

AGRICULTURA DE PRECISÃO NO BRASIL: ADOÇÃO, RESULTADOS E PERSPECTIVAS

Alberto C. de Campos Bernardi¹; Carlos Manoel Pedro Vaz²; Álvaro Vilela de Resende³; Luís Henrique Bassoi⁴; Valéria Maria Nascimento Abreu⁵; Ariovaldo Luchiari Júnior⁶; Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado⁷; João Cruz Reis Filho⁸; Ricardo Yassushi Inamasu²
¹Embrapa Pecuária Sudeste. Cx. Postal 339, CEP: 13560-970 São Carlos, SP, Brasil. E-mail: alberto@cnpse.embrapa.br; ²Embrapa Instrumentação Agropecuária; ³Embrapa Cerrados; ⁴Embrapa Semi-Árido; ⁵Embrapa Suínos e Aves; ⁶Embrapa Meio Ambiente; ⁷Embrapa Arroz e Feijão; ⁸Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.

Introdução

O manejo regionalizado do solo e da cultura é parte integrante de um sistema de Agricultura de Precisão, o qual envolve conceitos de uso de informações sobre a variabilidade de propriedades locais e climáticas de uma área, visando ao aumento da produtividade, otimização no uso dos recursos e redução do impacto da agricultura ao meio ambiente. Os processos e os atributos do solo que determinam o desempenho e a produção das culturas, bem como o impacto da agricultura ao meio ambiente, variam no espaço e no tempo. Por essa razão, o conhecimento da variabilidade espacial e temporal dos fatores de produção da cultura é o primeiro passo para adoção, com êxito, do sistema de agricultura de precisão. Este sistema tem sido adotado por diferentes grupos, incluindo fabricantes de equipamentos, fornecedores de insumos, companhias de sementes, consultores agrônômicos, cientistas e produtores, como um caminho para melhorar o retorno econômico da atividade agrícola (Runge & Hons, 1999).

Nos últimos dez anos, o conhecimento e a adoção das técnicas de AP avançaram como mostram os trabalhos sobre a taxa de adoção no mundo (Zhang et al., 2002), Ásia (Dobermann et al., 2002 e Wang et al., 2001), África (Gandah et al., 2000). No Brasil a agricultura vem sendo adotada especialmente pelos produtores de soja, milho (Machado et al., 2004, Silva et al., 2007) e também de cana-de-açúcar (Saraiva et al., 2000 e Corá et al., 2004) porém faltam resultados sobre a extensão da adoção.

Algumas ferramentas como sensores, equipamentos e softwares desenvolvidos foram amplamente adotados, como o processo de medida de condutividade elétrica do solo, fotografia aérea e sistema de informação geográfica. Muitas outras tecnologias ainda estão sendo desenvolvidas e aprimoradas como espectrômetros de campo, técnicas de imagem e sensoriamento remoto. A amostragem por grade foi substituída por zonas de manejos. Também houve avanços em processos análise econômica e suporte a decisão. Porém, de acordo com MCBratney et al. (2005) a adoção da AP está avançando, mas não tão rapidamente como previsto anteriormente, no início dos anos 2000. O desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão é ainda um grande obstáculo para o desenvolvimento da AP. Outros pontos críticos são a falta de critérios adequados para a avaliação, o conhecimento insuficiente da variação temporal, a falta de foco na gestão propriedade como um todo, a falta de métodos de avaliação econômica, da qualidade dos produtos, rastreabilidade e dos impactos ambientais das tecnologias de AP.

AP nos sistemas de produção brasileiros

No Brasil, de acordo com as estimativas da CONAB (2008) para a safra 2007/08, as culturas anuais produtoras de grãos e fibra (algodão, arroz, feijão, milho, soja e trigo), ocuparam uma área de 45,66 milhões de hectares, com uma expectativa de produção ao redor de 140 milhões de toneladas de grãos e uma produtividade média de 3 t/ha. Destes totais, as culturas do milho e da soja representam 78 % da área plantada e 85 % da produção. Na implantação de práticas de agricultura de precisão, a dificuldade está em gerar mapas de produtividade, pois o mapa de produtividade é um dos métodos mais corretos

para estimar a heterogeneidade de um campo. Molin (2000) reforça que essa informação é o ponto de partida tido por usuários e pesquisadores para se visualizar a variabilidade espacial das lavouras, por materializar a resposta da cultura. Para as culturas da soja e do milho já existem soluções de monitoramento de colheita disponíveis no mercado brasileiro, sendo relativamente difundido, especialmente naquelas áreas de aplicação de alta tecnologia, nas quais a atividade está cada vez mais competitiva e exigindo do produtor maior nível de especialização, capacidade de planejamento, gerenciamento e profissionalismo.

