

Estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo para revegetação de floresta ripária do rio São Francisco

| **Teresinha Costa de Albuquerque**

Embrapa Roraima

| **Ivan André Alvarez**

Embrapa Territorial

| **Célia Regina Grego**

Embrapa Informática Agropecuária

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo demonstrar que a análise geoestatística pode ser utilizada com sucesso na proposição do aporte de nutrientes no processo de revegetação de florestas ripárias degradadas, identificando os desequilíbrios através dos mapas de isolinhas. As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, em três transectos, o primeiro localizado de 0 a 10 metros de distância do rio, o segundo, de 40 a 50 metros, e o terceiro de 90 a 100 metros. As amostras de solo foram processadas e analisadas para determinação dos atributos físicos e químicos do solo. Os dados das análises químicas foram submetidos à análise geoestatística e os mapas de isolinhas foram construídos com os valores interpolados, baseados nas tabelas de interpretação utilizadas na Embrapa Semiárido, para os solos do bioma caatinga. Depois de detectada a dependência espacial por meio do ajuste dos semivariogramas foi possível interpolar dados para os locais não amostrados utilizando a krigagem ordinária e com os dados interpolados foram construídos mapas de isolinhas. A área de solo que apresenta C.E. e saturação de Na elevados é proporcionalmente pequena em relação a área total a ser revegetada, sendo recomendável o uso de *Atriplex nummularia* Lindl. para extrair o excesso de sódio do solo. As quantidades de calcário a serem utilizadas ficaram definidas entre 0 e 1,8 t por hectare. Deve-se utilizar cerca de 10 L de composto orgânico em cada cova de plantio e uso de adubação verde, que em conjunto com a aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N em cobertura, vai favorecer o crescimento inicial das mudas. O P deverá ser aplicado em uma fosfatagem da área total, com 5 a 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅, conforme o mapa para P. A recomendação de potássio para cada área será realizada conforme o mapa para K, ficando entre 50 kg ha⁻¹ e 75 kg ha⁻¹ de K₂O. Conclui-se que a proposição do aporte de nutrientes realizada segundo a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo - é uma prática viável a ser utilizada em processos de revegetação de florestas ripárias degradadas, permitindo que haja uma melhor visualização da área, com a identificação dos desequilíbrios existentes, através dos mapas para cada nutriente e para matéria orgânica e sódio.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Mata Ciliar, Fertilização do Solo, Nutrientes no Solo.

■ INTRODUÇÃO

As matas ciliares são formações vegetais do tipo florestal que se encontram associadas aos corpos d'água, ao longo dos quais podem estender-se por dezenas de metros a partir das margens e apresentar marcantes variações na composição florística e composição comunitária (ALVARENGA, 2004). Esse tipo de vegetação recebe as mais diversas denominações: floresta ripária, mata ciliar, de galeria, de várzea, ribeirinha, independentes do bioma onde ocorrem (SPERA, 1995). De acordo com Berg (1995), o termo floresta ripária seria o mais adequado, pois pode ser aplicado às florestas associadas a cursos d'água dentro de quaisquer formações vegetais brasileiras.

As florestas ripárias possuem a vocação de servirem como corredores naturais de ligação entre fragmentos e reservas florestais; exercem papel fundamental na conservação da biodiversidade e do patrimônio genético da flora e da fauna, servem como local de refúgio e fonte de alimentação para a fauna silvestre e aquática; reduzindo a perda de solo, protege os cursos d'água do transporte de defensivos, corretivos e fertilizantes, contribuindo na manutenção da qualidade da água. São consideradas áreas de preservação permanente (APP) e são áreas protegidas pelo Código Florestal (BRASIL, 1965).

A paisagem das margens dos rios, em vários estados do Brasil, tem sido afetada por vários fatores, tais como a construção de barragens e a retirada da vegetação natural para prática da agricultura e utilização de lenha e de carvão. Quando ocorre a remoção ou alteração da vegetação ripária, todos os processos hidrológicos dentro da bacia hidrográfica se aceleram, como a ocorrência de erosão marginal e deposição do material erodido no leito dos cursos de água ou assoreamento (PRIMACK; RODRIGUES, 2001; MELO *et al.*, 2004; SABARÁ; BARBOSA, 2007).

Para a manutenção da saúde ambiental de uma microbacia hidrográfica submetida à produção agrícola, as zonas ripárias, áreas com saturação hídrica temporária ou permanente encontradas tanto ao longo das margens da rede de drenagem, quanto em pontos mais elevados da encosta, exercem importante função do ponto de vista hidrológico, ecológico e geomorfológico (NAIMAN; DÉCAMPS, 1997; ZAKIA *et al.* 2006).

Um dos conceitos de restauração mais aceitos atualmente é o aplicado pela Society for Ecological Restoration (SER, 2004): “a ciência, prática e arte de assistir e manejar a recuperação da integridade ecológica dos ecossistemas, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e de variabilidade na estrutura e funcionamento dos processos ecológicos, considerando-se seus valores ecológicos, econômicos e sociais”.

Na maioria das vezes, os ambientes que requerem restauração têm sido degradados, danificados, transformados ou inteiramente destruídos como resultado direto e indireto de atividades humanas (CURY; CARVALHO Jr., 2011). Para a execução com êxito de um plano

de restauração, Castro *et al.* (2012) comentam que é necessário analisar previamente os seguintes aspectos: vegetação local - avaliando a composição da vegetação dos fragmentos florestais remanescentes; condições do solo - definindo o tipo de solo e grau de degradação, observando a abrangência da cobertura vegetal, quantidade e qualidade da matéria orgânica e de nutrientes definidas pela análise química do solo; fatores de degradação - identificando quais os tipos de degradação que a área vem sofrendo e interrompê-los (presença de gado - instalação de cerca; uso de fogo - construção de aceiros; cultivos agrícolas convencionais - suspensão da atividade ou transição para agricultura ecológica; mineração e roçadas); grau de degradação - avaliando o estado de degradação e a capacidade da área em se regenerar naturalmente e, neste caso, busca-se a aplicação de técnicas específicas para acelerar e conduzir este processo.

