

RELAÇÕES ENTRE POPULAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PLANTAS, ATRIBUTOS DO SOLO E RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO.

P. A. VIEIRA JUNIOR¹, J. P. MOLIN², D. DOURADO NETO³, P. MANFRON⁴,
L. S. MASCARIN⁵, G. C. FAULIN⁵, E. R. DETOMINI⁶.

RESUMO

O estudo sobre a população e distribuição espacial de plantas é fundamental para os processos relacionados ao rendimento das culturas. O presente trabalho tem por objetivo mostrar a possibilidade de aplicação das técnicas de utilização do Sistemas Global de Navegação por Satélites (SGNS) e dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para estudos agronômicos, especificamente na cultura do milho, a exemplo das interações entre população e distribuição espacial de plantas com os teores dos principais nutrientes no solo, mantendo-se os princípios básicos da estatística experimental. Os resultados demonstraram que a metodologia da localização de amostras georeferenciadas e da análise de regressão conjunta mostraram-se eficiente, sendo possível, portanto, empregá-la para estimar a população de plantas cujo rendimento de grãos é máximo e, considerando-se essa estimativa, analisar os efeitos dos teores de nutrientes do solo sobre o rendimento de grãos. Ainda, a metodologia mostrou-se útil para estimar as variações no rendimento de grãos em função das variações na população de plantas e homogeneidade da distribuição espacial de plantas, bem como de determinar a população de plantas normais cujo rendimento de grãos é maximizado, para diferentes ambientes e genótipos.

PALAVRAS-CHAVE: nutrientes, Sistemas de Informações Geográficas, amostragem.

RELATIONSHIP AMONG POPULATION, DISTRIBUTION OF PLANTS, SOIL ATTRIBUTES AND CORN YIELD

SUMMARY

Studies regarding population and plant spatial distribution are essential for understanding yield crop processes. The goal of this work is to report the possibility of applying Global Navigation Satellite Systems (GNSS) and Geographic Information Systems (GIS) as tools mainly for agronomic studies, especially for corn production studies, such as interactions between population and plant spatial distribution and concentration of soil nutrients, maintaining the basic principles of statistic. The results show that georeferencing sampling localizations and regression analysis were together efficient, and it is possible to apply it for estimating plant population which provides the highest grain yield; in addition, analyzing the effects of soil nutrient concentrations on the grain yield. Further, the method show itself to be able to estimate the grain yield variation as function of plant population and spatial distribution variations, besides predicting which plant population provides the highest grain yield, according to different environments and genotypes.

KEY-WORDS: nutrient, Geographical Information Systems, sampling.

¹ Pesquisador, M.Sc., Embrapa SNT EN Sete Lagoas, C.P. 151, CEP 35.900-470, Sete Lagoas, MG. pavieira@cnpms.embrapa.br.

² Prof. Doutor, PhD., Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP.

³ Prof. Doutor, PhD., Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP.

⁴ Prof. Titular, PhD., Departamento de Bioclimatologia, UFSM, pmanfrom@carpa.ciagri.usp.br.

⁵ Eng Agrônomo, Mestrando em Máquinas Agrícolas (ESALQ/USP)

⁶ Eng Agrônomo, Mestrando em Fitotecnia (ESALQ/USP).

INTRODUÇÃO

A produção dos vegetais depende de fatores extrínsecos e intrínsecos à planta. Como exemplo de extrínsecos, cita-se a disponibilidade de CO₂, de água, de nutrientes e de radiação. Como exemplo de intrínsecos, cita-se o ciclo de fixação de CO₂, o aparato fotossintético e a arquitetura foliar, entendendo-se como arquitetura foliar as dimensões e ângulo da folha em relação ao plano vertical, os quais são importantes determinantes da população e distribuição espacial de plantas. Os fatores extrínsecos, com exceção à radiação, podem ser manejados pelo Homem e, portanto, não se constituem em empecilho ao aumento de produtividade (Machado, 1985; Duvick, 1992; Machado et al., 2001).

Com relação ao aparato fotossintético e ciclo de fixação de CO₂, em decorrência do seu metabolismo C₄, o milho apresenta-se como dos mais eficientes entre as plantas cultivadas, o que justifica portanto a importância de estudos sobre a população, sobre a distribuição espacial de plantas e sobre a estrutura do dossel, esta caracterizada principalmente pelo Índice de Área Foliar (IAF, m² folha.m⁻² solo) e por sua homogeneidade na gleba (Vieira Júnior, 1999; Kiniry et al., 2002; Pommel et al., 2002).

Considerando a relação entre IAF e a produção na cultura do milho, o IAF é função direta da população de plantas; entretanto, a produção não aumenta linearmente com o IAF, visto que é limitada pelo auto-sombreamento das folhas. Portanto, a radiação suficiente para saturar as folhas superiores não é suficiente para saturar a fotossíntese da cultura (Gifford & Evans, 1981; Machado, 1985; Sachulze & Caldwell, 1995; Vieira Júnior, 1999; Kiniry et al., 2002; Pommel et al., 2002).

A distribuição e a organização das folhas é função da população e, principalmente, da distribuição espacial das plantas, não sendo normalmente aleatória. A distribuição de plantas pode ser traduzida como a uniformidade do IAF na cultura, sendo que uma distribuição uniforme reduz o coeficiente de extinção da luz no dossel, resultando em maior produtividade (San Pietro et al., 1967; Loomis & Williams, 1969; Sachulze & Caldwell, 1995).

Teoricamente, a estrutura ideal de dossel é aquela que maximiza a interceptação da radiação e minimiza a irradiância, o que é obtido com a maximização e uniformidade do IAF da cultura (Kellomaki, 1985; Kiniry et al., 2002); entretanto, no caso do milho, a produção de grãos por unidade de área aumenta linearmente com a população de plantas, até um máximo denominado "ponto crítico", pois, em razão da produção de grãos por planta permanecer constante, nessa faixa de população não há competição intra-específica. Acima da população crítica, em razão da competição intra-específica, a produção de grãos por planta decresce e a produção por área apresenta comportamento quadrático, possuindo um ponto de máxima produção por unidade de área (Dourado-Neto et al., 2001; Maddoni, 2001). Assim, a população correspondente ao ponto crítico é a população ideal para a combinação genótipo e a oferta ambiental.

Com relação à oferta ambiental, aspectos relacionados à nutrição e ao solo são importantes componentes do rendimento na cultura do milho, visto que os aumentos de rendimentos verificados não são decorrentes de aumentos na produção biológica, mas sim, da melhor adaptação ecológica dos cultivares e do uso intensivo de tecnologia, principalmente a fertilização, filosofias da chamada Revolução Verde (Lovenstein, 1995; Horton, 2000).

Considerando aspectos relacionados ao solo, o milho desenvolve-se bem em solos com textura argilosa e até arenosa, desde que com estrutura granular fina e bem desenvolvida, e estes grânulos sejam soltos ou friáveis e com boa permeabilidade à água e ao ar. Em ambientes com restrição hídrica, a exemplo do cultivo entre os meses de fevereiro à setembro na região do Brasil Central, o teor de argila afeta diretamente o suprimento de água e, conseqüentemente, a produção individual da planta (Coelho & França, 1995; Dourado-Neto et al., 2001).

As necessidades nutricionais variam em função da produção da planta, que, por sua vez, é função da interação com o ambiente; portanto, na exploração sustentada existe a necessidade de se disponibilizar à planta o total de nutrientes extraído, os quais devem ser fornecidos pelo solo e pelas adubações (Lovenstein, 1995). De modo geral, podem ser estabelecidas as seguintes ordens de extração: N = K > Mg > Ca = P > S > Fe > Zn = Mn > B > Cu > Mo, e de exportação: N > K > P > S = Mg > Ca > Zn > Fé > Mn > B > Cu > Mo; destacando-se que a extração de nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio aumentam linearmente com o aumento da produção, conforme apresentado na Tabela 1 (Bull, 1993; Coelho & França, 1995).

Dentre os macronutrientes, o nitrogênio representa importância com a adoção de tecnologia e aumentos de produção do sistema agrícola, pois, é o elemento com maior requerimento e extração na cultura de milho (Tabela 1), além de ser o mais móvel no sistema, tanto por lixiviação quanto por reação,

razão pelas quais é complexa a sua avaliação temporal e espacial em um sistema agrícola (Doran & Parkin, 1996; Raij et al., 1996; Burrough, 1999).

