

Metodologia para Obtenção do Mapa de Produtividade para o Milho

Prof. MSc. Marcos Benedito Schimalski ¹

Prof. Dr. Carlos Loch ²

Prof. Reinhardt Sievers ³

¹ Curso de Engenharia
UnC – Universidade do Contestado – Campus Canoinhas
Canoinhas – SC CEP 89460000
schimalski@uol.com.br

² UFSC Florianópolis

RESUMO: As exigências da globalização e a competitividade têm exigido, principalmente, dos agricultores o investimento em novas tecnologias que possibilitem melhorar os índices de produtividade e lucratividade das culturas. Neste contexto, a Agricultura de Precisão desponta como um conjunto de ferramentas auxiliares para o planejamento e gestão da produção agrícola. Por se tratar de uma tecnologia de ponta, os custos de sua assimilação não são aceitáveis por grande parte dos produtores brasileiros. Elaborar metodologias alternativas e viáveis para a utilização da Agricultura de Precisão no Brasil é uma das maneiras de tornar os produtos agrícolas mais competitivos no exterior, com conseqüente diminuição dos impactos ambientais causados pela atividade.

1.0 INTRODUÇÃO

A globalização da economia tem exigido dos setores e, especialmente no caso da agricultura, um alto nível de competitividade. Para alcançar este patamar devem ser inseridas novas metodologias e técnicas de trabalho, entre estas a Agricultura de Precisão, que exige uma mudança de postura em relação aos métodos praticados pelos agricultores brasileiros.

A falta de conhecimentos a cerca dos vários ecossistemas tem contribuído para a degradação ambiental acarretando a perda de competitividade do setor agrícola. Os compromissos assumidos pelos governos a nível internacional exigem a adoção de tecnologias de ponta, com o objetivo principal de diminuir a diferença entre a produtividade potencial e a real, considerando a variação de produtividade no espaço e no tempo.

Desta forma, a variabilidade de ambientes e solos devem ser consideradas nos processos produtivos usados pela agricultura. Esta variabilidade pode ser obtida através da adoção de um conjunto de tecnologias e métodos que já vem sendo utilizados pelos agricultores americanos e europeus, denominada Agricultura de Precisão. Outras denominações incluem Precision Agriculture, Precision Farming, Site-Specific Crop Management.

Esta técnica utiliza um conjunto de ferramentas que permitem ao produtor rural acompanhar a produção e gerenciar o manejo do solo e das culturas de forma eficiente, otimizando o uso dos recursos pedoclimáticos e minimizar os impactos ao ambiente, através da redução da aplicação dos insumos agrícolas. Desta forma o conceito de Agricultura de Precisão pode ser aplicar no local correto, no tempo adequado, as quantidades necessárias a produção homogênea. Para MANZATTO, citando, BALESTREIRE (1998) a Agricultura de Precisão pode ser definida como o uso racional de tecnologias atuais para o manejo do solo, insumos e culturas, de modo adequado às variações espaciais e temporais dos fatores que afetam a produção agrícola.

2.0 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A AGRICULTURA DE PRECISÃO

Para MACBRATNEY e TAYLOR (2001) a Agricultura de Precisão significa agricultura sustentável. É uma ferramenta para obtenção da sustentabilidade na agricultura, entretanto não é a resposta para todos os problemas. O principal objetivo deste conjunto de técnicas é a produção com máxima eficiência com o mínimo impacto ambiental. A Agricultura de Precisão é necessária quando existe a variabilidade de ambos, quantidade e qualidade. Se esta variabilidade não existe então o sistema de manejo é uniforme.

CRAIG (2001) define Agricultura de Precisão como a utilização de tecnologia de ponta para a obtenção da posição espacial dos locais onde estejam sendo desenvolvidas atividades em uma propriedade rural. Através da correlação deste posicionamento com parâmetros técnicos como por exemplos, a análise do solo, adubação, semeadura e colheita, abre-se uma ampla possibilidade de gerenciamento das atividades agrícolas, bem como dos seus resultados. Esta tecnologia substitui o gerenciamento baseado em dados médios pelo gerenciamento por dados pontuais de cada talhão produtivo.

Assim, o estudo da variabilidade espacial da produção é a base conceitual para a utilização do conjunto de tecnologias envolvidas na Agricultura de Precisão.

TAYLOR (2001), fez experimento a produtividade de uva, visando minimizar a variabilidade e maximizar a produtividade. Para realizar este experimento este autor utilizou fotografias aéreas para obter um índice das diferenças vegetativas normalizadas (NDVI), relacionadas com a produtividade e com um mapa da condutividade elétrica (Eca) do subsolo. O trabalho mostrou que áreas de baixa produtividade têm baixo NDVI e vice-versa. O mapa de subsolo mostra um modelo espacial similar ao mapa de produtividade entretanto, correlacionado negativamente ou seja, áreas de baixa produtividade tendem a ter um alto valor de Eca e vice-versa. Observou-se que o mapa de condutividade do subsolo explica aproximadamente 56% da variação do mapa de produtividade.