Solos degradados, em geral, apresentam-se empobrecidos em sua capacidade de sustentar plantas saudáveis e produtivas, geralmente, devido à erosão que carrega as camadas superficiais, ricas em nutrientes e matéria orgânica, permanecendo descoberto e acelerando a degradação (BARNI *et al.* 2003). Para tanto é necessário definir as técnicas de revegetação em função de avaliação detalhada das condições edafoclimáticas locais, permitindo, desta forma, a seleção das espécies, os métodos de preparo de solo, a calagem, a adubação, as técnicas de plantio, a manutenção, o manejo e a aplicação de conhecimentos específicos para a utilização dos “modelos” mais adequados ao repovoamento florestal (BARBOSA, 2000).

Na região denominada Vale Submédio do rio São Francisco, a agricultura irrigada e em especial a fruticultura tem apresentado grande crescimento desde os anos 80, intensificando o desmatamento da mata ciliar desta região (ALVAREZ *et al.*, 2012). E dessa maneira, muitas áreas sem aptidão ou de aptidão restrita para o uso agrícola são cultivadas, resultando em grande potencial de degradação pelo efeito da erosão atingindo inclusive a vegetação ciliar (CUNHA *et al.*, 2010). Outro aspecto relevante é o impacto ambiental causado pela distribuição excessiva de fertilizantes na agricultura irrigada, em virtude de problemas de lixiviação dos nutrientes, que atingem o lençol freático, e de carreação pelas chuvas, poluindo não só a mata ripária, como também o rio São Francisco e seus afluentes. Redivo *et al.* (2003) consideram que o desrespeito à legislação ambiental, por parte das unidades agrícolas, intensificou os processos de perda de solo por erosão e, em sequência, acentuou o assoreamento, tanto do Rio São Francisco quanto de seus afluentes.

Alvarez *et al.* (2011), durante a realização do diagnóstico de áreas degradadas e propondo um plano-piloto de recuperação do rio São Francisco, na região fisiográfica do submédio, comenta que estudos com a finalidade de elaborar modelos de restauração da vegetação devem ser realizados, apoiados e validados, visto que pouco se sabe a respeito da dinâmica e do funcionamento das comunidades florestais e de outras espécies (animais,

vegetais, microorganismos) presentes nestas áreas. Vários desafios precisam ser enfrentados em recuperação de áreas degradadas e um dos mais importantes é a adoção de técnicas de revegetação eficientes e adequadas às peculiaridades do local a ser recuperado.

Cunha *et al.* (2010), em trabalho realizado em três localidades das margens do rio São Francisco, observam que nos locais onde a matriz florestal foi amplamente alterada pela agricultura ou outras atividades antrópicas, a regeneração natural encontra-se muito baixa ou nula, havendo necessidade de implantação de mudas de espécies nativas de diferentes grupos ecológicos e de manutenção periódica do plantio para controle de espécies competidoras agressivas.

A análise geoestatística, cujos princípios foram enunciados por Matheron (1963) e o método descrito por vários autores que estudaram as propriedades dos solos (GOOVAERTS, 1997; GREGO *et al.*, 2011), é uma ferramenta adequada e fundamental para a análise de propriedades que variem de um local para outro com algum grau de organização ou continuidade, tendo como resultado a descrição da variabilidade espacial, a partir de correlogramas e semivariogramas, que definem o grau de dependência no espaço da grandeza medida e o alcance de cada amostragem, podendo auxiliar na identificação de padrões espaciais de distribuição de nutrientes no solo. Dessa forma, o estudo das características químicas e físicas do solo permite inferir com maior segurança a necessidade do aporte de nutrientes, sendo necessário realizar uma amostragem experimental regionalizada, em que a coleta é feita de acordo com um plano espacial determinado.

A aplicação de insumos na agricultura vem sendo tradicionalmente manejada de acordo com amostragens médias, não considerando assim as necessidades específicas de cada área. Em geral os atributos químicos apresentam maior variabilidade que os atributos físicos, sendo este fato mais marcante em áreas cultivadas. Em decorrência disto o uso de amostragens aleatórias, empregando a média para caracterizar determinado atributo no solo, pode resultar em avaliações inexatas. Tendo-se por base a análise geoestatística é possível realizar a recomendação do aporte de nutrientes no solo com relativa precisão, visto que os mapas de variabilidade espacial dos atributos do solo fornecem informações importantes para o estabelecimento de práticas de manejo adequado do solo e dos cultivos, pois que o comportamento das plantas tende a acompanhar a distribuição espacial e a variação de nutrientes no solo (MILLER *et al.*, 1988). Quando se trata de área de floresta ripária alterada antropicamente, a utilização de mapas de variabilidade espacial dos nutrientes do solo para a recomendação de fertilização evita alterar ainda mais o ambiente, disponibilizando os nutrientes em conformidade com as quantidades requeridas apresentadas nos mapas de isolinhas.

Entre as técnicas utilizadas para a recuperação de solos degradados, também tem sido indicada a adubação verde, com a função de proteger e nutrir o solo, gerando melhores

condições de crescimento para outras plantas, acelerando a regeneração natural e diminuindo a perda de solo (CASTRO *et al.*, 2012). Em trabalho realizado por Bueno *et al.* (2007) foi significativa a contribuição do adubo verde nos tratos culturais, uma vez que as plantas de adubo verde foram essenciais na contenção de lianas, impedindo seu contato com as árvores plantadas; no controle de formigas cortadeiras; e no controle do crescimento de gramíneas, facilitando o coroamento das plantas.

Embora exista pouca comprovação científica sobre o real benefício do aporte de fertilizantes para o plantio de espécies nativas na revegetação de florestas ripárias, torna-se importante a aplicação de fertilizantes minerais e, principalmente, orgânicos na cova de plantio e durante o período de desenvolvimento das plantas, quando os solos são muito arenosos e disponibilizam baixos teores de nutrientes para as plantas. A aplicação de fertilizantes orgânicos quer na forma de esterco, quer na forma de compostos orgânicos, visa condicionar o solo pela elevação do teor de matéria orgânica e elevação da capacidade de troca de cátions.

Este trabalho tem por objetivo demonstrar que a análise geoestatística pode ser utilizada com sucesso na proposição do aporte de nutrientes no processo de revegetação de florestas ripárias degradadas, identificando os desequilíbrios através dos mapas de isolinhas.

