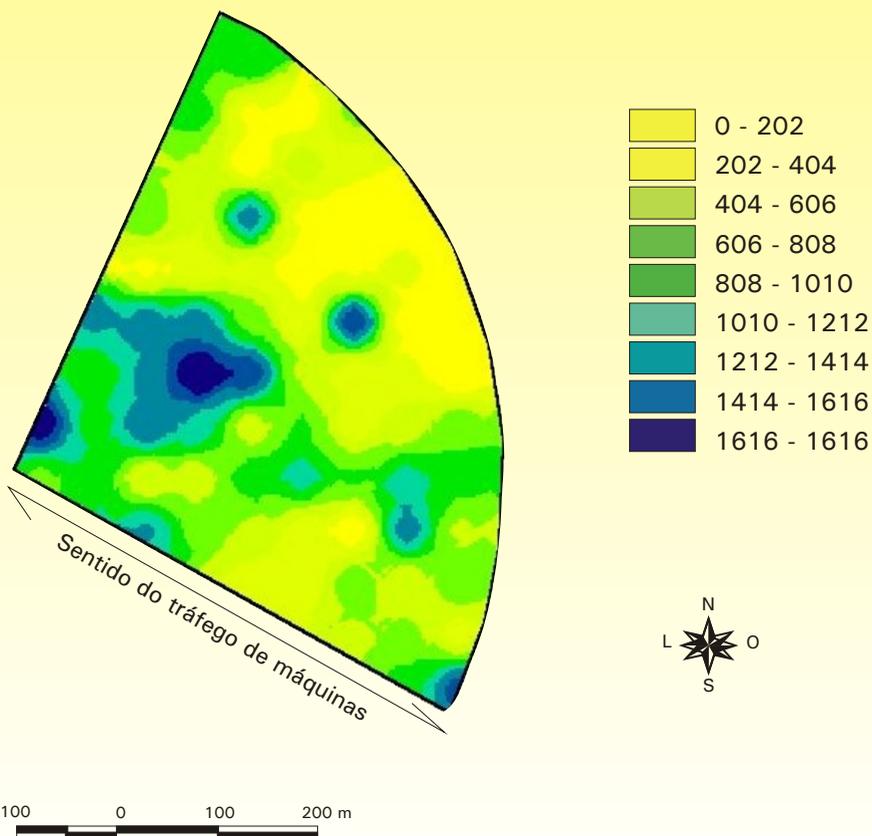


Maapeamento da Variabilidade Espacial das Plantas Daninhas





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

ISSN 1517-5111

Outubro, 2003

Documentos 95

Mapeamento da Variabilidade Espacial das Plantas Daninhas

Luciano Shozo Shiratsuchi
Pedro Jacob Christoffoleti
José Roberto Antoniol Fontes

Planaltina, DF
2003

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) 388-9898

Fax: (61) 388-9879

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

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Dimas Vital Siqueira Resck*

Editor Técnico: *Carlos Roberto Spehar*

Secretária-Executiva: *Nilda Maria da Cunha Sette*

Supervisão editorial: *Jaime Arbués Carneiro*

Revisão de texto: *Jaime Arbués Carneiro*

Normalização bibliográfica: *Rosângela Lacerda de Castro*

Shirley da Luz Soares

Capa: *Jussara Flores de Oliveira*

Editoração eletrônica: *Jussara Flores de Oliveira*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*

Jaime Arbués Carneiro

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2003): 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.

S558m Shiratsuchi, Luciano Shozo

Mapeamento da variabilidade espacial das plantas daninhas /
Luciano Shozo Shiratsuchi, Pedro Jacob Christoffoleti, José Roberto
Antoniol Fontes. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2003.

30 p. – (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 95)

1. Planta daninha. 2. Mapeamento espacial. I. Christoffoleti,
Pedro Jacob. II. Fontes, José Roberto Antoniol. III. Título. IV. Série.

632.5 - CDD 21

© Embrapa 2003

Autores

Luciano Shozo Shiratsuchi

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

Pedro Jacob Christoffoleti

Eng. Agrôn., Ph.D, Professor, USP/ESALQ
Avenida Pádua Dias 11, Caixa Postal 9
CEP 13418-900 - Piracicaba - SP
pjchrist@esalq.usp.br

José Roberto Antoniol Fontes

Eng. Agrôn., D.Sc.,
Embrapa Cerrados
roberto@cpac.embrapa.br

Apresentação

Novas técnicas de produção e gerenciamento na área agrícola estão surgindo graças ao desenvolvimento da instrumentação, informática, eletrônica, máquinas etc. integrando de maneira harmoniosa a pesquisa e a produção no setor agrícola. Dentre elas, podemos citar o novo sistema de gerenciamento da produção que considera a variabilidade dos fatores que interferem a produtividade, também conhecida como Agricultura de Precisão. Nesta nova forma de praticar agricultura as diferenças na fertilidade dos solos, na infestação de plantas daninhas, pragas etc. em determinados locais georreferenciados por GPS dentro dos campos agrícolas são considerados.

Até o momento o enfoque da variabilidade espacial concentrou-se na área da ciência dos solos, destacando o mapeamento da fertilidade seguido da aplicação localizada de adubos e corretivos, porém esse mesmo conceito pode ser perfeitamente extrapolado para as demais áreas, como por exemplo, a ciência das plantas daninhas. Dentro desse enfoque é importante ressaltar que tradicionalmente o controle de plantas daninhas por meio da aplicação herbicida sempre foi realizado pela aplicação uniforme de um determinado produto utilizando-se uma dose média em toda área agrícola. Esse método de controle desconsidera a agregação das plantas daninhas em manchas ou reboleiras, podendo ocasionar uma baixa eficiência de controle em algumas áreas e em outras lixiviar produtos químicos ocasionando poluição ambiental.

Considerando que as plantas daninhas apresentam uma grande variabilidade espacial nos campos agrícolas e já existem máquinas capazes de variar a dose de

produtos segundo algum mapa de infestação, novos métodos de mapeamento precisam ser desenvolvidos e o assunto divulgado para que vários atores participem no desenvolvimento destas novas tecnologias. Nesse sentido, o presente documento visa a abordar os principais métodos de mapeamento da variabilidade espacial das plantas daninhas existentes e algumas ferramentas essenciais utilizadas na Agricultura de Precisão.

Roberto Teixeira Alves

Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

Sumário

Introdução	9
Agricultura de Precisão: conceitos, ferramentas e aplicações	10
Sistema de Posicionamento Global (GPS)	11
Sistema de Informação Geográfica (SIG ou GIS)	13
Geoestatística	16
Mapeamento das Plantas Daninhas	18
Método de contorno das infestações	19
Método de amostragens em grade	20
Avaliação na colheita da cultura	22
Avaliação do banco de sementes	23
Considerações Finais	25
Referências Bibliográficas	25
Abstract	30

Mapeamento da Variabilidade Espacial das Plantas Daninhas

Luciano Shozo Shiratsuchi

Pedro Jacob Christoffoleti

José Roberto Antoniol Fontes

Introdução

Grande parte das ações em Agricultura de Precisão (AP) foi na área da ciência do solo. Porém, a AP para ser realizada em sua plenitude deve considerar vários fatores que interferem a produtividade, como plantas daninhas, pragas e doenças.