SHATAR e MCBRATNEY (2001) citam como um dos pontos importantes no manejo de uma área a identificação das causas da variação da produtividade e avaliação das necessidades da colheita. Por isso, relações entre produtividade e propriedades do solo precisam ser identificadas. Estes autores analisaram as relações entre produtividade do sorgo e propriedades do solo numa área situada em Moree, norte da Austrália. A espécie monitorada foi colhida com uma colhedeira na qual foi acoplado um monitor de produtividade por impacto de fluxo de massa em conjunto com um receptor de sinais GPS. De acordo com este trabalho, faz-se necessário avaliar as relações pontuais para identificar os fatores que limitam a produção e avaliar com exatidão as necessidades da cultura. A dosagem tradicional de fertilizantes é geralmente baseada na produtividade média obtida a partir de uma extensa área, a qual reduz a exatidão de recomendação para um local específico, ou seja, as diferenças em fatores limitantes da produção são ignoradas. As relações estudadas mostraram que as limitações de produções ocorrem em sítios (locais) onde o solo tem baixa retenção de água e onde o pH está fora do intervalo ótimo. Deficiências de nutrientes também aparecem na produtividade em virtude de potássio, carbono orgânico e cobre. A variação da água no solo foi identificada como a principal causa da variação da produtividade. O pH limitou a produtividade em algumas pequenas áreas.

WHELAN, MCBRATNEY e BOYDELL (2001), estudando fatores como conteúdo de argila e nível de matéria orgânica, verificaram que os mesmos contribuem para avaliação dos nutrientes e capacidade do solo. Estes autores mostraram a variabilidade espacial destes dois fatores afetam sobremaneira a variação da produtividade do sorgo. Intuitivamente, fatores que contribuem para a variabilidade no solo deverão ser importantes no crescimento da maioria dos cereais.

Os fatores relacionados com o solo tais como níveis de nutrientes e pH devem também ser importantes em muitas áreas. É extremamente difícil e impraticável melhorar tais fatores em um curto intervalo de tempo, sendo que a Agricultura de Precisão deverá ser implementada em vários estágios (safras).

VARVEL e SCHLEMMER (2001) usando fotografias aéreas, tomadas em 1996, estudaram os níveis de matéria orgânica e fósforo. As aerofotos mostraram variabilidade espacial da cor do solo. Usando programas de processamento de imagens, testaram a concentração de matéria orgânica e fósforo. O exame e a comparação visual das fotografias e dos mapas de matéria orgânica e fósforo mostraram modelos similares de distribuição espacial, com correlação significativa na ordem de 0,57.

WHELAN (2001) estudou dados da condutividade elétrica e do relevo de uma área de 75 hectares coletados em 1998 e 1999 com auxílio de um receptor GPS. Os atributos da área foram distribuídos em uma grade de 5 m de espaçamento. Com todos os atributos na mesma grade procedeu-se a análise multivariada de k-médias (método iterativo que maximiza a distância Euclidiana entre os grupos e minimiza a distância dentro dos grupos) para as áreas potenciais de manejo. Áreas que apresentam potencial de manejo foram determinadas. Usando dois desvios em torno da média, com intervalo de confiança de 95%, foram delimitadas as zonas de manejo.

2.2 SISTEMA GLOBAL DE POSICIONAMENTO

A necessidade de localização na superfície terrestre é uma necessidade antiga da humanidade. Há vários séculos, foram desenvolvidas várias técnicas de posicionamento na superfície que envolveu orientação através dos astros e da bússola. Para suprir esta necessidade surge o posicionamento através de satélites artificiais. O NAVSTAR (Navigation Satellite Time and Ranging) ou GPS (Global Positioning System, Sistema Global de Posicionamento) é um sistema de propriedade e operação do Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Foi concebido a partir da década de 70 para substituir o TRANSIT, seu antecessor, que era composto por 7 satélites a 1100 Km de altitude. O GPS é fruto da corrida armamentista, é uma ferramenta para uso militar que encontra usuários em vários segmentos da sociedade.

O GPS é um sistema de navegação baseado em satélites e operado pelo Departamento de Defesa do Estados Unidos (DoD). O programa de implementação iniciou na década de 70 e o sistema foi considerado operacional em 1995. A partir desta data qualquer receptor de sinais GPS pode determinar sua posição 24 horas por dia.

O sistema é dividido em três partes sendo:

- segmento espacial;
- segmento de controle;
- segmento do usuário.

