

FERTILIDADE DO SOLO E SUA INFLUÊNCIA NO RENDIMENTO DAS CULTURAS – PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO

L.M. GIMENEZ¹

J.P. MOLIN²

RESUMO: Estudos em áreas conduzidas sob sistema de plantio direto há vários anos, associando os fatores da fertilidade química do solo com o rendimento das culturas, têm apresentado coeficientes de correlação bastante baixos. Nestas áreas os teores de nutrientes são elevados, indicando que as restrições a maiores rendimentos não se devem aos teores dos nutrientes encontrados no solo, mas sim ao balanço dos mesmos. Neste trabalho foram reunidas informações de produtividade e de fertilidade química do solo, de um talhão produtivo que se encontra sob o sistema plantio direto e que faz parte de um projeto da Fundação ABC, Castro, PR, onde são estudadas técnicas relacionadas à Agricultura de Precisão. Propõe-se uma metodologia para definir unidades de manejo com base nas informações de fertilidade química do solo permitindo ainda a inclusão de outras variáveis na delimitação destas unidades dentro de um mesmo talhão.

Palavras Chave: Agricultura de Precisão, unidades homogêneas, fertilidade do solo.

SOIL FERTILITY AND ITS INFLUENCE ON YIELD – A METHODOLOGY FOR DEFINING MANAGEMENT ZONES

SUMMARY – Recent studies on no-till fields trying to associate soil chemical fertility and yield, normally have resulted in low correlation coefficients. Chemical components of soil fertility are high in these areas, indicating that they are not individually limiting yield, but its balance may not be correct. In this work several information related to one no-till field were integrated. The field is part of a large effort of ABC Foundation in Paraná State, to study precision agriculture and its potential for local farmers. A methodology for defining management zones is proposed and it is based on soil fertility information, but other factors may be included.

Keywords – precision agriculture, uniform zones, soil fertility

¹ Pesquisador, Pesquisador, Fundação ABC.Rod. PR 151, Km 155,5. Cx.Postal 1003, Castro, PR tel : (42)2322662 / E-mail: mecaniza@convoy.com.br.

² Prof. Doutor, Depto de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba, SP. Pesquisador do CNPq. E-mail: jpmolin@esalq.usp.br

INTRODUÇÃO

Agricultura de precisão é o nome dado ao método de manejo das culturas em áreas pequenas, dentro de um talhão, que podem ser tratadas com diferentes níveis de insumos dependendo do potencial de rendimento da cultura nestas áreas, (EARL et al. 1997).

Segundo SAFFORD et al. (1999), a aplicação de insumos de modo diferenciado em um talhão requer a sua subdivisão em unidades de manejo, definidas como áreas que se apresentam suficientemente uniformes para serem tratadas de modo homogêneo.

A determinação da variabilidade presente no rendimento das culturas em um mesmo talhão pode ser atribuída a um número bastante grande de fatores. Segundo ACOCK e PACHEPSKY (1997), a temperatura do solo, temperatura do ar, radiação solar, precipitação, umidade, ventos, nutrientes, profundidade do solo, densidade do solo, presença de plantas daninhas, pragas e doenças são alguns dos fatores que afetam as culturas e podem causar variabilidade. Os mesmos autores afirmam que a tecnologia disponível hoje para levantar informações de variabilidade nas culturas são muitas e bastante avançadas e que somente poderemos realizar intervenções a contento quando compreendermos o sistema produtivo como um todo.

BLACKMORE (1998), propôs uma metodologia para melhorar a interpretação de mapas de produtividade obtidos ao longo de vários anos, pretendendo com isso identificar unidades de manejo distintas. A metodologia permite a obtenção de mapas representando a tendência e a estabilidade temporal do rendimento das culturas.