Até o momento, a maioria dos experimentos agrícolas no Brasil não leva em consideração a variabilidade espacial dos fatores que interferem a produtividade. Quando é utilizada a estatística tradicional de delineamentos em blocos, considera-se que as características do relevo e o do solo como homogêneas, ainda que haja variações locais. Diversas técnicas de estatística espacial, como, por exemplo, a geoestatística, podem e estão sendo utilizadas na área agrícola para contornar o problema.

As curvas de respostas das culturas a doses de fertilizantes, normalmente são feitas em canteiros utilizando uma estatística tradicional. Esse tipo de resposta não é suficiente para a AP, pois não considera, por exemplo, as variações no microclima dentro de grandes zonas de manejo dentro da lavoura. Isto não quer dizer que a experimentação tradicional não é adequada, mas precisam de adaptação que considere a variabilidade espacial dos fatores para que novos parâmetros sejam desenvolvidos.

Nos estudos dentro da Ciência das Plantas Daninhas, é necessário considerar a variabilidade espacial da infestação. Dentro do pressuposto de que as plantas

daninhas não incidem uniformemente nas áreas agrícolas, este documento tem o objetivo de expor os principais conceitos e bases do mapeamento da variabilidade espacial da infestação de plantas daninhas com o uso de ferramentas utilizadas na agricultura de precisão.

Agricultura de Precisão: conceitos, ferramentas e aplicações

Os conceitos fundamentais da Agricultura de Precisão foram inicialmente concebidos por dois pesquisadores da Estação Experimental Agrícola da Universidade de Illinois, Estados Unidos da América (EUA), ainda no ano de 1929. Os pesquisadores Linsley e Bauer comprovaram a variabilidade espacial da acidez do solo e obtiveram reduções significativas nos custos da produção de grãos, sem o comprometimento da produtividade, realizando a aplicação diferenciada de calcário em uma área experimental. Na época, alguns agricultores obtiveram reduções de até 40% dos custos com a aplicação diferenciada do insumo. Tal aplicação era realizada manualmente, uma vez que as áreas produtivas eram pequenas. Com o advento da mecanização, a qual possuía, na época, baixo nível tecnológico, as técnicas de gerenciamento localizado foram abandonadas ([Elias & Camargo, 2000](#)). Portanto, a agricultura de precisão ficou esquecida durante a revolução verde, pois nessa época o foco era o cultivo de grandes áreas agrícolas. Porém hoje os recentes avanços tecnológicos permitiram que a agricultura desenvolvesse um verdadeiro arsenal de conhecimento de técnicas de produção e de gerenciamento: é o caso, por exemplo, da biotecnologia, da engenharia genética, a eletrônica embarcada, representada pelo uso em máquinas agrícolas de sensores e de computadores de bordo, do uso de satélites, de softwares e de sistemas de informações geográficas. E foi exatamente tal avanço tecnológico que criou condições para o ressurgimento da agricultura de precisão, a qual passou a contar com a disponibilidade de equipamentos capazes de realizar automaticamente o monitoramento, o mapeamento e aplicação localizada de insumos a taxas variáveis ([Elias & Camargo, 2000](#)).

A Agricultura de precisão ressurgiu novamente devido a pressões ambientais na Europa e foi disseminada nos EUA, pois pesticidas foram detectados nos lençóis freáticos e nos cursos d'água. A necessidade de dosagem de insumos que permitam maximizar a produção sem que potenciais excedentes de fertilizantes e defensivos comprometam a qualidade, especialmente da água, foi o carro-chefe dessa tecnologia ([Molin, 2000](#)).

Sistema de Posicionamento Global (GPS)

Um dos requisitos para a aplicação da agricultura de precisão é a utilização de um **sistema de posicionamento** que permita a **localização georreferenciada** com precisão suficiente para cada operação em todos os pontos e porções escolhidas dentro da área agrícola. Com que instrumento ou ferramenta fazer esse georreferenciamento passa a ser opção de cada um e deve ser definido de acordo com a necessidade dentro de cada situação particular. Pesquisadores já avaliaram diversos sistemas de posicionamento para uso em agricultura de precisão, inclusive rádio frequência e canhões de laser ([Palmer, 1991](#)).

Um sistema que atende a esse requisito e que atualmente já se tornou um equipamento mais acessível ao público devido à queda de preços e aumento da precisão foi desenvolvido pelo departamento de defesa dos Estados Unidos da América do Norte e recebeu o nome de Sistema de Posicionamento Global – GPS (Global Positioning System).

O sistema de posicionamento global consiste da triangulação de um conjunto de satélites, 24 satélites, que por meio do cálculo da distância entre eles baseada na diferença de tempo de transmissão dos sinais entre o receptor do usuário e os satélites determinam o posicionamento terrestre. No mínimo, são necessários três satélites para o posicionamento, porém para aumentar a precisão de tempo e posicionamento tridimensional, normalmente os receptores utilizam quatro satélites (Hurn, 1993).

O GPS foi utilizado inicialmente com finalidades militares nos Estados Unidos da América do Norte. Porém, o sinal sem degradação ou ruídos possuía um acesso somente para uso dos militares (Selective Availability – S/A), sendo disponibilizado somente o sinal acrescido de ruídos propositais aos civis. Porém atualmente esse sinal sem degradação foi disponibilizado aos civis, aumentando significativamente a precisão dos equipamentos utilizados.

Devido à retirada do erro proposital imposto pelos EUA por meio do S/A no dia 2 de maio de 2000 (NOAA, 2001), equipamentos que antes possuíam pouca precisão com erros de posicionamento que podiam chegar até 100 m, atualmente são mais precisos e possuem erros de aproximadamente 20 m, da mesma forma que equipamentos com correção diferencial via satélite, que antes

da retirada do erro geravam posicionamento com erros de até 6 m hoje possuem uma precisão com erros de 2 a 3 metros (Dana, 2001). Portanto, com a atual melhora da precisão no georreferenciamento e a facilidade na aquisição de sinais de satélite, torna-se acessível à adoção de ferramentas para a prática da agricultura de precisão.

Existem diversos tipos de receptores GPS com as mais variadas precisões, desde 1 cm até 100 m de erro. Cada tipo de operação a ser realizada necessita de uma determinada precisão, portanto, não existe um GPS padrão a ser utilizado, pois essa escolha vai depender muito da situação específica e do "payback" ao adquirir qualquer ferramenta (Figura 1).



Figura 1. Exemplos de equipamentos disponíveis atualmente no mercado.

