

3. TECNOLOGIAS DE PONTA NA AGRICULTURA: INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO PARA A AGRICULTURA DE PRECISÃO

**ANDRÉ TORRE-NETO; PAULO ESTEVÃO CRUVINEL; RICARDO YASSUSHI
INAMASU; SILVIO CRESTANA¹**

3.1 INTRODUÇÃO

O advento do primeiro computador em uma única pastilha de circuito integrado no ano de 1971 iniciou uma revolução tecnológica que hoje, 26 anos depois, colocou os dispositivos eletrônicos microprocessados em quase todas as atividades humanas neste final de século Wayner (1996). A presença dos microprocessadores é facilmente notada na indústria, no comércio, na medicina e também em atividades culturais e de entretenimento. Se isoladamente os microprocessadores já seriam revolucionários, a associação deles através de redes locais e mais recentemente globais, consagraram-nos como a alavanca de uma nova era. As telecomunicações têm evoluído no sentido de cobrir o planeta com uma rede de transmissão de dados rápida e infalível onde a informação estará disponível em qualquer lugar e a qualquer tempo. Compete à criatividade humana usá-la para a melhoria da qualidade de vida no planeta.

A agricultura é uma das atividades que pode se beneficiar de toda essa tecnologia. A aplicação mais notória e talvez a pioneira da revolução digital na área agrícola é a automação da medição de parâmetros agrometeorológicos que passou de um processo manual rudimentar, com amostragens discretas e susceptível a diversos tipos de falhas, para um sistema de medida totalmente automatizado que oferece o registro contínuo de dados com extrema confiabilidade. Desde então, os trabalhos que se utilizam do monitoramento automático de sensores no campo têm contribuído não-somente para o aumento da produtividade, mas também para a melhoria da qualidade dos produtos agrícolas e para a preservação do meio ambiente. Em Howell et al (1984), estações climatológicas automatizadas fornecem dados para o controle de irrigação. O controle de pragas Hubbard et al (1983), previsão de geadas Curry et al (1981) e a previsão de enchentes Sargent (1986) são outros exemplos de aplicações onde as estações climatológicas automatizadas estão presentes. Além dos dados climatológicos, parâmetros do solo, como umidade, salinidade, pH e temperatura, bem como parâmetros das plantas, como crescimento, porcentagem de cobertura, taxa de fotossíntese e transpiração, são alguns exemplos de dados adquiridos automaticamente para diversas finalidades. Em Grismer (1992), propôs-se um modelo conceitual de uma rede de sensores integrados para o sistema solo-planta-atmosfera. Esse modelo foi criado para atender a grande demanda de dados necessários ao desenvolvimento de sistemas especialistas e modelos integrativos que auxiliam o gerenciamento da produção agrícola. Em Cockerham & Ortega (1989), uma rede de onze estações de campo foram instaladas para monitorar o potencial mátrico de água no solo, temperatura, condições do vento e o nível de reservatórios de água, a fim de controlar um sistema de irrigação e também fazer a previsão de geadas em uma estação experimental. Nesse mesmo trabalho é

¹ Pesquisadores do Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária. EMBRAPA / CNPDIA - Cx Postal 741 Cep 13 560-970 São Carlos-SP. Fone (016) 274 2477 Fax (016) 272 5958.

proposta a instalação de sensores de segurança (detecção de portas, porteiros e janelas abertas), contadores de veículos e sensores para movimentação de insetos como integrantes da base de dados da estação experimental. Na pecuária o exemplo mais comum é a identificação e o manejo individual do rebanho através de “microchips” instalados nos animais.

Como pode ser notado nos exemplos citados há uma tendência de integração de diversas fontes de dados com a finalidade de melhor gerenciar a produção agrícola. Porém, há uma questão que vem se tornando o alvo principal da automação na agricultura. Trata-se do reconhecimento cada vez maior por parte dos especialistas agrícolas que as culturas, os solos e também as pragas e doenças não podem ser manejados de forma homogênea. A variação espacial e temporal das propriedades da cultura e do solo devem ser bem conhecidas para viabilizar um adequado processo de gerenciamento da produção. Esse tipo de gerenciamento, em função de condições metricamente localizadas, é o que se convencionou chamar de “agricultura de precisão” Coghlan (1995); Plucknett & Winkelmann (1995). O termo é recente, porém, as pesquisas nessa área começaram a se expandir já em meados da década de oitenta com a formulação do problema e a terminologia sobre o assunto ainda não bem definida. Considerando, entretanto, que essa área já tem pelo menos uma década, realmente são poucas as publicações específicas em “*precision farming*”, a não ser fontes de informações populares que não prezam o rigor científico. É oportuno reproduzir aqui a seguinte afirmação: “Até o presente, a agricultura de precisão não pode ser definida porque estamos todos procurando por seus ingredientes – uma combinação adequada de instrumentos, medidas e métodos para gerenciar quantitativamente as áreas produtivas” Nielsen et al (1996).

