



3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão

METODOLOGIA PARA O MAPEAMENTO GEOREFERENCIADO DA APLICAÇÃO DE CHUVA ARTIFICIAL EM ÁREA DE PLANTIO COM BASE NO USO DE VISÃO COMPUTACIONAL

Paulo E. Cruvinel¹, Vilma A. Oliveira², Luciano V. Koenigkan¹,
Glaucia M. Bressan², Francisco Parisi¹, Evandro C. Mantovani³

RESUMO: Nos últimos anos o monitoramento das condições das culturas agrícolas tem recebido atenção especial e uma maior ênfase tem sido colocada na identificação de deficiências nutricionais em plantas, na ocorrência de pragas e doenças, na classificação e quantificação de plantas daninhas e na otimização de impactos causados pelo uso excessivo de insumos. Neste contexto as práticas de agricultura de precisão vêm sendo valorizadas. Neste trabalho é apresentada uma metodologia que auxilia o mapeamento georeferenciado da aplicação de pesticidas em áreas de plantio com base no uso de visão computacional. A técnica é baseada no uso de imagens digitais para a contagem de gotas de chuva artificial por correlação de padrões no domínio da frequência, no uso de krigeagem para a elaboração de mapas e no estabelecimento de um critério e análise sítio-específico que integra informações de descritores da distribuição de classes de gotas e sua distribuição.

PALAVRAS-CHAVE: Chuva artificial, agricultura de precisão, visão computacional

ARTIFICIAL RAINDROP GEO-REFERENCED MAPPING METHODOLOGY FOR AGRICULTURAL FIELD BASED ON MACHINE VISION

ABSTRACT: In the last years the direct agricultural monitoring on the fields are receiving especial attention and it has been emphasize the identification of plant nutrition, occurrence of diseases, weed classification and quantification, as well as the optimization of impacts that occur due the inadequate use of agricultural products. This paper presents a methodology for geo-referenced mapping of the pesticide application in agricultural field based on machine vision. The technique uses digital image processing with raindrop recognition by means of correlation analysis in the frequency domain, kriging procedures to elaborate maps of the artificial raindrop distribution, and criteria to integrate descriptors of the raindrop distribution for specific-site analysis.

KEYWORDS: Artificial rain, precision agriculture, computational vision

INTRODUÇÃO: A competitividade e as exigências do mercado consumidor têm pressionado o setor agrícola a buscar maior eficiência na produção. Além disso, a busca pela conservação dos recursos naturais, diminuindo tanto quanto possível a poluição do meio ambiente, é outro fator que tem motivado a procura de melhor gerenciamento do processo produtivo da agricultura, visando

¹ Embrapa Instrumentação Agropecuária, Rua XV de Novembro 1452, Caixa Postal 741, 13560-970 São Carlos SP e-mail: cruvinel@cnpdia.embrapa.br;

² Escola de Engenharia de São Carlos Departamento de Engenharia Elétrica USP Escola de Engenharia de São Carlos, Avenida Trabalhador SanCarlense 400, Centro, 13566-940 São Carlos SP – Brasil fone: (016) 273-9361 e-mail: vilma@sel.eesc.sc.usp.br;

³ Embrapa Milho e Sorgo, Rodovia MG 424 km 65 Caixa Postal 151, 35701-570 Sete Lagoas MG, e-mail: evandro@cnpms.embrapa.br

5926



3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão

competitividade e controle com base na agricultura conservacionista, a qual envolve a manutenção da qualidade do solo, da água, do ar e dos alimentos. As aplicações convencionais de defensivos baseadas nas necessidades médias vêm sendo objeto de pesquisa, visando melhorar sua execução. Essas aplicações significam, muitas vezes, aplicações excessivas em algumas áreas do campo e insuficientes em outras, pois uma área dificilmente é uniforme. Dessa maneira, as aplicações excessivas dos insumos podem tornar-se fontes de contaminação das águas subterrâneas e superficiais.

Pesquisadores têm buscado meios para reduzir a quantidade de defensivos e o impacto sobre o meio ambiente (WILLIS e STOLLER, 1990; CHANCELLOR e GORONEA, 1993; TIAN et al., 1999). Estes pesquisadores estudaram a variabilidade espacial das plantas daninhas com o objetivo de diminuir o volume aplicado através do mapeamento das áreas infestadas ao longo dos anos.