[Lechner & Bumann \(2000\)](#) relatam que em cada escala de observação que se deseja trabalhar é necessário um determinado nível de precisão. Se o trabalho for em fileiras de plantio é necessário uma precisão de ± 1 cm, se a aplicação for para guia de máquinas ± 5 cm e para mapeamento de produtividade ± 1 m. Porém esse nível de precisão está sendo questionado pela comunidade científica já que as plataformas de colheita tem em média 10 m de largura. Outra razão para não ser requerido esse nível de precisão para o mapeamento da produtividade é que os dados brutos pontuais obtidos durante a colheita são submetidos a uma análise de dependência espacial utilizando a geoestatística e interpolados normalmente por krigagem (que utiliza um interpolador com variância mínima e não tendencioso) obtendo um mapa interpolado confiável já que para mapas de produtividade a quantidade de pontos coletados ou amostras é grande.

Porém é importante ressaltar que para praticar a AP não é necessária a utilização de equipamentos e ferramentas onerosas, basta conhecer de alguma forma a posição geográfica do fator que está sendo medido ou referenciado. Dependendo do tamanho do módulo rural e poder de investimento do produtor pode-se fazer a localização geográfica com uma simples localização cartesiana (x,y). Por exemplo: em determinadas culturas como a goiaba, caqui, uva dentre outras. conhecendo-se qual fileira e o número da planta na fileira já é suficiente para se realizar uma colheita monitorada, uma amostragem de solo referenciada e gerar os diversos mapas sem precisar utilizar o GPS. Mas o que se percebe é que os equipamentos GPS estão ficando cada vez mais baratos não justificando a utilização de outros sistemas de posicionamento.

Sistema de Informação Geográfica (SIG OU GIS)

Os Sistemas de Informação Geográfica consistem na aplicação de softwares que analisam os dados espaciais obtidos no campo, sendo uma ferramenta de manipulação de dados espaciais, ou um modo de digitalização de mapas, possibilitando a organização, a análise estatística e a apresentação de diversos tipos de dados espaciais num sistema comum de coordenadas geográficas ([National Research Council, 1997](#)). Cada conjunto de dados é agrupado em mapas, como por exemplo, o mapa de fertilidade de solos, de tipos de solos, topografia, pragas, plantas daninhas, doenças, umidade etc.

Com esses sistemas podem ser feitas comparações e cruzamentos entre vários mapas, possibilitando dessa maneira o melhor entendimento do sistema de produção agrícola ([Marois, 2000](#)).

O SIG é atualmente a principal ferramenta utilizada para o entendimento dos dados de distribuição espacial com grande número de informações, elaborando mapas de cada atributo, analisando e correlacionando-os. Além disso, o SIG é um potente organizador do banco de dados, pois facilita a visualização dos dados e possui normalmente uma interface amigável com o usuário.

Todo o banco de dados espaciais é referenciado a um sistema comum de coordenadas geográficas. Esses dados são armazenados digitalmente e podem

ser modificados, copiados e reproduzidos se preciso. Se esses dados forem combinados com modelos agrônômicos e sistemas de suporte a decisão, poderosas ferramentas de manejo podem ser construídas (Blackmore, 1994).

Como alguns exemplos de softwares de SIG comumente utilizados na Agricultura de Precisão podemos citar: SSTOOLBOX® (SST Development Group), Arc View® (ESRI), Spring® (INPE), IDRISI® (Clark Labs) e outros.

Para o entendimento dos dados coletados via ferramentas de agricultura de precisão, o SIG, mostra ser a única forma de se manejar um grande número de informações (PARKIN & BLACKMORE, 1995).

Ultimamente está sendo cogitada a confecção de softwares de FIS, que nada mais são que softwares de SIG aplicado à agricultura de precisão *field level* (FIS). A vantagem do software de FIS é que ele é destinado especificamente a usuários em Agricultura de Precisão e possui ferramentas para análises estatísticas de projetos de pesquisa realizados na área. Portanto são programas mais leves, ou seja, não exigem muito *hardware*, possuem uma estrutura simples, não são generalistas e não são programas caros. [Zhang et al. \(1999\)](#) estão desenvolvendo um software de FIS e segundo os autores quando o mesmo estiver pronto será disponível para domínio público. Pacotes de FIS destinados à pesquisa são poucos. [Zhang et al. \(1999\)](#) citam o software desenvolvido por Han et al. (1994) para análises em nível de campo e outro de [Hoogenboom et al. \(1994\)](#) com aplicação de modelos para suporte à tomada de decisão. Um software do mesmo gênero já foi desenvolvido para fins de pesquisa em Agricultura de Precisão por [Runquist \(2001\)](#).

Algumas das potencialidades de uso de um dos softwares de SIG, utilizados na Agricultura de Precisão, podem ser visualizadas nas [Figuras 2 a 4](#).

Com utilização de softwares de SIG é facilmente possível a confecção de vários mapas de cada atributo, como, por exemplo, mapa de N, P, K e micronutrientes, depois correlacioná-los por meios de uma ferramenta estatística não tradicional chamada Geoestatística.

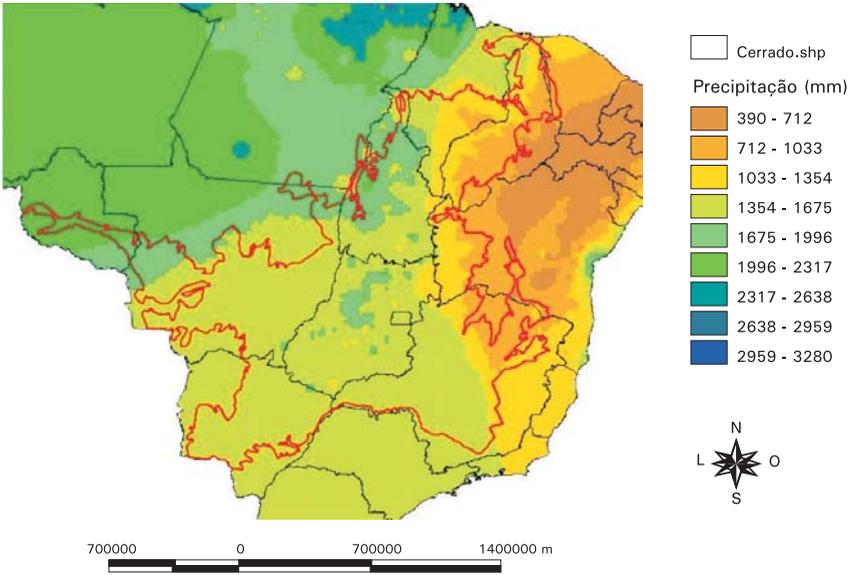


Figura 2. Precipitação anual média na Região do Cerrado.

