

Diagnóstico Nutricional de uma Lavoura de Soja a partir de Informações Georreferenciais





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1676-918X

Março, 2005

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 145

Diagnóstico Nutricional de uma Lavoura de Soja a partir de Informações Georreferenciadas

Álvaro Vilela de Resende
Luise Lottici Krahl
Luciano Shozo Shiratsuchi
Wenceslau J. Goedert
Ingbert Döwich

Planaltina, DF
2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina - DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *José de Ribamar N. dos Anjos*

Secretária-Executiva: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Revisão de texto: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Normalização bibliográfica: *Hozana Alvares de Oliveira*

Tratamento de ilustrações: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Editoração eletrônica: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*

Jaime Arbués Carneiro

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2005): tiragem 100 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação na publicação.

Embrapa Cerrados.

D536 Diagnóstico nutricional de uma lavoura de soja a partir de informações georreferenciadas / Álvaro Vilela de Resende ... [et al.]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2005.

30 p. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X ; 145)

1. Fertilidade do solo. 2. Manejo da adubação. 3. Sistema de informação geográfica. I. Resende, Álvaro Vilela de. II. Título. III. Série.

631.4 - CDD 21

© Embrapa 2005

Sumário

Introdução	7
Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional das lavouras ...	7
Uso de informações georreferenciadas	8
Material e Métodos	9
Manejo e condução da lavoura de soja	10
Amostragens de folhas e de solo	10
Colheita monitorada	11
Análises de dados	11
Resultados e Discussão	12
Diagnóstico geral baseado nas análises foliares	12
Diagnóstico geral baseado nas análises de solo	14
Produtividade da soja	18
Correlações	20
Discussão geral	24
Conclusões	28
Referências Bibliográficas	28

Diagnóstico Nutricional de uma Lavoura de Soja a partir de Informações Georreferenciadas

Álvaro Vilela de Resende¹

Luise Lottici Krah²

Luciano Shozo Shiratsuchi³

Wenceslau J. Goedert⁴

Ingbert Döwich⁵

Resumo – Neste trabalho, objetivou-se identificar os fatores relacionados à produtividade da soja, utilizando informações georreferenciadas sobre o estado nutricional das plantas, atributos do solo e produtividade da cultura. Uma área de 27,5 hectares foi dividida em grade amostral regular de 50 x 50 m para coletas de folhas e do solo para análise. A colheita foi monitorada por meio de uma colhedora equipada com sensor de produtividade e DGPS. Os resultados das análises de solo e de folhas foram interpretados agronomicamente e correlacionados entre si e com a produtividade. Foram gerados mapas representando a espacialização das variáveis mais relevantes. Não foram obtidas correlações significativas dos teores foliares de nutrientes com as características do solo ou com a produtividade. Na lavoura estudada, os teores da matéria orgânica e do potássio no solo e a saturação do potássio na CTC são os atributos mais relacionados com a produtividade da soja.

Termos para indexação: fertilidade do solo, manejo da adubação, agricultura de precisão, geoprocessamento, sistemas de informação geográfica.

¹ Eng. Agrôn., Dr., Embrapa Cerrados, alvaro@cpac.embrapa.br

² Acadêmica de Agronomia, Universidade de Brasília, bolsista Embrapa Cerrados, luise@cpac.embrapa.br

³ Eng. Agrôn., M.Sc., Embrapa Cerrados, shozo@cpac.embrapa.br

⁴ Eng. Agrôn., Ph.D., Professor Adjunto da Universidade de Brasília, Departamento de Agronomia, UnB, ICC-Sul, Asa Norte, Cx. Postal 04508, CEP 70910-970, Brasília, DF, goedert@unb.br

⁵ Eng. Agrôn., Clube de Plantio Direto do Oeste Baiano, Av. Brasília, Quadra 2, Lote 13, CEP 47850-000, Luis Eduardo Magalhães, BA, ingbert@zipmail.com.br

Nutritional Diagnosis of a Soybean Crop Based on Georeferenced Information

Abstract – *The aim of this study was to identify yield conditioning factors of a soybean crop, based on georeferenced information concerning the plant nutritional status, soil attributes, and crop yield. An area of 27,5 ha was divided in a regular grid of 50x50 m for collecting leaf and soil samples. The harvest was done using yield monitor and DGPS. Soil, plant, and yield data were interpreted on the agronomic basis, and submitted to correlation analysis. The spatial variation of the most important variables was mapped. It was not found any significant correlation among leaf nutrient concentrations and soil characteristics or yield. The soil organic matter and potassium contents, as well as the CEC potassium saturation, were the variables most correlated with the soybean yield.*

Index terms: soil fertility, fertilization management, precision agriculture, geoprocessing, geografic information systems.

Introdução

O desempenho da agricultura brasileira quanto à produtividade e à competitividade depende cada vez mais da capacidade de incorporação de modernas tecnologias de produção. Destas dependem, também, os resultados econômicos positivos para o País, considerando que a atividade agrícola tem historicamente ancorado a economia.

O acompanhamento mais detalhado da lavoura destaca-se na busca de maior eficiência do sistema de produção e pode contribuir para o aumento da produtividade das culturas. A caracterização dos atributos químicos e físicos do solo e do estado nutricional das plantas é fundamental para se adotar métodos de correção de desequilíbrios nutricionais e dimensionamento adequado da adubação, promovendo ganhos em produtividade e favorecimento de custos.

Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional das lavouras

A análise de solo constitui a base para se avaliar a disponibilidade de nutrientes e recomendar adubação, visando elevar ou manter a fertilidade e obter maior retorno econômico. Contudo, somente essa análise é insuficiente para garantir o monitoramento adequado do estado nutricional das culturas. A existência de nutrientes no solo não assegura o suprimento adequado às culturas, pois diversos fatores podem influenciar a absorção desses elementos pelas plantas. Assim sendo, a análise foliar destaca-se como técnica complementar à análise do solo.

A utilização da análise foliar como critério diagnóstico baseia-se na relação entre o suprimento de nutrientes ao solo e os teores foliares dos elementos cujo aumento ou decréscimo relaciona-se com produções mais altas ou mais baixas ([DECHEN et al., 1995](#)). Todavia, nem sempre é possível encontrar essas relações, pois os teores foliares são influenciados por vários fatores que atuam até o momento da amostragem para análise. Dentre esses fatores, destacam-se aqueles relacionados à planta (variedade, idade fisiológica, tipo de folha), aos atributos do solo (textura, CTC, densidade, aeração, pH), à

adubação, calagem, gessagem, interações entre os nutrientes, condições do clima, práticas culturais (cultivo, herbicidas, cobertura morta, adubação verde) e ataque de pragas e doenças ([MALAVOLTA et al., 1997](#)).

Para um diagnóstico mais confiável, devem-se considerar os resultados das análises do solo e das folhas, bem como informações sobre as adubações realizadas e as produtividades obtidas na área. Uma limitação frequentemente observada em lavouras comerciais é a dificuldade de se conseguir dados precisos sobre as produtividades, sendo comum a total falta de acompanhamento das respostas das culturas ao manejo adotado.

Uso de informações georreferenciadas

Atualmente, é possível realizar monitoramento espacializado das colheitas para identificar a variabilidade da produção, usando sensores de produtividade (sensores de fluxo de grãos) acoplados a um sistema de posicionamento geográfico (GPS). Assim, tem-se o registro da localização da colhedora, em latitude e longitude, e da produtividade, em intervalos de tempo definidos. Esses dados permitem obter o mapa de produtividade, ponto de partida para avaliar as causas da variabilidade espacial e temporal da produtividade, e conhecer o potencial produtivo das diferentes áreas.

