



DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE MICRONUTRIENTES EM ÁREAS DE LATOSSOLO IRRIGADO E SEQUEIRO MANEJADAS COM AGRICULTURA DE PRECISÃO

André Luis Vian¹; Antônio Luis Santi²; Maurício Roberto Cherubin³; Mateus Tonini Eitelwein³; Junior Melo Damian¹

¹Graduando do Curso de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria, *campus* de Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil
(andreufsm@yahoo.com.br).

²Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor do Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais da Universidade Federal de Santa Maria, *campus* de Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil.

³Engenheiro Agrônomo, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente da Universidade Federal de Santa Maria, *campus* de Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil.

Recebido em: 04/05/2012 – Aprovado em: 15/06/2012 – Publicado em: 30/06/2012

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi verificar a variabilidade espacial de micronutrientes em Latossolos cultivados em condição irrigada e de sequeiro. Quatro áreas manejadas com agricultura de precisão localizadas no norte do Rio Grande do Sul foram selecionadas para o estudo, sendo uma irrigada por pivô central no município de Seberi, e as demais, em condições de sequeiro, no município de Boa Vista das Missões. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com altos teores de argila, possuindo relevo suave ondulado e cultivo em sistema plantio direto. A coleta de amostras de solo foi realizada seguindo malhas quadradas de 100 metros na área irrigada, e em malhas quadradas de 173 metros nas áreas de sequeiro. Com base nos resultados concluiu-se que os micronutrientes apresentam distribuição de frequência não normal no solo, com altas dispersões dos dados. Os teores de micronutrientes encontrados nas áreas de Latossolos estudadas no norte do Rio Grande do Sul, sob condições de sequeiro e irrigado, mesmo acima dos limites críticos ao desenvolvimento das plantas, apresentam alta variabilidade espacial, influenciados especialmente pelos teores de argila, MO e pH do solo.

PALAVRAS-CHAVE: fertilidade do solo, geoestatística, variabilidade espacial.

SPATIAL DISTRIBUTION OF MICRONUTRIENT IN AREAS OF UPLAND AND IRRIGATED OXISOL MANAGED WITH PRECISION AGRICULTURE

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the spatial variability of micronutrients in Oxisols cultivated in irrigated and rainfed condition. Four areas managed with precision agriculture located north of Rio Grande do Sul were selected for study, being irrigated by a pivot in the city of Seberi, and the other, under rainfed conditions in the city of Boa Vista das Missões. The soil is classified as Oxisol with high clay content, having wavy soft relief and no-tillage cultivation. The collection of soil samples was performed following square mesh of 100 meters in the irrigated area,

and square mesh of 173 meters in rainfed areas. Based on these results it was concluded that the micronutrients frequency distribution have not normal on the ground with high dispersions of data. The micronutrients found in the areas of Oxisols studied in the northern Rio Grande do Sul, on the condition of irrigated and dry land just above the critical limits plant growth and development, have high spatial variability, mainly influenced by clay content, organic matter and pH soil.

KEYWORDS: soil fertility, geostatistics, spatial variability.

INTRODUÇÃO

Os micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn) são elementos essenciais para o crescimento e desenvolvimento de plantas, no entanto são exigidos em menor quantidade quando comparados aos macronutrientes (ABREU et al., 2007).

O material de origem é o principal responsável pela variabilidade espacial dos atributos químicos dos solos, desta forma, torna-se essencial a compreensão dos processos de formação e o tipo de material de origem ao se estudar a fração mineral de um solo. Segundo BISSANI et al. (2008), os solos da região noroeste do Rio Grande do Sul possuem elevadas concentrações de micronutrientes em virtude dos minerais presentes nas rochas basálticas que dão-lhe origem.

Os nutrientes no solo podem estar na forma disponível ou indisponível às plantas, de acordo com AMADO & SANTI (2010) a capacidade do solo de disponibilizar ou de reter os micronutrientes da decomposição do material de origem ou via adubações, está atrelada aos fatores físicos, químicos e biológicos do solo. Neste sentido, dentre os principais atributos que influenciam a disponibilidade de micronutrientes, destaca-se a textura, o pH, a umidade, os óxidos de Fe e Al e a MO (CAMARGO, 1988; BATAGLIA, 1988; LOPES, 1999; COELHO, 2005).

Segundo ABREU et al. (2007) os micronutrientes participam de diferentes funções no metabolismo das plantas, podendo ser disponibilizados de acordo com o manejo utilizado. Em solos com menor disponibilização, ou solos pobres, como no cerrado brasileiro, a utilização de adubação foliar ou via tratamento de sementes já são práticas comuns.

FAVARIN & MARINI (2003) tentando investigar a demanda de micronutrientes por 35 diferentes culturas em vários estados, encontraram deficiência de B em 24, de Zn em 23, de Mo e Cu em 7 e Mn em 6 culturas. Os resultados também indicaram uma frequência de resposta de adubação, de 36% para o Zn, 24% para o B, 14% para o Mo, 12% para o Cu e 8% para o Mn em culturas anuais como, soja, milho, arroz, não diferindo substancialmente nas culturas perenes, exceto o Mo cuja frequência de resposta foi de 21%.

No sistema de plantio direto, os micronutrientes apresentam alta variabilidade espacial, sendo muito influenciados por sistemas de irrigação (KLEPKER & ANGHINONI, 1995; COUTO, 1997) e pelo sistema de manejo, onde apresentam diferenças nos teores entre as camadas no perfil do solo (ELTZ et al., 1989; AMARAL & ANGHINONI, 2001). O sistema proporciona a manutenção de resíduos culturais sobre a superfície do solo, provocando alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas além de um acréscimo nas concentrações de MO (ELTZ et al., 1989).

Diante da importância dos micronutrientes para o crescimento e desenvolvimento de plantas, torna-se fundamental o conhecimento da sua distribuição espacial nas áreas cultivadas, podendo assim, fornecer subsídios para a

tomada de decisão de estratégias de manejo. Para elucidar tal variabilidade, utilizam-se técnicas da agricultura de precisão baseadas na amostragem de solo em malhas regulares georreferenciadas.