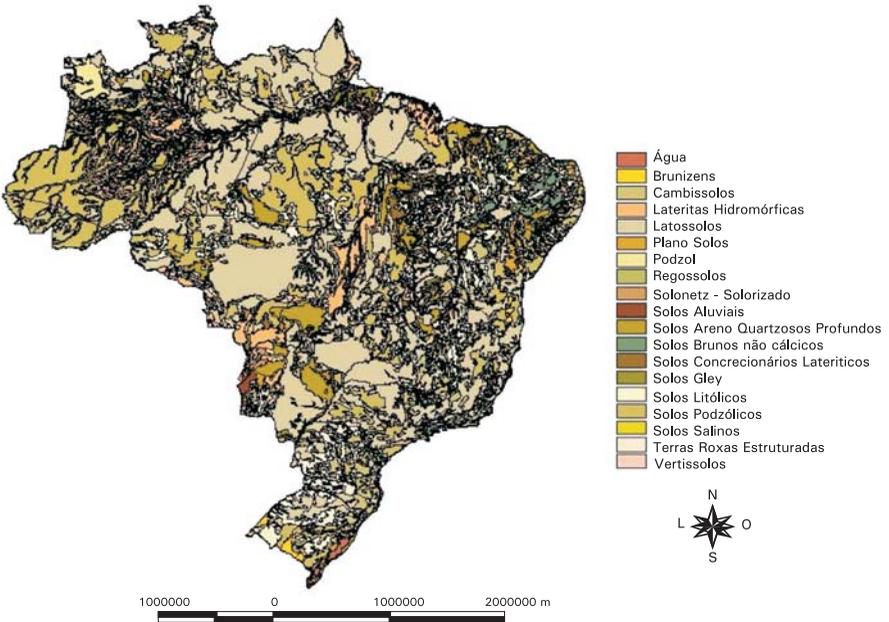


Figura 3. Tipos de solos do Brasil feitos por um SIG.

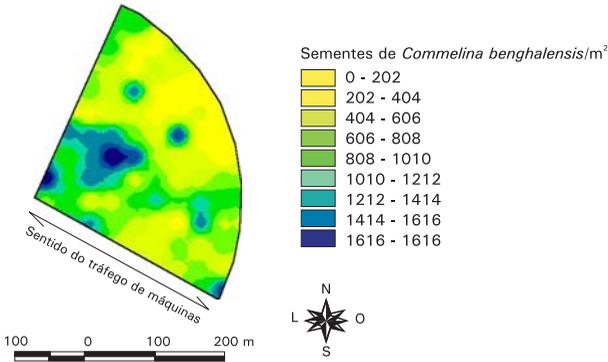


Figura 4. Mapeamento da infestação do banco de sementes de plantas daninhas (Shiratsuchi et al., 2003).

Geoestatística

Quando uma determinada propriedade ou parâmetro varia de um local para outro com algum grau de organização ou continuidade, expresso por meio de dependência espacial, a estatística tradicional deve ser substituída pela Geoestatística ([Vieira, 2000](#)).

Por estatística tradicional entende-se aquela que utiliza parâmetros como média e desvio-padrão para representar um fenômeno, e baseia-se na hipótese principal de que as variações de um local para outro são aleatórias. Desse modo, esses dois ramos da estatística têm validade de aplicação em condições distintas ([Vieira, 2000](#)). Para determinar a necessidade do uso de ferramentas geoestatísticas utiliza-se o semivariograma, que é responsável por demonstrar a dependência espacial entre as amostras.

O semivariograma, que faz a comparação entre pares de pontos separados por uma distância h ([Cressie, 1991](#)):

$$(h) = \frac{1}{2} \text{Var} [Z(x) - Z(x + h)], \text{ para todo } h.$$

O semivariograma determina o grau de similaridade entre valores (densidade de plantas daninhas) em função da distância de separação e direção e pode ser estimado por meio da seguinte expressão:

$$* = 1/(2N_{(h)}) [Z(i) - Z(i + h)]^2$$

onde: * é o semivariograma empírico para uma dada distância;

(h), $Z(i)$ representa a densidade da planta daninha na posição i;

$N_{(h)}$ é o numero de pares de pontos separados por h.

O semivariograma determina essa dependência espacial, basicamente por três parâmetros quando algum modelo é ajustado ao mesmo. O conhecimento dos principais parâmetros do semivariograma (Figura 5) é muito importante durante o estudo da dependência espacial das plantas daninhas. Segundo Trangmar et al. (1985) os principais parâmetros de um semivariograma são: (i) alcance ou "range", que representa a distância limite até a qual se tem dependência espacial entre amostras, (ii) patamar ou "sill", é o valor da assíntota do modelo ajustado aos dados, também é utilizado para o cálculo do alcance, que, segundo [Vieira et al. \(1983\)](#) é aproximadamente igual à variância dos dados e (iii) intercepto ou "nugget", que representa a variância para $h = 0$, o intercepto é considerado como um erro amostral ou uma medida não explicada pela escala de observação utilizada no estudo do fenômeno natural. Quando o intercepto aproxima-se de zero, a variância pode ser totalmente explicada pela dependência espacial dos dados [\(Zanin et al., 1998\)](#).

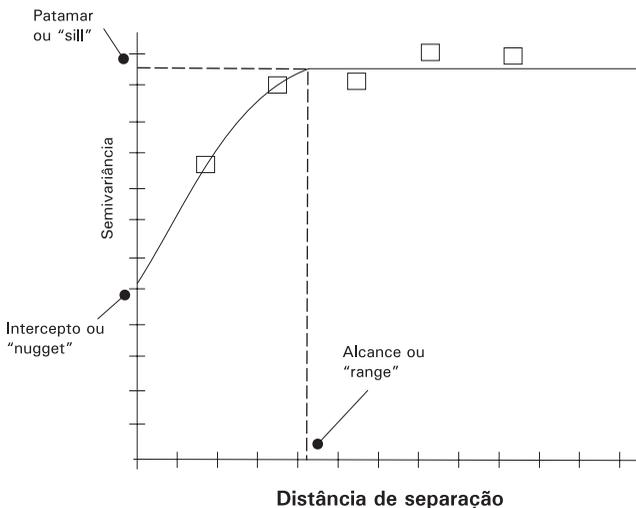


Figura 5. Principais parâmetros de um semivariograma.

Havendo a dependência espacial depois da análise dos semivariogramas, pode-se estimar valores da propriedade em estudo aos locais não amostrados no campo, sem tendência e com variância mínima, por meio do método denominado “krigagem” (palavra convencionalmente utilizada na geoestatística como tradução da língua inglesa do termo “Kriging”) ([Isaaks & Srivastava, 1989](#)). A “krigagem” consiste de uma técnica de interpolação que faz ótima a estimação de variáveis regionalizadas, utilizando parâmetros dos semivariogramas e os valores das amostragens feitas (Trangmar et al., 1985).