O segmento espacial compreende 28 satélites, distribuídos em seis órbitas espaçadas de 60⁰, a uma altitude de 20.200 Km. Os satélites transmitem sinais em duas bandas diferentes, denominadas Banda-L. São denominadas L1 e L2, sendo que cada uma funciona em uma frequência diferente. A L1 é transmitida a uma frequência de 1575,42 Mhz e carrega os códigos C/A e P. A banda L2, transmitida a 1227,60 Mhz possui apenas o código P, que é de acesso exclusivo dos militares americanos. Os receptores GPS utilizados em Agricultura de Precisão são capazes de rastrear a banda L1 e o código C/A, o que garante posicionamento diferencial na ordem de 50 centímetro a 1 metro.

O segmento de controle é responsável pelo monitoramento dos satélites, corrigindo as órbitas dos mesmos, quando necessário.

O segmento de usuário é composto por todos os usuários, sejam civis ou militares.

2.3 CORREÇÃO DE SINAL GPS

Os receptores GPS utilizados para fins civis operam, em modo absoluto, com uma faixa de erro na ordem de 15 metros. Para muitas aplicações tais erros não podem ser admitidos, sendo necessários utilizar métodos de posicionamento diferenciais, em tempo real e pós-processado. Neste tipo de trabalho, são utilizados dois receptores, sendo um instalado sobre um ponto com coordenadas conhecidas (base) e o segundo utilizado para obter os dados (móvel). Para a Agricultura de Precisão é necessário o posicionamento em tempo real, com erro melhor que 1 metro. Neste contexto, faz-se necessário obter a correção do GPS base em tempo real, através de conexão via rádio. Esta conexão pode proceder de um satélite (Racal), através da rede celular ou através de rádio. Para os dois primeiros casos, existe o inconveniente do serviço ser pago e ao passo que através de uma estrutura de rádio não existe esta taxa.

3.0 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

A fim de visualizar melhor a distribuição espacial das produtividades e tornar evidente as variações, verificando melhorar a validade das ferramentas utilizadas, escolheram-se propositalmente áreas com variação da produtividade.

Assim foram escolhidas áreas onde a variação de produtividade era visível. As áreas trabalhadas foram:

Área 1, chamada Amostra Lança, localizada na Localidade Lança, Município de Porto União.

Área 2, chamada Amostra Frontin, localizada no Município de Frontin (PR), composta de duas parcelas, próximas.

3.1.2 ESCOLHA DA ESPÉCIE

Uma espécie vegetal muito cultivada na região como também, com vasta literatura no tema em pauta, é a cultura do milho a qual foi escolhida para testar os modelos usados em Agricultura de Precisão. O fruto, em forma de espiga, facilitou a coleta das observações que em princípio foi realizada manualmente.

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 OBTENÇÃO DOS VALORES DE PRODUTIVIDADE

Inicialmente, o projeto previa a aquisição dos dados de produtividade da lavoura no instante da colheita. Para tanto, procurou-se desenvolver e testar um sistema de pesagem baseado na medição de fluxo de grãos no elevador da colheitadeira. Foi montado, no Campus de Marcílio Dias em Canoinhas, um sistema para teste.

Este sistema compreende um elevador de grãos dotado de caixa de armazenagem e de um motor elétrico. Para a obtenção dos pesos, foi testado um modelo baseado em célula foto-elétrica e encorder rotativo instalados no elevador. O objetivo final do sistema foi o de medir o volume de grãos que passa pelo elevador até a caixa de armazenagem.

Em virtude de problemas relacionados a poeira proveniente dos grãos e de vibrações no sistema, este demonstrou-se ineficaz para a medição de peso em tempo real. A outra possibilidade de aquisição de peso baseia-se na medição de impacto dos grãos na cabeça do elevador. Este impacto é transformado em peso através da relação peso/força. Futuramente, pretende-se testar este sensor no sistema montado em Marcílio Dias.

Para obter os dados de produtividade das áreas de estudo, optou-se pela obtenção manual destes parâmetros. Para tanto, foram coletados os comprimentos das espigas em unidades amostrais sistemáticas, de formato retangular, abrangendo duas fileiras (afastadas aproximadamente de 90 centímetros) por 4,2 metros de comprimento. A distribuição destas unidades retangulares nas áreas, foi realizada com espaçamento de 20 metros, alternando-se entre as linhas vizinhas.

A obtenção do peso por unidade amostral foi realizada correlacionando a dimensão da espiga com o peso, através da determinação de modelos que expressem a relação entre comprimento da espiga e peso em grãos desta espiga. O somatório de peso de grãos por unidade amostral foi extrapolado para produtividade por hectare levando-se em consideração a área retangular da amostra, ou seja, 7,56 m² por unidade amostral.

Cada unidade amostral foi posicionada no talhão de milho utilizando-se receptor de sinais GPS, com capacidade de armazenagem da portadora L1 e do código C/A. Para conseguir, uma precisão média de 70 centímetros optou-se por corrigir o posicionamento por técnica diferencial pós-processada. Para tanto, foi utilizada uma estação de base instalada no Campus Marcílio Dias.