O surgimento de receptores de GPS viabilizou o uso de amostragens georreferenciadas de solo e de folhas para caracterização das áreas de cultivo com maior refinamento. As informações obtidas podem ser utilizadas para mapear a variabilidade espacial de cada componente da fertilidade do solo e as variações no estado nutricional das plantas dentro da lavoura.

Para tanto, é comum proceder à amostragem em grade regular, dividindo-se o talhão em subáreas (quadrículas) de tamanho variável, um aspecto ainda de difícil definição. Experiências de agricultores americanos indicam o uso de uma a 2,5 amostras por hectare para detectar a variabilidade espacial existente nos talhões ([MOLIN, 2001](#)). Ainda, segundo esse autor, em áreas de projetos de avaliação dessa tecnologia no Brasil, têm-se empregado tamanhos de células variando de 1 x 1 m a 100 x 100 m. Contudo, na prática, empresas prestadoras de serviço têm utilizado grades amostrais com quadrículas entre 2 e 10 hectares na região do Cerrado.

O cruzamento de dados de produtividade da cultura e de fertilidade do solo pode auxiliar no diagnóstico e na definição do manejo mais apropriado nas diferentes partes da lavoura. Conseqüentemente, podem-se usar técnicas de manejo localizado e aplicar insumos a taxas variáveis.

Entender a variabilidade espacial da produtividade das culturas, das propriedades do solo e de outros fatores que podem influenciar a produtividade é uma etapa importante para estabelecer opções de aplicação localizada de insumos ([OLIVEIRA et al., 2002](#)). Contudo, vários anos de observação e de coleta de dados podem ser necessários para entender as interações entre variabilidade espacial e temporal das propriedades do solo e produção das culturas ([MARQUES JÚNIOR; CORÁ, 1998](#)) e para desenvolver estratégias de manejo mais efetivas.

No presente trabalho, objetivou-se identificar os principais fatores interferentes na produtividade da soja pela utilização de informações georreferenciadas sobre o estado nutricional das plantas, atributos do solo e produção da lavoura. Buscou-se, ainda, fornecer subsídios para a definição de possíveis estratégias de manejo para cultivos futuros.

Material e Métodos

Este trabalho integra o projeto de pesquisa da Embrapa Cerrados, em parceria com o Clube de Plantio Direto do Oeste Baiano, intitulado “*Áreas-piloto de agricultura de precisão em sistemas agrícolas do Cerrado*” (Projeto Embrapa MP3 - 03.04.0.01.60.00.01).

A área de estudo situa-se na fazenda Maria das Águas Santas, no Município de Luís Eduardo Magalhães, BA. Trata-se de uma área utilizada para o cultivo comercial de grãos, especialmente, milho, feijão e soja, sob irrigação com pivô central (100 ha). Há cerca de seis anos, foi adotado o sistema de plantio direto. A topografia local apresenta declividade média de 5%. O solo é de textura arenosa (em média 80% de areia, 8% de silte e 12% de argila), com teor de areia aumentando no sentido do declive, sendo classificado como Neossolo Quartzarênico. Foi selecionada uma subárea de 27,5 ha para acompanhamento de um cultivo de soja, avaliando-se os fatores condicionantes da produtividade ([Figura 1](#)).

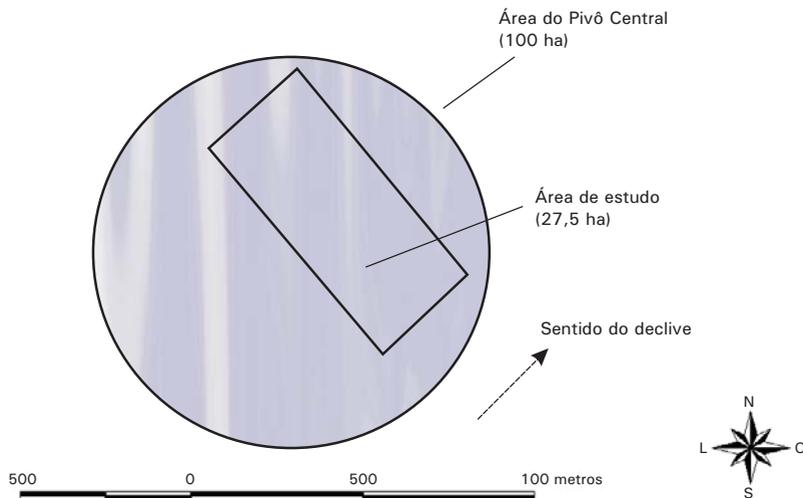


Figura 1. Área de estudo em Luís Eduardo Magalhães, BA.

Manejo e condução da lavoura de soja

A soja, cultivar M-SOY 8411, plantada no início de setembro, recebeu adubação com 200 kg ha^{-1} de formulado NPK 00-27-00 (mistura de superfosfato simples e superfosfato triplo) no plantio, 87 kg ha^{-1} de K_2O em cobertura aos 25 dias após o plantio, além do fornecimento de Co e Mo junto com a inoculação das sementes e de Mn em aplicação foliar.

Foi feito controle de lagartas, e os níveis de doenças foram muito baixos em função de aplicações de fungicidas. Foi realizado, também, o controle de plantas daninhas com herbicidas. Contudo, a lavoura apresentou reboleiras de ataque severo de nematóides e de infestação por plantas daninhas. Houve igualmente alta ocorrência de mosca-branca e, mesmo com a aplicação de defensivos, foi visível a presença de fumagina nas folhas da soja.

Durante a colheita, em 4 de fevereiro de 2004, as chuvas dificultaram a operação, limitando a capacidade diária de colheita e elevando os índices de perdas.

Amostragens de folhas e de solo

A área de 27,5 ha foi dividida numa grade regular de 50 x 50 m, totalizando 110 pontos amostrais georreferenciados. À época do florescimento da soja (dezembro de 2003), foram coletadas, ao acaso, para análise foliar, 30 folhas

(terceira folha madura a partir do ápice, com pecíolo) nas proximidades de cada ponto georreferenciado. As folhas foram secadas, moídas e analisadas para determinação dos teores de macro (N, P K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Mn, Zn e B), conforme metodologias descritas por [Silva \(1999\)](#).

Em julho de 2004, nos referidos pontos amostrais, foram coletadas amostras de solo, compostas de cinco subamostras, na profundidade de 0 a 20 cm. Determinaram-se os atributos químicos relacionados à fertilidade do solo (pH, Ca, Mg, K, P, S, Al, H + Al e matéria orgânica) ([SILVA, 1999](#)).

Colheita monitorada

Para a colheita da soja, foi utilizada uma colhedora automotriz MF38 equipada com sensores de produtividade e sistema operacional FieldStar®, da empresa AGCO do Brasil. Com esse sistema, foram obtidos dados pontuais de produtividade que possibilitaram a geração de um mapa de produtividade da soja na área.

Análises de dados

Inicialmente, os dados referentes a cada variável de folha e de solo foram tabulados e submetidos a uma análise estatística descritiva, determinando-se a média, a amplitude e a distribuição de frequência dos valores de acordo com sua interpretação agrônômica. A interpretação dos resultados das análises de solo e foliar foi baseada nos critérios propostos por [Alvarez Venegas et al. \(1999\)](#), [Sousa e Lobato \(2002\)](#) e [Embrapa Soja \(2003\)](#).