O advento da agricultura de precisão com a incorporação de tecnologias avançadas no campo vêm provocando uma nova revolução nos processos, sistemas e métodos do manejo agrícola, trazendo principalmente novas soluções para as questões do aumento da produtividade com a possível redução do impacto ambiental.

No Brasil, devido à importância das plantas daninhas como invasoras na cultura da soja e com a finalidade de explorar o potencial da agricultura de precisão e dos SVC na agricultura diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos, entre eles encontra-se um projeto temático intitulado Desenvolvimento de Sistemas de Análise e Controle Integrados para Populações de Plantas, o qual envolve parceria da Embrapa – Instrumentação Agropecuária (São Carlos - SP), Embrapa – Milho e Sorgo (Sete Lagoas – MG), Departamento de Engenharia Elétrica – USP, Departamentos de Engenharia Elétrica e de Ciência da Computação e Estatística – UNESP e Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR. O projeto visa, dentre outros, contribuir para a pesquisa e extensão com a formação de recursos humanos em controle, modelagem e agricultura de precisão. Sua contribuição principal está na elaboração de sistemas para otimizar métodos na agricultura que envolva populações de plantas e dinâmica de infestações, utilizando modelos dinâmicos e estatísticos para gerar mapas de risco geo-referenciados quanto à probabilidade de infestação e estratégias de controle de aplicação de herbicidas em função de novas práticas de manejo. (BREISSAN et al, 2005; ADATI et al, 2005 e VISMARA et al, 2005)

O controle químico de plantas daninhas está diretamente associado ao controle do volume de gotas, ou da qualidade da chuva artificial que é aplicada na lavoura. O volume de gotas de chuva tem sido obtido por pesquisadores desde 1890. Encontram-se relatadas na literatura pelo menos sete técnicas para medida de distribuição e volume de gotas de chuva, isto é, método da mancha (HALL, 1970), método do impulso (SCHLEUSENER, 1967), método da farinha (KOHL, 1974), método de imersão (MCCOOL, 1982), método da fotografia (ROELS, 1981), o método do óleo (EIGEL & MOORE, 1983) e o método com processamento de imagem (CRUVINEL et al., 1999; GARCIA et al., 2000).

Para a compreensão do processo de pulverização de um líquido é necessário o conhecimento da teoria de formação da gota e de sua distribuição no meio ambiente. O conhecimento sobre o tamanho das gotas é importante também para se obter um alto grau de eficiência e reduzir a contaminação do meio ambiente. Os principais descritores são estudados principalmente em função dos parâmetros: Diâmetro Mediano Volumétrico (DMV); Diâmetro Mediano Numérico (DMN) e Espectro de Gotas (EG).

Neste artigo é apresentado um método para o mapeamento georeferenciado da distribuição de gotas de chuva em campos de plantio, o qual leva em conta a variabilidade espacial da distribuição de gotas,



3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão

suas coordenadas geodésicas e o estabelecimento de um indicador de qualidade de aplicação de chuva artificial em cada sítio-específico com base no uso de visão computacional.

MATERIAIS E MÉTODOS: O método é baseado na geração do ambiente computacional implementado com base na composição de padrões de gotas de chuva artificial, geração de mapas a partir da krigeagem e elaboração de protocolo para visualização multiparametral de componentes que inferem a qualidade do procedimento de aplicação em campos agricultáveis.

O volume de gotas é identificado com base na medida dos raios de diferentes tamanhos na mesma imagem com o uso do processamento de imagens e correlação em frequência. A transformada de Fourier tem sido usada em problemas relacionados ao reconhecimento de padrões. Isto ocorre devido a sua eficiência computacional e a facilidade de sua implementação.

Assim, aplicando a operação de correlação e usando a notação $XX(k,l)$ e $HH(k,l)$ para representar respectivamente no domínio espacial a imagem de entrada e uma imagem com padrões conhecidos de gotas, é possível escrever a seguinte equação:

$$XX(k,l) \text{ o } HH(k,l) = F^{-1} \{ZZ^*(h,i).RR(h,i)\} \quad (1)$$

onde $ZZ^*(h,i)$ é a imagem de entrada conjugada e $RR(h,i)$ é o espectro de Fourier da imagem com padrões conhecidos. Uma maior correlação estará presente nas áreas onde ocorrer maior similaridade.