HOSKINSON et al. (1999), estudando a variabilidade temporal dos teores de nutrientes no solo, encontrou alterações significativas nos teores de nutrientes em período bastante reduzido. Os autores atribuíram esta variação dos teores de nutrientes primeiramente à comunidade microbiana do solo, fazendo ressalvas quanto à determinação da dose de fertilizantes a ser aplicada.

Em estudo realizado por LÜTTICKEN et al. (1997), as correlações obtidas entre os teores de nutrientes no solo e o rendimento das culturas apresentaram coeficientes de correlação bastante baixos, sendo significativa somente a influência da matéria orgânica, em 4 de 24 talhões estudados.

FLEMING et al.(1999), estudaram diferentes metodologias para determinar unidades de manejo visando a aplicação de fertilizantes em dose diferenciada. Concluíram que a coleta de grande número de amostras para gerar os mapas de aplicação, foram economicamente inferiores à determinação de unidades de fertilidade do solo utilizando o conhecimento do produtor, fotografias aéreas e condutividade elétrica.

O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia simples para a definição de unidades de manejo em um campo produtivo com base em mapas de produtividade e diferentes variáveis. No modelo proposto utilizaram-se como

variáveis os teores de nutrientes do solo, sua textura e a altitude, pois eram estas as informações disponíveis. O modelo pode, entretanto, utilizar outras variáveis além dos dados de fertilidade química do solo. Os resultados obtidos na forma de índices, representam com alguma fidelidade a tendência do rendimento no talhão estudado.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se informações dos mapas de rendimento, fertilidade química do solo, granulometria e altitude obtidos em uma das áreas em que a Fundação ABC estuda tecnologias relacionadas à Agricultura de Precisão. Trata-se de um talhão produtivo, de aproximadamente 26 ha, situado no município de Ponta Grossa, PR, com latitude 25°01'06"S, longitude 50°09'45"W e altitude aproximada de 860m. A gleba é conduzida sob sistema de plantio direto.

Foram obtidos mapas de rendimento da cultura da soja, milho e soja, nas safras 98/99, 99/00 e 00/01, respectivamente. Na safra 00/01 coletou-se junto com o Rendimento, informações de altitude. Os dados foram obtidos com a utilização de monitores de produtividade RDS PRO Series 8000, instalado em uma colhedora New Holland TC 55, e AgLeader 2000, instalado em uma colhedora New Holland TC 57. Os dados de produtividade foram submetidos a um processo de filtragem de acordo com critérios que permitissem a eliminação de pontos com valores improváveis, assim como pontos com problemas de localização, conforme GIMENEZ e MOLIN (2000).

Os resultados de análise química e granulométrica do solo são de uma amostragem realizada ao final de 1999, com amostras retiradas na profundidade de 0 a 10 cm. A amostragem seguiu um esquema de grade regular de 60 m de lado. Foram estudados os fatores: fósforo, matéria orgânica, pH, potássio, cálcio, magnésio, H+Al, soma de bases, saturação em bases e CTC além das proporções de areia silte e argila.

Os dados de produtividade, altitude, análise química e granulométrica do solo foram interpolados para a geração de mapas de quadrículas de 10 m de lado com a utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) dedicado à Agricultura de Precisão. Obteve-se uma tabela com todos os dados, de modo que cada linha representasse uma quadrícula com os atributos considerados e coordenadas conhecidas, resultando em 2603 linhas .

Com o auxílio de uma planilha eletrônica foi realizada a normalização dos dados de produtividade, obtendo-se para cada uma das safras, o rendimento relativo à média de produtividade. Foi obtido a seguir o rendimento relativo médio, através da média dos rendimentos relativos das três safras, sendo utilizados somente os dados com coeficiente de variação inferior a 15%, o que reduziu o número de linhas para 2001.

Realizou-se a correlação entre todos os fatores (colunas) das tabelas, e obtiveram-se coeficientes de correlação bastante baixos. Na tentativa de obter melhores coeficientes de correlação, partiu-se para o aumento da área amostral, através da média de 100 quadrículas da tabela, organizadas em ordem de rendimento relativo. Desta maneira a área amostral passou de 100m² para 10.000m², sendo utilizados para a correlação 20 valores ao invés de 2001.