Nessa etapa inicial, foi gerado, também, um mapa representando a variabilidade espacial da produtividade de grãos da soja, utilizando-se o método de interpolação pelo inverso da distância ([MOLIN, 2001](#)) e o sistema de informação geográfica Arc View® 3.2. Tal mapa permitiu a visualização e a identificação de subáreas com variações de produtividade.

Em seguida, as variáveis de solo e de folha foram correlacionadas (correlação linear de Pearson) entre si e com a produtividade, buscando-se determinar os fatores de maior interferência na produtividade da soja. As correlações entre variáveis de folha e de solo foram determinadas com base nos dados originais das análises correspondentes a cada ponto da grade amostral. Os dados referentes à produtividade foram estimados, utilizando-se o valor médio num raio

de 25 m ao redor do ponto central de cada quadrícula da grade, pois o monitoramento da colheita fornece, em média, uma leitura a cada cinco metros de deslocamento da colhedora.

Posteriormente, para aquelas variáveis mais correlacionadas com a produtividade, foi usado um método de interpolação por krigagem ([MOHAMED et al., 1996](#); [MOLIN, 2001](#)), ponderado pela dependência espacial existente entre amostras em função da distância entre pontos amostrais. Esse método baseia-se na hipótese de que a autocorrelação espacial diminui em função do aumento da distância entre amostras ([ISAACS; SRIVASTAVA, 1989](#)). Dos dados derivados da krigagem, obtiveram-se novas correlações e foram gerados mapas mais elaborados para as variáveis relevantes.

Resultados e Discussão

Diagnóstico geral baseado nas análises foliares

Verificou-se que a grande maioria dos nutrientes nas folhas da soja encontrava-se em níveis suficientes. Os teores de N e Mg estavam abaixo do adequado para a cultura na quase totalidade das amostras, e o K estava em nível alto ou muito alto em 70% das amostras ([Figuras 2 e 3](#)).

As baixas concentrações de N nas folhas poderiam estar relacionadas à inoculação insuficiente ou às condições do solo e do clima que afetaram a assimilação e o transporte do N fixado para a parte aérea da planta. A efetividade da inoculação depende da eficiência da estirpe de rizóbio, do número de células do inoculante, das técnicas de inoculação e da adequação dos fatores ambientais. Falhas nos procedimentos de inoculação podem ocasionar limitações à simbiose, acarretando deficiência de N para a planta. Plantas dependentes da fixação biológica de N são mais sensíveis aos estresses do solo que as adubadas com nitrogênio mineral. Assim, no solo arenoso, o rizóbio fica mais exposto às oscilações de temperatura que podem afetar a simbiose. As baixas temperaturas retardam a infecção e a formação dos nódulos, enquanto sob temperaturas mais elevadas, os nódulos formados são pouco eficientes. Além disso, condições de acidez do solo e a baixa disponibilidade de cálcio diminuem a infecção e o início da formação dos nódulos ([SIQUEIRA; FRANCO, 1988](#)).

Essa ocorrência de teores foliares de N, considerados baixos, tem sido relatada com frequência em lavouras comerciais do oeste baiano, o que poderia, inclusive, indicar a necessidade de readequação das classes de interpretação de N foliar para a região.

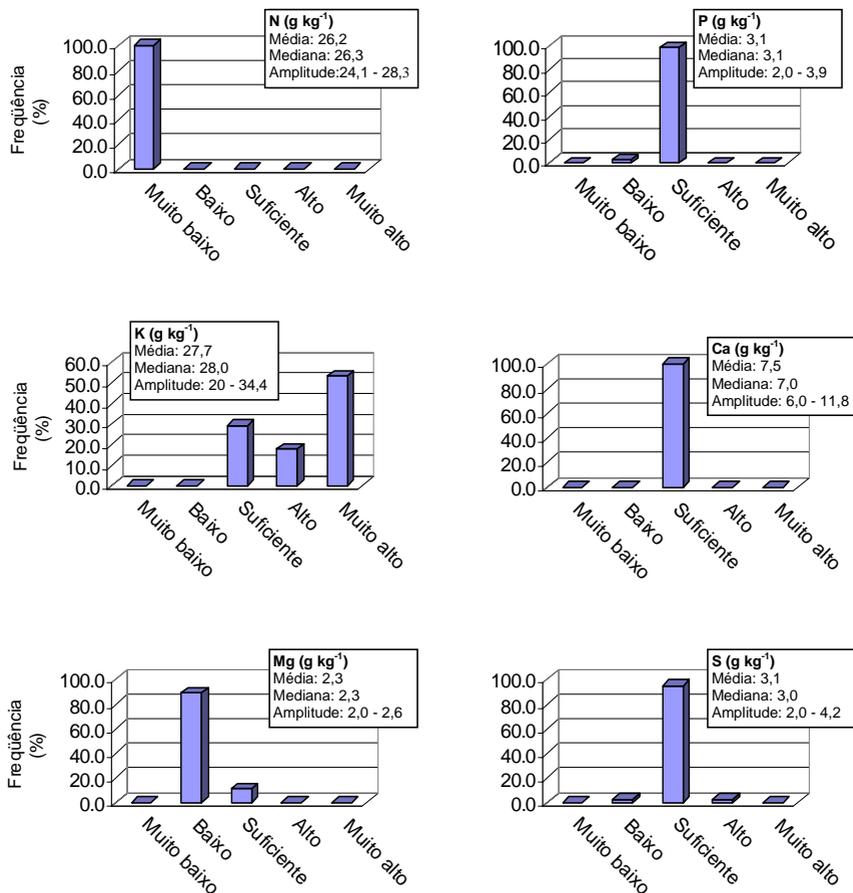


Figura 2. Distribuição percentual das amostras conforme as classes de interpretação dos resultados das análises foliares de macronutrientes. Luís Eduardo Magalhães, BA, safra 2003/2004.

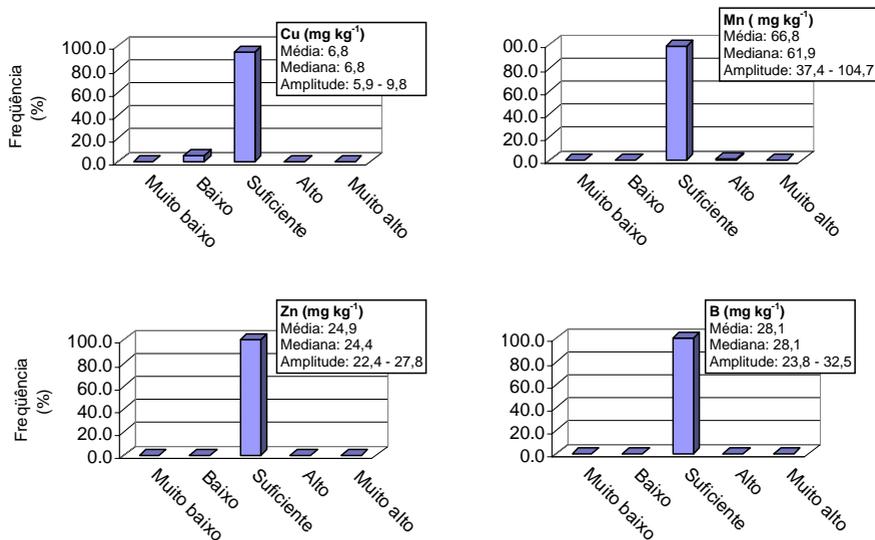


Figura 3. Distribuição percentual das amostras conforme as classes de interpretação dos resultados das análises foliares de micronutrientes. Luís Eduardo Magalhães, BA, safra 2003/2004.