Apesar da menor exigência da planta de milho por fósforo em relação ao nitrogênio e o potássio, as respostas à aplicação de fósforo são freqüentes e as doses recomendadas são altas, notadamente em razão da baixa disponibilidade desse elemento nos solos brasileiros e da reduzida eficiência no aproveitamento (da ordem de 30%) desse elemento pela cultura. Entretanto, como sua lixiviação é mínima em solos minerais, com a exploração da gleba, esse elemento pode se acumular, havendo assim um aumento em seu teor no solo e uma ausência de resposta da produção de milho, notadamente em solos com teores acima de $40 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Coelho & França, 1995; Raij et al., 1996; Burrough, 1999).

O potássio (K), em geral, é o segundo elemento mais absorvido e extraído pelas plantas de milho, pois, é fundamental na regulação de processos fisiológicos, sendo, portanto, bastante móvel na planta. Com relação à mobilidade no sistema, o potássio, embora menor que o nitrogênio, apresenta alta mobilidade, sendo a principal causa a lixiviação, afetada pela textura do solo. Com aumento dos teores de fósforo no solo das principais regiões produtoras de milho do Brasil, tem-se verificado importantes respostas na produção de milho à adubação com potássio, notadamente em solos cujo teor é inferior a $0,15 \text{ mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ (Coelho & França, 1995; Raij et al., 1996).

O cálcio, em geral, é o elemento que apresenta a terceira maior taxa de absorção pelo milho, entretanto, em razão da sua baixa mobilidade na planta, não ocupa a mesma posição relativa quanto à exportação. No sistema, o cálcio é pouco móvel, notadamente por lixiviação, contribuindo significativamente para aumento do pH e redução da taxa de alumínio no solo, fatores expressos pela relação entre a soma de bases e a capacidade de troca catiônica potencial do solo, denominada saturação por bases (V%), os quais interferem diretamente na nutrição das plantas (Doran & Parkin, 1996; Raij et al., 1996; Burrough, 1999).

O magnésio, em geral, é o quarto elemento mais absorvido pelas plantas de milho, sendo, entretanto, sua exportação inferior à do fósforo. A importância do magnésio é semelhante à do cálcio para a nutrição das plantas, sendo a relação cálcio e magnésio ideal entre três e cinco, com reflexos, principalmente, sobre a absorção de potássio (Doran & Parkin, 1996; Raij et al., 1996; Burrough, 1999).

Com o surgimento de novos genótipos e técnicas de manejo para a cultura de milho, estudos têm sido realizados para a determinação de uma melhor população e distribuição espacial de plantas (Pereira Filho et al., 1998; Duarte & Paterniani, 2000; Maddoni, 2001), entretanto, Molin (2000), Fancelli & Dourado-Neto (2000) e Braga & Jones (2001) consideram essenciais, e ao mesmo tempo escassos, informações para quantificar a interação desses efeitos com a oferta ambiental, notadamente aspectos relacionados ao solo. Em geral, a escassez dessas informações é decorrente da complexidade na instalação de experimentos em delineamentos tradicionais, a exemplo de blocos de parcelas com repetições, para avaliação das interações entre população e distribuição espacial de plantas com atributos do solo (Warick & Nielsen, 1980; Luchiari et al., 2000; Braga & Jones, 2001). Com o advento de Sistemas de Global de Navegação por Satélites (SGNS) e dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), os quais permitem facilmente a localização geográfica de pontos e também o armazenamento de informações referentes àquele ponto (Luchiari et al., 2000; Molin, 2000; Braga & Jones, 2001), vislumbra-se a possibilidade de aplicação dessas técnicas para estudos agrônômicos, a exemplo das interações entre população e distribuição espacial de plantas com teores de nutrientes no solo, mantendo-se os princípios básicos da estatística experimental, quais sejam, unidade experimental, repetição e casualização (Gomes, 1963; Weiss & Hassett, 1982), objetivos do presente trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em uma gleba com 22,2 hectares, localizada no município de Campos Novos Paulista/SP, e foi semeada com milho em 02/03/2003, cuja população proposta foi de 70 mil sementes. ha^{-1} , distribuídas em linhas espaçadas de 0,50 metro, sob plantio direto e com aplicações uniformes de fertilizantes.

Previamente à semeadura foram coletadas amostras de solo, das quais foram determinados os seguintes teores: argila (Arg, %), fósforo (P, $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), potássio (K, $\text{mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$), cálcio (Ca, $\text{mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$), magnésio (Mg, $\text{mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) e saturação de bases (V, %). Os pontos de coleta de solo foram determinados em grade amostral de 50x50 metros. Para a composição das amostras de solo, foram tomadas sub-

amostras, à profundidade de 0,20 metros, em raio de cinco metros do ponto central de cada célula da grade, localizado com GPS diferencial, perfazendo o total de 63 pontos amostrais na gleba.

Durante o estágio fenológico de florescimento, nos pontos de coleta de solo, foram determinadas as populações de plantas (População, plantas.ha⁻¹) e de plantas normais (População final, plantas.ha⁻¹) excluindo as plantas dominadas - considerando como plantas dominadas aquelas com desenvolvimento aquém das plantas vizinhas e sem a formação de espigas - presentes em amostras de 10 metros lineares em três linhas de semeadura, considerado como a parcela amostral com área aproximada de 15 m². Ainda nessas parcelas, foram medidas as distâncias entre as plantas na linha de semeadura, calculando-se o coeficiente de variação (CV, %) das distâncias.

Considerando que a distância entre linhas de semeadura foi fixa (0,50 m), o coeficiente de variação (CV, %) das distâncias entre plantas na linha foi utilizado como indicativo da homogeneidade da distribuição espacial de plantas.

Os rendimentos da cultura foram medidos com emprego de monitor de colheita marca RDS modelo, RDS Ceres2, respectivamente, e GPS com sinal diferencial marca Omnistar. Dos rendimentos amostrados, foram eliminados os rendimentos e teores de água nulos, os rendimentos de pontos localizados fora do perímetro da gleba ou com distância nula e os rendimentos localizados na borda da gleba correspondentes ao tempo de enchimento, conforme descritos em Molin (2000). Após, com emprego do sistema computacional SSTollBox e considerando as coordenadas geográficas, foram selecionados os rendimentos obtidos na parcela amostral, calculando-se o rendimento de grãos médio da mesma.

Com emprego do sistema computacional R (Ribeiro Júnior & Brown, 2001), os resultados dos rendimentos de grãos nas parcelas foram relacionados às populações de plantas total e normal, determinando-se o coeficiente de determinação (r², %), sua significância à 5% de probabilidade e, por análise de regressão, a equação para estimativa do rendimento de grãos em função das populações de plantas. Derivando-se a equação obteve-se a população final (População final, plantas.ha⁻¹) cujo rendimento de grãos (Rend, kg.ha⁻¹) foi máximo.

Ainda com emprego do sistema computacional R (Ribeiro Júnior & Brown, 2001), foram determinados os coeficientes de determinação (r², %), sua significância à 5% de probabilidade e as equações da análise de regressão para o rendimento de grãos em função do coeficiente de variação das distâncias entre as plantas na linha de semeadura (CV, %) e dos teores de teores de argila (Arg, %), fósforo (P, mg.dm⁻³), potássio (K, mmol_c.dm⁻³), cálcio (Ca, mmol_c.dm⁻³), magnésio (Mg, mmol_c.dm⁻³) e saturação de bases (V, %). Ainda, foram determinadas as relações e respectivas equações entre as populações de plantas normais e os teores de argila, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e saturação por bases, bem como, entre os coeficientes de variação das distâncias entre plantas na linha de semeadura e os teores citados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento da cultura variou entre 2.255 e 5.672 kg.ha⁻¹, demonstrando, segundo Dourado Neto et al. (2001) e Fancelli & Dourado Neto (2000), haver variação de fatores da cultura e/ou da oferta ambiental.

Com relação a influência no rendimento de grãos dos fatores relacionados à oferta ambiental analisados - teores de argila (Arg, %), fósforo (P, mg.dm⁻³), potássio (K, mmol_c.dm⁻³), cálcio (Ca, mmol_c.dm⁻³), magnésio (Mg, mmol_c.dm⁻³) e saturação de bases (V, %), apenas o teor de argila apresentou coeficiente de determinação significativo (Figura 1 a 6). Os resultados dos teores de fósforo (P, mg.dm⁻³), potássio (K, mmol_c.dm⁻³), cálcio (Ca, mmol_c.dm⁻³), magnésio (Mg, mmol_c.dm⁻³) e saturação de bases (V, %) corroboram os obtidos por Molin et al (2003), em que os teores de nutrientes do solo não explicavam a variação no rendimento da cultura do milho, fato atribuído pelos autores à relativa maior importância de outros fatores de rendimento, notadamente a população e distribuição espacial de plantas. Quanto ao efeito significativo do teor de argila sobre o rendimento de grãos (Figura 1), embora discordando dos resultados obtidos por Molin et al (2003), a observação é coerente por tratar-se de cultivo em período cuja principal limitação à cultura é o déficit hídrico (Duarte & Paterniani, 2000).