Na ciência das plantas daninhas, resumidamente, as principais etapas a serem seguidas para a análise da variabilidade espacial são (i) análise exploratória dos dados, (ii) transformações e retirada de tendências quando essas existirem, (iii) análise da semivariância por meio dos semivariogramas e ajuste de modelos, (iv) interpolação por “krigagem” utilizando os parâmetros do modelo ajustado, (v) construção de mapas de infestação de plantas daninhas com a superfície de dados estimados ([Heisel et al., 1996a](#)).

O delineamento de espaçamentos e disposições ótimas de amostras no campo são outras aplicações imediatas possíveis de se efetuar utilizando a geoestatística ([Vieira, 2000](#)).

Mapeamento das Plantas Daninhas

Diversos estudos têm mostrado que muitas espécies de plantas daninhas estão agregadas ou freqüentemente ocorrem em “reboleiras” devido a aspectos da biologia das plantas daninhas ([Nordmeyer et al., 1997](#)). Outros fatores também indicam maior agregação de plantas daninhas, tais como, umidade do solo, topografia, tipos de solos, produtividade da cultura e outros ([Kvien et al., 1997](#)). Como a maioria das plantas daninha infesta as áreas agrícolas em “reboleiras”, surgiu a idéia do mapeamento de suas distribuições no campo para fins de aplicação localizada de herbicidas.

No mapeamento, além da localização das áreas de ocorrência, é muito importante conhecer aspectos da biologia das plantas daninhas, tais como níveis de infestação, grau de contagiosidade, espécies presentes, capacidade e modo de reprodução dessas espécies influenciando o banco de sementes e comportamento em relação às condições edafoclimáticas. As criações de mapas de tratamentos herbicidas dependem muito das propriedades do solo e de

correlações de vários fatores relacionados com a biologia das plantas daninhas ([Heisel et al., 1996b](#)). É importante correlacionar o mapa tratamento com mapas de anos anteriores para definir o controle das plantas daninhas.

[Lutman & Perry \(1999\)](#) dividiram as técnicas de mapeamento das plantas daninhas em dois grandes grupos: (i) Detecção manual, feita por amostragens dentro de quadrados amostrais pelo nível de infestação; nesse método normalmente é feita a divisão da área em grades ("grids") e a detecção visual pode ser auxiliada utilizando unidades móveis como quadriciclos ou colhedoras e (ii) Detecção automatizada, feita por imagens aéreas retiradas a partir de unidades móveis de vôo de baixa altitude, satélites e outras formas de sensoriamento. A técnica mais utilizada, principalmente em pesquisa, é o mapeamento pelo método de amostragens em grade.

Método de contorno das infestações

Esse método consiste no caminhamento pelo campo contornando-se as "reboleiras" de plantas daninhas, registrando nível da infestação e espécies, com o auxílio de computador portátil e GPS ([Stafford et al., 1996](#)) (Figura 6). Dessa forma, serão determinados os locais das "reboleiras" de plantas daninhas no campo, sua flora daninha e níveis de infestações dessas espécies. Os mapas de prescrição gerados servirão de base para a aplicação de herbicida.

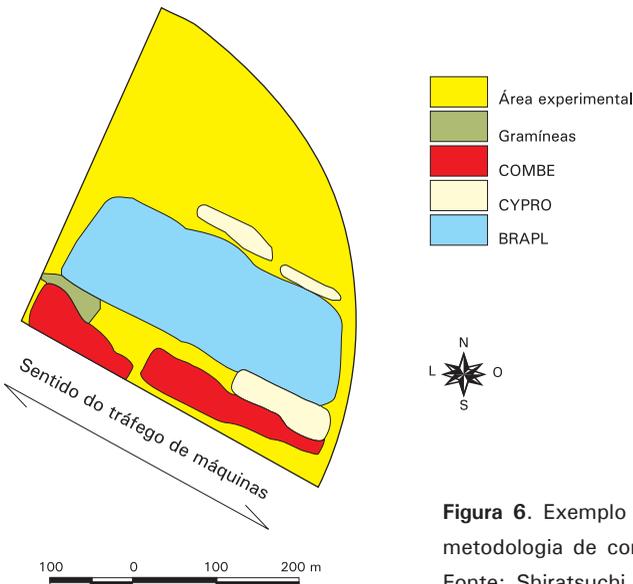


Figura 6. Exemplo de um mapa gerado pela metodologia de contorno da infestação.

Fonte: Shiratsuchi et al. (2003)

[Kvien et al. \(1997\)](#) compararam dois métodos de controle baseados nesse tipo de mapeamento em área de 1,6 ha. No uso de sensores de altura de plantas detectaram-se 0,23 ha cobertos por planta daninha enquanto por contorno das áreas de ocorrência 0,17 ha, portanto, valores bastante próximos.

Em três métodos de mapeamento: (i) durante a colheita, (ii) contorno das “reboleiras” e (iii) contagem de plântulas jovens em grade de 5 x 10 m, foi verificado que o primeiro pode superestimar a área infestada, apesar da eficiência; pois não é necessário gasto de tempo extra para mapeamento já que o levantamento dá-se simultaneamente à operação da colheita. Por sua vez, a facilidade ou dificuldade dos métodos de contorno e contagem de plântulas em grade dependerá muito do nível de infestação, do grau de contagiosidade e do tipo de plantas daninhas ([Colliver et al., 1996](#)).

Na geração de polígonos georreferenciados, pelo caminhamento ao redor das reboleiras, é importante ressaltar erros de posição, que dependem da precisão do equipamento. Torna-se necessária a criação de áreas de segurança para confeccionar mapas de aplicação herbicida. [Lass & Callihan \(1993\)](#) obtiveram polígonos com uma precisão de 10 m, quando o receptor DGPS estava em movimento, e aproximadamente 2 m, quando existiam breves paradas durante a aquisição de dados. Porém testes de precisão, após a abolição da disponibilidade seletiva EUA devem ser padronizados.

Método de amostragens em grade

Esse método consiste na divisão da área agrícola em quadrículas, ou pequenas células de amostragem, gerando uma grade georreferenciada onde são feitas amostragens sistemáticas de plantas daninhas ([Figura 7](#)). A informação coletada em cada subárea é convertida em mapa de infestação por “krigagem” ou outro método de interpolação relacionado ([Lutman & Perry, 1999](#)).

Essa metodologia é demorada e trabalhosa de ser realizada em grandes áreas, principalmente se a grade for muito pequena, gerando um número de amostras inviável de se coletar na prática ([Stafford & Miller 1996](#), [Christensen et al., 1999a](#); [Lutman & Perry, 1999](#)). Porém, quanto menor a grade amostral maior a resolução e confiabilidade. Considerou-se 6 x 6 m o tamanho máximo de uma grade, pois além do qual os mapas apresentam baixa resolução e inviabilizam a técnica ([Lutman & Perry, 1999](#)).