■ MATERIAL E MÉTODOS

Em trabalho realizado por Alvarez *et al.* (2011) ficou documentada a metodologia utilizada para a seleção da propriedade com característica empresarial - Fazenda Verde e Rosa, que apresenta uma baixa relação entre a área preservada e a área total da propriedade ($AP/AT = 0,0545$) e extensão de margem conservada (80 m) muito inferior à extensão da margem total (380 m). Na ocasião em que foi realizada a pesquisa, observou-se grande interesse do proprietário em recuperar a mata ribeirinha, aumentando a área e também disponibilizando pessoas para desenvolver atividades de irrigação, plantio, acompanhamento do desenvolvimento de mudas e instalação de cercas na área destinada à preservação, a fim de evitar que animais comprometam o desenvolvimento das mudas das espécies florestais.

O solo da área estudada foi classificado como Neossolo Flúvico com horizonte A degradado, apresentando uma cobertura vegetal fragmentada com ingazeiras (*Inga vera affinis*) e algarobeiras (*Prosopis juliflora*) e como extrato herbáceo o capim barba de bode (*Cyperus* sp.).

Figura 1. Mapa digital da área avaliada da margem do Rio São Francisco na Fazenda Verde e Rosa, com os três transectos demarcados.



Fonte: Google Earth, 2013.

A coleta de solo foi realizada no mês de setembro de 2009, na Fazenda Verde e Rosa, estabelecida na margem do rio São Francisco. As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, em três transectos, o primeiro localizado de 0 a 10 metros de distância do rio, o segundo, de 40 a 50 metros, e o terceiro de 90 a 100 metros. O caminhamento foi realizado na área em zigue-zague retirando-se as amostras em 10 pontos em cada transecto.

As amostras de solo foram processadas e analisadas no Laboratório de Solos e de Plantas da Embrapa Semiárido, segundo metodologia descrita em Embrapa (2009), no período de outubro de 2009 a janeiro de 2010. Tendo sido realizadas as análises: física (textura - teor de argila, silte e areia) e química (condutividade elétrica - C.E. dS m^{-1} ; pH, matéria orgânica - M.O. em g kg^{-1} ; fósforo - P em mg dm^{-3} ; e potássio - K, cálcio - Ca, magnésio - Mg, sódio - Na, alumínio - Al e hidrogênio + alumínio - H + Al em cmolc dm^{-3}). Com os valores obtidos nas análises do solo foram calculadas a relação silte:argila, carbono orgânico, soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (C.T.C.e), saturação por bases (V %), saturação por sódio (Sat Na) e necessidade de calagem (N.C.).

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e geoestatística segundo Vieira *et al.* (2002). Para tanto, foram calculadas as semivariâncias de acordo com a distância para cada conjunto de dados, atendendo a hipótese básica da geoestatística de que dados vizinhos são mais parecidos do que dados distantes. Seguindo esta hipótese foram construídos e ajustados os semivariogramas, que são medidores do grau de semelhança entre vizinhos.

Após o ajuste dos semivariogramas foram interpolados dados nos locais não amostrados por krigagem ordinária, que garante interpolação sem tendência e com variância mínima. Com os valores interpolados foram construídos mapas de isolinhas, tendo-se por base as tabelas de interpretação utilizadas para fruteiras irrigadas na Embrapa Semiárido, que tanto para P e K, como para M.O., foram definidas em cinco faixas, visando uma melhor identificação da necessidade do aporte de nutrientes. Utilizou-se o programa GEOESTAT (VIEIRA *et al.*, 2002) tanto para os cálculos da análise estatística descritiva, como de geoestatística e o programa Surfer (GOLDEN SOFTWARE, 1999) para gerar os mapas de isolinhas.

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise descritiva dos atributos do solo nos três transectos estudados estão apresentados na Tabela 1. Os dados de matéria orgânica (M.O.), condutividade elétrica (C.E.), fósforo (P), sódio (Na) e necessidade de calagem (N.C.) apresentam coeficientes de variação muito elevados - acima de 82 %, e valores de assimetria e curtose mais distantes de zero do que as demais, indicando a não normalidade da distribuição de frequência.

Tabela 1. Estatística descritiva com os valores de médias, variâncias, desvios padrão, coeficientes de variação, mínimos, máximos, índices de assimetria e de curtose para os atributos do solo

Nome	Nº pontos	Média	Variância	Desvio padrão	C.V. (%)	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
M.O.	30	10,11	68,86	8,30	82,05	3,31	39,72	2,253	5,129
pH	30	6,09	0,49	0,70	11,51	4,60	7,50	-0,028	-0,222
C.E.	30	2,42	15,74	3,97	163,83	0,16	16,01	2,462	5,635
P	30	17,48	343,73	18,54	106,07	2,40	78,71	2,113	4,481
K	30	0,26	0,02	0,15	58,31	0,07	0,62	1,022	0,387
Ca	30	2,70	1,73	1,32	48,72	1,00	6,00	0,877	0,209
Mg	30	0,59	0,07	0,27	46,03	0,18	1,10	0,380	-1,076
Na	30	0,97	2,83	1,68	173,00	0,02	5,60	1,913	2,205
Sat. Na	30	12,02	335,50	18,32	152,37	0,59	61,43	1,883	2,329
CTCe	30	6,28	6,30	2,51	39,95	2,76	12,24	0,700	-0,286
H+Al	30	1,77	0,61	0,78	44,26	0,66	3,96	0,854	0,540
SB	30	4,52	5,49	2,34	51,91	1,61	10,59	0,890	0,132
N.C. (kg/ha)	30	0,78	0,45	0,67	85,76	0,23	3,16	2,237	5,073

No entanto, o estudo geoestatístico de um conjunto de dados não exige que esses tenham distribuição normal (CORÁ; BERALDO, 2006). Uma das razões pode ser devido à discrepância entre valores mínimos e máximos.