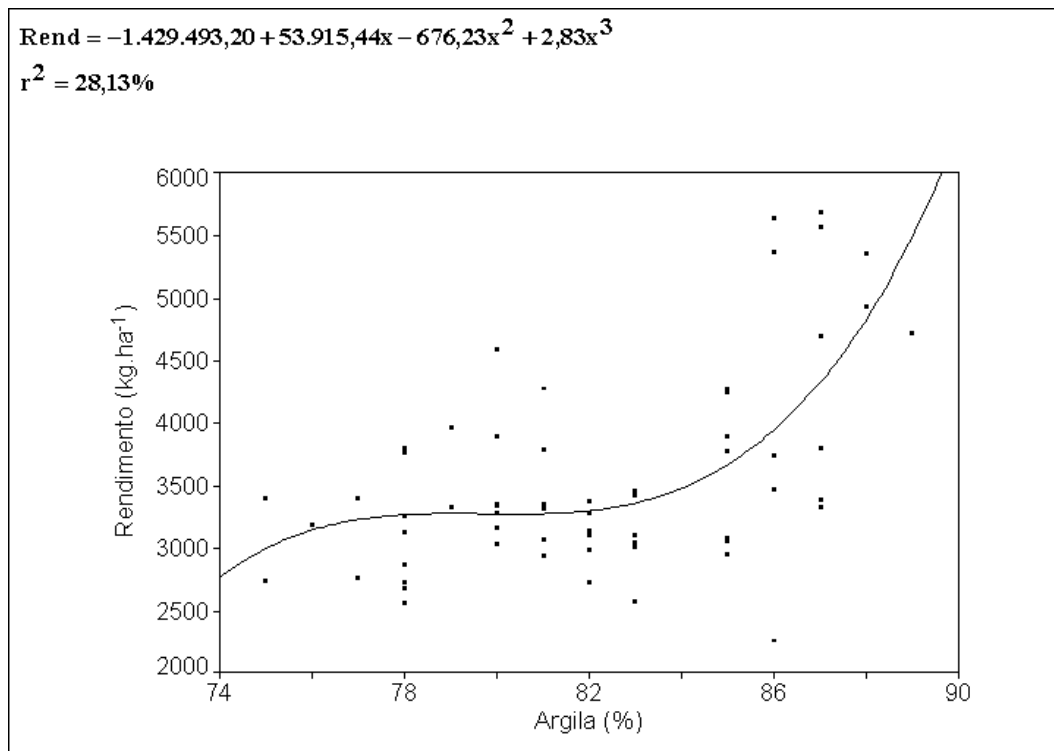


FIGURA 1- Rendimentos de grãos de milho (Rend, kg.ha⁻¹) em função do teor de argila no solo (Argila, %).

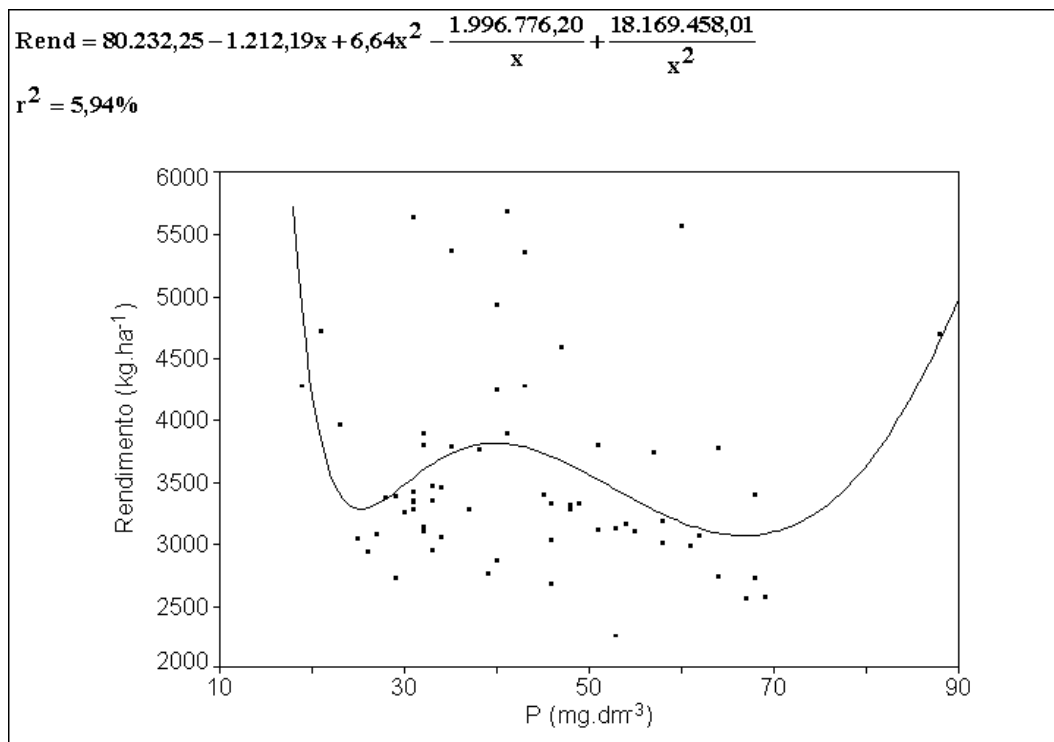


FIGURA 2- Rendimentos de grãos de milho (Rend, kg.ha⁻¹) em função do teor de fósforo no solo (P, mg.dm⁻³).

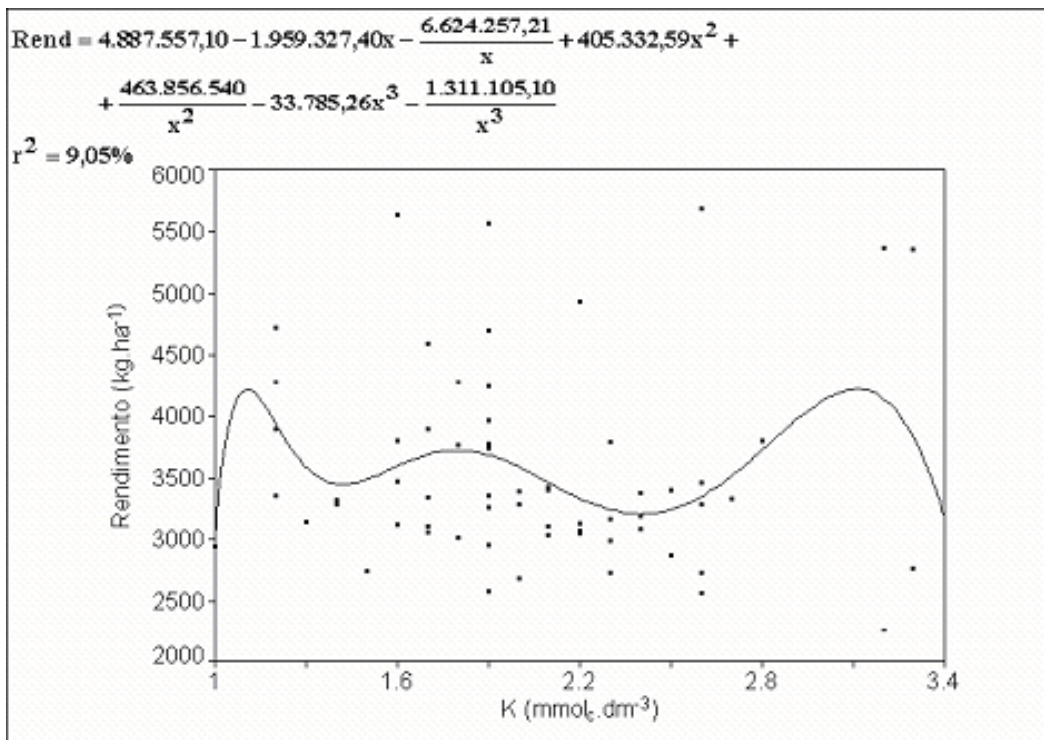


FIGURA 3- Rendimentos de grãos de milho (Rend, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em função do teor de potássio no solo (K , $\text{mmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$)