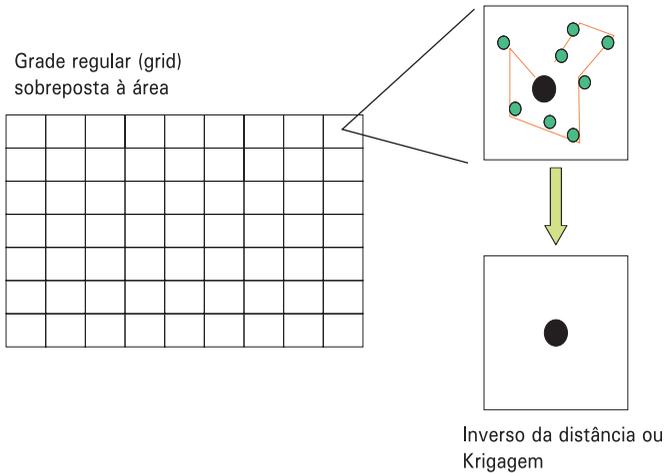


Figura 7. Esquema da metodologia de amostragem em grades regulares ou *grid sampling*.

No mapeamento de plantas daninhas, por amostragens em grade, a área mínima de amostragem é definida como sendo a área onde a composição de espécies em estudo é satisfatoriamente representada ([Barbour et al., 1987](#)). As áreas mínimas foram estudadas utilizando-se quadrados amostrais que variaram de $0,06 \text{ m}^2$ a $0,38 \text{ m}^2$ ([Dessaint et al., 1991](#); [Cardina et al., 1996](#); [Gehards et al., 1996](#)).

[Nordmeyer et al. \(1997\)](#) mapearam plantas daninhas pelo método de amostragem em 13 ha, utilizando grade de $30 \times 30 \text{ m}$ e um quadrado amostral de $0,1 \text{ m}^2$. Em uma delas, os mapas gerados mostraram necessidade de pulverização em apenas 60% da área. Em outra, 70% necessitaram de pulverização para dicotiledôneas e não se justificava o controle localizado de monocotiledôneas, devido à infestação generalizada e uniforme. Em outro experimento em área de 8 ha, grade de $20 \times 20 \text{ m}$ e amostrador circular de $0,25 \text{ m}^2$, foram verificadas economias de herbicidas da ordem de 66 a 75% em relação ao convencional ([Heisel et al., 1996b](#)).

Em estudo sobre a distribuição de “reboleiras” de plantas daninhas para a aplicação de herbicidas em quatro anos, a recomendação de herbicidas em pós-emergência foi definida por uma grade de $7 \times 7 \text{ m}$ e um quadrado amostral de $0,38 \text{ m}^2$, verificando-se que as folhas largas possuem um comportamento mais estável que as folhas estreitas ([Gehards et al., 1996](#)).

São inúmeros os tamanhos de grades amostrais utilizadas em experimentos para se determinar a distribuição espacial das plantas daninhas. [Cardina et al. \(1997\)](#) mencionam grades de 0,5 x 0,5m a 36 x 40 m. Por sua vez, grades maiores que 6 x 6 m podem ser não representativas para o estudo espacial das plantas daninhas em geral ([Paice et al., 1998](#), [Lutman & Perry, 1999](#)).

No intuito de diminuir o tempo de amostragem em grade quantificou-se a infestação das plantas daninhas por meio do índice de cobertura do terreno, com auxílio de câmera de 60 mm, onde a imagem digitalizada determinou a porcentagem de cobertura do terreno. As taxas de cobertura do terreno correlacionaram-se com diferentes densidades das plantas daninhas ([Christensen et al, 1999a](#)).

Segundo [Lutman & Perry \(1999\)](#), a técnica de amostragens em grade é aceitável para fins de pesquisa, porém ainda existem limitações sobre sua utilização no preparo rápido de mapas de aplicações herbicidas, principalmente em áreas extensas.

Avaliação na colheita da cultura

O método consiste na marcação georreferenciada da infestação durante a operação de colheita (Figura 8). Durante o caminhamento da colhedora equipada com DGPS, o operador faz marcações quando entra em alguma “reboleira” de planta daninha. Por meio da largura da plataforma de colheita e da posição em que o operador começou e terminou a marcação é possível calcular uma faixa onde foi detectada uma determinada planta daninha ([Colliver et al., 1996](#)). Depois da colheita e do processamento dos dados em um programa específico, as faixas de infestações geram um mapa de infestação.

O mapeamento das plantas daninhas durante a colheita da cultura é atualmente a mais utilizada em áreas de produção agrícolas nos EUA pela facilidade metodológica, pois é realizada simultaneamente com a operação de colheita. Os mapas pós-colheitas servirão de base para o próximo plantio, racionalizando a aplicação de herbicidas para o manejo na cultura em sucessão, pois as plantas daninhas apresentam certa estabilidade espacial ao longo tempo ([Clay & Johnson, 2001](#)).

A dispersão de plantas daninhas pelas operações de cultivo e colheita é um dos principais fatores que influenciam a localização de futuras “reboleiras”, e estas são matematicamente previsíveis ([Colliver et al., 1996](#)).

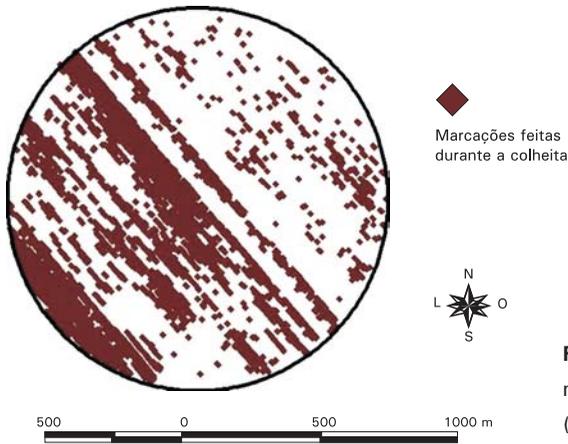


Figura 8. Mapeamento por marcações feitas na colheita (*flag*).

O mapeamento na colheita apresenta, porém, algumas limitações como a necessidade de operador com experiência na identificação das espécies, a infestação pode ser subestimada devido à sobreposição pela cultura, a avaliação pode não coincidir com o período de competição e existe também a subjetividade na avaliação quando se alternam operadores.

Avaliação do banco de sementes

O banco de sementes no solo tem sido utilizado na literatura para descrever o montante de sementes viáveis e outras estruturas de propagação presentes no solo ou nos restos vegetais ([Carmona, 1992](#)).

O conhecimento das suas características é importante na adoção de técnicas de manejo em sistemas agrícolas. A caracterização do banco de sementes fornece informações históricas que influenciam nas práticas de manejo e possibilita a previsão do potencial de futuras infestações; ao se identificar o seu tamanho e as espécies presentes, o banco de sementes pode ser utilizado nas previsões de manejo na área ([Wilson et al., 1985](#); [Ball & Miller, 1989](#); [Forcella, 1992](#); [Christoffoleti & Caetano, 1998](#)).