Um mapa de produtividade evidencia regiões com alta e baixa produtividade, mas não explica a causa de tal variação, que pode ser por doenças, baixo pH, estresse hídrico e outras. Entre as diversas metodologias para se acessar a variabilidade de fatores de produção bióticos e abióticos, o mapeamento baseado na utilização de grades regulares é a mais utilizada, sendo comum a realização de amostragens em grades densas, com grande número de amostras a serem analisadas em laboratório. Em condições brasileiras, Silva et al. (2002) sugeriram o uso de 14 amostras ha⁻¹ para identificação da variabilidade espacial da fertilidade do solo. Trabalhando com simulação de grades amostrais menos densas na região do Cerrado, Resende et al. (2006) encontraram dependência espacial para a maioria dos atributos de fertilidade do solo com uma célula amostral a cada 2,25 ha. Para a MOS, obteve-se dependência espacial com amostragem em células de até 4,0 ha.

Na região do Cerrado, especificamente, tem-se observado que o tamanho dos talhões de cultivo pode representar um entrave para o manejo da variabilidade espacial, pois suas dimensões são muito superiores às encontradas em propriedades agrícolas de outras regiões do Brasil e do exterior. Empresas prestadoras de serviços em agricultura de precisão no Cerrado têm utilizado malhas amostrais com células de 5 a 10 ha (Resende et al., 2006), embora a pesquisa ainda não tenha confirmado essa possibilidade.

Uma solução prática e viável para reduzir os elevados custos de amostragens adensadas, consiste da utilização de mapas de produtividade e de condutividade elétrica, fotografias aéreas, histórico da área, características topográficas e uso de sensores, associados a amostragens direcionadas, para identificação de subáreas no talhão denominadas "zonas de manejo". Busca-se que cada zona de manejo seja homogênea quanto aos aspectos de potencial produtivo, eficiência do uso de insumos e risco ambiental (Luchiari Jr. et al., 2000). Assim, é possível implementar manejo diferenciado no talhão, conforme as diferentes zonas identificadas.

No Brasil ainda há muito pouco desenvolvimento para o manejo sítio-específico de culturas perenes e semi-perenes. Porém, na fruticultura moderna, no caso específico da Produção Integrada, a possibilidade para aplicação da AP ao sistema é muito grande, bastando, na maioria dos casos, sistematizar e apresentar os dados na forma de sistemas de gerenciamento compreensíveis ao produtor ou tomador de decisão. Uma vez havendo um conjunto de protocolos que aponte o caminho a ser seguido, outros setores e sistemas produtivos frutíferos poderão passar a utilizar a Agricultura de Precisão de maneira segura e com menores custos de implantação. Um grande impulso tem sido dado com o desenvolvimento de sensores para aplicação comercial em culturas tropicais de grande importância econômica como a cana-de-açúcar e o café (Sartori et al., 2002; Pagnano & Magalhães, 2001; Saraiva et al., 2000 e Corá et al., 2004), e mais recente para citros (Molin & Mascarini, 2007).

A zootecnia de precisão é a adoção de técnicas e ferramentas especiais que possibilitem manejos específicos em situações específicas que ocorrem no campo e tem despertado muito interesse no país. O uso dessas ferramentas e técnicas direcionam para tomada de decisão que levam a ações mais precisas do que aquelas baseadas em valores médios ou valores típicos (Bandeira Filho, 2003). Ainda segundo esse autor, as principais aplicações dos dispositivos eletrônicos em uma instalação rural são as identificações dos animais, as medidas de peso e da temperatura, controle de parâmetros ambientais: úteis, tais como temperatura e umidade, além do registro de eventos como vacinação, cio, parto, etc. Algumas ferramentas que vem sendo utilizadas, são biosensores, equipamentos para medidas ambien

