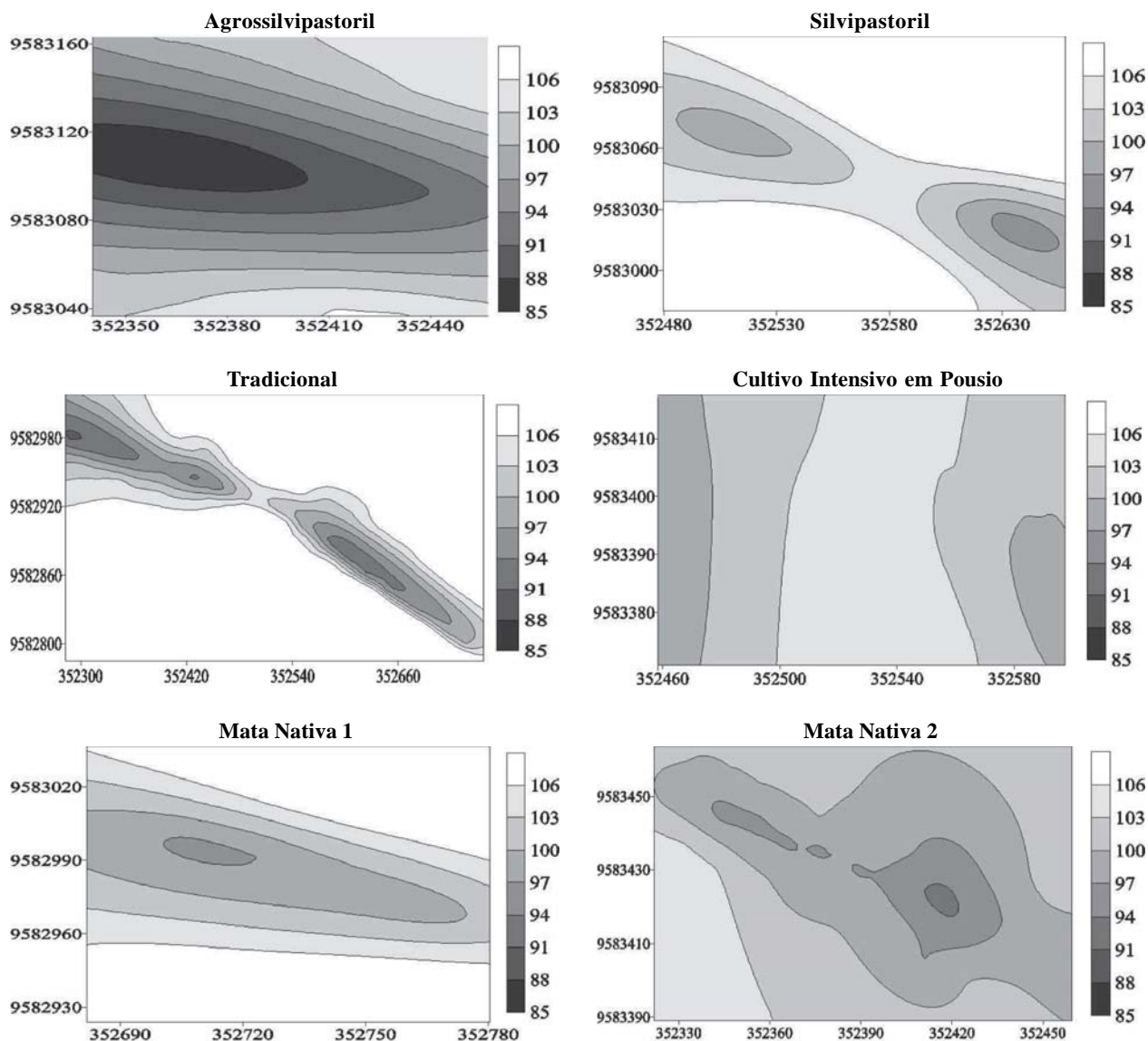
O tratamento AGP destacou-se por apresentar maior variabilidade espacial, com teores de carbono orgânico variando de 1,0 a 6,0 dag kg<sup>-1</sup>. Observou-se na região norte o predomínio de teores acima de 2,1 dag kg<sup>-1</sup>, enquanto que na parte sul ocorreu a formação de uma pequena mancha indicando teores na faixa de 1,0 a 1,5 dag kg<sup>-1</sup>.