Da mesma forma que as populações emergentes de plantas daninhas possuem um certo grau de contagiosidade é esperado que os respectivos bancos de sementes também possuam esse comportamento, o qual sofre pouca modificação de um ano para outro, ou de uma cultura para outra. A flora daninha por sua vez sofre reflexos diretos em curto prazo, e essa mudança depende muito do sistema de produção adotado. O banco de sementes ([Fugura 9](#)) é o principal fator da

estabilidade das “reboleiras” das plantas daninhas ([Dieleman & Mortensen, 1999](#); [Shiratsuchi et al., 2003](#)).

Essa estabilidade temporal foi observada por [Cardina et al. \(1996\)](#), utilizando uma grade de avaliação de 3 x 7 m e de 1 x 1 m no levantamento do banco de sementes na cultura da soja em plantio direto. [Cardina et al. \(1997\)](#) citam a utilização de grade de 0,5 x 0,5 m em culturas de cereais, com estabilidade na distribuição espacial das sementes no solo ao longo do tempo. Sendo assim, a localização geográfica das concentrações de sementes no solo com a utilização de mapeamento pode ser utilizada para planejar o manejo e prever o comportamento do banco em anos posteriores.

Um modelo espaço-temporal foi empregado para a quantificação da dispersão, com base na densidade da planta daninha *Alopecurus myosuroides*, durante oito anos foi conduzido por [Christensen et al. \(1999b\)](#). Neste trabalho, os autores utilizaram a quantificação da variabilidade espacial inicial do banco e simularam por meio de modelos matemáticos a eficiência e economicidade dos seguintes métodos de controle: (i) localizado baseado no nível de dano econômico, (ii) com doses determinadas pela densidade de plantas e diminuição no rendimento por competição e (iii) aplicação uniforme de uma única dose independente da densidade de plantas. O segundo diminuiu efetivamente a infestação, com tendência na redução de doses e maior economicidade. Por aplicação uniforme a infestação se manteve aos níveis originais sem modificar a característica espacial. O controle localizado baseado em dano econômico aumentou a dose de herbicida requerida nos 8 anos e diminuiu as áreas livres de infestação devido a não pulverização em áreas com densidade abaixo da dose econômica.

A correlação entre a flora emergente e o banco de sementes geralmente são baixas em gramíneas anuais, pois diversos fatores como a dormência, a deterioração, época de amostragem e avaliação, espécie de planta e micro ambiente onde foi coletada a amostra influencia a espacialização ([Cardina et al., 1996](#); [Voll, 2000](#)).

O banco de sementes apresenta ainda uma variabilidade vertical, na dependência do sistema de produção utilizado. A distribuição vertical foi estudada em diferentes sistemas e tipos de manejo mostrando que em sistema de plantio direto, 90 a 96% do total de sementes encontraram-se nos primeiros 6 cm, principalmente devido ao não revolvimento do solo ([Yenish et al., 1992](#)). As sementes mais próximas a superfície estão mais sujeitas à predação, deterioração e a germinação ([Carmona, 1992](#)). Portanto o conhecimento dessa variabilidade vertical é decisivo na escolha da profundidade de amostragem para determinação do banco de sementes ([Barberi et al. 1998](#)).

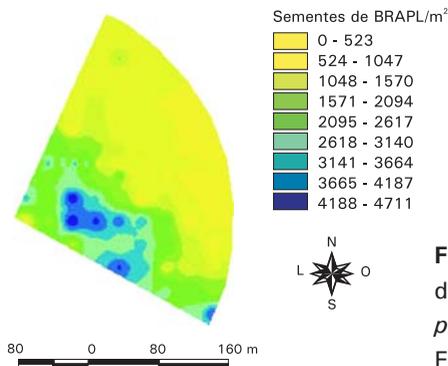


Figura 9. Mapa da distribuição espacial da densidade de sementes de *Brachiaria plantaginea*.

Fonte: [Shiratsuchi et al. \(2003\)](#).

Considerações Finais

Com a ampliação constante das áreas agrícolas e a necessidade de mais conhecimento dos fatores que afetam a produtividade e a lucratividade, a Agricultura de Precisão se encaixa como ferramenta de gerenciamento que possibilita o melhor entendimento e controle de plantas daninhas, baseado na predição de fenômenos biológicos no espaço e no tempo.

Referências Bibliográficas

- BALL, D. A.; MILLER S. D. A comparison of techniques for estimation of arable soil seed banks and their relationship with weed flora. **Weed Research**, Oxford, v. 29, p. 365-373, 1989.
- BARBERI, P.; COZZANI, A.; MACCHIA, M.; BONARI, E. Size and composition of the weed seed bank under different management systems for continuous maize cropping. **Weed Research**, Oxford, v. 38, p. 319-334, 1998.
- BARBOUR, L. G.; BURK, J. H.; PITTS, W. D. **Terrestrial plant ecology**. Menlo Park: The Benjamin: Cummings Publishing Company, 1987. 634 p.
- CARDINA, J.; JOHNSON, G. A.; SPARROW, D. H. The nature and consequence of weed spatial distribution. **Weed Science**, Ithaca, v. 45, n. 3, p. 364-373, 1997.
- CARDINA, J.; SPARROW, D. H. A comparison of methods to predict weed seedling populations from the soil seed bank. **Weed Science**, Ithaca, v. 44, p. 46-51, 1996.

CARDINA, J.; SPARROW, D. H; McCOY, E. L. Analysis of spatial distribution of Common Lambsquarters (*Chenopodium album*) in no-till soybean (*Glycine max*). **Weed Science**, Ithaca, v. 43, p.258-268, 1995.

CARDINA, J.; SPARROW, D.H; McCOY, E.L. Spatial relationships between seed bank and seedling populations of common lambsquarter (*Chenopodium album*) and annual grasses. **Weed Science**, Ithaca, v. 44, p. 298-308, 1996.

CARMONA, R. Problemática e manejo de banco de sementes de invasoras em solos agrícolas. **Planta Daninha**, Botucatu, v. 10, n. 1/2, p. 5-16, 1992.

CHRISTENSEN, S.; HEISEL, T.; BENLLOCH, J.V. Patch spraying and rational weed mapping in cereals. In: THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., Minneapolis, 1999. **Proceedings**. Wisconsin: ASA: CSSA: SSSA, 1999a. p.773-785.

CHRISTENSEN, S.; HEISEL, T.; PAICE, M. Simulation of long term *Alopecurus myosuroides* population using three patch spraying strategies. In: THE EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2., Odense, 1999. **Proceedings**. Sheffield: Sheffield Academic, 1999b. p.977-987.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; CAETANO, R. S. X. Soil seed banks. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 55, p. 74-78, 1998. Número especial.

CLAY, S.; JOHNSON, G. **Scouting for weeds**. Disponível em: <<http://www.ppi-dar.org/ssmg>>. Acesso em: 6 set. 2001.