Uma vez obtido a distribuição das gotas em cada posição georeferenciada trabalha-se na construção de mapas com base no uso da geoestatística. A geoestatística viabiliza análise da dependência espacial entre os dados observados, sendo possível determinar o raio de dependência espacial entre eles. Verificada a dependência espacial, pode-se estimar valores pelo processo de interpolação por krigeagem (ou Krigagem) obtendo-se um mapa de isolinhas da área em estudo. KRIGE (1951), estudando dados de concentração de ouro na África do Sul, verificou que as variâncias não faziam sentido quando considerava independência entre as amostras. No entanto, se levasse em consideração as distâncias entre as amostras, ou seja, a posição espacial entre elas, as variâncias passavam a fazer sentido. Baseado nessas observações, MATHERON (1963) formalizou os fundamentos da geoestatística, conhecido como a teoria das Variáveis Regionalizadas, tendo como base os conceitos de função aleatória e estacionaridade de segunda ordem.

A dependência espacial é dada pela medida da variância das diferenças dos valores amostrais entre todos os pontos, separados por uma distância h , podendo ser verificada por meio da função semivariograma, dada, em termos práticos, por:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

onde h é o passo básico, N_h é o número de pares de pontos que estão a uma distância de h unidades no período de amostragem e Z são valores medidos para propriedades do meio ou atributos da cultura. $N(h)$ é o número de pares de valores amostrados, $(Z(x_i) - Z(x_i + h))$, separados por uma distância h .



3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão

Quando h cresce, o semivariograma aproxima-se da variabilidade total dos dados, chamado patamar, e havendo estacionariedade de segunda ordem, o semivariograma expressa o grau de dependência entre os pontos amostrais.

Após o uso da krigeagem e a obtenção dos mapas para as gotas de chuva artificial de diferentes tamanhos, organizadas por classes de diâmetro ou volume é estabelecida a fase final da metodologia com o uso dos descritores DMV, DMN, Dv01 e Dv09, os quais podem ser estabelecidos para cada sítio-específico e uma vez plotados em conjunto passam a possibilitar uma figura de mérito do grau de eficiência da aplicação e seu respectivo acerto em área de plantio. Os valores máximos dessas variáveis são normalizados em função da medida do raio do círculo de verificação, cuja área inscrita que é obtida pela união dos vértices da figura poligonal formada define o indicador procurado.

Para estudo de caso em ambiente de simulação foram consideradas parcelas de 12m^2 ($4\text{m} \times 3\text{m}$) com distribuição de papéis hidro-sensíveis georeferenciados em arranjo matricial constituído de 3 linhas e 4 colunas, separadas por 1m respectivamente. Ao redor das parcelas considerou-se uma borda contínua de 0,5m.

RESULTADOS E DISCUSSÕES: A Figura 1 ilustra um exemplo de um papel-hidrosensível utilizado para amostragem de gotas de chuva artificial e mapas georeferenciados com as variabilidades espaciais encontradas em uma das parcelas estudadas, em função do tamanho do diâmetro de gotas de chuva artificial obtidos por correlação de imagens digitais no domínio da frequência.