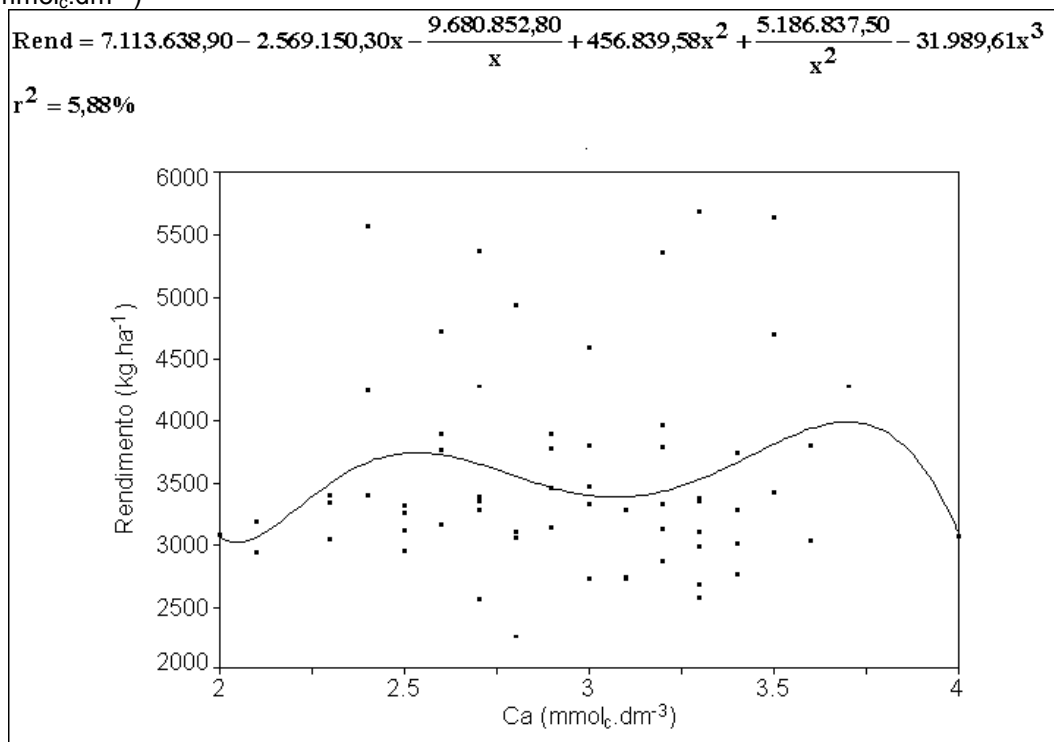


FIGURA 4- Rendimentos de grãos de milho (Rend, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em função do teor de cálcio no solo (Ca , $\text{mmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$).

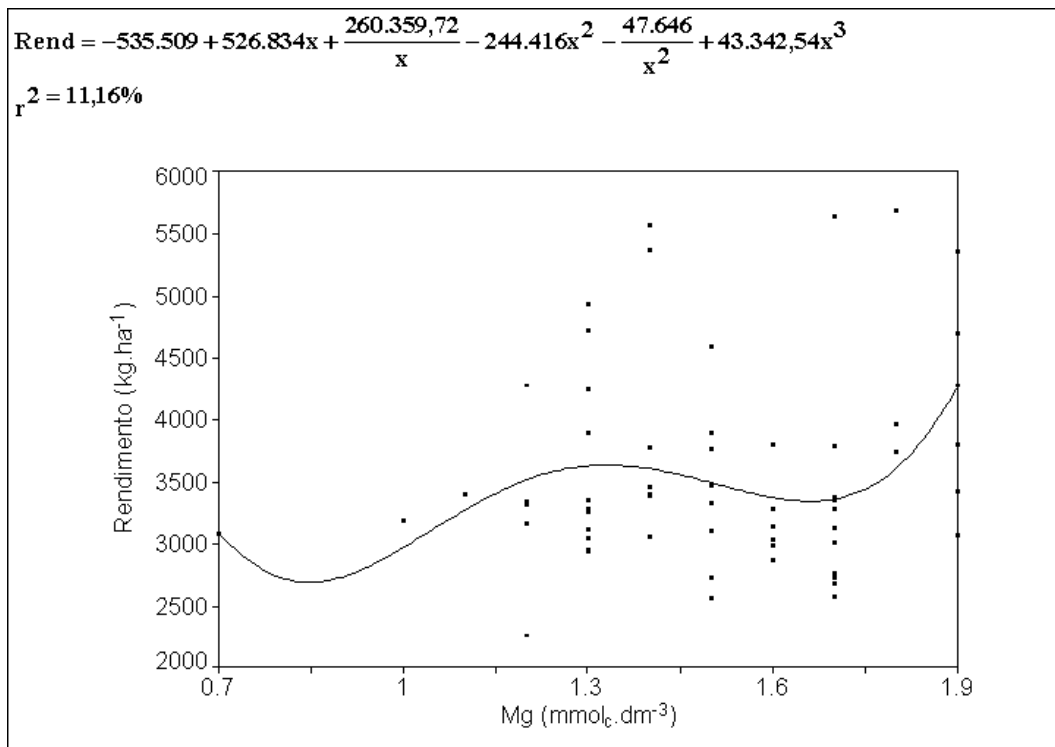


FIGURA 5- Rendimentos de grãos de milho (Rend, kg.ha^{-1}) em função do teor de magnésio no solo (Mg, mmolc.dm^{-3}).

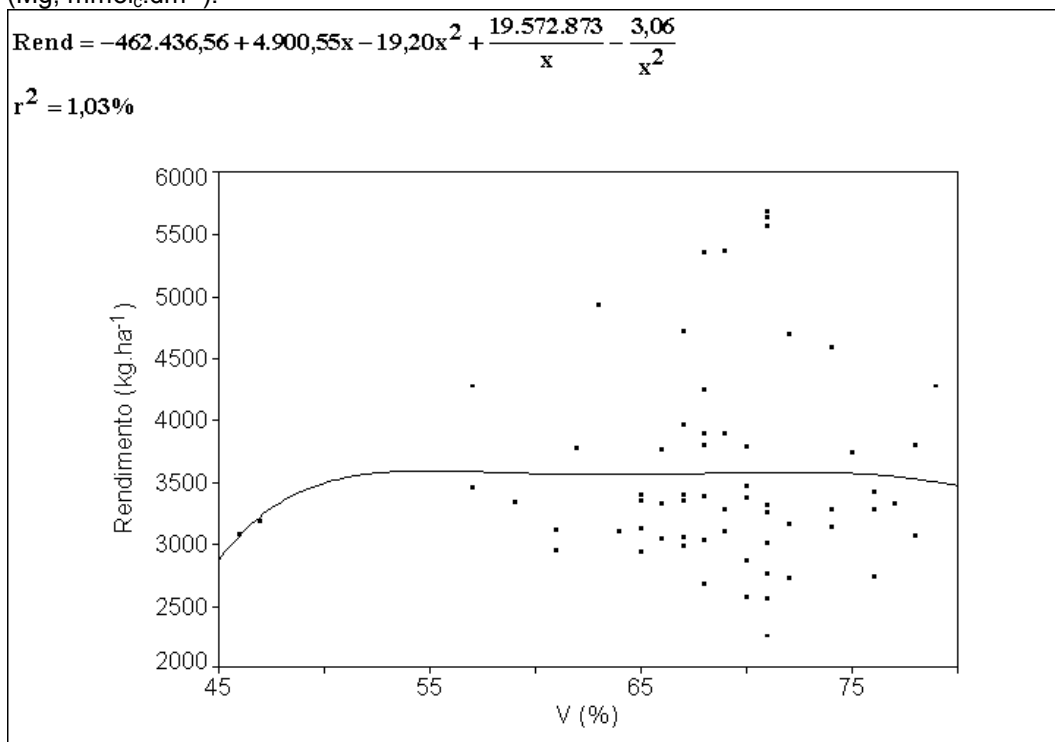


FIGURA 6- Rendimentos de grãos de milho (Rend, kg.ha^{-1}) em função da saturação de bases no solo (V, %).

Analisando-se a influência da população e distribuição espacial de plantas sobre o rendimento de grãos, conforme sugerido por Molin et al (2003), verificou-se que a população total de plantas (Figura 7) contribuiu significativamente (25,66%) para a redução no rendimento de grãos, concordando com Dourado-Neto et al (2001) e Fancelli & Dourado Neto (2000). Entretanto, quando considerado apenas a população de plantas normais (População final, Plantas.ha⁻¹) o fator apresentou 39,62% de relação com o rendimento de grãos (Figura 8), indicando que as plantas dominadas subtraídas da amostra não contribuem significativamente para o rendimento de grãos. Essa observação é coerente com Dias & Barros (1995), Marcos Filho (1995) e Vieira Junior (1999), os quais consideram que a intensidade de plantas dominadas é diretamente proporcional ao baixo vigor das sementes. Os autores ainda destacam que a intensidade de plantas dominadas é agravada com a heterogeneidade na distribuição espacial das plantas.