No caso do potássio, a adubação de cobertura com KCl aos 25 dias do plantio proporcionou boa disponibilidade do nutriente e poderia explicar os elevados teores de K nas folhas à época do florescimento.

Então, de acordo com a análise foliar, as deficiências de N e de Mg seriam os principais fatores limitantes da produtividade de soja na área em estudo.

Entretanto, em face da gama de fatores que podem afetar os teores foliares de nutrientes (MALAVOLTA et al., 1997), há limitações em relação à confiabilidade desse método de diagnose nutricional, principalmente, quando se trata de lavouras comerciais. Da mesma forma, os mapas expressando a variação espacial dos teores foliares de nutrientes não permitem interpretações e diagnóstico muito consistentes. Esse diagnóstico pode ser aprimorado ao se levar em conta o desempenho da cultura quanto à produção de grãos, comparando o mapa de produtividade com o mapa dos teores de nutrientes nas folhas.

Diagnóstico geral baseado nas análises de solo

Para a maioria das amostras, as condições de fertilidade estavam aquém do considerado adequado para a região do Cerrado (Figuras 4, 5 e 6). À exceção do

P e do S, que se encontravam com teores adequados ou altos na maior parte das amostras, os resultados das análises do solo, depois da colheita da soja, evidenciaram fatores limitantes relacionados à acidez (como pH baixo e deficiência de Ca), baixos teores de matéria orgânica, de Mg e de K.

Tendo como adequados os valores de pH entre 5,6 e 6,3 ([SOUSA; LOBATO, 2002](#)), somente 8% das amostras se enquadraram nessa categoria. Apesar de a maioria das amostras apresentarem valores relativamente baixos de acidez potencial (H + Al), aproximadamente 61% apresentaram pH baixo ($\leq 5,1$) e 31% médio (5,2 a 5,5). Os valores da soma de bases (Ca + Mg + K) foram inferiores a $1,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para 66% das amostras, abaixo, portanto, do nível tido como bom ($> 3,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) segundo [Alvarez Venegas et al. \(1999\)](#). Entretanto, a saturação por bases (V%) apresentou valores adequados (acima de 36%), em cerca de 58% das amostras, mas, ainda, abaixo do recomendado para a cultura da soja na região do Cerrado (V = 50%).

É importante destacar que o fato de a amostragem de solo ter sido realizada depois da colheita da cultura foi um complicador para o diagnóstico nutricional da lavoura. Assim, não houve clara correspondência entre as tendências observadas ao se considerar os dados de folha e de solo. Contrariamente ao que foi detectado na análise foliar, os resultados das análises de solo apresentaram teores adequados de Mg ($0,5$ a $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em 61% das amostras e teores de Ca ($< 1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e de K ($\leq 30 \text{ mg dm}^{-3}$) abaixo do adequado em 84% e 70% das amostras, respectivamente.

Considerando que o solo é arenoso e pouco tamponado, a extração de nutrientes pela cultura explicaria, em parte, a baixa disponibilidade de Ca e de K. Além disso, parte desses nutrientes pode ter sido perdida por lixiviação, uma vez que o solo apresenta baixa CTC. A pequena capacidade de reserva de nutrientes faz com que os solos arenosos e pobres em matéria orgânica sejam mais sujeitos a alterações abruptas nas condições de fertilidade em curto período de tempo.

O teor de matéria orgânica nas amostras variou de 0,5% a 1,2%. Apenas 11% delas apresentaram teores adequados ($> 1,1\%$) para solos com textura arenosa. Esse fato é relevante, pois, nesses solos, a contribuição da fração mineral para a CTC é muito baixa, sendo a matéria orgânica responsável pela quase totalidade da capacidade de retenção de cátions ([SILVA et al., 1994](#)).

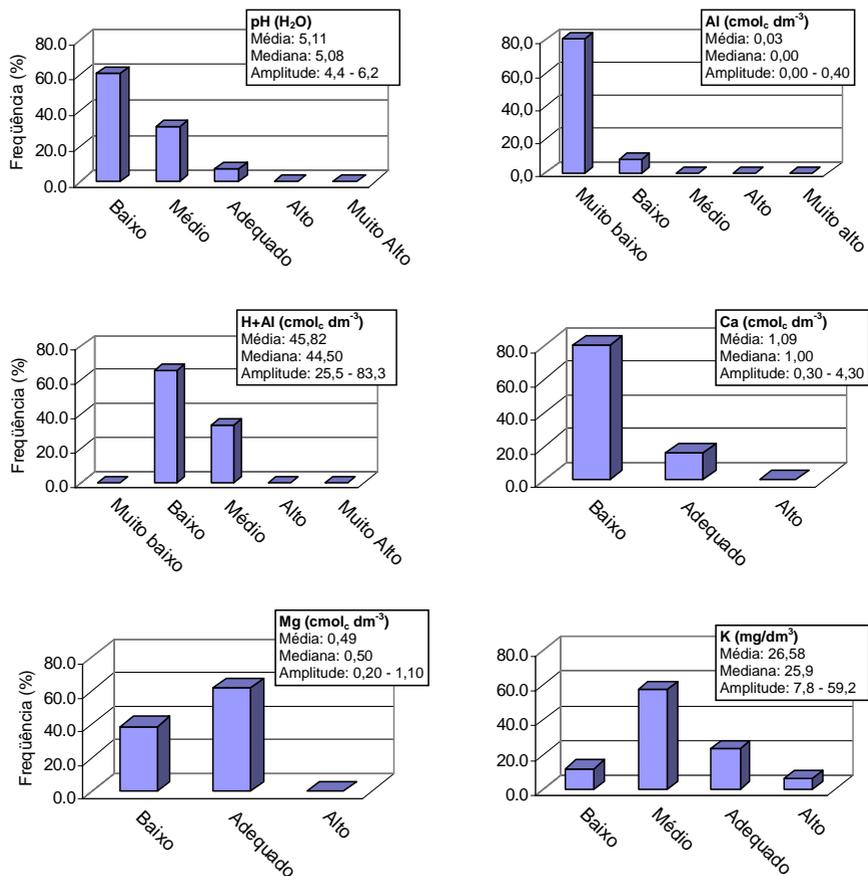


Figura 4. Distribuição percentual das amostras conforme as classes de interpretação dos resultados de análises de solo para pH, Al, H+Al, Ca, Mg e K. Luís Eduardo Magalhães, BA, 2004.