3.2.2 DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DE PRODUTIVIDADE

Após a coleta dos comprimentos das espigas nas áreas de estudo, foi necessário obter a equação que descrevesse a relação comprimento/peso. Neste sentido, foram pesados os grãos de algumas espigas obtidas nas áreas de estudo, correlacionando peso de grãos e comprimento. Com estes dados obteve-se um modelo matemático para a transformação do comprimento das espigas em peso.

3.2.3 GERAÇÃO DOS MAPAS DE PRODUTIVIDADE

Com a obtenção dos valores de produtividade para cada unidade amostral georeferenciada, foi possível gerar uma grade retangular com pontos espacialmente distribuídos e com valores de produtividade interpolados em função das unidades amostrais próximas. Para gerar estas grades, foi utilizado o programa Surfer 7, testando-se 5 interpoladores distintos: Kriging, Vizinho Natural, Distância Inversa, Radial e Mínima Curvatura.

A partir desta grade, os pontos interpolados foram divididos em classes de produtividade, o que permitiu gerar os mapas temáticos referentes a produtividade.

Foram testados também o programa Spring 3.5 e Vésper, porém, os resultados encontrados foram similares ao interpolador denominado Kriging.

Segundo LANDIM (1998), a Krigagem é um processo de estimação de valores de variáveis distribuídas espacialmente, a partir de valores adjacentes considerados como interdependentes. E entendida como uma série de técnicas de análise de regressão que procura minimizar a variância estimada a partir de um modelo prévio que leva em conta a dependência estocástica entre os dados

distribuídos nos espaço.

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 VALORES DE PRODUTIVIDADE OBTIDOS

Após a obtenção das relações peso de grãos/comprimento de espigas foi obtido o modelo matemático que relacionasse estes parâmetros.

O diagrama de dispersão dos dados do peso dos grãos em função do comprimento da espiga indicou tratar-se de um modelo linear simples:

$$y = b_0 + b_1 x$$

Verificou-se a necessidade da utilização de dois modelos distintos para as áreas da localidade da Lança e de Frontin, assim definidos:

Modelo Lança

O modelo linear obtido no ajuste do peso em função do comprimento da espiga, na área da Lança, foi:

$$y = -126,264 + 18,60862 x,$$

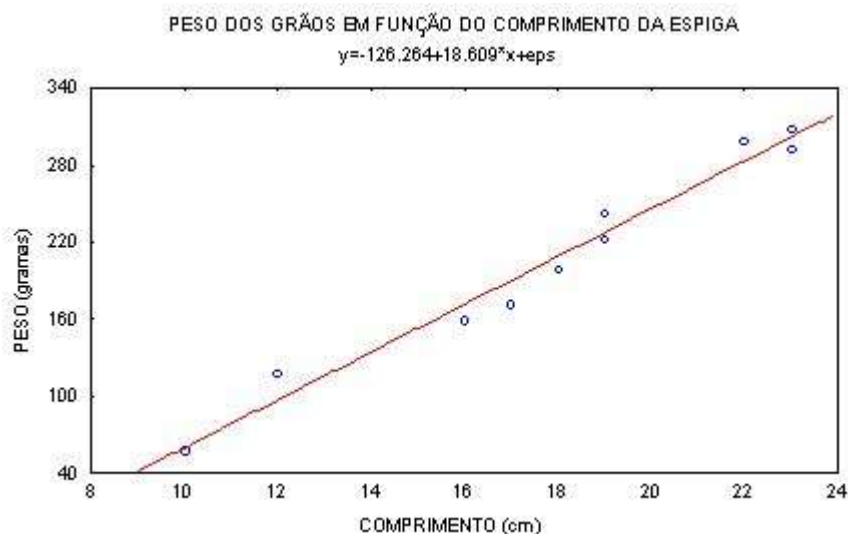
onde:

x – comprimento da espiga em centímetros;

y – peso de grãos para a espiga.

O coeficiente de determinação do modelo resultou em $r^2 = 0,97$, o que é considerado excelente e indica que medir a espiga é equivalente a pesar os grãos da mesma.

A figura abaixo, apresenta os valores de dispersão para a área Lança.



Modelo Frontin

O modelo linear obtido no ajuste do peso em função do comprimento da espiga, na área de Frontin, foi:

$$y = -79,861 + 15,185 x,$$

onde:

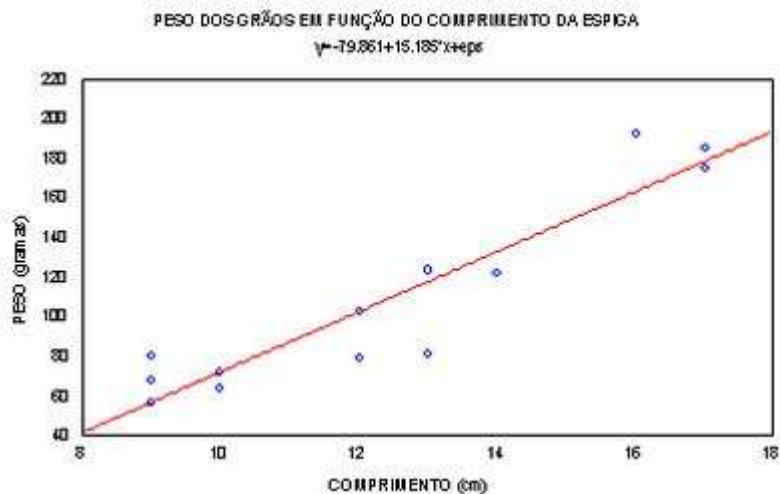
x – comprimento da espiga em centímetros;

y – peso de grãos para a espiga.