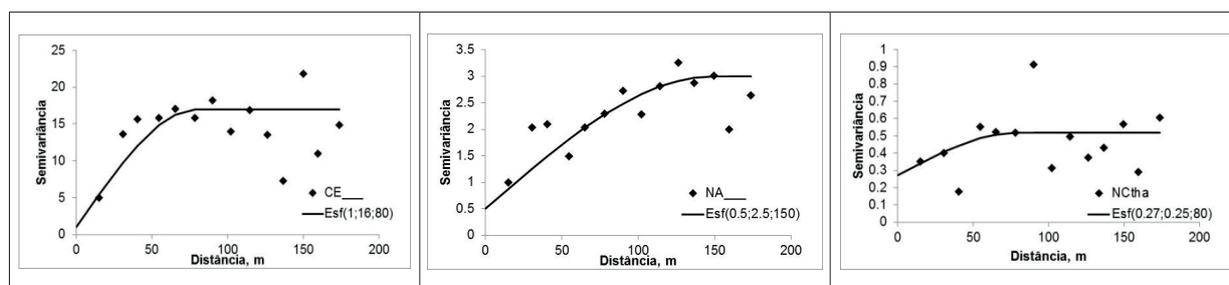
A mata ripária do submédio do rio São Francisco apresenta espécies caducifólias que, em geral, perdem as folhas na estação seca, resultado do estresse hídrico durante longo período do ano, distinguindo-a da vegetação ciliar de outras regiões tropicais (ALVAREZ *et al.*, 2010).

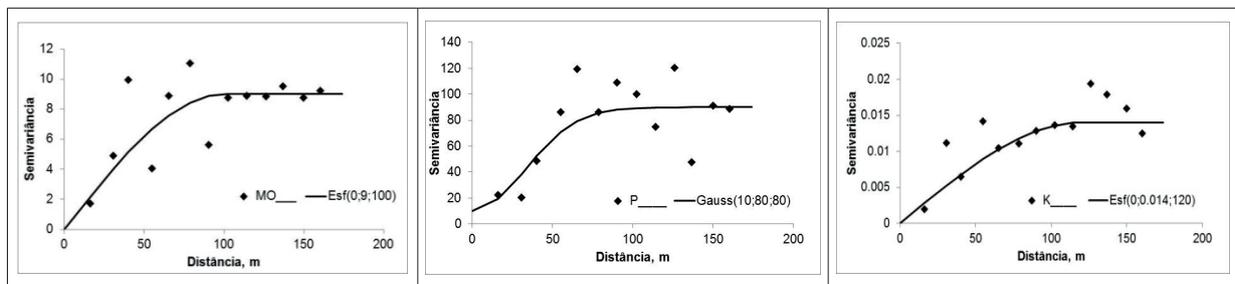
Barbosa (2000) comenta que na utilização de “modelos” mais adequados ao repovoamento florestal, é necessário definir as técnicas de revegetação em função de avaliação detalhada das condições edafoclimáticas locais, permitindo, desta forma, a seleção das espécies, os métodos de preparo de solo, a calagem, a adubação, as técnicas de plantio, a manutenção, o manejo e a aplicação de conhecimentos específicos. E para a execução com êxito de um plano de restauração é necessário relacionar os fragmentos florestais remanescentes e as condições do solo (CASTRO *et al.*, 2012). Neste estudo foi definido o tipo de solo e o grau de degradação, observando a abrangência da cobertura vegetal, quantidade e qualidade da matéria orgânica e de nutrientes mostrados pela análise química do solo; fatores de degradação para a aplicação de técnicas específicas para acelerar e conduzir este processo.

Para a análise geoestatística foram ajustados os semivariogramas para os dados de solo que apresentaram dependência espacial conforme Figura 2. Os ajustes dos semivariogramas foram em maioria esféricos, para a condutividade elétrica (CE), sódio (Na), necessidade de calagem (NC), matéria orgânica (MO) e potássio. Apenas o semivariograma para o fósforo foi ajustado pelo modelo gaussiano.

A alta C.E., com valores maiores que 2 dS cm^{-1} , pode ter sido ocasionada pelo escorrimo dos sais utilizados em adubações realizadas no pomar de mangueiras, localizado próximo da área em estudo, conforme visualiza-se na Figura 1.

Figura 2. Semivariogramas ajustados para condutividade elétrica (CE), sódio (Na), necessidade de calagem (NC), matéria orgânica (MO) e potássio e fósforo com seus respectivos parâmetros de ajuste efeito pepita (Co), variância estrutural (C1) e alcance (a).



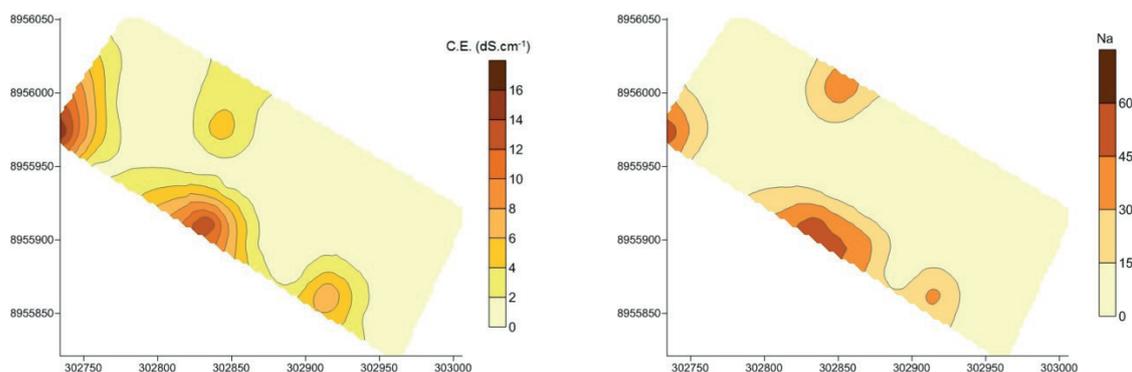


A dependência espacial encontrada indica que para a área estudada a fertilidade do solo não ocorre ao acaso, mas sim que existe uma estrutura de dependência no espaço, ou seja que pontos de locais mais próximos apresentam fertilidade do solo semelhantes comparativamente aos mais distantes.

Recuperação de área salina

Depois de detectada a dependência espacial por meio do ajuste dos semivariogramas foi possível interpolar dados para os locais não amostrados utilizando a krigagem ordinária e com os dados interpolados foram construídos mapas de isolinhas. Conforme podemos observar nos mapas das Figuras 3 e 4, a área de solo que apresenta C.E. e saturação de Na elevados é proporcionalmente pequena em relação a área total a ser revegetada. Esta salinização pode ter sido causada pelo manejo inadequado das áreas de agricultura irrigada, que estão localizadas bem próximas, em áreas paralelas ao curso do rio e distanciadas deste em cerca de 100 a 600 m.