tais ligadas a dataloggers e análise de imagens (Xin & Shao, 2002). Para Alves (2006), apesar do desenvolvimento da Zootecnia de Precisão estar atrelado à utilização de biosensores, outras técnicas e ferramentas que vêm sendo empregadas em produção animal devem ser consideradas, uma vez que estas têm facilitado a aquisição de dados para análises mais apuradas, contribuindo para o avanço e a velocidade das pesquisas. O uso da lógica Fuzzy no tratamento dos dados obtidos auxilia na tomada de decisão e determinação de estratégias apropriadas, devendo também ser incorporado ao conceito da zootecnia de precisão. Tais ferramentas podem ser úteis ao próprio produtor, dando suporte para o gerenciamento, implantação de estratégias e controle de processos da produção animal. O controle e o monitoramento da produção animal são menos desenvolvidos quando comparados com os utilizados na indústria. Muitos sistemas contendo alguns elementos de sistemas de monitoramento integrados já estão disponíveis comercialmente para suínos, aves e produção leiteira. Esses sistemas têm o potencial de aumentar a eficiência na produção e no controle de qualidade nas propriedades rurais e tornar os produtores mais capacitados a responderem as pressões do comércio sobre seus produtos (Frost et al., 1997).

Recursos da eletrônica e computação, como os sistemas de posicionamento global (GPS), os sistemas de informação geográfica (SIG), os sistemas de controle e aquisição de dados, sensores e atuadores, entre outros, estão cada vez mais presentes no campo por meio da agricultura de precisão.

Dentre as técnicas utilizadas na AP, o sensoriamento remoto é considerado a mais promissora em função da possibilidade de redução de custos na aquisição de dados e facilidade de processamento, podendo mostrar-se viável no reconhecimento de “manchas” de variabilidade. Mapas de teores de MOS, textura, umidade no solo, de infestação por doenças, pragas e plantas daninhas (Chang et al., 2004), assim como de teores de clorofila em folhas (Luchiari et al., 2004) podem ser obtidos via sensoriamento remoto.

Outra técnica utilizada na AP que merece destaque, e uma das mais validadas pela pesquisa, refere-se ao uso de monitores de produtividade para auxiliar na identificação das causas da sua variabilidade, definição de possíveis zonas de manejo e visualização do sistema de produção da fazenda como um todo. Um dos maiores desafios para a agricultura de precisão está na obtenção de grande volume de dados a baixo custo. Nesse sentido, o desenvolvimento de sensores para o monitoramento em tempo real pode trazer vantagens nas avaliações dos atributos do solo (Pierce & Novak, 1999). Porém, os mapas obtidos a partir desses dados não devem ser utilizados isoladamente, mas como parte do processo de decisão, dada a somatória de fatores que interagem no sistema solo-planta-atmosfera.

Os sensores remotos multiespectrais, como o Crop Circle (Holland Scientific®) e o GreenSeeker, red e green (NTech®), têm sido testados, possibilitando a confecção de mapas para a identificação de áreas com estresses tais como deficiências nutricionais e incidências de danos de pragas e doenças em diversos estádios vegetativos das culturas. Esses novos sensores apresentam, ainda, a possibilidade de interagir com implementos para a aplicação de fertilizantes em taxa variada, corrigindo as deficiências em tempo real. Contudo, no Brasil a calibração e validação dessas ferramentas encontram-se ainda em fase inicial.

O sensor de condutividade elétrica também apresenta grandes possibilidade de utilização (Veris). Machado et al. (2006), avaliando a variabilidade espacial da condutividade elétrica de um Latossolo-Vermelho em sistema de plantio direto, relacionaram os valores de condutividade elétrica com a variação dos teores de argila. Foram coletadas amostras por meio de grades de espaçamentos regulares de 40 m, 20 m, 10 m e 5 m. Os valores interpolados de condutividade elétrica e dos teores de argila foram comparados através de ajuste paramétrico não-linear. Verificou-se que o mapa de condutividade elétrica reflete a variação nos teores de argila, podendo ser utilizado para a delimitação das zonas de manejo.

Considerações finais

A primeira fase da Agricultura de Precisão (AP) trouxe um novo olhar ao campo por meio de máquinas dotadas de receptores GPS (Global Positioning System) e mapas de produtividade. O potencial intuitivo exemplificou a agricultura moderna e sustentável.