Como os micronutrientes são absorvidos em menor quantidade pelas plantas, a maior parte dos estudos de variabilidade espacial tem se voltado aos macronutrientes. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi verificar a distribuição espacial de micronutrientes em áreas de Latossolo irrigado e sequeiro manejadas com agricultura de precisão.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em quatro áreas de Latossolo Vermelho, sendo uma irrigada e três de sequeiro, localizadas na região Norte do Rio Grande do Sul. A área irrigada apresenta um sistema irrigação do tipo pivô central, e esta situada no município de Seberi – RS entre as coordenadas: latitude 26°26'43"S a 26°38'87"S, e longitude: 69°43'70"O e 69°44'94"O, com uma altitude média de 614 m, totalizando uma área cultivada de 100 ha.

Já as três áreas de sequeiro, estão localizadas no município de Boa Vista das Missões - RS, situadas entre as seguintes coordenadas: a) Sequeira 1: latitude: 26°90'27" S a 27°02'86" S e longitude: 69°30'88" O a 69°32'67" O, totalizando uma área cultivada de 117,17 ha; b) Sequeira 2: latitude: 26°80'40"S a 26°94'85"S e longitude: 69°30'85" O a 69°33'40" O, totalizando uma área cultivada de 217,58 ha; c) Sequeira 3: latitude: 26°78'55" S a 26°93'14" S, e longitude: 69°28'91" O a 69°30'96" O, totalizando uma área cultivada de 92,75 ha, as áreas possuem em média uma altitude de cerca de 580 m.

O clima da região segundo a classificação de Koeppen é do tipo Cfa – temperado chuvoso, com precipitação média anual elevada, oscilando entre 1.800 e 2.100 mm, distribuída regularmente ao longo do ano e subtropical do ponto de vista térmico. A temperatura média anual é em torno 18°C, com máximas no verão podendo atingir 41°C e mínimas no inverno atingindo valores inferiores a 0°C (MORENO, 1961).

As áreas apresentam solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com altos teores de argila, atingindo mais de 60% (EMBRAPA, 2006), com relevo suave ondulado. O manejo empregado nas áreas inclui a adoção do sistema plantio direto há mais de 10 anos, sendo consideradas pioneiras, na utilização de ferramentas de AP como amostragem georreferenciada, sistemas de taxa variada plena de corretivos e fertilizantes e monitoramento georreferenciado da produtividade.

A vetorização de cada área experimental foi obtida a partir da demarcação do perímetro da mesma, por meio de aparelho de GPS de navegação portátil, marca Garmin®, modelo Legend. Para proceder a amostragem georreferenciada de solo, utilizou-se uma malha amostral quadricular regular de 100 x 100 m, totalizando assim, 101 pontos amostrais na área irrigada e uma malha amostral quadricular regular de 173 x 173 m, totalizando assim, 39, 72 e 32 pontos amostrais nas áreas sequeiras 1, 2 e 3, respectivamente. A malha amostral foi gerada através do programa computacional CR - Campeiro 7 (GIOTTO & ROBAINA, 2007).

A amostragem de solo foi realizada, antecedendo a semeadura das culturas, utilizando um sistema de trado de rosca com acionamento hidráulico acoplado em um quadriciclo. Cada amostra foi composta por 12 subamostras, sendo estas coletadas num raio de aproximadamente 15 m do ponto georreferenciado, na profundidade de 0 – 15 cm. As amostras foram enviadas para análise no Laboratório

de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e analisadas conforme as metodologias recomendadas pela COMISSÃO... (2004).

Os atributos químicos do solo (micronutrientes) determinados e estudados foram: Cu, Mn, Zn e B. Para cada atributo químico do solo, objetivando verificar a posição e dispersão dos dados, foi procedida à análise estatística descritiva, com o auxílio do programa computacional *Statistical Analysis System* – SAS 8.0 (SAS INSTITUTE, 1999). Os parâmetros estatísticos determinados foram: mínimo, média, mediana, máximo, desvio padrão, coeficiente de variação (CV%), assimetria (Cs) e curtose (Ck). Com base nos valores de CV(%) obtidos, a dispersão dos dados foi classificada em: baixa (CV < 12%), média (12 ≤ CV ≤ 62%) e alta (CV > 62%) (WARRICK & NIELSEN, 1980). Analisando o coeficiente de curtose, que expressa a dispersão (achatamento) da distribuição em relação a um padrão, que geralmente é a curva normal, tem-se: Ck = 0 a distribuição é mesocúrtica, se Ck < 0 platicúrtica e se Ck > 0 leptocúrtica. O coeficiente de assimetria visa caracterizar quanto e como a distribuição de frequências se afasta da simetria, onde: se Cs > 0, tem-se a distribuição assimétrica à direita; se Cs < 0, a distribuição é assimétrica à esquerda; e se Cs = 0, a distribuição é simétrica.

Além disso, verificou-se a existência de tendência central (normalidade) dos dados originais por meio do Teste W (p < 0,05) (SHAPIRO & WILK, 1965). Foram considerados como distribuição de probabilidade normal os dados que obtiveram resultado de p-valor maior que 0,05, ou seja, valor não significativo ao nível de 5% de significância.

Além dos micronutrientes, foram caracterizados os atributos que exercem maior influência na disponibilidade dos micronutrientes nas áreas estudadas, teores médios de argila, matéria orgânica e pH (Tabela 1).

Tabela 1. Teores médios dos atributos do solo, argila, matéria orgânica e pH em água, nas quatro áreas de pesquisa. Frederico Westphalen, 2012.

Atributos	Áreas Estudadas			
	Irrigada	Sequeira 1	Sequeira 2	Sequeira 3
Argila (%)	60,64	60,10	67,50	68,50
Matéria Orgânica (%)	3,19	4,19	3,44	3,37
pH água (1:1)	5,76	5,50	5,58	5,83

A correlação linear entre os micronutrientes, Cu, Mn, Zn e B e os atributos que afetam suas disponibilidades no solo, argila, MO e pH foi obtida por meio da matriz de correlação de Pearson ao nível de 5% de erro, utilizando o programa computacional *Statistical Analysis System* – SAS 8.0 (SAS INSTITUTE, 1999).