Figura 3. Mapa de isolinhas para condutividade elétrica. **Figura 4.** Mapa de isolinhas para saturação de sódio.



O modo de recuperação dos solos com problemas de salinidade e com teor de Na elevado é realizado segundo os índices de condutividade elétrica e percentagem de saturação de sódio (Tabela 2), conforme preconizado por Richards (1969), obedecendo as linhas de salinidade estabelecidas no mapa. As áreas onde a C.E. apresenta-se maior que 4 dS m⁻¹ e saturação de Na maior que 15%, estão com excesso de sódio e o solo é definido como salino sódico.

Tabela 2. Classificação dos solos conforme a condutividade elétrica e a saturação de sódio e o tipo de recuperação recomendada.

Solos	C.E. (dS m⁻¹)	pH em água	% Na trocável	Recuperação
Normal	< 4,0	—	< 15	—
Salino	≥ 4,0	< 8,5	< 15	Lavagem dos sais
Sódico	até 4,0	8,5 a 10,0	> 15	Gesso e lavagem
Salino-sódico	≥ 4,0	—	> 15	Gesso e lavagem

Fonte: RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: USDA, 1969. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

A recomendação para solos com problema de excesso de sais, que apresentam condutividade igual ou maior que 4,0 dS m⁻¹, de acordo com Richards (1969), é a lavagem dos sais ou em situação de pH elevado e saturação por sódio acima de 15, é recomendável a aplicação de gesso e posterior lavagem dos sais, conforme consta na Tabela 2. No entanto, é um processo bastante oneroso, visto a necessidade de um sistema de drenagem eficiente na área e haver a disponibilidade de grande volume de água.

Na área em estudo pode-se recomendar o uso de plantas halófitas, que além de extraírem grande quantidade de sódio dos solos, servem também de alimento para os animais. Segundo os autores Azevedo *et al.* (2005) e Leal *et al.* (2008), entre as plantas halófitas testadas no semiárido, a *Atriplex nummularia* Lindl. comporta-se como planta hiperacumuladora de sódio e conform e Souza *et al.* (2011) esta planta acumula mais sódio nas folhas do que nos caules e nas raízes, tendo grande potencial de uso na fitoextração deste elemento no solo, podendo ser recomendada na recuperação de solos salino-sódicos. Na Tabela 3, encontra-se a resposta das plantas cultivadas dentro das faixas de interpretação da condutividade elétrica (TOMÉ Jr., 1997).

Tabela 3. Plantas adaptadas as diferentes faixas de condutividade elétrica e respectivas interpretações dos teores nos solos.

C.E. (dS.m⁻¹)	Interpretação	Resposta das plantas
< 2,0	Muito baixa	Condição normal para as plantas
2,0 – 4,0	Baixa	Culturas muito sensíveis podem ser afetadas
4,0 – 8,0	Média	Culturas sensíveis são afetadas
8,0 – 16,0	Alta	Somente culturas tolerantes crescem satisfatoriamente
> 16,0	Muito alta	Somente culturas halófitas se desenvolvem

Fonte: Tomé Jr., J. B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba: Agropecuária, 1997. p. 159.

Recomendação de calagem e adubação orgânica

Em solos arenosos e que apresentam pouco poder de tamponamento, pode ocorrer dos resultados de análise apresentar valores muito baixos de cálcio e magnésio, bem como baixa CTC e baixo teor de alumínio, mas apresentarem saturação de bases elevada. Por isso, a dose indicada pelo método de saturação por bases será baixa, não fornecendo cálcio e magnésio em quantidades adequadas para as plantas. Nesse caso, segundo Tomé Jr.

(1997) pode-se indicar a quantidade de corretivo com base nos teores de alumínio trocável e matéria orgânica do solo, utilizando-se a seguinte equação:

$$N. C. (t \text{ ha}^{-1}) = - 0,516 + (0,805 \times M.O.) + (2,435 \times Al), \text{ para atingir um pH} = 6,0.$$

Por essa fórmula obtivemos o mapa de isolinhas para a necessidade de calagem, apresentado na Figura 4, sendo as quantidades de calcário definidas entre 0 e 1,8 t por hectare. Observa-se que as quantidades de calcário a serem aplicadas estão relacionadas com teores mais elevados de M.O. que exercerá uma ação quelante quando em contato com o Ca e o Mg fornecido pelo calcário.

Figura 4. Mapas de isolinhas para necessidade de calagem.

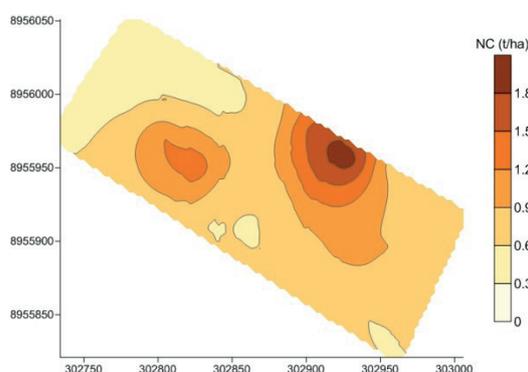
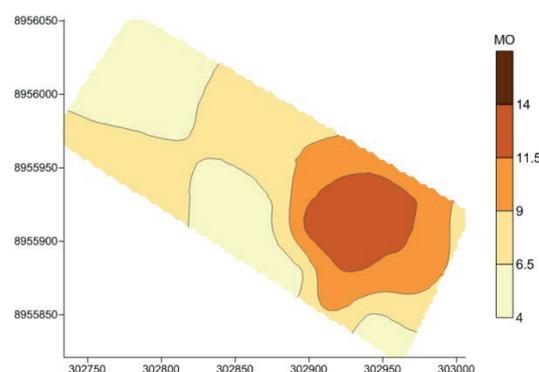


Figura 5. Mapas de isolinhas para teor de matéria orgânica.



Em solos tropicais, visando à elevação de M.O., tem sido indicada a adubação verde, que tem como funções - proteger o solo contra as variações de temperatura, impacto direto da gota da chuva e ação dos ventos, diminuindo a perda de solo; gerar melhores condições de crescimento para outras plantas, devido a liberação dos nutrientes, acelerando a regeneração natural (CASTRO *et al.*, 2012). Em trabalho realizado por Bueno *et al.* (2007) foi significativa a contribuição do adubo verde nos tratos culturais da mata ciliar, havendo a contenção de lianas, não permitindo que estas se desenvolvessem, enrolando-se nas árvores plantadas; atuando também no controle de formigas cortadeiras e no controle do crescimento de gramíneas, facilitando o coroamento das plantas. A eficiência dos adubos verdes é potencializada através da escolha de espécies vegetais adequadas para as condições edafoclimáticas da região, associada ao planejamento de seu uso (ESPINDOLA *et al.*, 2004).