Os coeficientes de correlação obtidos por esta metodologia foram bastante superiores àqueles obtidos anteriormente, sendo realizado o ajuste de equações de regressão linear. Os coeficientes de regressão obtidos foram satisfatórios, permitindo utilizar as equações para calcular quais os valores numéricos dos fatores considerados, necessários para a obtenção de rendimentos relativos iguais à média (100%).

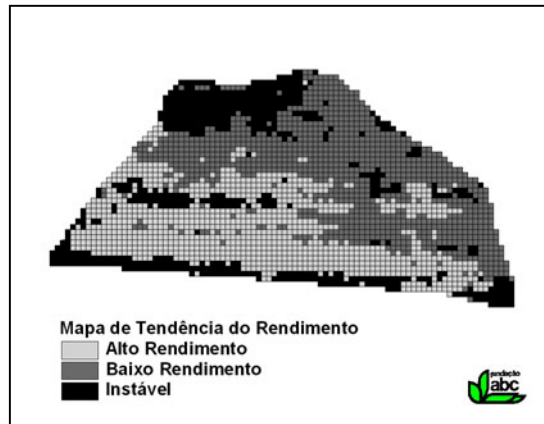
A seguir atribuíram-se notas para cada uma das 2603 quadrículas da tabela original em cada uma das colunas. Quando o valor da quadrícula, para um determinado fator, encontrava-se igual ou acima daquele considerado adequado atribuía-se o valor 1 (um) e quando este valor estava abaixo daquele considerado adequado, atribuía-se o valor 0 (zero). Desta forma sendo contempladas 10 variáveis para cada quadrícula, podia-se obter ao final do processo, pelo somatório dos valores atribuídos, a nota 10, caso todas as variáveis da quadrícula possuíssem os valores considerados adequados pela regra imposta e 0 se nenhuma variável possuísse valor considerado correto. Esta nota foi calculada em termos percentuais e ao resultado denominou-se índice, que foi espacializado.

Foram realizadas simulações na tentativa de delimitar unidades do talhão com maior capacidade produtiva. Foram comparados os mapas de índices obtidos com os mapas de produtividade e de rendimento relativo médio por meio de correlações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é apresentado o mapa de tendência do rendimento relativo médio das 3 safras. Observa-se a concentração de menores rendimentos na parte superior e a concentração de rendimentos mais altos na parte inferior da figura. Na região central notam-se porções de alta e baixa produtividade bastante próximas. Há uma tendência de repetibilidade da produtividade ao longo dos anos, entretanto nesta região central, a produtividade se comporta de modo variado ao longo das safras.

Figura 1 – Mapa de tendência de rendimento.



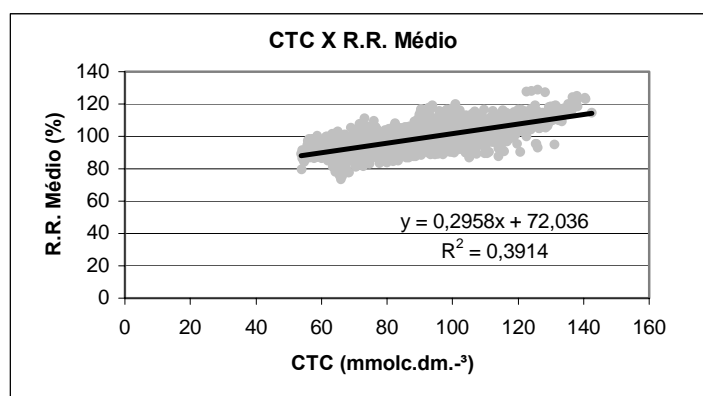
Após a união das informações dos mapas de produtividade com as informações de fertilidade, granulometria e altitude, foi obtida uma tabela onde as colunas representam as variáveis e as linhas as quadrículas. Com os dados reunidos em uma mesma base, procedeu-se ao cálculo do rendimento relativo médio e à correlação deste com os fatores da fertilidade química do solo. Desprezaram-se as informações das quadrículas que possuíam coeficiente de variação do rendimento relativo acima de 15%, considerando-se as três colheitas. Os coeficientes de correlação obtidos desta maneira são apresentados na tabela 1. Tabela 1 - Coeficientes de correlação obtidos utilizando-se todos os dados com C.V. abaixo de 15%.