Com relação à homogeneidade na distribuição espacial das plantas, no presente caso indicada pelo coeficiente de variação das distâncias entre plantas na linha de semeadura (CV, %), segundo Ohio State University (2004) e Molin (2000), além de fatores relacionados ao vigor das sementes, a distribuição espacial de plantas é função direta do modelo, ajuste e operação do equipamento empregado para semeadura, além da classificação das sementes por dimensões no caso de semeadoras de disco. No presente estudo verificou-se que o CV (39,17%) também reduziu significativamente o rendimento de grãos (Figura 9), sendo a redução mais intensa verificada até 17,32%, ponto de inflexão da curva, obtido como resultado da segunda derivação da equação de regressão.

Considerando o exposto sobre população e distribuição espacial de plantas, fica patente a importância desses fatores para o rendimento de grãos na cultura do milho, pois, no presente caso ambos os fatores afetaram individualmente, aproximadamente, 40% do rendimento de grãos. Especial atenção deve ser dispensada à qualidade das sementes e a regulagem e operação da semeadora com o objetivo de manter o coeficiente de variação das distâncias entre plantas na linha de semeadura menor que, aproximadamente, 20%, valor cujo efeito da distribuição espacial de plantas passa a ter menor importância sobre o rendimento de grãos.

Dourado-Neto et al (2001) e Vieira Junior (1999) recomendam a utilização de população de sementes suficientes para obter a população de plantas cujo rendimento de grãos é máximo, considerando a oferta ambiental. No presente caso, derivando a equação para estimativa do rendimento de grãos em função da população de plantas normais, obteve-se que o máximo rendimento de grãos foi obtido com a população de 58.392 plantas normais.ha⁻¹, resultado coerente aos rendimentos obtidos, pois, quando considerada a população entre 58 a 59 mil plantas normais.ha⁻¹, o rendimento de grãos variou entre 3071 à 5.672 kg.ha⁻¹.

Embora os efeitos sobre o rendimento de grãos dos teores de fósforo (P, mg.dm⁻³), potássio (K, mmol_c.dm⁻³), cálcio (Ca, mmol_c.dm⁻³), magnésio (Mg, mmol_c.dm⁻³) e saturação de bases (V, %), não foram significativos, quando combinados à população de plantas normais (População final, Plantas.ha⁻¹), em todos os casos os coeficientes de determinação (r², %) foram significativos, corroborando a importância da população de plantas sobre o rendimento de grãos na cultura do milho e indicando a necessidade do estudo conjunto dos teores e população de plantas normais.

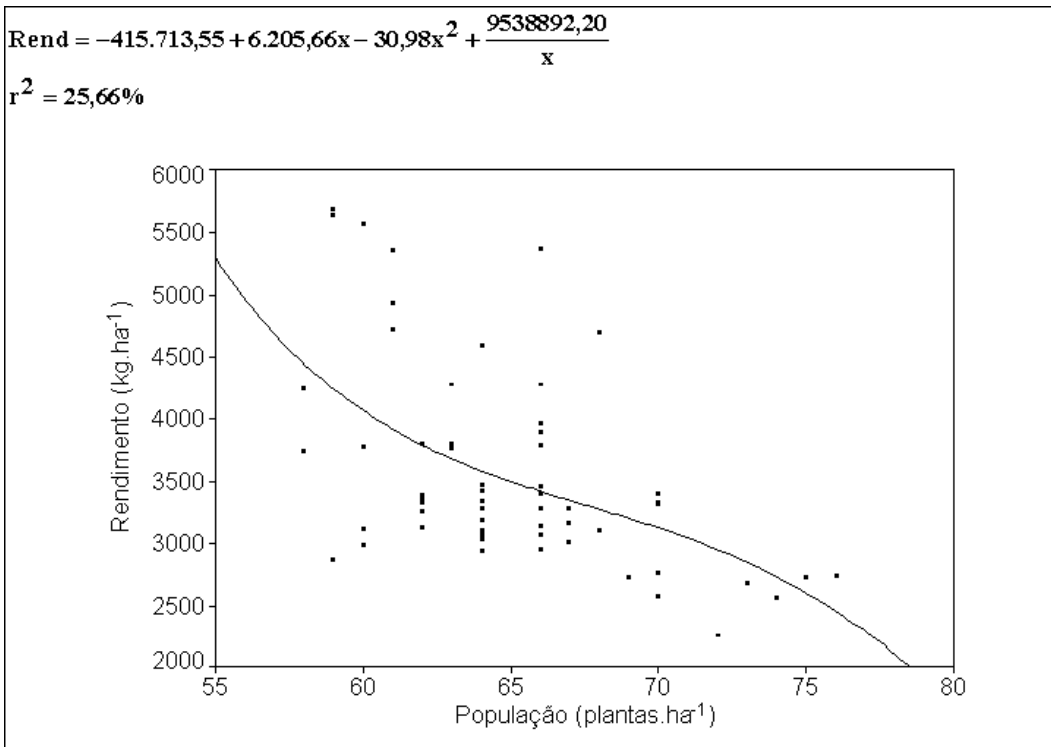


FIGURA 7- Rendimentos de grãos de milho (Rend, kg.ha⁻¹) em função da população total de plantas (População, Plantas.ha⁻¹).

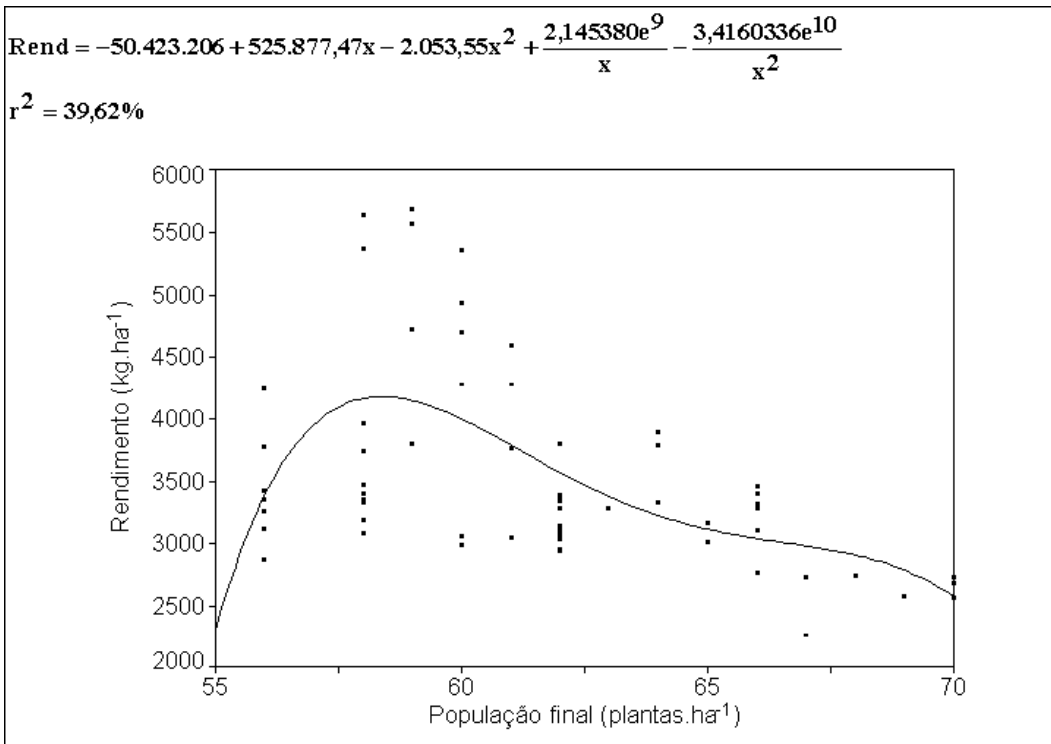


FIGURA 8- Rendimentos de grãos de milho (Rend, kg.ha⁻¹) em função da população de plantas normais (População final, Plantas.ha⁻¹).