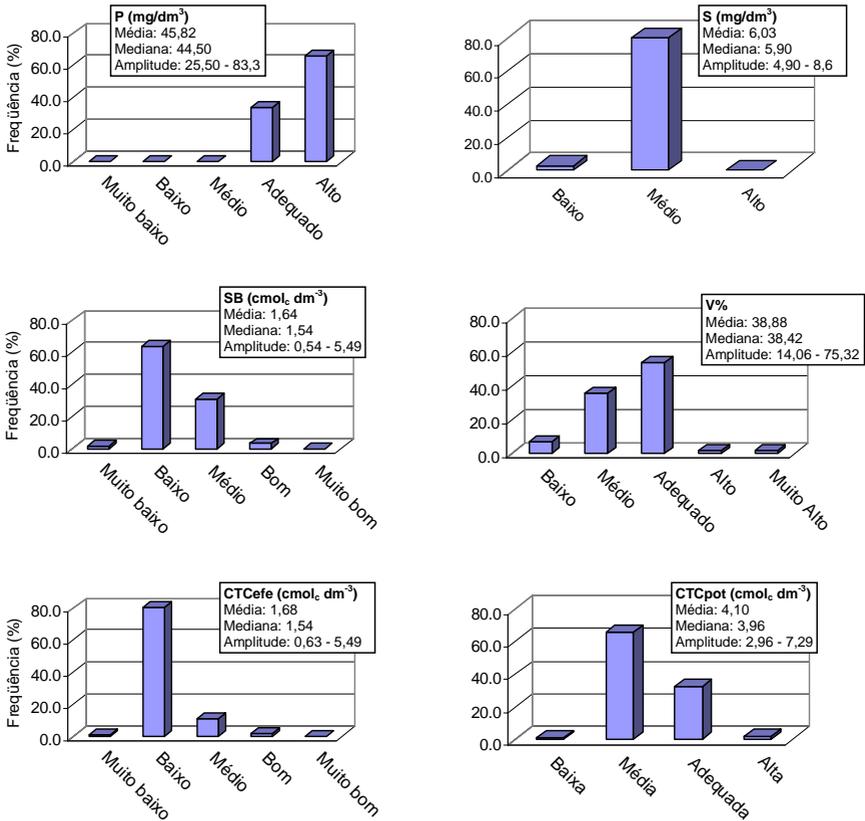


Figura 5. Distribuição percentual das amostras, conforme as classes de interpretação dos resultados de análises de solo para P, S, soma de bases (SB), saturação por bases (V%), CTC efetiva e CTC potencial. Luís Eduardo Magalhães, BA, 2004.

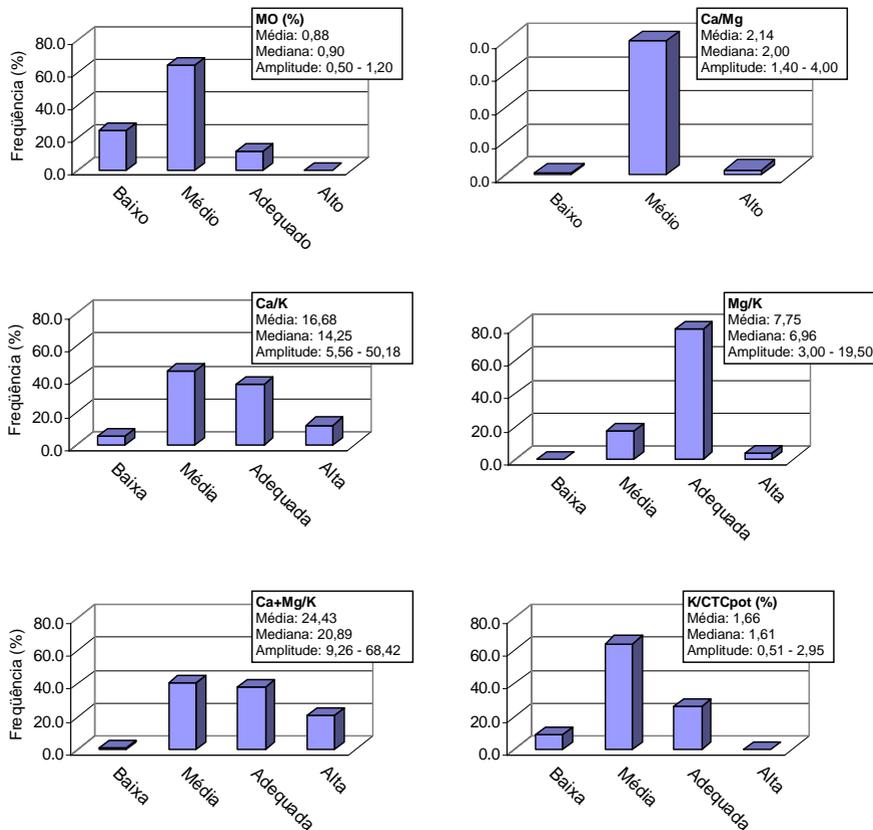


Figura 6. Distribuição percentual das amostras conforme as classes de interpretação dos resultados de análises de solo para matéria orgânica (MO), Ca/Mg, Ca/K, Mg/K, Ca + Mg/K e K/CTC potencial. Luís Eduardo Magalhães, BA, 2004.

De modo geral, é possível apontar as condições de acidez do solo (pH baixo e deficiência de Ca) e a deficiência de K como prováveis fatores limitantes da produtividade da soja. Contudo, a comparação dos mapas de atributos de solo com o de produtividade e os estudos de correlação, certamente, dão maior confiabilidade ao diagnóstico dos fatores que influenciaram a cultura.

Produtividade da soja

Conforme os dados brutos (originais) do monitoramento da colheita da soja, obteve-se produtividade variando de 712 a 3.379 kg ha⁻¹, com média de 2.075 kg ha⁻¹ e mediana de 2.070 kg ha⁻¹. Deve-se observar que a

representação espacial dos dados de colheita no mapa interpolado pelo inverso da distância (Figura 7) apresenta alguma variação da produtividade em relação aos dados brutos (785 a 3.354 kg ha⁻¹).

A variação na produção dentro da área de estudo implicou diferenças de até 327% na produtividade (Figura 7), evidenciando grande desuniformidade na lavoura. Tratando-se de uma área irrigada por pivô central, era de se esperar produção mais uniforme, com produtividade média elevada, de modo a compensar o investimento e os custos no sistema irrigado. Observaram-se grandes variações de produção de um local para outro na área e a presença de “manchas” com produtividades consideravelmente baixas (Figura 7), indicativo provável de falhas na condução da cultura (ex: controle de pragas e de plantas daninhas). A produtividade média da área (2.075 kg ha⁻¹) está aquém da média para a região do Cerrado, de cerca de 3.000 kg ha⁻¹ (EMBRAPA SOJA, 2003).

Comparando a produtividade da soja na safra 2003/2004 com a produtividade do milho na safra 2002/2003, por meio dos mapas de colheita (Figuras 7 e 8), observa-se que há certa correspondência quanto à localização das zonas de maior produtividade nas duas safras. Isso indica que essas zonas teriam uma estabilidade temporal.

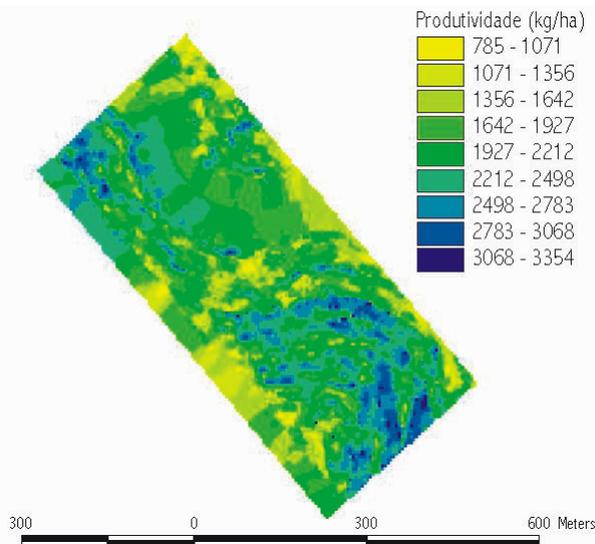


Figura 7. Mapa de produtividade da soja na área de estudo. Luís Eduardo Magalhães, BA, safra 2003/2004.