Variáveis	So	Mil	Mil	R.R.
V (%)	-	-	-	-0,35
CTC (mmolc.dm ⁻³)	0,	0,4	0,3	0,65
Soma de Bases	0,	0,1	0,2	0,23
Mg (mmolc.dm ⁻³)	0,	0,1	0,2	0,24
Ca (mmolc.dm ⁻³)	0,	0,1	0,2	0,21
K (mmolc.dm ⁻³)	0,	0,4	0,1	0,31
Al (mmolc.dm ⁻³)	0,	0,1	0,1	0,46
H+Al (mmolc.dm ⁻³)	0,	0,4	0,2	0,68
pH	-	-	-	-0,54
M.O. (g.dm ⁻³)	0,	0,4	0,3	0,55
P (mg.dm ⁻³)	-	-	-	-0,22
Silte (%)	0,	0,4	0,3	0,57
Areia (%)	-	-	-	-0,68
Argila (%)	0,	0,3	0,4	0,73

*R.R.Médio – média dos rendimentos relativos de três safras.

Nota-se que os coeficientes obtidos foram, de modo geral, baixos. Os fatores que apresentaram maiores coeficientes foram os relativos à textura do solo. Nota-se também que as culturas e safras respondem de modo diferente aos teores de nutrientes. Na Figura 2 é representada a dispersão que ocorre quando se associa um grande número de valores na tentativa de obter uma regressão.

Figura 2 - Exemplo de ajuste de regressão com elevado número de pontos amostrais.

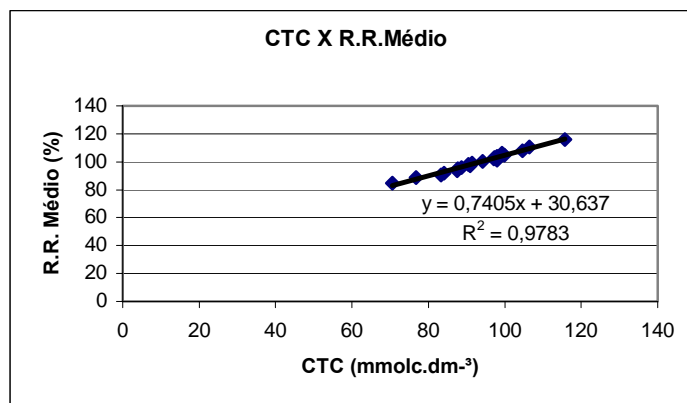


Na tentativa de melhorar o resultado da regressão, realizou-se a redução do número de pontos amostrais através do aumento da área amostral, passando-se de 100m² (2001 quadrículas ou pontos) para 10.000m² (20 pontos). Na tabela 2, estão expressos os coeficientes de correlação encontrados por meio desse procedimento. Observa-se que houve significativa elevação nos coeficientes de correlação quando a área amostral foi elevada. Na figura 3 está representado um exemplo da dispersão dos dados quando esta metodologia é utilizada. Ocorre melhora significativa no coeficiente de regressão, permitindo utilizar a equação para estimar o valor numérico que possibilita a obtenção de um determinado rendimento relativo desejado. A utilização desta metodologia reduz significativamente a abrangência da regressão. Com uma área de 100m² havia baixa segurança na estimativa do valor numérico de um determinado fator. Após esta simplificação a segurança se eleva mas a área passa para 10.000m², além de ocorrer uma redução na amplitude dos rendimentos relativos e dos fatores estudados, que caracteriza a drástica redução na variabilidade.