O coeficiente de determinação do modelo resultou em $r^2 = 0,87$, com resíduos positivos no início e no final do intervalo da variável medida e resíduos negativos na parcela intermediária. Mesmo assim o

ajuste foi muito bom, oferecendo boa resposta de peso dos grãos.

A figura abaixo apresenta os valores de dispersão para a área de Frontin.



As tabelas a seguir apresentam os valores estatísticos para cada área de estudo.

Resultados Lança:

Medida	Valor
Média	11,80 t/há
Desvio-padrão	2,70 t/há
Coefficiente de variação	22,83%

Resultados Frontin (área 1):

Medida	Valor
Média	6,18 t/há
Desvio-padrão	1,12 t/há
Coefficiente de variação	18,14%

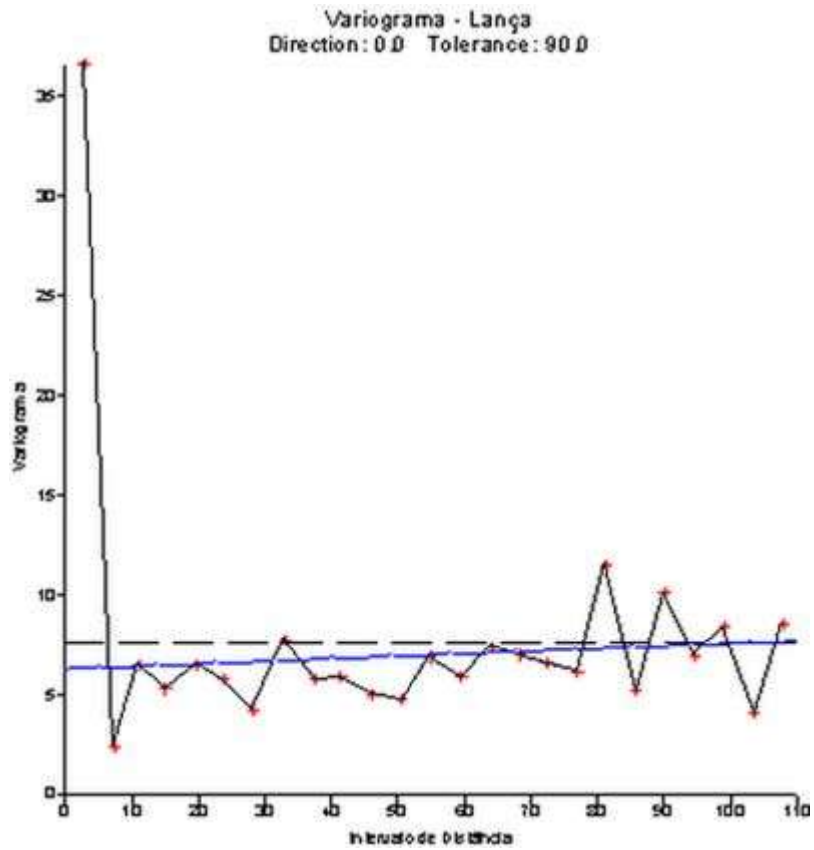
Resultados Frontin (área 2):

Medida	Valor
Média	6,67 t/há
Desvio-padrão	0,85 t/há
Coefficiente de variação	12,76%

As variações apuradas de 12,76%, 18,14% e 22,83% permitem um cruzamento de dados com os mapas de produtividade, mostrando a aplicabilidade da Agricultura de Precisão de acordo com o nível de variabilidade do campo.