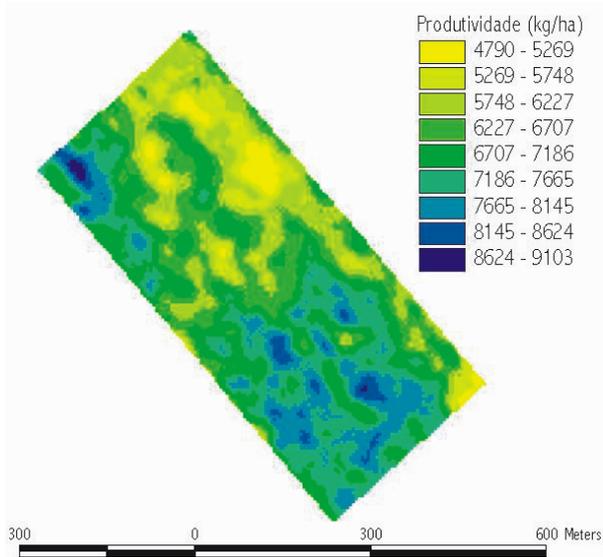


Figura 8. Mapa de produtividade do milho na área de estudo. Luís Eduardo Magalhães, BA, safra 2002/2003.

Correlações

Os coeficientes de correlação linear para as variáveis de solo e de folha, entre si e com a produtividade, foram baixos, com poucos coeficientes significativos ([Tabelas 1 e 2](#)).

Apesar da grade amostral bastante densa, a maioria das correlações entre variáveis de solo e folha não foi significativa. Essa situação pode ser atribuída a uma conjunção de fatores. Um complicador foi a amostragem do solo depois da colheita da soja. Correlacionaram-se os teores de nutrientes absorvidos com os do solo após o cultivo. Por se tratar de solo arenoso pouco tamponado, pode ter ocorrido alteração na disponibilidade de nutrientes em decorrência do cultivo da soja, de forma mais drástica do que ocorreria em solo mais argiloso.

Além disso, as próprias amostragens georreferenciadas podem ter influenciado a correspondência entre os resultados das análises de folha e de solo. O equipamento de GPS, utilizado para a coleta das amostras, normalmente, apresenta erro de precisão que pode levar a variações de 7 a 10 metros em relação à localização exata de determinado ponto geográfico. Com isso, a sobreposição da

coleta das amostras de folha e, posteriormente, das amostras de solo pode ter sido influenciada, ocasionando mais uma fonte de interferência nas correlações.

Finalmente, é preciso considerar, também, que as condições de maior ou menor crescimento da soja podem afetar inversamente os teores foliares de nutrientes pelo efeito de diluição. Com baixa disponibilidade de nutrientes, a planta cresceria menos e concentraria os nutrientes absorvidos, resultando em elevados teores na análise foliar. Com fertilidade adequada, o contrário poderia ocorrer. Nesses casos, a relação entre teor de um nutriente no solo e na planta seria invertida ([JARREL; BEVERLY, 1981](#)).

Algumas variáveis de solo apresentaram correlações significativas com a produtividade de grãos, destacando-se os teores de matéria orgânica ($r=0,34$) e de potássio ($r=0,28$), a saturação por potássio na CTC potencial ($r=0,26$) e o pH ($r=0,23$). Embora significativos, esses coeficientes são baixos (Tabela 1).

A obtenção de baixas correlações entre atributos químicos do solo e a produtividade das culturas é relatada em outros trabalhos com dados georreferenciados ([COX; WARDLAW, 1999](#); [MOLIN, 2001](#)). Estudos conduzidos por Nolin et al. (1996), com a cultura do milho, em solo argiloso, revelaram correlações significativas entre a produtividade e variáveis como pH em água ($r=0,43$), CTC ($r=0,41$), Ca ($r=0,45$) e teor de areia ($r=-0,37$). Foram constatadas, ainda, baixas correlações com K ($r=0,23$) e carbono orgânico ($r=0,04$ n.s.). Cox e Wardlaw (1996) destacaram que coeficientes de correlação para atributos relativos à fertilidade de solos cultivados com soja variam muito entre locais, em função do manejo, topografia e dos cultivos anteriores. Segundo [Molin \(2001\)](#), a fertilidade do solo tem sido menos efetiva que topografia, profundidade do solo, textura e compactação, para explicar a variação espacial e temporal da produtividade.

A interpolação dos dados por krigagem, um procedimento mais refinado para processar informações georreferenciadas, resultou em correlações significativas entre produtividade e teor de matéria orgânica ($r=0,39$), teor de K ($r=0,41$) e saturação de K na CTC ($r=0,42$). Para o pH, a nova correlação obtida foi não-significativa ($r=0,21$). Nos mapas que representam a espacialização dos valores das variáveis ([Figura 9](#)), observa-se que as manchas com teores mais elevados de matéria orgânica e de potássio têm boa correspondência com aquelas onde se obtiveram maiores produtividades.

Tabela 1. Coeficientes de correlação linear entre variáveis de solo, teores de nutrientes na folha e produtividade da soja.

Solo	Folha										
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn	B	Produtividade
pH	0,21	0,05	0,05	0,12	0,13	-0,17	0,22	0,16	0,22	-0,05	0,23*
Ca	0,06	0,08	-0,14	0,19	0,13	-0,17	0,10	0,07	0,09	-0,02	0,20
Mg	0,12	0,01	-0,13	0,20	0,17	-0,17	0,23	0,04	0,14	0,03	0,14
Al	-0,13	0,00	0,13	-0,06	-0,13	0,21	-0,02	-0,03	-0,06	-0,13	-0,05
H+Al	-0,24*	-0,02	-0,05	-0,11	-0,16	0,13	-0,19	-0,13	-0,20	0,08	-0,20
K	0,11	-0,02	-0,07	0,08	-0,01	0,02	-0,14	0,03	0,14	-0,04	0,28*
P	0,16	-0,10	0,05	-0,22*	-0,22	0,17	-0,11	0,00	-0,05	0,00	0,13
S	0,14	-0,31*	0,18	-0,24*	-0,13	0,15	-0,08	0,17	0,07	-0,13	0,16
Mat.org.	0,08	-0,12	0,05	0,07	0,12	-0,03	-0,06	0,13	0,18	0,00	0,34*
Soma bases	0,08	0,06	-0,14	0,20	0,14	-0,17	0,12	0,07	0,11	-0,01	0,20
CTCefe	0,06	0,06	-0,13	0,21	0,13	-0,15	0,13	0,07	0,11	-0,04	0,20
CTCpot	-0,11	0,07	-0,27*	0,21	0,08	-0,15	0,01	-0,02	-0,01	0,06	0,15
m%	-0,13	0,01	0,15	-0,06	-0,13	0,19	-0,02	-0,02	-0,06	-0,15	-0,03
V%	0,14	0,04	-0,11	0,20	0,17	-0,17	0,17	0,08	0,16	0,00	0,19
K/CTC	0,16	-0,05	0,01	0,01	-0,05	0,08	-0,14	0,03	0,15	-0,04	0,26*
Ca + Mg/K	0,06	-0,01	-0,10	0,19	0,17	-0,23*	0,27*	0,00	0,01	0,07	-0,06
Ca/K	0,05	0,01	-0,12	0,20	0,17	-0,24*	0,24*	0,00	0,01	0,07	-0,01
Mg/K	0,07	-0,07	-0,04	0,16	0,17	-0,21	0,32*	0,00	0,00	0,06	-0,19
Ca/Mg	0,02	0,18	-0,14	0,14	0,10	-0,15	-0,13	0,04	0,01	-0,01	0,20
Produtividade	0,03	0,06	-0,10	0,11	0,11	0,15	-0,06	-0,08	-0,05	0,21	-

*Correlação significativa a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Coeficientes de correlação linear entre variáveis de solo, relações de nutrientes na folha e produtividade da soja.