Tabela 2 - Coeficientes de correlação obtidos utilizando-se dados após o aumento da área amostral de 100 m² para 10.000 m².

Variáveis	Soia 99	Milho 00	Milho 01	R.R. Médio
V (%)	-0,71	-0,77	-0,64	-0,73
CTC (mmolc.dm ⁻³)	0,99	0,97	0,98	0,99
Soma de Bases (mmolc.dm ⁻³)	0,88	0,83	0,91	0,87
Mg (mmolc.dm ⁻³)	0,87	0,82	0,90	0,86
Ca (mmolc.dm ⁻³)	0,87	0,82	0,90	0,87
K (mmolc.dm ⁻³)	0,94	0,95	0,93	0,95
Al (mmolc.dm ⁻³)	0,89	0,89	0,85	0,89
H+Al (mmolc.dm ⁻³)	0,98	0,98	0,95	0,99
pH	-0,91	-0,93	-0,85	-0,92
M.O. (g.dm ⁻³)	0,95	0,89	0,96	0,94
P (mg.dm ⁻³)	-0,81	-0,85	-0,76	-0,83
Silte (%)	0,94	0,89	0,95	0,93
Areia (%)	-0,98	-0,95	-0,98	-0,98
Argila (%)	0,99	0,99	0,97	1,00

Figura 3 - Exemplo de ajuste de regressão reduzindo-se o número de pontos amostrais pelo aumento de suas respectivas áreas



As equações obtidas nas regressões estão expressas na tabela 3 e foram utilizadas para estimar os valores numéricos dos fatores estudados, quando se desejava obter um rendimento relativo igual à média.

Tabela 3 – Equações obtidas pela regressão reduzindo-se o número de pontos amostrais.

Variável	Equação	R ²
V (%)	$Y = -2,50566X + 239,65$	0,53
CTC (mmolc.dm ⁻³)	$Y = 0,7405X + 30,637$	0,97
Soma de Bases (mmolc.dm ⁻³)	$Y = 1,457X + 23,395$	0,76
Mg (mmolc.dm ⁻³)	$Y = 3,8002X + 30,001$	0,74
Ca (mmolc.dm ⁻³)	$Y = 2,5326X + 18,572$	0,75
K (mmolc.dm ⁻³)	$Y = 32,677X + 32,953$	0,90
Al (mmolc.dm ⁻³)	$Y = 30,691X + 86,163$	0,79
H+Al (mmolc.dm ⁻³)	$Y = 1,2218X + 49,706$	0,97
PH	$Y = -78,763X + 512,17$	0,83
M.O. (g.dm ⁻³)	$Y = 1,3321X + 41,611$	0,88
P (mg.dm ⁻³)	$Y = -2,4575X + 199,54$	0,68
Silte (%)	$Y = 1,19X + 68,442$	0,87
Areia (%)	$Y = -0,7327X + 135,92$	0,95
Argila (%)	$Y = 1,7252X + 57,779$	0,99
Altitude (m)	$Y = 1,5861X - 1259,4$	0,87

Após o cálculo dos valores para a obtenção de rendimento relativo médio de 100%, voltou-se para a planilha base e atribuíram-se notas para a obtenção dos índices. Foram obtidos índices e seus respectivos mapas utilizando-se primeiramente dos dados de fertilidade química (figura 4). Também são apresentados os resultados obtidos com os fatores que apresentaram melhor correlação com o rendimento.

Figura 4 – Resultado gráfico do índice obtido para os fatores de fertilidade química do solo.