A caracterização da variabilidade espacial dos micronutrientes no solo foi realizada utilizando a geoestatística, pelo método dos semivariogramas. O interpolador utilizado na elaboração dos mapas temáticos foi a *krigagem*, utilizando o programa computacional Sistema CR - Campeiro 7 (GIOTTO e ROBAINA, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise estatística descritiva

Analisando os resultados da análise estatística descritiva dos valores de Cu nas áreas sequeiras e irrigadas (Tabela 2), verifica-se que as medidas de posição

média e mediana foram próximas em todas as áreas. No entanto, os resultados demonstram que distribuição de frequência não é normal, confirmado pelos valores do Cs (simétricos à direta) e Ck (distribuição leptocúrtica) distantes de zero. A não normalidade dos dados é bastante frequente em estudos que levam em consideração a posição geográfica e a dependência espacial dos dados. Para Cora & Beraldo, 2006, a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, sendo conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que pode comprometer os resultados.

A amplitude entre os valores de mínimo e máximo foi mais pronunciada na área irrigada variando de 2,9 a 19,0 mg dm⁻³ e média de 8,81 mg dm⁻³, e a menos significativa na área sequeira 1, variando de 1,3 a 9,2 mg dm⁻³ e média de 4,24 mg dm⁻³. Quanto à dispersão relativa dos dados, constatou-se que todas as áreas apresentaram dispersão classificada como média, com valores de CV% de 40,26%, 36,17%, 33,22% e 20,57% na área irrigada e nas áreas sequeiras 3, 1 e 2, respectivamente.

Tabela 2. Análise estatística descritiva do micronutriente cobre (mg dm⁻³) em Latossolo de um área irrigada e três áreas sequeiras manejadas com agricultura de precisão. Frederico Westphalen – RS, 2012.

Área	PARÂMETROS ESTATÍSTICOS								
	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)	Cs	Ck	Teste W ⁽¹⁾
Irrigada	2,90	8,81	8,50	19,00	3,56	40,26	0,75	0,47	0,95*
Sequeira 1	1,30	4,24	3,90	9,20	1,41	33,22	1,21	3,08	0,92*
Sequeira 2	1,20	6,11	5,90	10,30	1,26	20,57	0,12	3,77	0,91*
Sequeira 3	3,70	7,04	6,35	15,40	2,55	36,17	1,59	2,99	0,86*

⁽¹⁾ Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em níveis de $p \leq 0,05$. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Em relação aos resultados da análise descritiva dos valores de Mn nas áreas sequeiras e irrigadas (Tabela 3), verifica-se que as medidas de posição média e mediana, semelhante ao ocorrido com o Cu, foram próximas em todas as áreas. No entanto, verifica-se que apenas na área sequeira 1 a distribuição de frequência segue uma curva normal. Para as demais áreas, os dados não seguiram a distribuição normal, fato confirmado pelos valores do Cs (simétricos à direta) e Ck (distribuição leptocúrtica) distantes de zero.

A dispersão dos dados mensurada pelo desvio padrão, mostrou-se maior para as áreas, irrigada (9,33) e sequeira 1 (10,73), onde verificou-se grandes amplitudes entre os valores mínimos e máximos, de 9 a 52 mg dm⁻³, e 4 a 54 mg dm⁻³, respectivamente. Por outro lado, nas áreas sequeiras 2 e 3 a dispersão foi menor com amplitudes de 1 a 33 mg dm⁻³ e 1 a 19 mg dm⁻³, respectivamente. Quanto à dispersão relativa dos dados, constatou-se que todas as áreas, exceto a sequeira 3 (83,44%), apresentaram dispersão classificada como média, com valores de CV% de 51,87%, 46,46%, 38,67% nas áreas sequeiras 1 e 2 e na área irrigada, respectivamente. Estes resultados de Cu e Mn, também concordam com os encontrados em estudos realizados por MACHADO et al. (2007) e ZANÃO JÚNIOR et al. (2007).

Tabela 3. Análise estatística descritiva do micronutriente manganês (mg dm^{-3}) em Latossolo de uma área irrigada e três áreas sequeiras manejadas com agricultura de precisão. Frederico Westphalen – RS, 2012.

Área	PARÂMETROS ESTATÍSTICOS								
	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)	Cs	Ck	Teste W ⁽¹⁾
Irigada	9,00	24,13	22,50	52,00	9,33	38,67	1,00	1,05	0,93*
Sequeira 1	4,00	23,10	21,00	54,00	10,73	46,46	0,87	0,84	0,95 ^{ns}
Sequeira 2	1,00	9,87	9,00	33,00	5,12	51,87	1,40	4,69	0,91*
Sequeira 3	1,00	6,03	4,50	19,00	5,03	83,44	1,55	1,62	0,79*

⁽¹⁾ Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em níveis de $p \leq 0,05$ e (ns) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Na tabela 4 são apresentados os resultados da análise estatística descritiva dos teores de Zn no solo das áreas estudadas. Verificou-se que na área irrigada os valores de média e mediana foram os mais discrepantes, em comparação com as áreas sequeiras. A amplitude dos teores foi de 0,9 a 19,0 mg dm^{-3} . Esta discrepância elevada pode ser confirmada pela maior dispersão dos dados, desvio padrão de 2,28 e CV de 93,78%. Por outro lado, nas áreas sequeiras 1, 2 e 3, os teores de Zn, não se apresentaram muito dispersos, com CV% classificados como médios, 26,40 %, 21,02% e 24,62%, respectivamente.

Mesmo apresentando-se menos dispersos, nas áreas sequeiras, os valores de Zn não seguiram uma distribuição normal em nenhuma das áreas. No entanto, cabe destacar que na área irrigada, os valores se distanciaram mais da normalidade, com altos Cs (4,67) e Ck (28,71), indicando deslocamento à direita e acentuada distribuição leptocúrtica.

Tabela 4. Análise estatística descritiva do micronutriente zinco (mg dm^{-3}) em Latossolo de uma área irrigada e três áreas sequeiras manejadas com agricultura de precisão. Frederico Westphalen – RS, 2012.