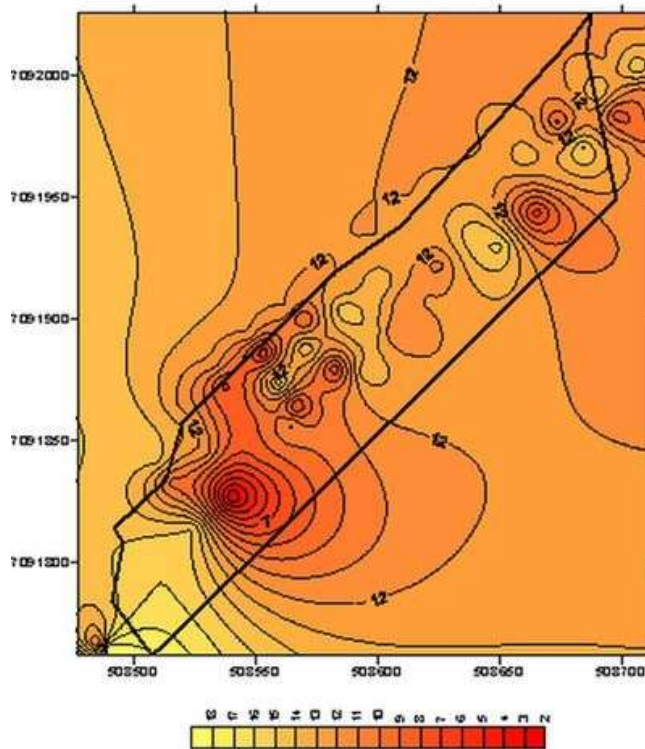
4.2 VARIOGRAMAS E MAPAS DE PRODUTIVIDADE DAS ÁREAS DE ESTUDO

A seguir são apresentados os mapas de produtividade obtidos para as áreas de Lança e Frontin. Também são apresentados os gráficos estatísticos correspondendo ao variograma e a auto-correlação das unidades amostrais. Para obtenção dos mapas de produtividade testaram-se vários modelos, mas é apresentado o que melhor representou a variabilidade, no caso, Kriging.