A nova fase AP avançou para além dos equipamentos e das culturas de milho e soja, aplicando-se a todos sistemas de produção que apresentem variabilidade. Assim, gerenciar a variabilidade espaço-temporal e maximizar retorno econômico, minimizando os danos ao meio ambiente, são demandas atuais para as quais a AP poderá contribuir. A AP também interessa ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, pois identificam nela a possibilidade de estabelecer mecanismos de rastreabilidade, ordenar o sistema de produção facilitando as verificações de procedimentos e estatísticas mais pormenorizadas da produção e seus componentes. Finalmente, a indústria de máquinas e implementos e a indústria de insumos e provedores de serviços também consideram a AP como essencial para a sustentabilidade dos seus empreendimentos pois as ferramentas de AP são imprescindíveis para a produção agrícola ser sustentável.

Esse enfoque apresenta grandes desafios às tecnologias e aos conhecimentos disponíveis sobre sistemas de produção anteriormente considerados uniformes, pois as técnicas de manejo até então não consideravam a grande variabilidade da produção e da qualidade hoje detectadas. Para a Embrapa e parceiros acompanharem e contribuir para geração de conhecimento científico e tecnológico necessário ao desenvolvimento da AP, tem-se investido na formação de uma rede de pesquisa complexa que pretende integrar mais de cem pesquisadores nacionais e internacionais de várias Unidades da Embrapa, empresas privadas e universidades. As tecnologias de geoprocessamento, sensoriamento remoto e tecnologia da informação deverão evoluir e estar presente na pesquisa e no campo. O esquema desse grande projeto Agricultura de Precisão para a Sustentabilidade de Sistemas Produtivos do Agronegócio Brasileiro está na Figura 1. Tem como objetivo gerar conhecimentos, ferramentas e inovações tecnológicas em Agricultura de Precisão, visando incrementar a eficiência de sistemas produtivos, em busca de maior competitividade e sustentabilidade do agronegócio brasileiro.

Nesta proposta, trabalha-se com o conceito da AP como postura gerencial que leva em conta a variabilidade da cultura vegetal na busca de maximizar o retorno econômico minimizando o efeito ao meio ambiente. Metodologias e ferramentas de AP são instrumentos que apoiam o processo gerencial a tomar decisões e a executar as prescrições com menor erro possível. A definição abrange todas as atividades da agricultura, desde que busque por meio de gestão o retorno econômico e ambiental tendo como base conceitual o manejo que tome proveito das características e potencialidades do grupo, subgrupo ou indivíduo dentro da cultura. A AP continua seu foco em cultura vegetal para manter compatível com conceitos e definições adotados internacionalmente. A automação, a mecatrônica, sensoriamento e a eletrônica embarcada, inerentes no início da AP passam a ser dissociados no processo de estudo da variabilidade. Porém a sua importância estratégica continua para viabilizar uma prática eficiente e em alguns casos até imprescindível para que a operação traga retorno econômico.

Com a implementação do projeto espera-se que num futuro próximo o conceito da AP deverá estar presente no cotidiano das atividades agropecuárias incorporando as tecnologias e práticas para o manejo sustentável.