3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão

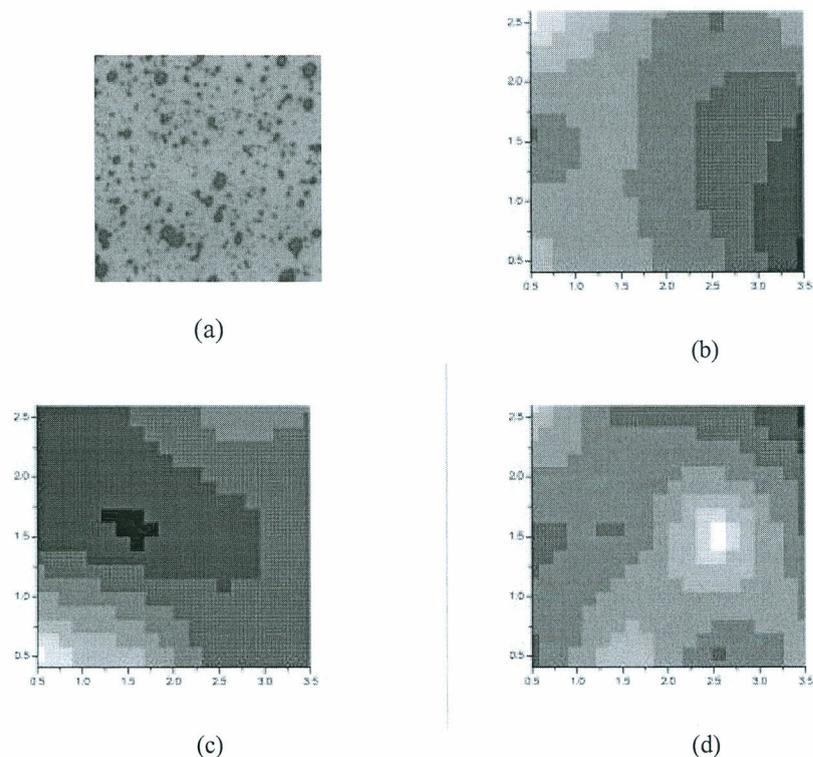


Figura 1 – (a) Papel hidro-sensível utilizado na avaliação de volume de gotas de chuva natural e artificial, (b), (c), (d) Mapas da distribuição de gotas de chuva artificial em uma parcela agrícola de 12m² em classes de tamanhos de gotas, respectivamente nos tamanhos de diâmetros de 1µm, 3µm e 5µm. A escala de cinza indica quantidades de gotas na faixa de 0 (representado pelo tom preto) à 15 (representado pelo tom branco)

A tabela 1 ilustra um exemplo da relação entre diâmetro de gota e número de gotas encontradas como uma função espacial dos papeis hidro-sensíveis georeferenciados em uma das parcelas estudadas.

A tabela 2 ilustra os cálculos dos descritores Dv01, DMV, Dv09 e DMN, bem como a área calculada a partir dos triângulos retângulos formados e inscritos no círculo de raio unitário para a visualização conjunta destes parâmetros de análise.



3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão

Tabela 1- Relação entre diâmetro de gota e número de gotas encontradas nos papéis hidro-sensíveis de 12 sítios-específicos dos mapas de gotas obtidos a partir de krigagem

| Diâmetro (µm) | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 | #6 | #7 | #8 | #9 | #10 | #11 | #12 |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| 1 | 8 | 7 | 6 | 3 | 5 | 7 | 5 | 4 | 10 | 7 | 5 | 9 |
| 2 | 10 | 3 | 2 | 5 | 3 | 5 | 2 | 5 | 3 | 3 | 6 | 1 |
| 3 | 8 | 6 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 2 | 4 | 1 |
| 4 | 7 | 5 | 4 | 1 | 7 | 3 | 3 | 6 | 2 | 1 | 3 | 3 |
| 5 | 10 | 12 | 10 | 11 | 10 | 10 | 13 | 10 | 12 | 10 | 6 | 11 |

Tabela 2 – Descritores e áreas relativas inscritas no círculo de raio unitário

| Descritores | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 | #6 | #7 | #8 | #9 | #10 | #11 | #12 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Dv01 (µm) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| DMV (µm) | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| Dv09 (µm) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| DMN (µm) | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| Área (µm) ² | 0,96 | 1,08 | 1,26 | 1,26 | 1,08 | 1,08 | 1,40 | 1,08 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 1,08 |

A Figura 2 ilustra o círculo de raio unitário e a área inscrita formadas pelas arestas estabelecidas pelo cálculo dos parâmetros DMV, DMN, Dv01 e Dv09.

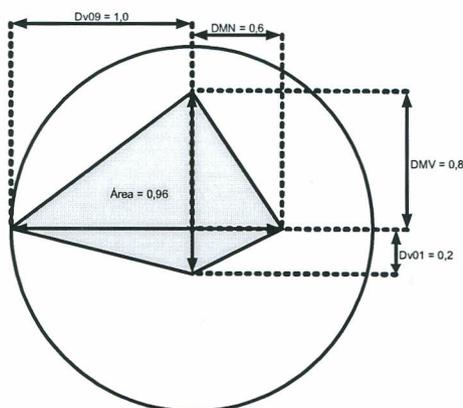


Figura 2 – Círculo de raio unitário para análise conjunta da contribuição das medidas de DMV, DMN, Dv01 e Dv09 na qualidade da aplicação de chuva artificial em área de plantio

Os resultados ilustram que ao ocorrer uma flutuação na variação do tamanho de gotas de chuva artificial nos sítios-específicos, ocorre simultaneamente uma variação na área da figura de mérito gerada no círculo unitário, em função da alteração dos descritores DMV, DMN, Dv01 e Dv09. Observa-se que a melhor figura de mérito quanto à eficiência e redução de perdas do insumo utilizado, com conseqüente redução de impacto ambiental ocorre quando as flutuações na variação de tamanho de gotas nos sítios específicos forem menores.