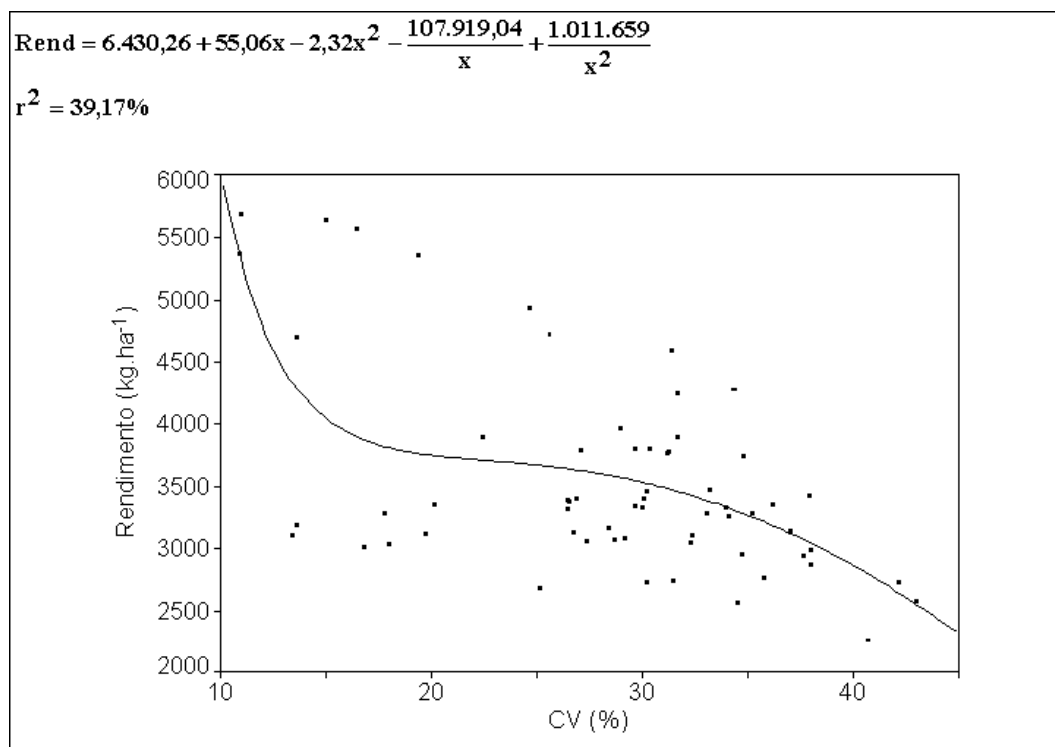


FIGURA 9- Rendimentos de grãos de milho (Rend, kg.ha⁻¹) em função coeficiente de variação das distancias entre as plantas na linha de semeadura (CV, %).

Quando analisado o efeito do teor de fósforo no solo em conjunto com a população de plantas normais sobre o rendimento de grãos (Figura 10), determinou-se, pela equação de regressão, que, para a população de 58.392 plantas normais o rendimento de grãos foi crescente até 4.748 kg.ha⁻¹, correspondendo ao teor de 36,4 mg.dm⁻³ de fósforo no solo, reduzindo para 3.208 kg.ha⁻¹ com teor de 51,8 mg.dm⁻³ de fósforo no solo. A redução no rendimento de grãos para teores de fósforo maiores que 36,4 mg.dm⁻³ pode ser resultado da relação do teor desse elemento com os teores de outros elementos, a exemplo de nitrogênio e potássio, sendo recomendada a relação 1:0,5:1 entre nitrogênio, fósforo e potássio (Coelho & França, 1995).

Com relação ao potássio, os resultados da análise conjunta (Figura 11) indicam que o rendimento de grãos, para a população de 58.392 plantas normais, foi crescente até o teor de 1,7 mmol_c.dm⁻³ no solo, decrescendo para o rendimento estimado pela equação de regressão de 3.136 kg.ha⁻¹ com teor de 2,2 mmol_c.dm⁻³ de potássio no solo, ponto em que o rendimento voltou a apresentar comportamento crescente em função do teor de potássio no solo. O comportamento pode ser atribuído aos altos teores de potássio do solo e, semelhante ao fósforo, às relações entre potássio e outros elementos do solo.

O rendimento de grãos em função da interação entre cálcio e população de plantas normais (Figura 12), para a população de 58.392 plantas normais, foi máximo para o teor de 2,5 mmol_c.dm⁻³, decrescendo até teor de 3 mmol_c.dm⁻³, quando passou a crescente. Os resultados são coerentes às recomendações sobre esse elemento, notadamente quando considerado a sua relação com o teor de magnésio.

Já para a interação entre os teores de magnésio e a população de plantas normais (Figura 13), o rendimento de grãos, para a população de 58.392 plantas normais, foi máximo para o teor de 1,7 mmol_c.dm⁻³. Semelhante ao cálcio, os resultados também são coerentes às recomendações sobre esse elemento, notadamente quando considerado a relação com o teor de cálcio presente de 1,47:1.

A relação entre a saturação de bases conjuntamente á população de plantas normais (Figura 14), considerando a população de 58.392 plantas normais, indica que o rendimento foi crescente até a saturação

de bases de 71%, com rendimento de grãos estimado pela equação de regressão de $5.117 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, quando passou a decrescer.

Considerando os resultados obtidos e as recomendações na literatura consultada, é possível inferir, para o rendimento de grãos, sobre a necessidade do estudo conjunto dos efeitos da população de plantas e os teores de nutrientes do solo. Para tanto, a metodologia empregada da localização de parcelas amostrais georreferenciadas e de análise de regressão conjunta mostrou-se eficiente, sendo possível, portanto, estimar a população de plantas cujo rendimento de grãos é máximo e, considerando-se essa estimativa, analisar os efeitos dos teores de nutrientes do solo sobre o rendimento de grãos. Ainda, a metodologia se mostrou ser uma ferramenta eficaz para estimar as variações no rendimento de grãos em função das variações na população de plantas e na homogeneidade da distribuição espacial de plantas, bem como para determinar a população de plantas normais cujo rendimento de grãos é maximizado, para diferentes ambientes e genótipos.

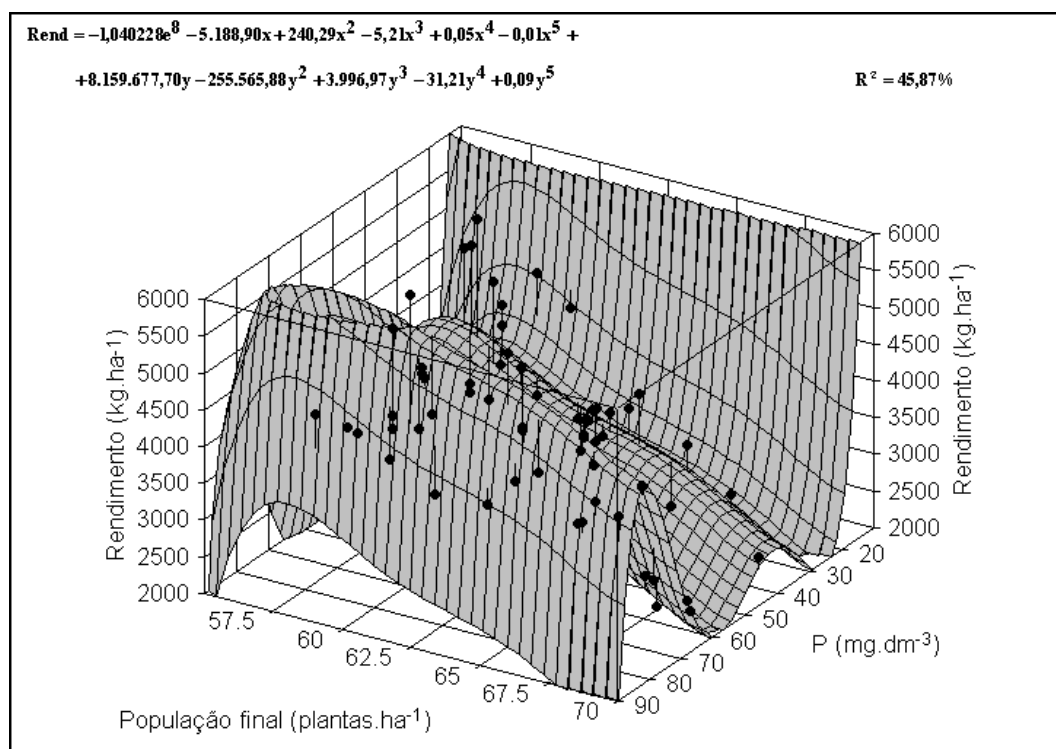


FIGURA 10- Rendimentos de grãos de milho (Rend, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) da população de plantas normais (População final, $\text{Plantas}\cdot\text{ha}^{-1}$) e do teor de fósforo no solo (P, $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$).