Em solos com teores de M.O. inferiores a 15 g dm⁻³ é conveniente utilizar na cova de plantio uma quantidade mínima de 10 L de esterco bovino ou ovino em mistura com o solo e as doses de fertilizantes recomendadas para o plantio. O preparo das covas deve ser realizado no início da época das chuvas, pelo menos 30 dias antes do plantio, evitando desta forma a queima das raízes quando da colocação das mudas nas covas, visto que no processo de decomposição da matéria orgânica ainda fresca, ocorre a liberação de calor.

Recomendação de nitrogênio

Seguindo a orientação de fertilização nitrogenada proposta por Gomes (2008), recomenda-se a aplicação de 20 kg ha⁻¹ de nitrogênio, na forma de adubação de cobertura, 30 dias após o plantio, sendo que essa recomendação independe dos teores no solo. Além disso, pode-se recomendar o uso de adubo verde como forma de elevar os teores de nitrogênio no solo. Embora no vale submédio do rio São Francisco, o cultivo de plantas para adubo verde seja restringido pela baixa disponibilidade pluviométrica anual, mesmo assim é possível realizar o plantio consorciado de diversas espécies de adubos verdes, tais como: leguminosas: (*Crotalaria oroleuca*, *juncea* e *spectabilis*, *Pueraria phaseoloides*, *Canavalia ensiformis*, *Arachis pintoi*), gramíneas (*Pennisetum glaucum*, *Sorghum bicolor*) e outras espécies como girassol (*Helianthus annuus*) durante o período das chuvas.

Recomendação de fósforo e potássio

O aporte de fósforo será realizado conforme o mapa de isolinhas para P (Figura 6), seguindo as doses recomendadas na Tabela 4, definida pela média entre a recomendação de Gomes (2008) para essências florestais a serem cultivadas no estado de Pernambuco e a recomendação de Malavolta (2000) para o cultivo de *Pinus* sp. no estado de São Paulo, em solos com baixo teor de argila (< 150g kg⁻¹).

Figura 6. Mapas de isolinhas para os teores de P.

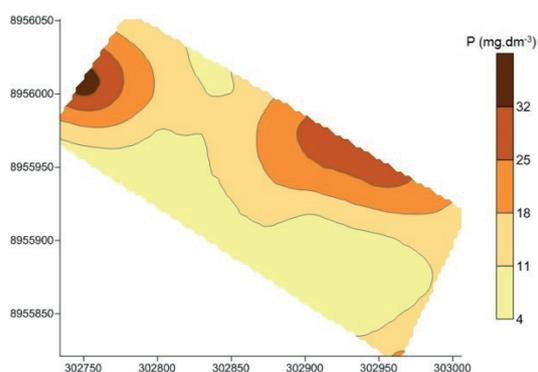
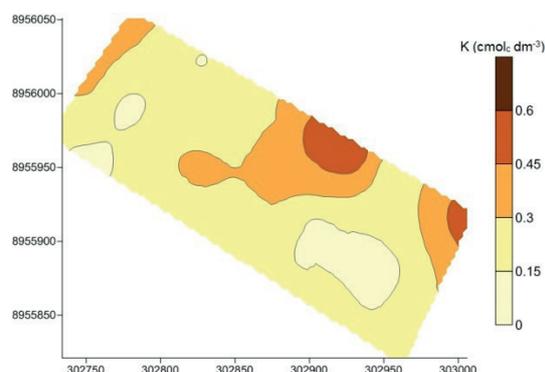


Figura 7. Mapas de isolinhas para teores de K.



Normalmente o P é aplicado nas covas de plantio, mas, no caso de revegetação, o ideal é realizar uma fosfatagem em área total, espalhando-se a quantidade recomendada do fertilizante na área a ser adubada, segundo o mapa de isolinhas.

Tabela 4. Faixas de interpretação de fósforo (P) nos solos conforme o teor e respectiva recomendação por área.

Teor de P no solo (mg dm ³)	Recomendação	
	P ₂ O ₅	Superfosfato simples
Baixo: ≤ 11	75 kg ha ⁻¹	375 kg ha ⁻¹
Médio: >11 - 18	40 kg ha ⁻¹	200 kg ha ⁻¹
Elevado: >18 - 25	5 kg ha ⁻¹	25 kg ha ⁻¹
Alto: > 25 - 32	-	não há necessidade de fertilização
Muito alto: > 32	-	não há necessidade de fertilização

A recomendação do superfosfato simples deve-se ao fato de que, no processo de fabricação deste fertilizante, os fosfatos naturais (apatitas e fosforitas) são tratados com ácido sulfúrico, resultando em um fertilizante composto por $3\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 7\text{CaSO}_4$, com 18% de P₂O₅ solúvel em água e 40 % de gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que contém 20% de cálcio e 10 a 12% de enxofre (TRANI *et al.*, 2008). Desta forma, o solo é enriquecido não só em fósforo, mas também em cálcio e enxofre.

Outra recomendação que se torna bem interessante sob o ponto de vista de uma liberação de fósforo mais lenta é o uso de Fosfatos Reativos Naturais, que apresentam uma concentração um pouco maior em P₂O₅ a um custo mais barato.

A recomendação de potássio para cada área será realizada conforme o mapa de isolinhas para K (Figura 7), seguindo as doses recomendadas na Tabela 3, definida pela média entre a recomendação de Gomes (2008) para essências florestais a serem cultivadas no estado de Pernambuco e a recomendação de Malavolta (2000) para o cultivo de Pinus sp. no estado de São Paulo, em solos com baixo teor de argila (< 150g kg⁻¹). O cloreto de potássio será utilizado como fonte do nutriente na adubação a ser realizada, sendo colocado um terço do valor recomendado na cova de plantio e o restante em cobertura, 60 dias após o plantio das mudas.

Tabela 5. Faixas de interpretação de potássio (K) nos solos conforme o teor e respectiva recomendação por área.