COLLIVER, C. T.; MAXWELL, B. D.; TYLER, D. A.; ROBERTS, D. W.; LONG, D. S. Georeferencing wild oat infestations in small grains: Accuracy and efficiency of three weed survey techniques. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Wisconsin: ASA: CSSA: SSSA, 1996. p. 453-463.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991, 900 p.

DANA, P.H. **Global positioning system overview**. Disponível em: <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html>. Acesso em: 5 out. 2001.

DESSAINT, F.; CHADOEUF, R.; BARRALIS, G. Spatial pattern analysis of weed seeds in the cultivated soil seed bank. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 28, p. 721-730, 1991.

DIELEMAN, J. A.; MORTENSEN, D. A. Characterizing the spatial pattern of *Abutilon theophrasti* seedling patches. **Weed Research**, Oxford, v. 39, p. 455-467, 1999.

ELIAS, A. I.; CAMARGO, J. R. O. Agricultura de precisão: visão da CASE do Brasil. In: BALASTREIRE, L. A. (Ed.). **O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba: L.A. Balastreire, 2000.

FORCELLA, F. Prediction of weed seed densities from buried seed reserves. **Weed Research**, Oxford, v. 32, p. 29-39, 1992.

GERHARDS, R.; WYSE-PESTER, D. Y.; MORTENSEN, D. A. Spatial Stability of weed patches in agricultural fields. In: THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1999. **Proceedings**. Wisconsin: ASA: CSSA: SSSA, 1996. p. 495-504.

HAN, S.; HUMMEL, J. W.; GOERING, C. E.; CAHN, M. D. Cell size selection for site specific crop management. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 1, p. 19-26, 1994.

HEISEL, T.; ANDREASEN, C.; ERSBOLL, A. K. Annual weed distributions can be mapped with krigging. **Weed Research**, Oxford, v. 36, p. 325-337, 1996a.

HEISEL, T.; CRISTENSEN, S.; WALTER, A. M. Weed managing model for patch spraying in cereal. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, **Proceedings**. Wisconsin: ASA: CSSA: SSSA, 1996b. p. 999-1007.

HOOGENBOOM, G. J.; LONES, W.; HUNT, L. A.; THORNTON, P. K.; TSUJI, G. Y. **An integrated decision support system for crop model applications**. St. Joseph: ASAE, 1994. (ASAE-Paper 94-3025).

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

KVIEN, C. K.; BOYDELL, C. D.; POCKNEE, S. Precision management of spatially variable weeds. In: THE EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., Warwick, **Proceedings**. Oxford: BIOS Scientific, 1997. p. 983-989.

LASS, L. W.; CALLIHAN, R. H. GPS and GIS for weed surveys and management. **Weed Technology**, Champaign, v. 7, p. 249-254, 1993.

LECHNER, W.; BAUMANN, S.; Global navigation satellite systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 25, p. 67-85, 2000.

LUTMAN, P. J. W.; PERRY, N. H. Methods of weed patch detection in cereal crops. In: THE BRIGHTON CONFERENCE- WEEDS, Brighton, 1999. **Anais**. Brighton: [s.n.], 1999. p. 627-634.

MAROIS, J. J. Modeling in precision agriculture. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIRÓZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de precisão**. Viçosa: Giúdice & Borén, 2000. p. 285-298.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão: fundamentos e estado atual da arte. In: CÂMARA, G. M. **Soja: tecnologia da produção II**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Produção Vegetal, p. 423-437.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Precision agriculture in the 21 century**: geospatial and information technologies in crop management. Washington: National Academy Press, 1997. 149 p.

NORDMEYER, H.; HAUSTLER, A.; NIEMANN, P. Patchy weed control as an approach in precision farming. In: THE EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., Warwick, 1997. **Proceedings**. Oxford: BIOS Scientific, 1997. p. 307-315.

PAICE, M. E. R.; DAY, W.; REW, L. J.; HOWARD, A. A stochastic simulation model for evaluating the concept of patch spraying. **Weed Research**, Oxford, v. 38, n. 5, p. 373-388, 1998.

PALMER, R. J. Progress report of a local positioning system. In: AUTOMATED AGRICULTURE FOR THE 21 CENTURY CONFERENCE, 1991, Chicago. **Proceedings**. St. Joseph: ASAE, 1991. p. 403-408. (ASAE. Publication, 11-91).

RUNQUIST, S.; ZHANG, N.; TAYLOR, R. Development a field-level geographic information system. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Amsterdan, v. 31, p. 201-209, 2001.

SHIRATSUCHI, L. S.; FONTES, J. R. A.; SANO, E. E.; FOLLE, S. M. Efeito de tráfego de máquinas no comportamento espacial de plantas daninhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Novas fronteiras: o desafio da engenharia agrícola: anais...** Goiânia: SBEA, 2003. 1 CD-ROM.

STAFFORD, J. V.; LeBARS, J. M.; AMBLER, B. A hand held data logger with integral GPS for producing weed maps by field walking. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdan, v. 14, n. 2/3, p. 235-247, 1996.

VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIRÓZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de precisão**. Viçosa: Giúdice & Borén, 2000. p. 93-108.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, p.1-85, 1983.

VOLL, E. Agricultura de precisão: manejo de plantas daninhas. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIRÓZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de precisão**. Viçosa: Giúdice & Borén, 2000. p. 203-235.

WILSON, R. G.; KERR, E. D.; NELSON, L. A. Potential for using weed seed content in the soil to predict future weed problems. **Weed Science**, Ithaca, v. 33, p. 171-175, 1985.

YENISH, J. P.; DOLL, J. D.; BUHLER, D. D. Effects of tillage on vertical distribution and viability of weed seed in soil. **Weed Science**, Ithaca, v. 40, p. 429-433, 1992.

ZHANG, N.; RUNQUIST, E.; SCHROCK, M.; HAVLIN, J.; KLUITENBURG, G.; REDULLA, C. Making GOS a verstile toll for research in precision farming. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 22, p. 221-231, 1999.

ZANIN, G.; BERTI, A.; RIELLO, L. Incorporation of weed spatial variability into the weed control decision-making process. **Weed Research**, Oxford, v. 38, n. 2, p. 107-118, 1998.

Mapping Weed Spatial Variability

Abstract - *Traditionally the weed management has been done considering the overall weed infestation in the whole field and then herbicides are sprayed according to a single weed control recommendation for the field. But weeds are not uniformly distributed and normally have clumped populations showing weed patches presenting high spatial variability. This nature of the weed populations can be mapped, and so it can help the decisions associated with weed management on agricultural systems. However, localization and mapping of the weed clusters are very difficult tasks in large areas, and require adequate methodology. Therefore, determination method of this weed spatial variability must be scientifically studied. This document aim to provide information about the concepts, tools and methods of weed mapping considering that weed mapping technology is an important tool to bear on decisions associated with crop production, and it is a priority for the implementation of this technology multiple sources of scientific knowledge in weed biology and management regarding to the weed spatial variability.*

Index terms: GIS, weed mapping, precision farming.