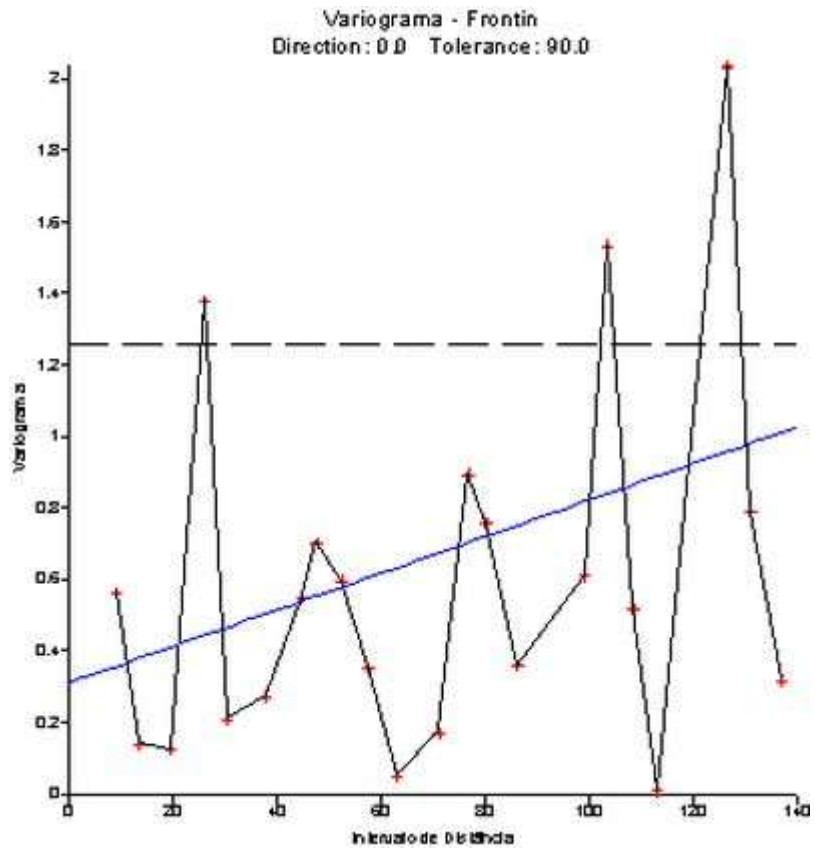


MAPA DE PRODUTIVIDADE

Local LANÇA - PORTO UNIAO
Modelo Empregado: Kriging

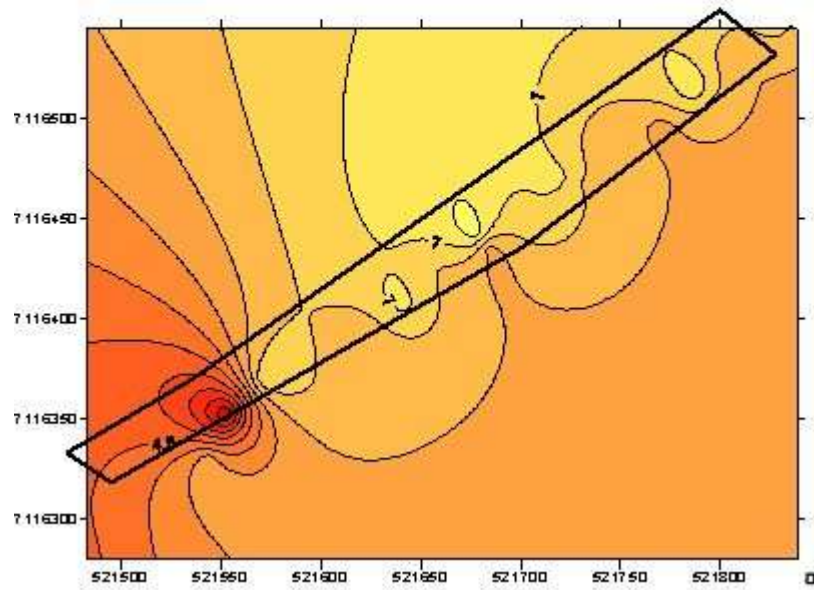


Espectrologia:
Projeto Cartográfico: UTM - HC S1 W
Datum: Porto Alegre 1960-49
Origem: 500000, 709000000.00000000 com Referência: IGRS - Topografia 4x4

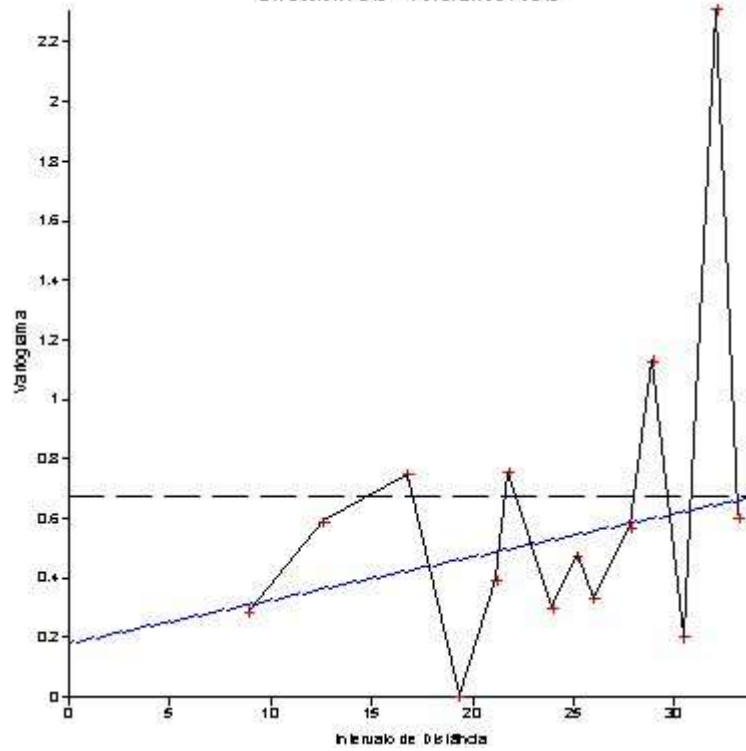


MAPA DE PRODUTIVIDADE

Local: FRONTIN - PAULO FRONTIN
Modelo Empregado: Kriging

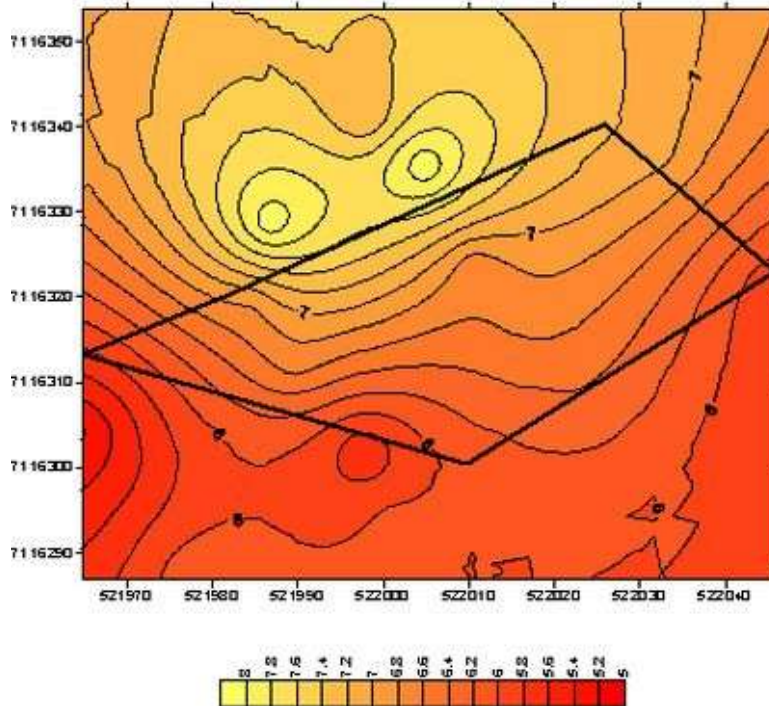


VARIÓGRAMA - FRONTIN
 Direction: 0.0 Tolerance: 90.0



MAPA DE PRODUTIVIDADE

Local FRONTIN - PAULO FRONTIN
 Modelo Empregado Kriging



Especificação:
 Projeto Cartográfico: UTM - MC S+ W
 Datum: WGS84/BR1550-46
 Origem: 400000; Ponto Geocêntrico Internacional com Referência GP S (Topográfico)

A escolha de cores, variando de vermelho (baixa produtividade) para tons de amarelo (alta produtividade) tornou os mapas de fácil compreensão, e possibilitam, com um padrão definido, visualizar a variabilidade da produtividade em classes.