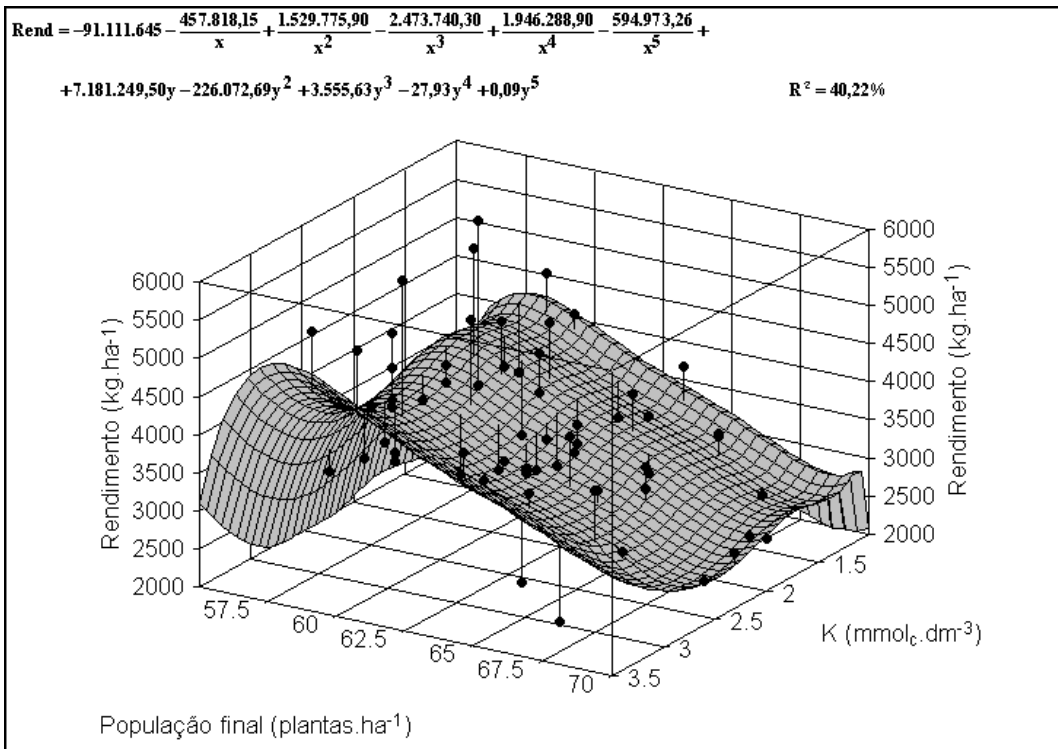


FIGURA 11- Rendimentos de grãos de milho (Rend, kg.ha⁻¹) da população de plantas normais (População final, Plantas.ha⁻¹) e do teor de potássio no solo (K, mmol_c.dm⁻³).

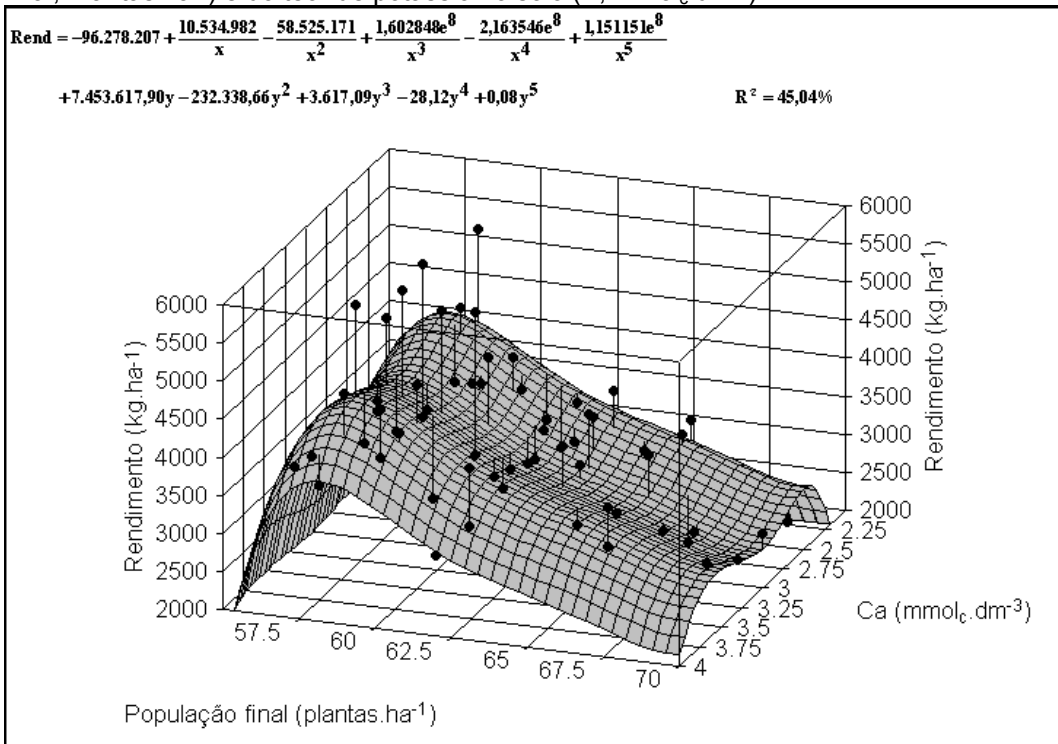


FIGURA 12- Rendimentos de grãos de milho (Rend, kg.ha⁻¹) da população de plantas normais (População final, Plantas.ha⁻¹) e do teor de cálcio no solo (Ca, mmol_c.dm⁻³).

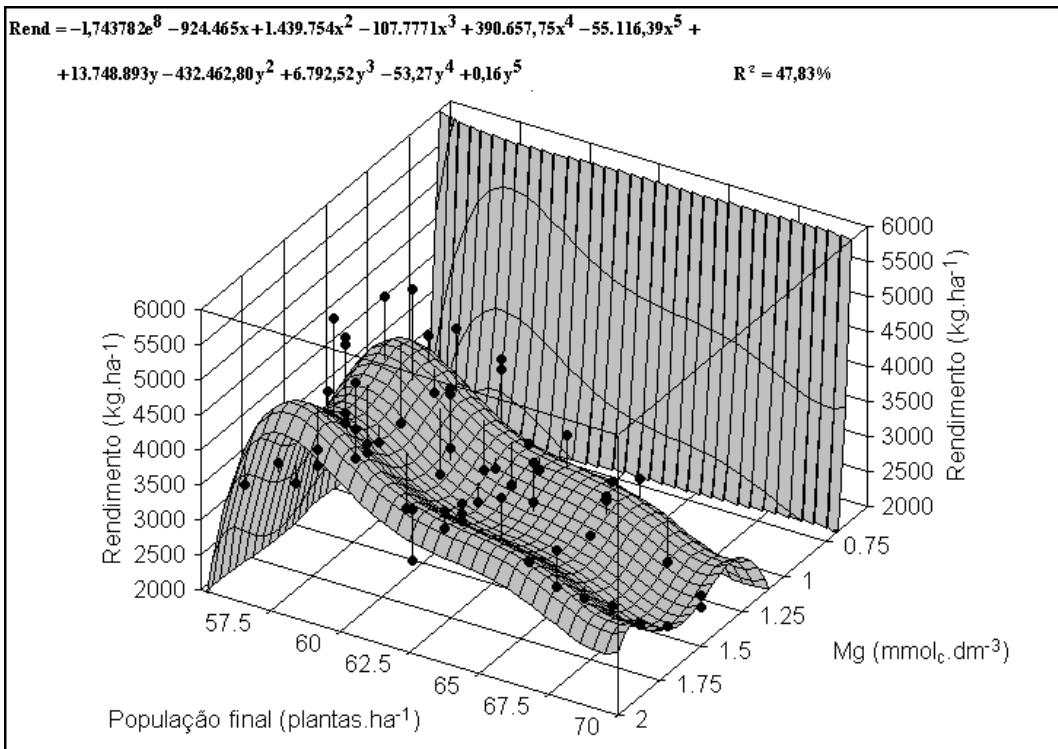


FIGURA 13- Rendimentos de grãos de milho (Rend, kg.ha⁻¹) da população de plantas normais (População final, Plantas.ha⁻¹) e do teor de magnésio no solo (Mg, mmol_c.dm⁻³).