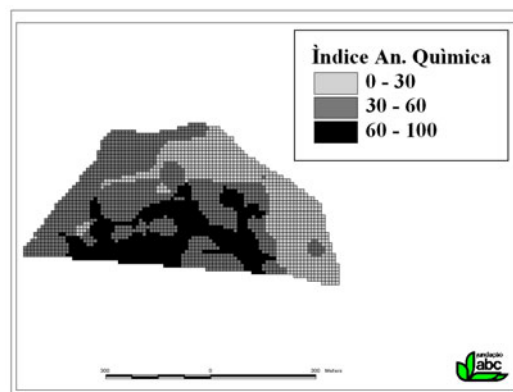
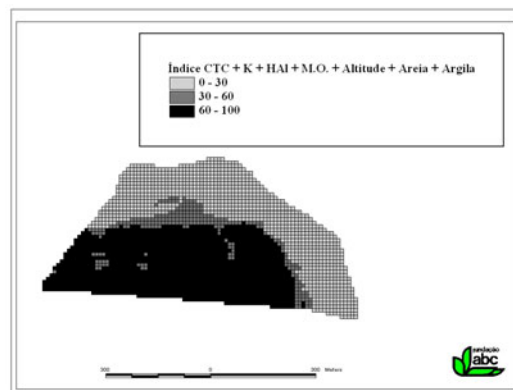


Figura 5 – Resultado gráfico do índice obtido para os fatores CTC, K, H + Al, M.O., altitude, areia e argila.



Após a geração dos índices realizou-se a correlação destes com os dados de rendimento relativo médio obtendo-se coeficiente de 0,56 quando se utilizaram somente os fatores de fertilidade do solo e 0,65 quando se utilizaram os fatores com melhor correlação individual. Elevando-se a área amostral para 10.000m² os coeficientes de correlação foram superiores a 0,9.

CONCLUSÕES

A metodologia exposta apresenta uma série de simplificações para a obtenção de índices que permitam subdividir um campo produtivo em unidades que possuam características semelhantes.

Os resultados obtidos apresentaram-se satisfatórios com um número reduzido de variáveis, permitindo a identificação de unidades do campo onde as condições são mais propícias ao desenvolvimento das culturas.

O método precisa ainda de ajustes e sua utilização deve ser realizada sempre levando em conta suas limitações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOCK, B., PACHEPSKY, Y. *Holes in precision farming: mechanistic crop models*. In: Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1997, p.397-404.
- BLACKMORE, S., GODWIN, R. J., TAYLOR, J.C., COSSER, N.D., WOOD, G. A., EARL, R., KNIGHT, S., *Understanding variability in four fields in the United Kingdom*, Proc. 4th International Conference on Precision Agriculture, Minnesota, 1998, p. 3 – 18.
- EARL, R., WHEELER, P.N.,BLACKMORE, B.S.,GODWIN, R.J. *Precision farming – The management of variability*. The journal of the institution of agricultural engineers, Silsoe 1997.
- FLEMING, K. L., WESTFALL, D.G., HEERMANN, D.G., *Farmer developed management zone maps for variable rate fertilizer application*. In: Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1999, p.917-926.
- GIMENEZ, L.M., MOLIN, J.P. *Desenvolvimento de um algoritmo para redução de erros em mapas de rendimento obtidos em agricultura de precisão*. In: INFOAGRO 2000, 2000, Ponta Grossa. Anais/CD-Rom. UEPG, 2000.
- HOSKINSON, R. L., HESS, J. R., ALESI, R. S., *Temporal changes in the spatial variability of soil nutrients*. Papers presented at the 2nd. European conference on precision agriculture. Odense congress centre, Denmark, 1999, p. 61 – 70.

LÜTTICKEN, R., KOCH, W., BILL, R., *The potential of yield maps and soil survey data in low cost site specific farming strategies.* . In: Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1997, p.803 -810.

STAFFORD, V. J., MURRAY, R. L., BOLAM, H. C., *Using yield maps to regionalize fields into potential management units.* In: Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1999, p.225-237.