A variabilidade espacial dos teores de carbono orgânico na área AGP, visualmente, não apresentou relação com a topografia do terreno. Por isso, este resultado pode ser atribuído às práticas conservacionistas que são adotadas no sistema AGP, que podem favorecer a manutenção de teores variados de carbono orgânico ao longo da área.

Na área SILV observou-se uma moderada variabilidade espacial para esta variável. As concentrações de 3,6 a 4,5 dag kg<sup>-1</sup> foram encontradas na região nordeste enquanto que os menores teores (1,6 a 2 dag kg<sup>-1</sup>) foram identificados na direção noroeste. Na parte sul existe uma maior uniformidade dos valores, no qual estão contidos na faixa com teores de 2,1 a 3,5 dag kg<sup>-1</sup>.

Semelhantemente ao AGP, a área cultivada com o sistema SILV não apresentou relação com a topografia do terreno. Este resultado indica que os sistemas mais conservadores (AGP e SILV) estão amenizando as consequências iniciais do processo erosivo, que em virtude do escoamento de água promovem o transporte de sedimentos para as porções mais baixas.

As áreas submetidas ao cultivo convencional (TR e CIP) apresentaram um comportamento bastante diferencia-



**Figura 1.** Variabilidade espacial da altitude nos sistemas agrícolas convencionais e agroflorestais na Fazenda Crioula, no município de Sobral-CE. Os eixos x são caracterizados pelos valores de longitude e o y pelos de latitude.

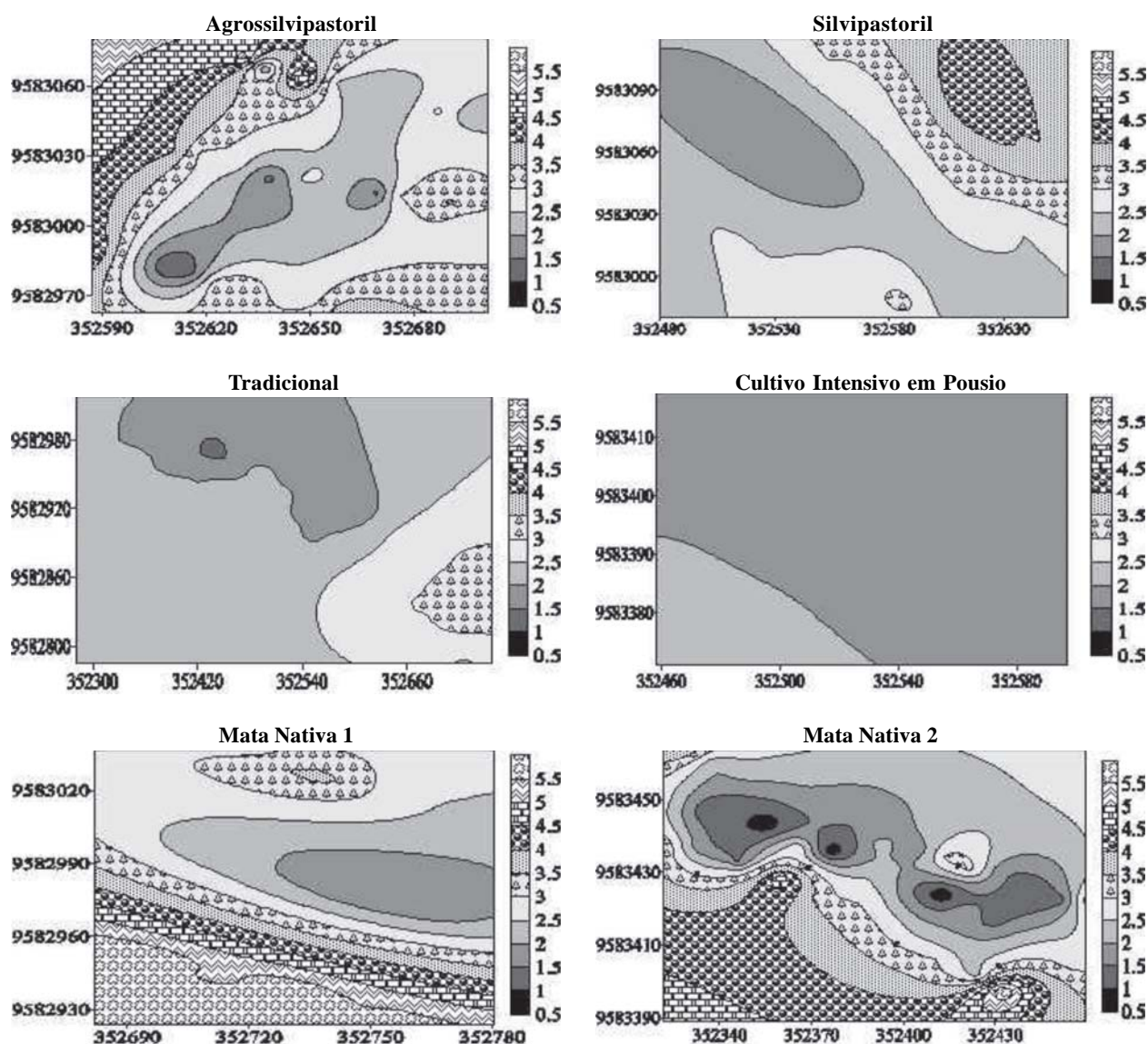
do da condição natural. No cultivo tradicional (TR) verificou-se que as maiores concentrações de carbono ( $2,1$  a  $3,0$   $\text{dag kg}^{-1}$ ) estão na direção sudeste, porém uma considerável mancha mais escura que apresenta teores de  $1,1$  a  $2,0$   $\text{dag kg}^{-1}$  foi observada na parte norte. Associando o mapa de isolinhas para esta variável com o altimétrico, verificou-se que nas porções mais altas predominam as menores concentrações de carbono. A área de CIP apresentou um comportamento semelhante, mas com um padrão uniforme muito mais intenso que o apresentado na área do sistema TR. Nesta área observou-se que a porção norte e sudeste, cuja declividade varia de  $101$  a  $106$  m, é composta de teores de  $1,6$  a  $2,0$   $\text{dag kg}^{-1}$ , enquanto que na parte sudoeste, com menores altitudes ( $98$  a  $100$  m), os teores de carbono são aumentados para  $2,1$  a  $2,0$   $\text{dag kg}^{-1}$ .