Área	PARÂMETROS ESTATÍSTICOS								
	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)	Cs	Ck	Teste W ⁽¹⁾
Irigada	0,90	2,44	1,80	19,00	2,28	93,78	4,67	28,7	0,53*
Sequeira 1	2,40	4,26	4,10	9,30	1,13	26,40	2,44	9,94	0,80*
Sequeira 2	2,00	4,58	4,40	7,70	0,96	21,02	0,99	2,41	0,92*
Sequeira 3	3,70	4,76	4,45	9,10	1,17	24,62	2,22	5,95	0,77*

⁽¹⁾ Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em níveis de $p \leq 0,05$. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Quanto ao B, analisando os resultados da análise estatística descritiva, verificou-se que valores de média e da mediana foram similares para todas as áreas (Tabela 5). A dispersão dos dados foi a menor entre os micronutrientes estudados, com CV% de 18,11%, 31,47% e 28,65 para a área irrigada e sequeiras 2 e 3. A área irrigada apresentou a maior amplitude dos teores no solo, variando de 0,40 a 1,40 mg dm^{-3} . Estes resultados demonstram que os teores de Zn não seguiram distribuição normal, com os maiores desvios da normalidade observados nos teores encontrados na área irrigada. Dentre os micronutrientes estudados, a distribuição de B na área sequeira 2, foi a única que apresentou Ck negativo, indicando um leve achatamento da curva de distribuição, caracterizando-a como platicúrtica.

Tabela 5. Análise estatística descritiva do micronutriente boro (mg dm^{-3}) em Latossolo de uma área irrigada e três áreas sequeiras manejadas com agricultura de precisão. Frederico Westphalen – RS, 2012.

Área	PARÂMETROS ESTATÍSTICOS								
	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)	Cs	Ck	Teste $W^{(1)}$
Irigada	0,40	0,63	0,60	1,40	0,11	18,11	2,97	19,26	0,72*
Sequeira 1	ND ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sequeira 2	0,20	0,36	0,30	0,70	0,11	31,47	0,56	-0,08	0,90*
Sequeira 3	0,20	0,30	0,30	0,50	0,08	28,65	0,78	0,44	0,83*

⁽¹⁾Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em níveis de $p \leq 0,05$. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada. ⁽²⁾ Teores não determinados.

Interpretação e distribuição espacial dos teores dos micronutrientes no solo

De acordo com as recomendações do manual de fertilidade do solo para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COMISSÃO..., 2004) os teores de Cu, Mn, Zn e B, encontrados no solo das áreas estudadas, enquadram-se na faixa de interpretação “alto”, indicando que os teores são adequados para o desenvolvimento das plantas. Estes valores elevados devem estar relacionados à presença destes elementos na constituição dos minerais no material de origem (basaltos) dos Latossolos da região Norte do RS (CAMARGO, 1988; MOTTA et al., 2007).

Neste sentido, mesmo apresentando-se em níveis altos, proceder à espacialização dos teores dos micronutrientes do solo, possibilita o monitoramento espaço-temporal da dinâmica destes elementos no solo. A partir do conhecimento da dinâmica dos micronutrientes no solo, é possível estabelecer os locais da área mais susceptíveis a deficiência destes nutrientes essenciais às plantas. Com isso, poder-se-ia traçar estratégias de aplicações localizadas, maximizando a eficiência técnica, econômica e ambiental do sistema agrícola manejado.

Na Figura 1 é apresentada a distribuição espacial dos teores de Cu em Latossolo de uma área irrigada (A) e de três áreas sequeiras (B, C e D) e na área irrigada (D). A variabilidade do Cu nas áreas sequeiras foi semelhante entre as áreas 1, 2 e 3, onde praticamente 100% das mesmas, apresentaram teores abaixo de $9,0 \text{ mg dm}^{-3}$. Por outro lado, aproximadamente 40% na área irrigada, especialmente ao sul, apresenta teores maiores de $9,0 \text{ mg dm}^{-3}$. Dentre os fatores que podem ter contribuído com estes maiores teores de Cu na área irrigada, destaca-se os valores de pH dentro da faixa ideal.