Solo	Folha							
	N/S	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	P/S	P/Zn	Cu/Zn	Ca+ Mg/K
pH	0,17	0,08	0,05	0,03	0,14	-0,07	0,09	0,05
Ca	0,17	0,16	0,20	0,19	0,19	0,02	0,05	0,20
Mg	0,17	0,16	0,20	0,19	0,13	-0,06	0,14	0,20
Al	-0,20	0,00	-0,10	-0,17	-0,16	0,03	0,01	-0,11
K	0,00	0,08	0,10	0,07	-0,03	-0,08	-0,20	0,10
P	-0,05	-0,16	-0,16	-0,13	-0,14	-0,06	-0,08	-0,16
S	-0,04	-0,22	-0,21	-0,18	-0,27*	-0,28*	-0,11	-0,2
Mat.org.	0,00	0,02	0,02	0,01	-0,09	-0,17	-0,15	0,02
Soma bases	0,17	0,17	0,21	0,20	0,18	0,00	0,06	0,2
CTCefe	0,14	0,18	0,20	0,18	0,16	0,00	0,07	0,20
CTCpot	0,13	0,20	0,27*	0,26*	0,19	0,07	0,02	0,27*
m%	-0,19	0,00	-0,11	-0,17	-0,14	0,03	0,00	-0,12
V%	0,18	0,15	0,19	0,18	0,16	-0,04	0,08	0,19
K/CTC	-0,05	0,02	0,02	-0,01	-0,10	-0,12	-0,21	0,02
Ca+ Mg/K	0,25*	0,15	0,16	0,16	0,19	-0,01	0,25*	0,17
Ca/K	0,25*	0,16	0,18	0,17	0,21	0,01	0,22*	0,18
Mg/K	0,22	0,12	0,11	0,11	0,13	-0,05	0,30*	0,11
Ca/Mg	0,14	0,11	0,16	0,17	0,25	0,14	-0,12	0,17
Produtividade	-0,07	0,06	0,13	0,15	-0,03	0,05	-0,04	0,14

*Correlação significativa a 5% de probabilidade.

As relações observadas ([Figura 9](#)) são coerentes com a alta exigência de K pela cultura da soja ([VITTI; TREVISAN, 2000](#); [EMBRAPA SOJA, 2003](#)). Quanto à matéria orgânica, embora em pequena quantidade, constitui-se na principal responsável pela CTC em solos arenosos, influenciando o potencial produtivo desses solos na região oeste da Bahia ([SILVA et al., 1994](#)).

Discussão geral

As avaliações realizadas não permitiram um parecer conclusivo, a despeito da utilização de amostragens bastante densas de solo e de folhas. Apesar da obtenção de correlações significativas com alguns atributos químicos do solo ([Tabela 1](#)), as variáveis ligadas à fertilidade do solo não explicaram as diferenças de produtividade observadas. Conseqüentemente, pode-se questionar a confiabilidade dos mapeamentos realizados em grades amostrais muito menos densas (uma amostra a cada 5 ou 10 hectares) para caracterizar a fertilidade do solo e prescrever aplicações de corretivos e fertilizantes a taxas variáveis em grandes talhões de produção no Cerrado.

Pelos dados obtidos, pode-se concluir que os teores de matéria orgânica e de potássio no solo foram os atributos mais relacionados à variação de produtividade da soja. Embora os teores de matéria orgânica e a disponibilidade de K sejam baixos, os mapas interpolados por krigagem ([Figura 9](#)) apresentam zonas com diferenças de até 59% e 111% nos teores de matéria orgânica e de potássio, respectivamente. Tendo em vista a grande variação da produtividade na área ([Figura 9](#)), justifica-se a adoção de medidas para alcançar maior uniformidade na produção e maiores produtividades.

É recomendável o uso de manejo para manter ou elevar os teores de matéria orgânica. A sucessão de culturas praticada nas últimas safras (safra 2002/2003: milho; segunda safra 2003: feijão; safra 2003/2004: soja; segunda safra 2004: algodão; safra 2004/2005: arroz; e segunda safra 2005: milho) precisaria ser mais bem planejada. A seqüência feijão/soja/algodão, certamente, não foi favorável à preservação da matéria orgânica no sistema conforme se pode visualizar pelo acúmulo de palhada em 2002 e 2005 ([Figura 10](#)).

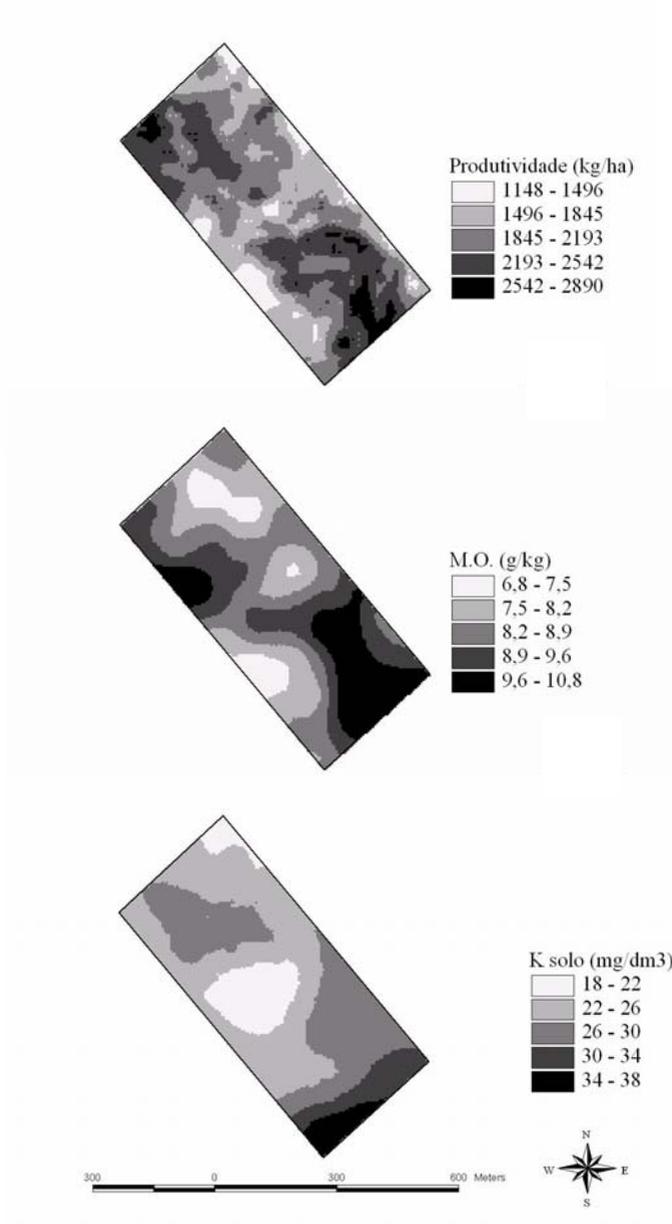


Figura 9. Mapas de produtividade da soja e de teores de matéria orgânica (MO) e de potássio (K) no solo, obtidos por krigagem. Luís Eduardo Magalhães, BA.