Teor de K no solo (cmol _c /dm ³)	Recomendação	
	K ₂ O	Cloreto de potássio
Baixo: ≤ 0,15	75 kg ha ⁻¹	125 kg ha ⁻¹
Médio: >0,15 - 0,30	50 kg ha ⁻¹	84 kg ha ⁻¹
Alto: >0,30 - 0,45	25 kg ha ⁻¹	42 kg ha ⁻¹
Muito alto: > 0,45	-	não há necessidade de fertilização

Em trabalho de repovoamento florestal de uma área perturbada em processo de recuperação na margem do reservatório da Usina Hidrelétrica de Camargos, MG, Ferreira (2006) utilizou uma fertilização generalizada de 250 g de superfosfato simples na cova de plantio e uma única adubação de cobertura, aos dois anos, com 150 g por planta de NPK na fórmula 10:30:10 em todas as plantas, não considerando a variabilidade dos teores dos nutrientes no solo cultivado.

Prática da fertilização

Para realizar a prática da fertilização nas covas de plantio, recomenda-se subdividir a área que será plantada, em módulos de 20 m x 20 m, ajustando-os nos mapas de isolinhas. Isso permitirá estabelecer, em áreas de dimensão reduzida como a da Fazenda Verde e Rosa, um equilibrado aporte de nutrientes, que estará de acordo com o resultado da análise do solo de cada módulo, de modo que não venha a causar maior degradação, colocando fertilizantes em excesso, o que ocasionaria a elevação da salinidade do solo. A geoestatística se apresenta como ferramenta capaz de predizer a distribuição espacial dos atributos químicos do solo e os mapas de isolinhas gerados permitem subsidiar o manejo da fertilidade, por meio do uso racional e localizado de fertilizantes. Marteli e Piroli (2015) também concluíram que as técnicas de geoprocessamento permitem a elaboração de mapas de características do solo com precisão, agilidade e baixo custo, oferecendo assim oportunidade de manejo diferenciado nas unidades de produção de pequenos proprietários rurais.

■ CONCLUSÕES

O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo é uma prática viável a ser utilizada em processos de revegetação de florestas ripárias degradadas, fornecendo uma melhor visualização da área, com a identificação dos desequilíbrios existentes, permitindo a recomendação de insumos através dos mapas para cada nutriente e para matéria orgânica e sódio.

Neste trabalho foi possível recomendar o uso de 0 a 1,8 t de calcário por hectare; cerca de 10 L de composto orgânico em cada cova de plantio; 20 kg ha⁻¹ de N em cobertura e plantio de adubação verde; fosfatagem com 5 a 75 kg de P₂O₅ por hectare; e 25 kg ha⁻¹ a 75 kg ha⁻¹ de K₂O em cobertura.

■ REFERÊNCIAS

ALVARENGA, A.P. Avaliação inicial da recuperação da mata ciliar em nascentes. 2004. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras. 2004.

ALVAREZ, I. A.; GREGO, C. R.; KIILL, L. H. P.; PEREIRA, L. A. Análise geoespacial da ocorrência de espécies vegetais em propriedades rurais no Submédio São Francisco. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2012. 24 p.: il. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Monitoramento por Satélite; 27).

ALVAREZ, I. A.; OLIVEIRA, A. R. de; PEREIRA, M. C. T. Degradação ambiental da bacia do São Francisco na região semiárida por ações antrópicas. In: Workshop sobre recuperação de áreas degradadas de mata ciliar no Semiárido, 1. Anais... Ed. técnicos: ALVAREZ, I. A. & OLIVEIRA, A. R. de. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. 98 p.: il. (Embrapa Semiárido. Documentos, 234).

ALVAREZ, I. A.; OLIVEIRA, A. R. de; PEREIRA, L. A. Seleção de propriedades referência para compor modelos de restauração ecológica: aplicação de pesquisa quali-quantitativa. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite; Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. 33 p. (Embrapa Semiárido. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 22; 86).

ANDRADE, L.A.; PEREIRA, I.M.; LEITE, U.T.; BARBOSA, M.R.V. Análise da cobertura de duas fitofisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, estado da Paraíba. *Cerne*, Lavras, v.11, p. 253-262. 2005.

AZEVEDO, C. M. S. B.; PEDROSA, G. P.; MEDEIROS, J. F.; NUNES, G. H. S. Uso de *Atriplex nummularia* na extração de sais de solos irrigados com efluentes salinos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, (Suplemento), p.300-304, 2005.

BARBOSA, L.M. Considerações gerais e modelos de recuperação de formações ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: USP/Fapesp, 2000. p. 249-269.

BARNI, N.A.; FREITAS, J.M.O.; ZANOTELLI, V.; SECHIN, J.; BUENO, A.C.; RIBEIRO, S.S.; MATZENAUER, R.; TOMAZZI, D.J.; ARGENTA, G.; TIMM, P.J.; DIDONÉ, I.A.; HILBRAND, G. Plantas recicladoras de nutrientes e de proteção do solo, para uso em sistemas equilibrados de produção agrícola. Porto Alegre: FEPAGRO, 2003 (Boletim Informativo, n.12). 91p.

BERG, E. van der. Estudo florístico e fitossociológico de uma floresta ripária em Itutinga, MG, e análise das correlações entre variáveis ambientais e a distribuição das espécies de porte arbóreo-arbustivo. 1995. 73 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código (com alterações introduzidas pela Lei n. 7.803, de 18 de julho de 1989 que altera a redação da Lei n. 4.771 de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis n.s 6.535, de 15 de junho de 1978 e 7.511, de 7 de julho de 1986). *Diário Oficial [da] União*, Brasília, DF 16 set. 1965.

BUENO; J. R.; SAKAI, R. H.; NEGRINI; A. C.; AMBROSANO; E. J.; ROSSI, F.; DIEHL, A.; HUEB, D. Desempenho de adubos verdes em áreas de mata ciliar. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v.2, n.2, p.905-908, 2007.

CASTRO, D.; MELLO, R.S.P.; POESTER, G.C. Práticas para restauração da mata ciliar. Porto Alegre: Catarse – Coletivo de Comunicação, 2012. 60p.

CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, v.26, p.374-387, 2006.