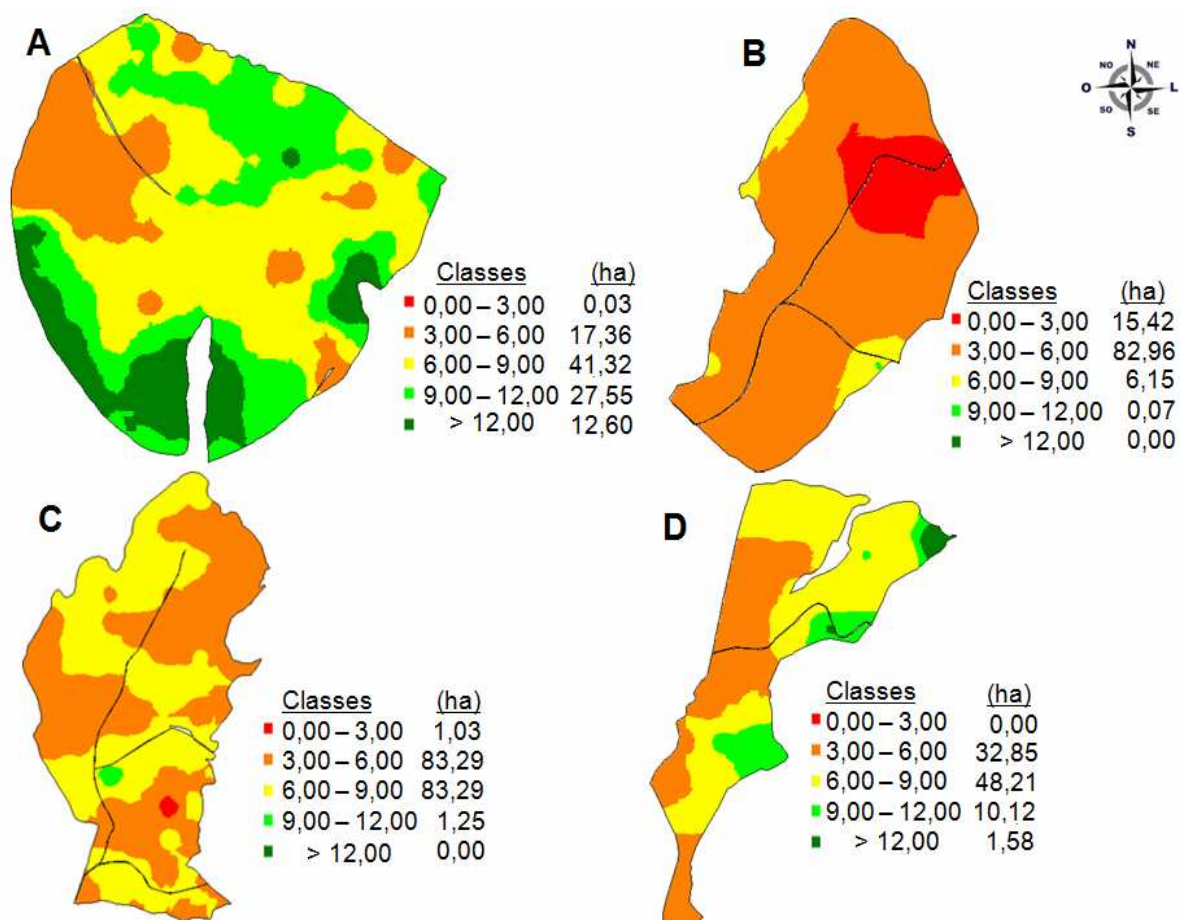


Figura 1. Distribuição espacial dos teores de cobre em Latossolo, de uma área irrigada (A) de três áreas sequeiras 1 (B), 2 (C) e 3 (D) manejadas com agricultura de precisão. Frederico Westphalen – RS, 2012.

De acordo com LOPES (1999) os principais fatores que afetam a disponibilidade Cu são os valores de pH e teor de argila. Desta forma, solos argilosos com pH entre 5,0 e 6,5, apresentam menor probabilidades de apresentar deficiência desse micronutriente, desde que não apresentarem excessivas concentrações de íons metálicos, como Fe, Mn e Al. Além disso, o autor, complementa afirmando que os solos com altos teores de MO, geralmente apresentam abundância de Cu, no entanto, formam complexos tão estáveis com a MO que somente pequenas quantidades são disponíveis às culturas.

Analisando a matriz de correlação apresentada na tabela 6, verifica-se que em geral a maior correlação entre a disponibilidade de Cu foi com o decréscimo dos teores de argila, com coeficientes de correlação significativos de -0,489 e -0,353 nas áreas sequeiras 1 e 3, respectivamente, e com os valores de pH, apresentando correlações de -0,469, -0,463, -0,369 e -0,620 na área irrigada e sequeiras 1, 2 e 3.

De acordo com ABREU et al. (2007) o aumento do pH do solo, faz com que ocorra a diminuição dos micronutrientes, principalmente Cu, na solução do solo e em trocas catiônicas.

Tabela 6. Matriz de correlação linear entre os micronutrientes (boro, cobre, zinco e manganês) e atributos (argila, matéria orgânica e pH) que afetam sua disponibilidade em Latossolo de uma área irrigada e de três áreas sequeiras, manejadas com agricultura de precisão. Frederico Westphalen – RS, 2012.

Área		Argila	Matéria Orgânica	pH
Irigada	Boro	0,047	0,515*	-0,391*
	Cobre	-0,235	-0,116	-0,469*
	Zinco	-0,332*	0,117	0,101
	Manganês	-0,194	0,380*	-0,096
Sequeira 1	Boro**	-	-	-
	Cobre	-0,489*	-0,155	0,269*
	Zinco	-0,188	0,252*	-0,463*
	Manganês	-0,139	0,167	-0,337*
Sequeira 2	Boro	-0,073	-0,204	0,010
	Cobre	0,140	0,173	-0,369*
	Zinco	-0,192	0,078	-0,381*
	Manganês	0,101	0,104	-0,354*
Sequeira 3	Boro	-0,071	0,227	0,096
	Cobre	-0,353*	0,105	-0,620*
	Zinco	-0,015	0,366*	0,116
	Manganês	-0,066	0,242*	-0,764*

*Significativo ao nível de 5% de erro pelo Teste T. **B não determinado.

Na Figura 2 é apresentada a distribuição espacial dos teores de Mn na área irrigada (A) e nas três áreas sequeiras 1 (B), 2 (C) e 3 (D). Assim, verificou-se que a área irrigada e a sequeira 1 apresentam teores de Mn mais elevados, onde 40,48 ha e 40,59 ha, respectivamente, apresentam teores acima de 25 mg dm⁻³. Nas áreas sequeiras 2 e 3, praticamente 100% das áreas apresentou teores abaixo de 15 mg dm⁻³. De acordo com as correlações realizadas, estes valores podem estar atrelados aos médios teores de MO, na área irrigada (0,380) e sequeira 3 (0,242), e as valores de pH nas áreas sequeiras 1 (-0,337), 2 (-0,354) e 3 (-0,764).

Estes resultados corroboram com MALAVOLTA (1979), onde à medida que aumenta o pH do solo, acima de 5, reduz a disponibilidade de alguns micronutrientes como Cu, Mn, Fe e Zn. Segundo CAMARGO (1988), BATAGLIA (1988), LOPES (1999) e COELHO (2005) a disponibilidade de micronutrientes ao solo ou a sua solução, é afetada por uma séria de fatores químicos, físicos e biológicos do solo, tais como: textura, valores de pH, teores de MO, Fe, Al e umidade do solo.