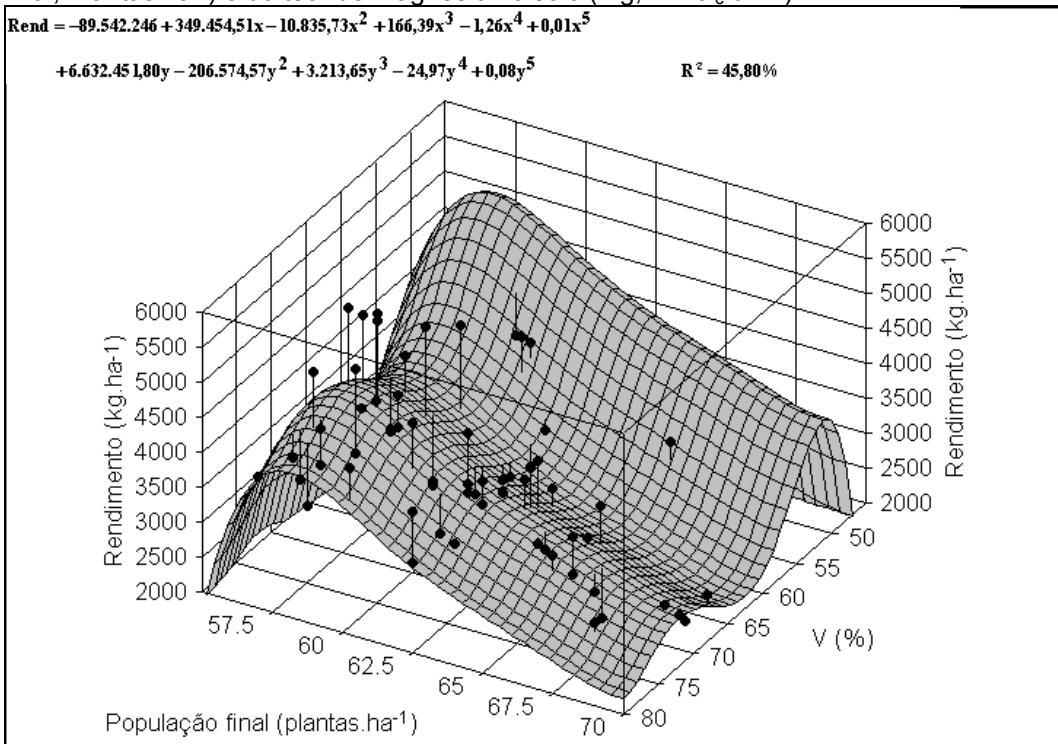


FIGURA 14- Rendimentos de grãos de milho (Rend, kg.ha⁻¹) da população de plantas normais (População final, Plantas.ha⁻¹) e da saturação de bases no solo (V, %).

CONCLUSÕES

A população e a homogeneidade da distribuição espacial de plantas são importantes fatores no rendimento de grãos de milho, recomendando-se, para maximização do rendimento de grãos, a determinação da população ideal, considerando diferentes ambientes e genótipos e, a redução da homogeneidade para coeficientes de variação das distâncias entre plantas na linha de semeadura menores que 20% .

A metodologia proposta do emprego de parcelas amostrais georreferenciadas e análise de regressão mostrou-se aplicável ao estudo dos efeitos da população e distribuição espacial de plantas, sendo possível, ainda, estimar os efeitos dos teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e saturação de bases sobre o rendimento de grãos de milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAGA, R. P.; JONES, J. W. interaction among soil-water, plant population, soil depth, texture, crop growth, yield components, terrain attributes and impacts on spatial yield. In: **International conference on precision agriculture and other resource management**, 5, 2000, Minnesota, Proceedings. ASA, CSSA, SSSA, 2001, 10p. CD-ROM.
- BULL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L.T. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafós, 1993. p.63-145.
- BURROUGH, P.A. Soil variability: a late 20Th century view. **Soils and fertilizers**, v.56, p.529-562. 1999.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E; BAHIA FILHO, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. Campinas: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, n.2, p.61-67, 1992.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. Seja doutor do seu milho: nutrição e adubação. Piracicaba: Arquivo do Agrônomo, n.2, 1995, 24p.
- DIAS, M.C.L. L.; BARROS, S.A.R. **Avaliação da qualidade de sementes de milho**. Londrina: IAPAR, 1995. 43 p. (IAPAR circular técnica 88).
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Quantitative indicator of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.) **Method for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America (SSSA), 1996. p.25-38.
- DOURADO NETO, D., FANCELLI, A.L.; LOPES, P.P. Milho: população e distribuição de plantas. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Ed.) **Milho: tecnologia da produtividade**. Piracicaba: ESALQ, Depto. Produção Vegetal, 2001. p.120-125.
- DUARTE, A.P; PATERNIANI, M.E.A.G.Z. **Fatores bióticos e abióticos em cultivares de milho e estratificação ambiental: avaliação IAC/CATI/Empresas – 1999/2000**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2000. 150p.
- DUVICK D. N. Genetic contributions to advances in yield of U.S. maize. *Maydica*: Bergamo, v.37, p.69-79, 1992.
- EPSTEIN, E. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. New York: John Wiley and Sons, 1972. 412p.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

- GIFFORD, R.M.; EVANS, L.T. Photosynthesis, carbon partitioning and yield. *Annual Review of Plant Physiology*, v.32, p.485-509, 1981.
- GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. Piracicaba: ESALQ, p.1-58, 1963.
- HORTON, P. Prospects for crops improvement through the genetic manipulation of photosynthesis: morphological and biochemical aspects of light capture. *Journal of Experimental Botany*, v.51, p. 475-485. 2000.
- KELLOMAKI, S.; OKER-BLOM, P.; KUULUVAINENT, T. Effect of crow and canopy structure on light interception and distribution in a tree stand. In: TIGERSTEDT, P.M.A.;
- LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A. Productivity and the morphology of crops stands: pattern with leaves. In: EASTIN, J.D. (ed.) *Physiological aspects of crop yield*. Madison: American Society of Agronomy, 1969. p.27-47.
- LOVENSTEIN, H.; LANTINGA, E.A.; RABBINGE, R.; KEULEN, H. *Principles of production ecology*. Wageningen: Agricultural University of Wageningen, 1995. 85p.
- LUCHIARI, A; JR., SHANAHAN, J.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, S.; SCHEPERS, J.; LIEBIG, M.; SHEARER, S. A. Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management. In: International conference on precision agriculture and other resource management, 5, 2000, Minnesota, Proceedings. ASA, CSSA, SSSA, 2001, 10p. CD-ROM.
- KINIRY, J.R.; GERIK, T.J.; XIE, Y. Similarity of maize seed number responses for a diverse set of sites. *Agronomie*, v.22, n.3, p.265-272, 2002.
- MACHADO, E.C. Eficiência fotossintética. In: SEMINÁRIO DE BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA, Piracicaba, 1985. Anais. Piracicaba:FEALQ, 1985. p.175-200.
- MACHADO, S.; BYNUM, E.D.; ARCHER, T. L.; LASCANO, R.J.; BORDOVSKY, J.; BRONSON, K.; NESMITH, D.M.; SEGARRA, E.; ROSENOW, D.T. ; PETERSON, G.C.; XU, W. Spatial and temporal variability of sorghum and corn yield: interactions of biotic and abiotic factors. In: International conference on precision agriculture and other resource management, 5, 2000, Minnesota, Proceedings. ASA, CSSA, SSSA, 2001, 10p. CD-ROM.
- MADDONI, G.A.; OTEGUI, M.E.; CIRILO, A.G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. *Fields Crops Research*, v.71, p.183-193. 2001.
- MARCOS FILHO, J. Utilização de testes de vigor em programas de controle de qualidade de sementes. *Informativo ABRATES*. v.4, n.2, p.59-61. 1995.
- MOLIN, J.P. Espaçamento entre linhas de semeadura na cultura de milho. Castro: Fundação ABC, 2000. 72p.
- MOLIN, J.P. Agricultura de precisão – o gerenciamento da variabilidade. Piracicaba: José Paulo Molin, 2001. 83p.
- OHIO STATE UNIVERSITY. Corn production. (Bulletin, 472). <http://www.ohioline.osy.edu/b472/front.html>. Consultado em 08 de janeiro de 2004.
- PEREIRA FILHO, I.A.P.; OLIVEIRA, A.C.; CRUZ, J.C. Milho verde: espaçamentos, densidades de plantas, cultivares e épocas de semeadura, influenciando o rendimento e algumas características de espigas comerciais (compact disc). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO 22., Recife, 1998. Anais. Recife: Embrapa, 1998.

- POMMEL, B.; MOURAUX, D.; CAPPELLEN, O.; LEDENT, J.F. Influence of delayed emergence and canopy skips on the growth and development of maize plants: a plant scale approach with CERES-Maize. *European Journal of Agronomy*, v.16, n.4, p.263-277, 2002.
- RAIJ, B. CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), 1996. 285p.
- RIBEIRO Jr., P.J.; BROWN, P.E. Some words on the R project. **The ISBA Bulletin**, v.1, n.8, 2001. 45p.
- SACHULZE, E.D.; CALDWELL, M.M. **Ecophysiology of photosynthesis**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 576p.
- SAN PIETRO, A.; GREER, F.A.; ARMY, T.J. **Harvesting the sun**. New York: Academic Press Inc, 1969. 342p.
- VIEIRA JR, P.A. Milho. In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R.A. (ed.). **Ecofisiologia dos cultivos anuais**. São Paulo: Nobel, 1999. p.41-72.
- WARICK, A.W. NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.
- WEISS, N.A.; HASSETT, M. **Introductory statistics**. London: Addison-Wesley publishing company. 1982. 651p.