COSTA, V.L; MARIA, I.C; CAMARGO, O.A; GREGO, C.R; MELO, L.C.A. Distribuição espacial de fósforo em Latossolo tratado com lodo de esgoto e adubação mineral. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, v.18, n.3, p.287-293, 2014.

CUNHA, T. J.; GIONGO, V.; SÁ, I. B. ALVAREZ, I. A.; OLIVEIRA NETO, M. B. Estado Atual de Degradação das Terras nas Margens do Rio São Francisco nos Municípios de Petrolina, Lagoa Grande e Santa Maria da Boa Vista. In: Workshop sobre recuperação de áreas degradadas de mata ciliar no Semiárido. 1. Anais... Ed. técnicos: ALVAREZ, I. A. & OLIVEIRA, A. R. de. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. 98 p.: il. (Embrapa Semiárido. Documentos, 234).

CURY, R. T. S.; CARVALHO Jr., O. Manual para restauração florestal: florestas de transição. Belém: IPAM - Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2011. (Série boas práticas, v. 5).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2.ed. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2009. 627p.

ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J.G.M. Estratégias para utilização de leguminosas para adubação verde em unidades de produção agroecológica. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 24 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 174).

FERREIRA, W. C. Avaliação do crescimento do estrato arbóreo e da regeneração natural de área degradada revegetada a margem do Rio Grande na Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. In: _____. Estabelecimento de mata ciliar em áreas degradada e perturbada. 2006. Cap.2, p.22-89. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GOLDEN SOFTWARE INC. 1999. Surfer for windows. Surfer. Surfer 7.0. Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers. User's Guide. New York: Golden Software, Golden, CO, 1999. 619p.

GOMES, R.V. Essências florestais. In: CAVALCANTI, F.J.A. et al. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3 ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, p.149, 2008.

GOOGLE EARTH. Mapa digital da margem do Rio São Francisco na Fazenda Verde e Rosa. Disponível em: Digital Globe – Google Earth Point 9°26'26`` S e 40°47'44`` W. Acesso em: 08 Dez 2013.

GOOVAERTS, P. Geostatistics for natural resources evaluation. New York: Oxford University Press, 1997. 476p.

GREGO, C.R.; COELHO, R.M.; VIEIRA, S.R. Critérios morfológicos e taxonômicos de latossolo e nitossolo validados por propriedades físicas mensuráveis analisadas em parte pela geoestatística. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p.337-350, 2011.

LEAL, I. G.; ACCIOLY, A. M. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, M. B. G. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; FERREIRA, F. L. Fitorremediação de solo salino sódico por Atriplex nummularia e gesso de jazida. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, n.3, p. 1065-1072, 2008.

LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; LACHER JÚNIOR, T. E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. Megadiversidade, v.1, n.1, p.139-146, Julho 2005.

- MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J. C. Adubos e adubações. Edição revista e atualizada. São Paulo: Nobel, 2000. 200 p.
- MARTELI, A.N.; PIROLI, E.L. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento de solo na agricultura familiar. In: Congresso Nacional de Meio Ambiente, 12., 2015, Poços de Caldas, MG. Anais... Poços de Caldas, MG: 8p., 2015.
- MATHERON, G. Principles of geostatistics. *Economy Geology*, v.58, p.1246-1266, 1963.
- MELO, A. C. G; DURIGAN, G.; KAWABATA, M. Crescimento e sobrevivência de espécies arbóreas plantadas em área de Cerrado, Assis – SP. In: BÔAS, O. V.; DURIGAN, G. Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista: resultados da cooperação Brasil/Japão. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica, 2004. p. 315-324.
- MILLER, M.P.; SINGER, M.J.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. *Soil Science Society of America Journal*, v.52, n.4, p.1133-1141, 1988.
- NAIMAN, R.J.; DÉCAMPS, H. The ecology of interfaces: riparian zones. *Annual Review Ecological System.*, Palo Alto, v.28, 1997. p.621-658.
- PRIMACK, R.; RODRIGUES, E. *Biologia da conservação*. São Paulo: Editora da USP, 2001. 76 p.
- REDIVO, A. L.; FARINASSO, M.; RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Análise multitemporal do rio São Francisco, no trecho entre os municípios de São Romão e São Francisco no estado de Minas Gerais. *GEOUERJ*, Rio de Janeiro, v. 1, p. 1223-1238, 2003.
- RICHARDS, L.A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: USDA, 1969. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).
- SABARÁ, M. G.; BARBOSA, F. A. R. Taxas de sedimentação e assoreamento de dois lagos naturais em áreas de floresta tropical secundária e plantios de *Eucalyptus* spp. *Geográfica brasileira*, Ouro Preto, MG, v. 5, n. 5, p. 1-14, 2007.
- SER - SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL SCIENCE. Grupo de Trabalho sobre Ciência e Política. Princípios da SER Internacional sobre Restauração Ecológica. Tradução: Griffith, J.J. et al. Tucson, 15p. 2004.
- SPERA, S. T. Interrelações entre propriedades físico-hídricas do solo e a ocorrência de vegetações de mata e campo adjacentes no Alto Rio Grande, MG. 1995. 91 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- SOUZA, E.R.; FREIRE, M.B.G.S.; NASCIMENTO, C.W.A.; MONTENEGRO, A.A.A.; FREIRE, F.J.; MELO, H.F. Fitoextração de sais pela *Atriplex nummularia* Lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.5, p.477-483, 2011.
- TOMÉ JÚNIOR, J.B. *Manual para interpretação de análise de solo*. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

TRANI, P.E.; CAMARGO, M.S. do: TRANI, A.L.; PASSOS, F.A. Superfosfato simples com esterco animal: um bom fertilizante organomineral. 2008. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_2/organomineral/index.htm>. Acesso em: 2/1/2014.

VIEIRA, S.R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F. (Ed.). Tópicos em Ciência do Solo. v.1. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.3-87.

ZAKIA, M.J.B.; RIGHETTO, A.M.; LIMA, W.P. Delimitação da zona ripária em uma microbacia. In: LIAM, W.P.; ZAKIA, M.J.B. (Org.) As florestas plantadas e a água: implementando o conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Carlos: RIMA, 2006. p.89-106.

ZIMBACK, C.R.L. Análise especial de atributos químicos de solo para o mapeamento da fertilidade do solo. 2001, 114p. Tese de livre docência - Faculdade de Ciências Agrônomicas/ Unesp, Botucatu.