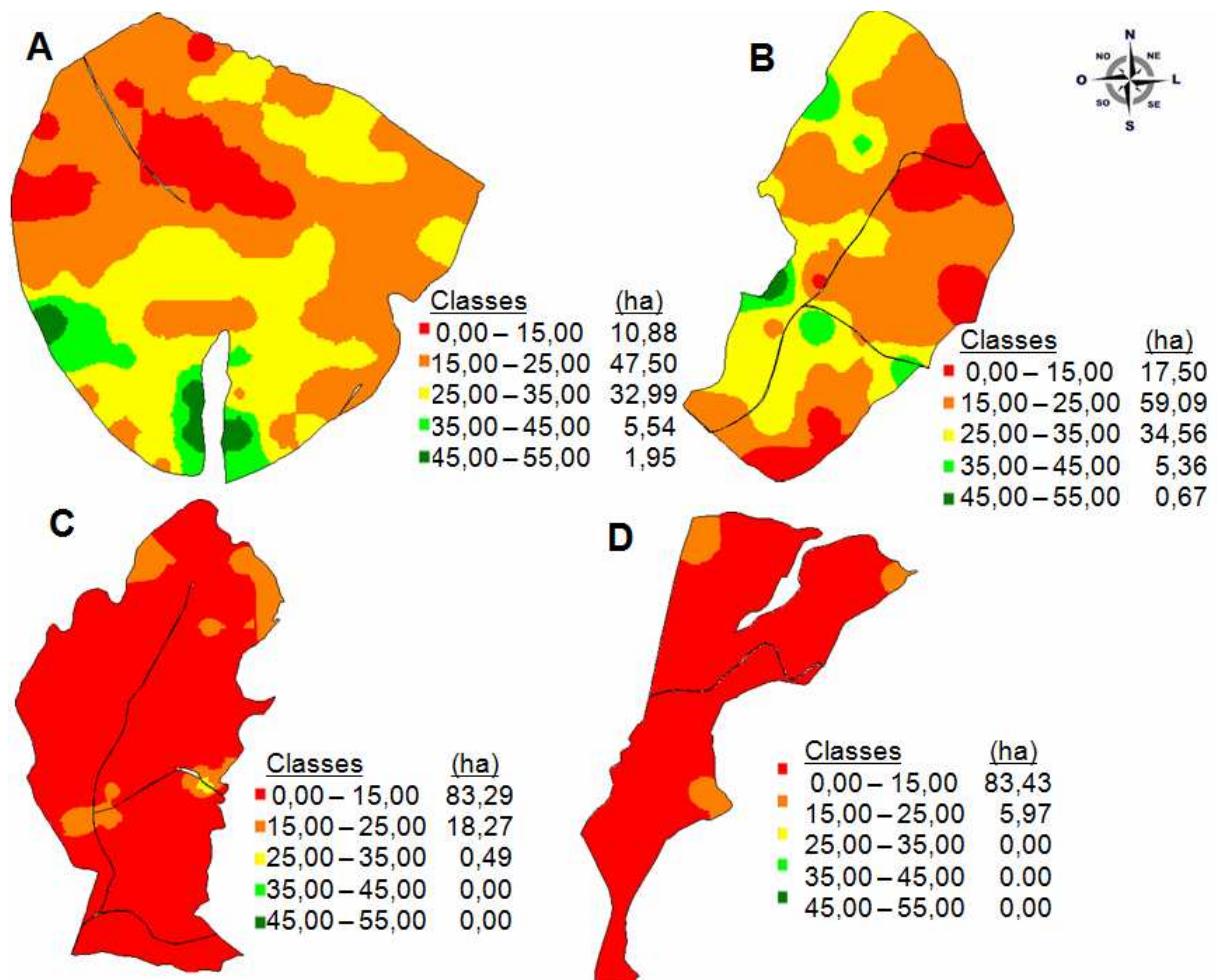


Figura 3. Distribuição espacial dos teores de manganês em Latossolo, de uma área irrigada (A) e de três áreas sequeiras 1 (B), 2 (C) e 3 (D) manejadas com agricultura de precisão. Frederico Westphalen – RS, 2012.

Verificando a distribuição espacial dos teores de Zn nas áreas estudadas (Figura 3) nota-se que a variabilidade apresentada nas áreas sequeiras tem comportamento semelhante, concentrando praticamente 100% das áreas com teores acima de 3 mg dm^{-3} . Para a área irrigada, percebe-se que grande parte da área apresenta teores abaixo de 3 mg dm^{-3} .

A variabilidade observada na área irrigada, esta correlacionado aos teores de argila (Tabela 6), onde a medida que reduz a quantidade de argila (sul da área) aumenta os teores de Zn, e de outros micronutrientes como Cu e Mn. Já nas áreas sequeiras, os atributos que mais se correlacionaram com os teores de Zn, foram a MO, com correlações de 0,366 e 0,252 nas áreas sequeiras 1 e 3, respectivamente, e o pH com correlações de -0,463 e -0,381 nas áreas sequeiras 1 e 2, respectivamente. Segundo LOPES (1999) o Zn também pode apresentar alta disponibilidade no solo entre a faixa de pH 5,0 a 6,5.

BORGES & COUTINHO (2004) verificaram que com o aumento do pH do solo, ocorreu uma redistribuição do Zn, Cu e Mn da fração trocável para a fração ligada a MO menos disponíveis às plantas. Outro fator que potencializa a variabilidade do Zn no solo, é a utilização de altas doses de fertilizantes fosfatados, fato bastante comum nos Latossolos do RS. Além disso, a disponibilidade de Zn pode ser limitada em função da fixação pela fração orgânica do solo, sendo que em

baixa temperatura e excesso de umidade, este efeito pode ser mais pronunciado, justificando os menores teores na área irrigada. A correlação positiva entre Zn e MO, também foi encontrada em trabalhos realizados por TEIXEIRA et al. (2003), ZANÃO JÚNIOR et al. (2007) e ZANÃO JÚNIOR et al. (2010).