Referências bibliográficas

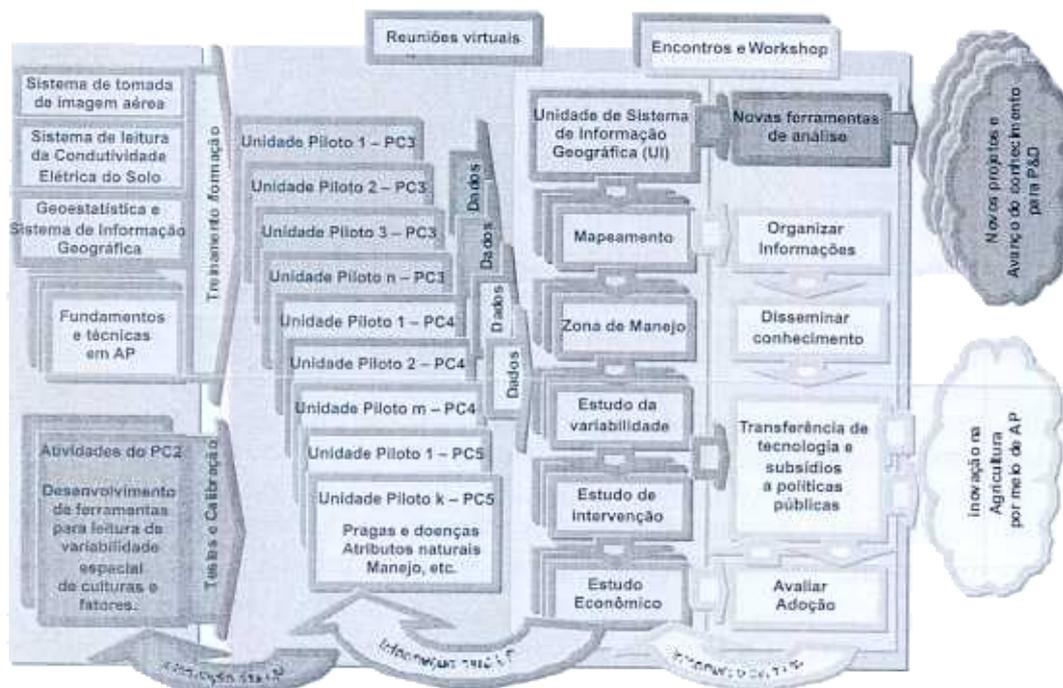
- ALVES, S. P. Uso da Zootecnia de precisão na avaliação do bem-estar bioclimático de aves poedeiras em diferentes sistemas de criação. Piracicaba, 2006. 128 p. (Tese de Doutorado)
- BANDEIRA FILHO, J. J. Sistema de interconexão de equipamentos eletro/eletrônicos para Zootecnia de Precisão. 2003. 92p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