Os resultados expostos acima apontam que nos sistemas convencionais (TR e CIP) o escoamento de água pro-

movido pela erosão hídrica promova acúmulos de carbono nas porções mais baixas, confirmando a hipótese de que este sistema promove uma maior redistribuição deste nutriente no solo.

Em relação ao fósforo (Figura 3), os valores foram agrupados nas faixas de  $30$   $\text{mg dm}^{-3}$  a  $55,1$   $\text{mg dm}^{-3}$ . O sistema AGP apresentou uma maior variabilidade espacial quando comparado com as demais áreas estudadas. Com teores de fósforo superiores a MN-1 esta área apresentou uma mancha, que mesmo com a eliminação dos valores considerados discrepantes, indicou teores de fósforo acima de  $56$   $\text{mg dm}^{-3}$ . Nesta área observou-se que na região central, cuja altitude varia de  $85$  a  $93$  m, constam-se teores de fósforo acima  $56$   $\text{mg dm}^{-3}$ , porém nas regiões mais altas ( $104$  a  $105$  m) que estão localizadas, sobretudo nas direções nordeste e sudeste também são encontrados estas concentrações. Estes





**Figura 2.** Variabilidade espacial do carbono orgânico nos sistemas agrícolas convencionais e agroflorestais na Fazenda Crioula, no município de Sobral-CE. Os eixos x são caracterizados pelos valores de latitude e o y pelos de longitude