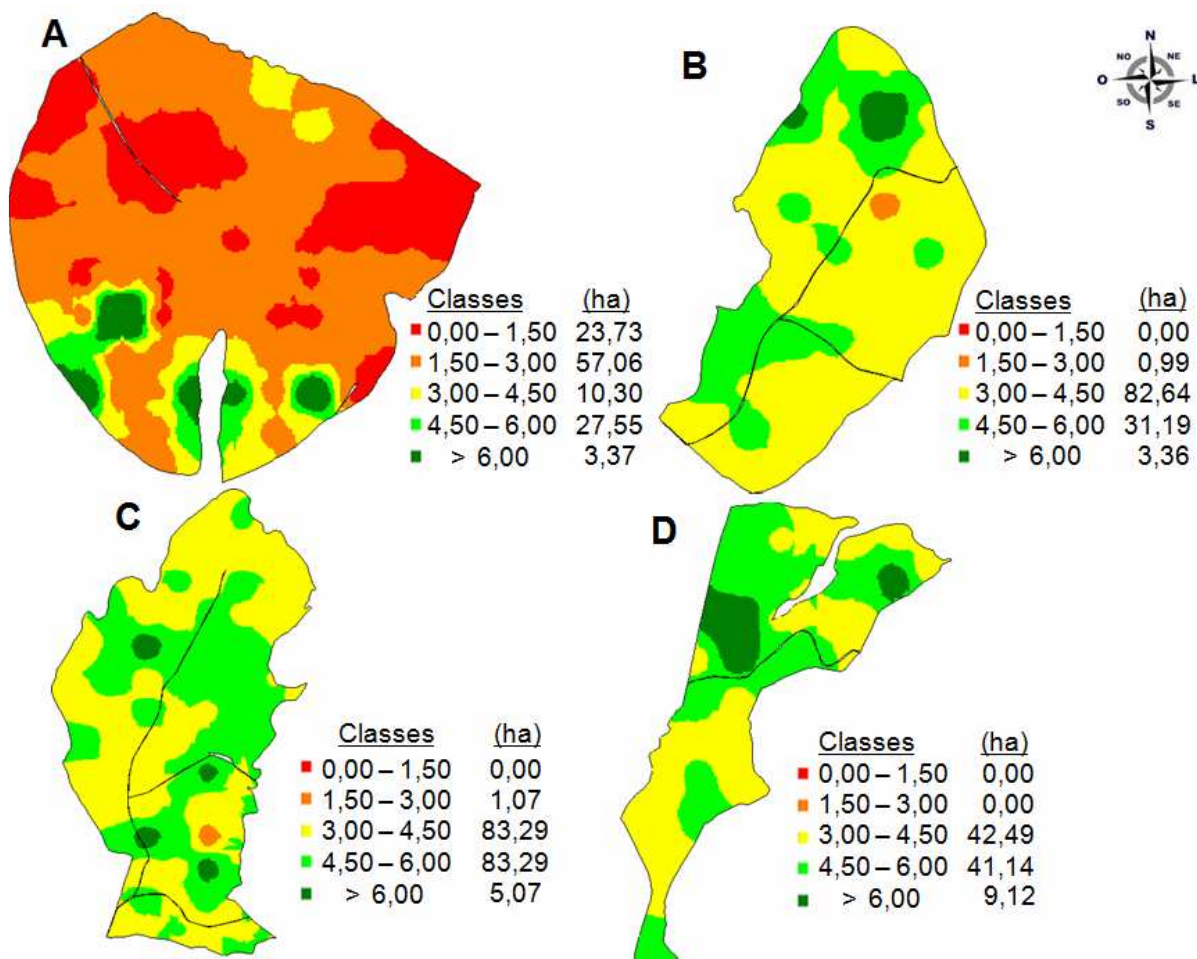


Figura 3. Distribuição espacial dos teores de zinco em Latossolo, de três áreas sequeiras 1 (A), 2 (B) e 3 (C) e uma área irrigada (D) manejadas com agricultura de precisão. Frederico Westphalen – RS, 2012.

Quanto a variabilidade nos teores de B no solo (Figura 4) nota-se que nas áreas sequeiras 2 e 3 a os teores de B foram mais baixos, variando de 0,2 a 0,36 mg dm⁻³ e 0,2 a 0,4 mg dm⁻³, respectivamente. Na área irrigada os teores de B são mais altas, variando de 0,4 a 1,4 mg dm⁻³. Estes teores mais elevados em área irrigada estão correlacionados com os teores de MO (0,515), aliado com a disponibilidade de constante água. De acordo com LOPES (1999) a MO é uma importante fonte de B para o solo, no entanto, sob condições de restrição hídrica a velocidade com que ocorre a decomposição da MO diminui, liberando menos B para a solução do solo. Além disso, em condições de restrições hídricas o crescimento das raízes é reduzido, induzindo a menor exploração do volume do solo, o que leva a um menor índice de absorção de nutrientes, inclusive B.

Para DANTAS (1991) o aumento na disponibilidade de B no solo pode ser obtido pela adoção de sistema de manejo conservacionista, como cultivo mínimo e plantio direto, primando pela rotação de culturas e adubação verde. Assim,

promoveria o aumento da mineralização da MO e a reciclagem de nutrientes, das camadas mais subsuperficiais para a superficial.