- CHANG, J.; CLAY, S.A.; CLAY, D.E.; DALSTED, K. Detecting weed-free and weed-infested areas of a soybean field using near-infrared spectral data. **Weed Science**, 52: 642-648, 2004.
- CORA, J. E., ARAUJO, A.V., PEREIRA, G.T. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004.
- DOBERMANN, A., WITT, C., DAWE, D., ABDULRACHMAN, S., GINES, H. C., NAGARAJAN, R., SATAWATHANANONT, S., SON, T.T., TAN, P.S., WANG, G. H., CHIEN, N.V., THOA, V.T.K., PHUNG, C.V., STALIN, P., MUTHUKRISHNAN, P., RAVI, V., BABU, M., CHATUPORN, S., SOOKTHONGSA, J., SUN, Q., FU, R., SIMBAHAN, G. C. AND ADVIENTO, M.A.A. Site-specific nutrient management for intensive rice cropping systems in Asia. **Field Crops Research**, v.74, p.37-66, 2002.
- FROST, A. R.; SCHOFIELD, C.P.; BEAULAH, S.A.; MOTTRAM, T.T.; LINES, J.A.; WATHES, C.M.A. Review of livestock monitoring and the need for integrated systems. *Computers and electronics in agriculture*, Amsterdã, v. 17, p. 139-159, 1997.
- GANDAH, M., STEIN, A., BROUWER, J. AND BOUMA, J. Dynamics of spatial variability of millet growth and yields at three sites in Niger, West Africa and implications for precision agriculture research. **Agricultural Systems**, v.63, p.123-140, 2000.
- HOLLAND SCIENTIFIC. **Crop Circle ACS-470 multi-spectral crop canopy sensor**. Disponível em: <http://www.hollandscientific.com/ACS-470.html>. Acesso em: 01 set. 2008.
- LUCHIARI JR, A.; SHANAHAN, J; FRANCIS, D; SCHLEMMER, M; SCHAPERS, J; LIEBIG, M; SCHEPERS, A. Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE-SITE SPECIFIC MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SYSTEMS, 5., 2000, Bloomington. **Proceeding...** Bloomington: ASA/CSSA;SSSA/ASAE, 2000. p.475-484.
- LUCHIARI JR, A.; SILVA, A.D.; BUSCHINELLI, C.C.A.; HERMES, L.C. CARVALHO, J.R. P.; SHANAHAN, J.; SCHEPERS, J.S. Agricultura de precisão e meio ambiente. In: MACHADO, P.L.O.A.; SILVA, C.A.; BERNARDI, A.C.C. (Ed.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p.19-36.
- MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A.C.C.; VALENCIA, L.I.O.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.M.; SILVA, C.A.; ANDRADE, A.G.; MEDARI, B.E.; MEIRELLES, M.S.P. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.41, n.6, p.1023-1031, jun. 2006.
- MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C.A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 209p.
- McBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV, T.; BOUMA, J. Future directions of precision agriculture. **Precision Agriculture**, v.6, n.7-23, 2005.
- MOLIN, J. P.; MASCARIN, L. S. Colheita de citros e obtenção de dados para mapeamento da produtividade. **Engenharia Agrícola**, v.27, p.259-266, 2007.
- PAGNANO, N.B.; MAGALHÃES, P.S.G. Sugarcane yield measurement. In: BLACKMORE, S.; GRENIER, G. (ed.) 3th European Conference on Precision Agriculture. Montpellier. 2001. P.839-843.
- RESENDE, A.V.; SHIRATSUCHI, L.S.; SENA, M.C.; KRAHL, L.L.; OLIVEIRA, J.V.F.; CORRÊA, R.F.; ORO, T. Grades amostrais para fins de mapeamento da fertilidade do solo em área de cerrado. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2., 2006, São Pedro - SP. **Anais...** Piracicaba: Esalq, 2006. CD-rom.
- RUNGE, E.C.A. & HONS, F.M. Precision agriculture — development of a hierarchy of variables influencing crop yields. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., Minnesota, 1998. **Proceedings**. Madison, ASA-CSSA-SSSA, 1999. p.143-158.
- SARAIVA, A.M., HIRAKAWA, A.R. CUGNASCA, C.E.; PIEROSSI, M.A.; HASSUANI, S.J. A weighing system for grab loaders for sugar cane yield mapping. **Precision Agriculture**, v.2, p.293-309, 2000.
- SARTORI, S.; FAVA, J.F.M.; DOMINGUES, E.L.; RIBEIRO FILHO, A.C.; SHIRAI, L.E. Mapping the spatial variability of coffee yield with mechanical harvester. Word Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources. Proceedings... St. Joseph: ASAE. 2002. P.196-205.
- SILVA, C.A.; MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A.C.C.; CARMO, C.A.F.S.; VALENCIA, L.I.O.; ANDRADE, A.G.; MEIRELLES, M.S. **Amostragem de solo em área de soja sob plantio direto: uso de técnicas de agricultura de precisão**. Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2002. 8p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 10).
- SILVA, C.B.; VALE, S.M.L.R.; PINTO, A.D.F.A.C.; MULLER, C.A.S.; MOURA, A.D. The economic feasibility of precision agriculture in Mato Grosso do Sul State, Brazil: a case study. **Precision Agriculture**, v.8, p.255-265, 2007.
- VERIS TECHNOLOGIES. **Veris soil EC mapping systems**. Disponível em: <http://www.veristech.com/products/products.htm> Acesso em: 10 mar. 2008.

WANG, G. H., DOBERMANN, A., WITT, C., SUN, Q. Z. AND FU, R. X. Performance of site-specific nutrient management for irrigated rice in southeast China. **Agronomy Journal**, v.93, p.869–878, 2001.

XIN, H.; SHAO, J. Real-time assessment of swine thermal comfort by computer vision. In: PROCEEDINGS OF THE WORLD CONGRESS OF COMPUTERS IN AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES, 2., 2002. Foz do Iguaçu. Proceedings... Foz do Iguaçu: American Society Agriculture Engineering, 2002. p.362-369

ZHANG, N., WANG, M. AND WANG, N. Precision agriculture - a worldwide review. **Computers & Electronics in Agriculture**. v.36, p. 113–132, 2002.



Projetos Componentes:

- PC1** PC1 Gestão
- PC2 PC2 Desenvolvimento e validação de instrumentos e de tecnologias de informação
- PC3 PC3 Caracterização e manejo da variabilidade e monitoramento em sistemas de culturas anuais.
- PC4 PC4 Caracterização, manejo e monitoramento em sistemas de culturas perenes.
- PC5** PC5 Caracterização, manejo de produção animal
- PC6 PC6 Inovação: Transferência de tecnologia e subsídios a políticas públicas

Figura 1: Esquema do projeto da Embrapa "Agricultura de Precisão para a Sustentabilidade de Sistemas Produtivos do Agronegócio Brasileiro".