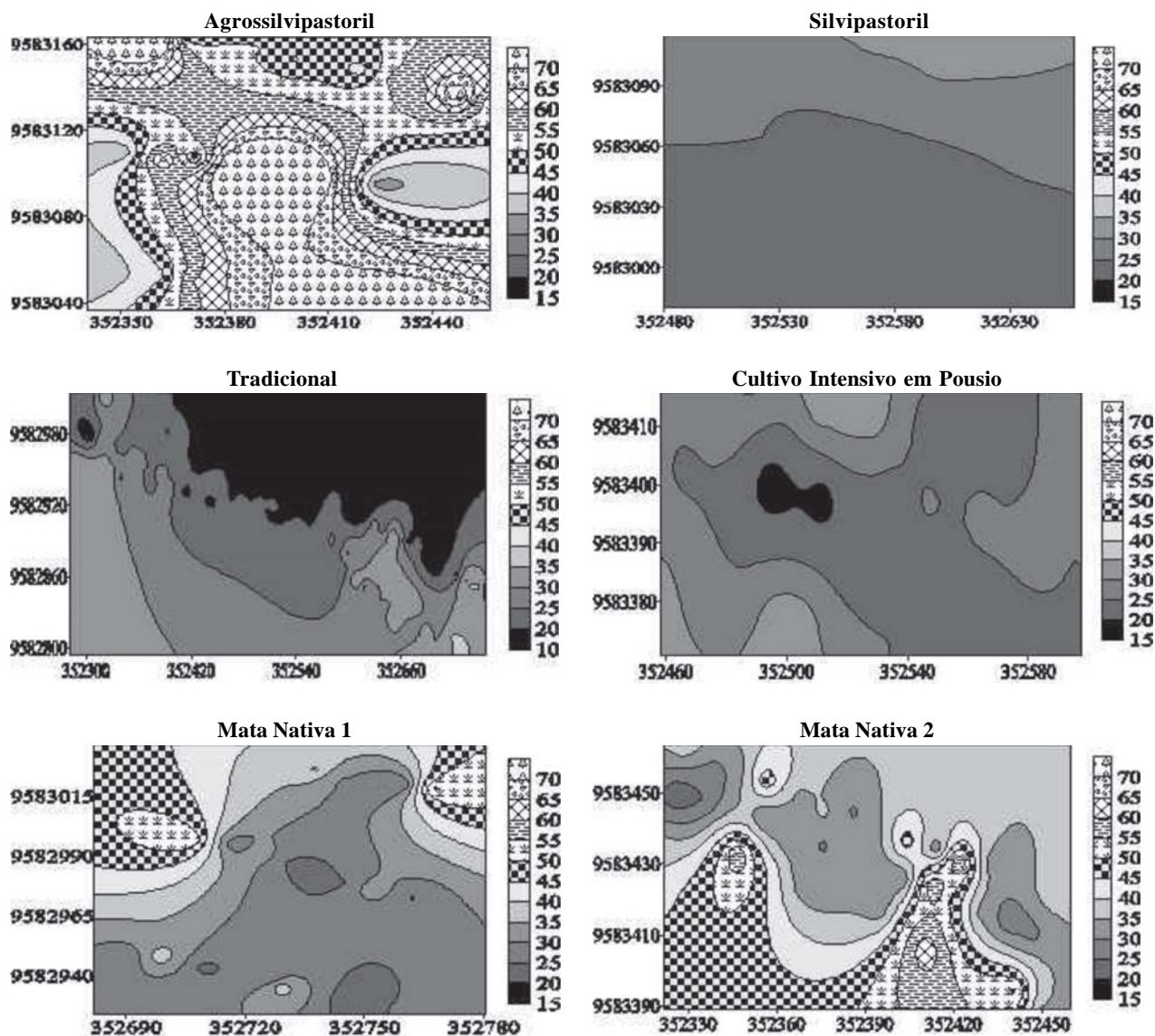
resultados apontam que o fósforo está sendo mantido ao longo da área sem muita restrição em relação à variação de altitude o que pode ser justificado pela adoção de práticas conservacionistas que tendem a favorecer uma condição mais próxima da área natural.

O sistema SILV apresentou um aspecto bem homogêneo. Os teores de fósforo na região sul variam de 21 a 25 mg dm<sup>-3</sup> e na parte norte foram encontrados teores de 26 a 35 mg dm<sup>-3</sup>. Observando o mapa de altitude desta área verificou-se que a concentração de fósforo não apresentou relação com a topografia, porém mesmo tendo apresentado um aspecto uniforme, as maiores concentrações deste nutriente foram observadas nas regiões mais altas e as menores nas mais baixas. Assim é possível inferir que este sistema pode não estar favorecendo

o transporte de nutrientes para as regiões de maior declividade.

Os teores de fósforo disponível no sistema SILV foram em média 24 mg dm<sup>-3</sup>, sendo observados valores mínimos e máximos de 20 e 30 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Por outro lado, a área de MN-1 apresentou teores médios superiores à área SILV, sendo seus valores médios de 29 mg dm<sup>-3</sup> e teores mínimos de 20 e máximos de 40 mg dm<sup>-3</sup>, aproximadamente.