3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão

CONCLUSÕES: Para a compreensão do processo de pulverização de pesticidas em campo agrícola é necessário o conhecimento de sua distribuição na cultura. As pulverizações são constituídas de uma quantidade muito grande de gotas o que traz dificuldade para a análise manual das informações, dificultando conseqüentemente o processo de tomada de decisão sobre a eficiência da aplicação, a redução de perdas pelo uso adequado de insumos e a redução de impacto ambiental. Os resultados obtidos com a metodologia desenvolvida ilustram o potencial da técnica para auxílio na tomada de decisão em processos agrícolas que envolvam a aplicação sítio-específico de chuvas artificiais, onde se faz necessário a análise conjunta e simultânea de seus descritores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ADATI, C. R.; OLIVEIRA, V. A.; KARAM, D. Revisão de Modelos Matemáticos para Perda de Rendimento devido à Plantas Daninhas. 4º. Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicações, 6 a 10 de junho de 2005 UNESP- Bauru, SP.
- BRESSAN, G. M.; KOENIGKAN, L. V.; OLIVEIRA, V. A.; CRUVINEL, P. E. Classificação de risco de infestação de regiões por plantas daninhas. 4º. Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicações, 6 a 10 de junho de 2005 UNESP- Bauru, SP.
- CHANCELOR, W. J.; GORONEA, M. A. Effects of spatial variability of nitrogen, moisture, and weeds on the advantages of site-specific application for wheat. Transactions of the ASAE, v. 37, n° 3, p. 717-724, 1993.
- CRUVINEL, P. E.; VIEIRA, S. R.; CRESTANA, S.; MINATEL, E. R.; MUCHERONI, M. L.; TORRE-NETO, A. Image processing in automated measurements of raindrop size and distribution. Computers and Electronics in Agriculture, Amsterdam, p. 205-217, 1999.
- EIGEL, J. D.; MORE, I. D. A simplified technique for measuring raindrop size and distribution. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 26, p. 1079-1084, 1983.
- FUKS, S. D. Novos Modelos para mapas derivados de informações de solos. In: Assad, E. D.; Sano, E. E. Sistemas de informações geográficas. Aplicações na agricultura. Embrapa-SPI/Embrapa Cerrados, Brasília, 1998.
- GARCIA, L.C.; ZENY, E. P; FÁVERO, A. L F; JUSTINO, A.; PURÍSSIMO, C. CANTERI, M. G. C., Avaliação da qualidade e eficácia de pulverização de um herbicida sistêmico com uso de software para análise de cartões hidrossensíveis, InfoAgro – Ponta Grossa, 2000.
- HALL, M.J. Use of the stain method in determining of the drop-size distribution of coarse liquid sprays. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 13, n. 1, p. 33-37,41, 1970.
- KOHL, R. A. Drop size distribution from medium-sized agricultural sprinklers. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 17, n. 4, p. 690-693, 1974.
- KRIGE, D.G. A Statistical Approach to some Baic Mine Evaluation Problems on the Witwatersrand. Jornal Chem. Metall. Min. Soc. S. Afi., v.52, p. 119-139, 1951.
- MATHERON, G. Principles of Geostatistics. Economic Geology. El Paso, v.58, p.1246-1266, 1963.
- MCCOOLL, D. K. Personal communication. Washington: USDA-ARS; Pullmann: Washington State University, 1982.
- ROELS, J. M. Personal communication. Utrecht: Laboratory of Physical Geography, Geographical Institut, 1981.
- SCHLEUSENER, P. E. Drop size distribution and energy of falling raindrops from a medium pressure irrigation sprinkler. 1967. Thesis (Ph.D) - Michigan State University, East Lansing.
- TIAN, L.; REID, J. F.; HUMMEL, J. W. Development of a precision sprayer for site-specific weed management. Transactions of the ASAE, v. 42, n° 4, p. 893-900, 1999.



3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão

VISMARA, L. S.; OLIVEIRA, V. A.; KARAM, D. Revisão de modelos matemáticos da dinâmica do banco de sementes de plantas daninhas em agroecossistemas. 4º. Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicações, 6 a 10 de junho de 2005 UNESP- Bauru, SP.

WILLIS, B. D.; STOLLER, E. W. Weed suppression for vegetation management in corn and soybeans. Proc. N. Central Weed. Sci. Soc. v. 45, nº 9, 1990.