As taxas de adição de matéria orgânica são afetadas pela sucessão de culturas utilizada, em função da quantidade de resíduos vegetais que retornam ao solo anualmente. A recuperação dos teores de matéria orgânica nos sistemas intensivos de produção pode ser obtida pela inclusão de gramíneas com grande produção de resíduos de alta relação C/N na rotação de culturas. Essa prática deve ser associada ao cultivo no sistema de plantio direto. O revolvimento do solo aumenta as taxas de perda de matéria orgânica, devido à influência deste na temperatura, umidade, aeração, agregação e cobertura do solo ([BAYER; MIELNICZUK, 1999](#)).



Figura 10. Condição de palhada na área de estudo: (A) em 2002 (precedendo a safra de milho - 2002/2003) e (B) em 2005 (na colheita da safra de arroz - 2004/2005).

Quanto ao potássio, a prioridade no manejo da adubação seria atender as exigências das culturas, proporcionando o balanço adequado de cátions (Ca/Mg/K) e minimizando as perdas por lixiviação.

A soja exporta grande quantidade de K nos grãos ([BORKERT et al., 1994](#)), sendo importante evitar a deficiência do nutriente durante o ciclo da cultura e o esgotamento total do solo. Segundo [Vitti e Trevisan \(2000\)](#), se o teor de K no solo for inferior a $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (39 mg dm^{-3}), a soja não poderá ser cultivada sem adubação corretiva e de manutenção. Entretanto, em solos com textura arenosa (baixa CTC), não se recomenda fazer a adubação corretiva com potássio por causa das acentuadas perdas por lixiviação.

Na área em estudo, a adubação de manutenção deve ser parcelada, no plantio e em cobertura(s), visando reduzir as perdas por lixiviação e suprir as necessidades da planta ao longo do ciclo. Deve-se considerar, ainda, o equilíbrio de bases no solo, pois teores elevados de Ca e Mg podem inibir a absorção de K e acentuar as perdas deste por lixiviação devido à preferência dos primeiros na adsorção aos colóides ([RAIJ, 1991](#)). Finalmente, é importante lembrar que uma eventual elevação dos teores de matéria orgânica aumentaria a CTC e, conseqüentemente, a retenção e a reserva de K no solo.

O diagnóstico efetuado não apresentou indicativos de problemas relacionados à acidez do solo, porém, os baixos valores de pH e dos teores de bases indicaram a necessidade de calagem para os cultivos seguintes. Deve-se considerar que a amostragem de solo foi realizada depois da safra da soja. É possível que as condições de acidez do solo não tenham sido limitantes durante o ciclo da cultura, mas, provavelmente, passariam a sê-lo nos cultivos seguintes.

O diagnóstico foi realizado em apenas uma safra, sendo necessário continuar o monitoramento da produtividade e dos teores de matéria orgânica e de potássio em longo prazo para verificar a evolução das condições de fertilidade do solo e da produtividade das culturas. Adicionalmente, deve-se considerar o histórico de outros fatores relacionados ao desempenho da cultura, como incidência de pragas, doenças e plantas invasoras.

Em lavouras comerciais, é recomendável cercar-se da maior gama possível de informações e do histórico da área para definir estratégias de manejo da fertilidade do solo. Avaliações superficiais para subsidiar decisões imediatistas

podem levar a recomendações precariamente embasadas, aumentando o risco de insucesso. Esse poderá ser o caso, ao se fazer uso de mapas de produtividade ou de atributos do solo para definir a aplicação de fertilizantes a taxas variáveis, ignorando-se a visão de conjunto dos fatores que condicionam o desenvolvimento das culturas. A exemplo do manejo agrônômico convencional, a consolidação da agricultura de precisão deverá, necessariamente, considerar o caráter multidisciplinar inerente à atividade agrícola.

Conclusões

Nas condições da lavoura estudada:

1. Não há relação clara entre os dados das análises de folha e de solo. O diagnóstico baseado nas análises foliares aponta problemas de deficiência de nitrogênio e de magnésio. O diagnóstico baseado nas análises de solo indica problemas relacionados ao baixo pH, deficiências de cálcio e de potássio e aos baixos teores de matéria orgânica.
2. Quando avaliados em conjunto, os dados georreferenciados de análises de folha e de solo e da produtividade da soja permitem refinar o diagnóstico nutricional da lavoura.
3. Os teores de matéria orgânica e de potássio no solo e a saturação de potássio na CTC são os atributos mais relacionados com a produtividade, apresentando coeficientes de correlação significativos e positivos.
4. Não há subsídios concretos para definir estratégias de manejo localizado da fertilidade do solo (aplicação de corretivos e fertilizantes a taxas variáveis), mas apenas indicativos de priorização de práticas que auxiliem a disponibilidade de potássio para as culturas e aumentem os teores de matéria orgânica no solo.

Referências Bibliográficas

ALVAREZ VENEGAS, V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VENEGAS, V. H. (Ed.).

Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5^o
Aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 25-36.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.

BORKERT, C. M.; YORINORI, J. T.; CORREA-FERREIRA, B. S.; ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; SFREDO, G. J. Seja o doutor da sua soja. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 66, p. 1-16, jun. 1994.

COX, M. S.; WARDLAW, M. C. Grid soil sampling to determine manageable physical and chemical properties affecting soybean production. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., Minneapolis, 1999. **Proceedings...** Madison: ASA, CSS, SSSA, 1999. p. 327-333.

DECHEN, A. R.; BATAGLIA, O. C.; SANTOS, W. R. Conceitos fundamentais da interpretação da análise de plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Embrapa-CPATSA; SBCS, 1995. p. 87-115.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil - 2004**. Londrina, 2003. 237 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 4).

ISAACS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

JARREL, W. M.; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, New York, v. 34, p. 197-224, 1981.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARQUES JÚNIOR, J.; CORÁ, J. E. Atributos do solo para agricultura de precisão. In: SILVA, F. M.; BORGES, P. H. M. (Ed.). **Mecanização e Agricultura de precisão**. Lavras: UFLA; SBEA, 1998. p. 31-70.

MOHAMED, S. B.; EVANS, E. J.; SHIEL, R. S. Mapping techniques and intensity of soil sampling for precision farming. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 1996, Minneapolis. **Proceedings...** Madison: ASA; CSS; SSSA, 1996. p. 217-225.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão**: o gerenciamento da variabilidade.

Piracicaba: o autor, 2001. 83 p.

NOLIN, M. C.; GUERTIN, S. P.; WANG, C. Within-field spatial variability of soil nutrients and corn yield in a Montreal Lowlands clay soil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 1996, Minneapolis.

Proceedings... Madison: ASA; CSS; SSSA, 1996. p. 257-270.

OLIVEIRA, F. C. M.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C.; ZULLO JUNIOR, J. Variabilidade espacial da produtividade e nutrientes absorvidos pela cana-de-açúcar visando agricultura de precisão. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2002. CD-ROM.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343 p.

SILVA, F. C. da. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18. p. 541-547, 1994.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo**: fundamentos e perspectivas. Brasília: Ministério da Educação; ABEAS; Lavras: ESAL; FAEPE, 1988. 236 p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 416 p.

VITTI, G. C.; TREVISAN, W.; Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 90, p. 1-16, jun. 2000.

Embrapa

Cerrados

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