A escolha dos intervalos de classe mostrou-se eficiente porque as áreas de estudo apresentaram intervalos de variabilidade. Porém, é aconselhável para áreas com pouca variabilidade a definição de um número menor de classes.

Dos interpoladores Radial, Curvatura Mínima e Kriging, apoiando-se no referencial bibliográfico, verifica-se que a Krigagem apresentou uma melhor representação da variabilidade espacial da produtividade. Portanto, apresenta com melhor fidelidade as variações conseguindo distinguir várias classes a partir das unidades amostradas. Os demais modelos testados, conseguiram representar a variabilidade, porém, a definição de classes não está bem distinta.

5.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A aquisição manual dos dados permitiu levantar parâmetros que poderão servir como base para próximos trabalhos, uma vez que os valores obtidos são os reais, livres de perdas ocasionadas pela colheita mecanizada, como também, livres de erros de deslocamento e de determinação, comuns em processos mecanizados.

Mesmo assim, tratando-se de experimentos extensivos, faz-se necessária a utilização de equipamentos que realizem a determinação no instante da colheita para que se possa tornar viável esta metodologia para aplicações em larga escala.

Os dados estatísticos da produtividade, mostrando variações de até 22,83 %, conforme literatura já citada, comprovam a validade da aplicação da Agricultura de Precisão, já que esta não teria aplicabilidade caso a variabilidade não se verificasse.

Os interpoladores Kriging, Mínima Curvatura e Radial, nesta ordem, apresentaram linhas limites de mesma produtividade bem definidas, mostrando-se aptos a serem utilizados na aplicação a campo por ocasião das correções dos fatores relacionados com as baixas produtividades, objetivo final da Agricultura de Precisão.

Como sugestões finais:

- A Agricultura de Precisão é composta por ciclos de implementação. Sugere-se como próxima atividade deste projeto, a implementação do mapa de fertilidades, baseado na obtenção de amostras georeferenciadas de solo;

- Os dados do receptor GPS adquirido com recursos públicos poderá ser utilizado pelos usuários de Agricultura de Precisão, bem como por outros setores, pois estará funcionando como estação de referência, disponibilizando correção para os sinais GPS em página a ser divulgada na rede mundial de computadores;

- levantamento direto do pH do solo via equipamento eletrônico;

- estudo da textura do solo relacionada com a condutividade elétrica com vias a criar um mapa de textura do solo depois de estudar a relação entre as duas variáveis.

- estudo da relação da produtividade as características físicas do solo (com os níveis de retenção de água pelo solo) e com o pH do mesmo;

- aplicabilidade de imagens aéreas para o controle de pragas e doenças e detecção de manchas de produtividade.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRAIG STEWART. **The Potential for Variable-Rate Fertilizer Application in Cotton**. Obtido em Janeiro de 2002 em <http://www.usyd.edu.au/su/acpa>. Australian Centre for Precision Agriculture.

LANDIM, P.M.B. **Análise Estatística de Dados Geológicos**. Ed. Unesp: 1998, São Paulo;

MANZATTO, Celso Vainer, etall. **Agricultura de Precisão: Propostas e Ações da Embrapa Solos**. Obtido em 18 de março de 2002 em <http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/proj01/proj01.htm>;

MCBRATNEY, ALEX B. e. TAYLOR JAMES A – **PV or not PV?** Obtido em Janeiro de 2002 em <http://www.usyd.edu.au/su/acpa>. Australian Centre for Precision Agriculture.

MOLIN, JOSÉ PAULO. **Circuito Brasil de Agricultura de Precisão**. Março de 2000;

SHATAR, T.M. and MCBRATNEY, A.B. **Empirical Modeling of Relationships Between Sorghum Yield**

and Soil Properties. Obtido em Janeiro de 2002 em <http://www.usyd.edu.au/su/acpa>. Australian Centre for Precision Agriculture.

TAYLOR, JAMES. **Within Block Variability in Grapes – an Example.** Obtido em Janeiro de 2002 em <http://www.usyd.edu.au/su/acpa>. Australian Centre for Precision Agriculture.

VARVEL, G. E.; SCHLEMMER, M. R. **Relationship Between Spectral Data from an Aerial Image and Soil Organic Matter and Phosphorus Levels.** Obtido em Janeiro de 2002 em <http://www.usyd.edu.au/su/acpa>. Australian Centre for Precision Agriculture.

WHELAN, B. **Moving to PA Management in the grains industry.** Obtido em Janeiro de 2002 em <http://www.usyd.edu.au/su/acpa>. Australian Centre for Precision Agriculture.