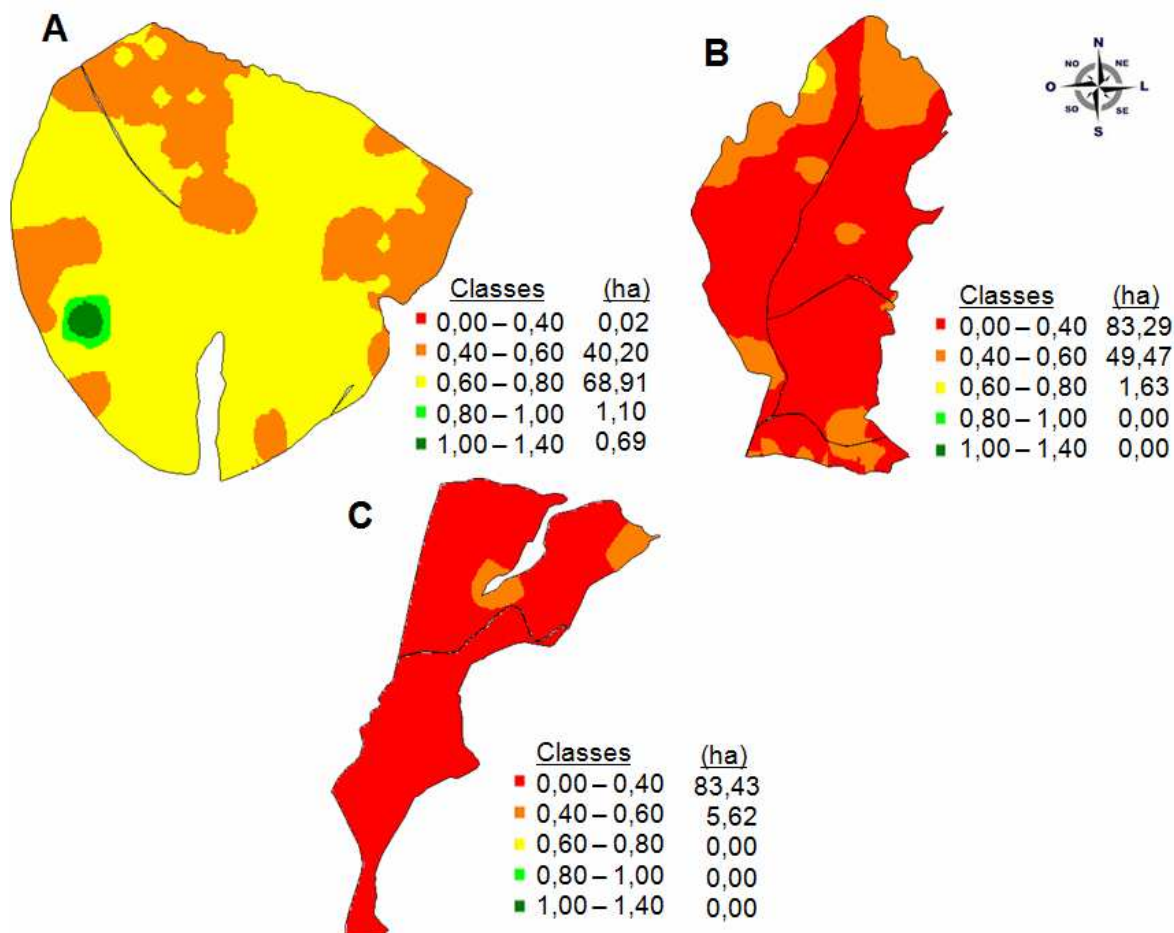


Figura 4. Distribuição espacial dos teores de boro em Latossolo, de duas áreas sequeiras 2 (A) e 3 (B) e uma área irrigada (D) manejadas com agricultura de precisão. Frederico Westphalen – RS, 2012.

CONCLUSÕES

Em geral, os micronutrientes apresentam distribuição de frequência não normal no solo, com altas dispersões dos dados.

Os teores de micronutrientes encontrados em Latossolo, sob condição de sequeiro e irrigado, mesmo acima dos limites críticos ao desenvolvimento das plantas, apresentam alta variabilidade espacial.

Os teores de argila e MO e valores de pH apresentam alta correlação com a disponibilidade de micronutrientes no solo.

AGRADECIMENTOS

Ao Grupo Schaedler - Fazenda Vila Morena pela disponibilização das áreas sequeiras e a empresa Sementes Fabris Hulk, pela disponibilização da área irrigada para o desenvolvimento da presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.645-736.
- AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. Agricultura de precisão aplicada ao manejo do solo na cultura da soja. In: THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. **Soja: manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. 248p.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alterações de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.4, p.695-702, 2001.
- BATAGLIA, O. C. Micronutrientes: disponibilidade e interações. In: BORKERT, C. M.; LANTMANN, A. F. (ed.). **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. p.121-132.
- BISSANI, C. A.; CAMARGO, F. A. O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. 344p.
- BORGES, M. R.; COUTINHO, E. L. M. Metais pesados do solo após aplicação de bio-sólido. II Disponibilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.3, p.557-568, 2004.
- CAMARGO, O. A. Micronutrientes no solo. In: BORKERT, C. M. & LANTMANN, A. F. (ed.). **Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. p.103-120.
- COELHO, A. M. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 60p. (Documentos, 46).
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.
- CORA, J. E.; BERARDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após a calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.2, p.374-387, 2006.
- COUTO, E. G. **Variabilidade espacial de propriedades do solo influenciado pela agricultura em escala regional e local no sul do estado do Mato Grosso**. 1997. 183f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DANTAS, J. P. Boro. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1., 1988, Jaboticabal. **Anais...** Piracicaba: Potafos/CNPq, 1991. p.113-130.

ELTZ, F. L. P.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 13, p.259-267, 1989.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FAVARIN, J. L.; MARINI, J. P. **Importância dos micronutrientes para a produção dos grãos**. 2003. Disponível em: <<http://www.drashirleydecampos.com.br/noticias/4462>>. Acesso em: 28 mar. 2012.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A. D. **A agricultura de precisão com o CR Campeiro 7**. Manual do usuário. Santa Maria: UFSM/Centro de Ciências Rurais/Departamento de Engenharia Rural/Laboratório de Geomática, 2007, 319 p.

KLEPKER, D. ; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.19, n.3, p.395-401, 1995.

LOPES, A. S. **Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônoma**. São Paulo: ANDA, 1999. 58 p. (Boletim Técnico, 8).

MACHADO, L. O. LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 03, p. 591-599, 2007.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 4ª Ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979, 255p.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia, 1961. 46p.

MOTTA, A. C. V. SERRAT, B. M.; REISSMANN, C. B.; DIONÍSIO, J. A. **Micronutrientes na rocha, no solo e na planta**. Curitiba: DSEA/SCA/UFPA, 2007. 246 p.

SAS INSTITUTE - Statistical Analysis System. **SAS/STAT User's Guide 8.0**. North Caroline, NC: SAS Institute Inc., 1999.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, v.52, p. 591-611, 1965.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S., XAVIER, A. C. TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.1, p.15-22, 2010.

TEIXEIRA, I. R.; SOUZA, C. M.; BORÉM, A.; SILVA, G.F. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade

em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo de solo. **Bragantia**, v.62, n.1, p.119-126, 2003.

WARRICK, A. W.; NIELSEN D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, p. 319-344, 1980.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; CARVALHO-ZANÃO, M. P.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, v.57, n.03, p.429-438, 2010.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, v.37, n.4, p.1000-1007, 2007.