A uniformidade desta área pode ser justificada em função da menor diversidade dos resíduos vegetais incorporados ao solo, os microorganismos são reduzidos, proporcionando uma redução na decomposição da matéria orgânica que é fundamental para a manutenção da disponibilidade deste elemento no solo.



**Figura 3.** Variabilidade espacial de fósforo nos sistemas agrícolas convencionais e agroflorestais na Fazenda Crioula, no município de Sobral-CE. Os eixos x são caracterizados pelos valores de latitude e o y pelos de longitude

O sistema TR apresentou uma variabilidade espacial um pouco maior que a área de CIP. As menores concentrações de fósforo ( $10$  a  $20 \text{ mg dm}^{-3}$ ), na área TR, foram observadas na porção nordeste. Nas demais foram encontradas variações de  $21$  a  $35 \text{ mg dm}^{-3}$ . Considerando o mapa de altitude, verificou-se uma tendência da porção mais elevada, localizada na região sudeste, ter menores teores de fósforo. Estes aumentam à medida que se aproximam da região central, que é uma zona de menor altitude e que por isso pode acumular consideráveis quantidades de nutrientes no solo. Comportamento semelhante foi observado no CIP onde predominou uma considerada mancha com teores de  $15$  a  $30 \text{ mg dm}^{-3}$ . Em virtude da porção mais alta localizar-se na parte central da área, observou-se uma tendência dos teores de fósforo serem incrementados nas direções leste e oeste.

Estes resultados apontam que nos sistemas convencionais (CIP e TR), o fósforo tende a ser redistribuído para as zonas de menor declividade o que pode ser justificado pela adoção de práticas inadequadas de manejo que configuram em uma intensa exposição da superfície do solo a ação dos agentes erosivos.

## CONCLUSÃO

Os sistemas agroflorestais proporcionaram uma menor redistribuição de carbono orgânico e fósforo no solo, confirmando a hipótese de que os sistemas de manejo com aporte e manutenção da matéria orgânica favorecem uma redução dos efeitos promovidos pelo processo erosivo.

**REFERÊNCIAS**

- Azevedo EC (2004) Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado do Mato Grosso. Tese de Doutorado. Campinas, Universidade Estadual de Campinas. 64 p.
- Bertol I, Guadagnin JC, Cassol PC, Amaral AJ & Barbosa FT (2004) Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 28: 485-494.
- Brito MMP (1998) O fósforo nos solos de Rondônia: variabilidade espacial e temporal na conversão de floresta em pastagens. Tese de Doutorado. São Paulo, Universidade de São Paulo. 115 p.
- Cerri CEP (2003) Variabilidade espacial e temporal de carbono do solo na conversão de floresta em pastagens na Amazônia Ocidental (Rondônia). Tese de Doutorado. São Paulo, Universidade de São Paulo. 142 p.
- Dias NS (2004) Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido. Tese de Doutorado. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 110p.
- EMBRAPA (1997) Manual de Métodos de Análise de Solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa - CNPS. 212p.
- Farias PRS, Nociti LAS, Barbosa JC & Perecin D (2003) Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando a geoestatística. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25: 235-241.
- Gonçalves ACA, Folegatti MV & Mata JDV (2001) Análise exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. *Acta Scientiarum*, 23: 1149-1157.
- Miranda NO (2004) Variabilidade espacial de componentes de produção na cultura de meloeiro fertirrigado. Tese de Doutorado. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará. 75p.
- Peneireiro FM (1999) Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural; um estudo ao acaso. Dissertação. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 100p.
- Queiroz JE, Cruciani DE & Libardi PL (1999) Variabilidade espacial da porosidade drenável de um solo de várzea, no município de Piracicaba, estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, 3: 135-139.
- Queiroz JE, Gonçalves AC, Souto JS & Folegatti MV (1997) Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In: Gheyi HR, Queiroz JE & Medeiros JF (Eds) Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande, UFPB/SBEA. p.69-111.
- Silva PCM & Chaves LHG (2001) Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, 5: 431-436.
- Silveira PM, Zimmermann FJP, Silva SC & Cunha AA (2000) Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35: 2057-2064.
- Souza ZM, Júnior JM, Pereira GT & Moreira LF (2004) Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, 34: 1763-1771.
- Yeomans JC & Bremner JM (1988) A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Science and Plant Analysis*, 19: 1467-1476.