Esse texto apresenta os principais aspectos da instrumentação, da automação e da agricultura de precisão e menciona trabalhos realizados pelo Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária-CNPDIA, o qual tem desenvolvido instrumentos, sensores e metodologias que têm contribuído para o desenvolvimento da agricultura conservacionista no país, Crestana et al (1996a). Esses trabalhos certamente irão ajudar o Brasil e a agricultura nacional a enfrentarem e tirarem proveito dessa nova tendência (desafio) tecnológica.

3.2 CONTROLE DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA E VARIABILIDADE

Os sistemas de gerenciamento da produção agrícola podem considerar a variabilidade de diversas maneiras. Uma possível classificação do controle da produção sob esse ponto de vista é a seguinte: a) *Controle homogêneo*, b) *Controle automático*, c) *Controle em tempo posterior*, d) *Controle espacialmente variável baseado em parâmetros múltiplos* e e) *Controle espacialmente variável baseado em parâmetros históricos*.

3.2.1 Controle homogêneo

O campo é tratado como homogêneo e a variabilidade é simplesmente ignorada. Trata-se do método tradicional dos sistemas produtivos. O controle é baseado na média de amostragens feitas no campo. A aplicação de insumos é uma constante baseada nessa média e independe da maior ou menor necessidade de cada localização. A grande vantagem desse método está na simplicidade de implementação. Mesmo no *controle homogêneo* há um ponto ótimo de operação a ser determinado.

3.2.2 Controle automático

O *controle automático* já considera as variações encontradas no campo. A aplicação de insumos depende da maior ou menor necessidade de cada localização. Esse método requer um sensor e um atuador para medir e controlar continuamente a aplicação do insumo. A resposta ideal do sistema é aquela em que o atuador responde imediatamente à quantidade medida. Entretanto, há um tempo de resposta que introduz erros no controle. No projeto do sensor, atuador, enfim, do sistema como um todo, deve ser considerada a minimização desse erro.

3.2.3 Controle em tempo posterior

Outra maneira de considerar as variações de parâmetros no campo é a separação temporal do sensoriamento e da atuação. Por exemplo, a aplicação de fertilizantes sendo baseada no mapeamento espacial da produtividade anterior. Este método permite a desassociação total do sensoriamento e atuação, sendo realizados em tempos diferentes e por máquinas diferentes. No caso da aplicação de fertilizantes a colheitadeira faz o mapeamento da produtividade e os dados só são utilizados posteriormente pelo aplicador. Uma das vantagens do método é a possibilidade do processamento dos dados para melhorar a precisão e remover efeitos indesejáveis do processo de medição. Porém, os custos das metodologias e equipamentos usados para se determinar a localização precisa dos implementos (usualmente o “Global Positioning Sattelites, GPS”) e também para o armazenamento e processamento (Geographic Information System, GIS) são significativamente elevados. Tanto na pesquisa, quanto na prática, a justificativa desses custos tem sido bastante debatida.

3.2.4 Controle espacialmente variável baseado em parâmetros múltiplos

A separação temporal baseada em um único parâmetro pode não ser interessante devido a outras variações como as climáticas e o ciclo do nitrogênio, entre outras. Com relação ao *controle em tempo posterior* o principal investimento adicional para considerar mais de um parâmetro está na sofisticação da função de controle, pois já existem os custos da localização dos implementos e do armazenamento e processamento de dados. Assim, o mapa de aplicação de fertilizantes pode considerar não-somente o mapa da produtividade anterior, mas também da topografia, de resultados de análise do solo, de registros da utilização da terra, de sensoriamento remoto, de medidas de matéria orgânica, de medidas de nitrogênio, entre outros. A dificuldade óbvia é determinar como todos esses dados devem ser funcionalmente combinados.

3.2.5 Controle espacialmente variável baseado em parâmetros históricos

O controle de uma operação agrícola atual pode depender de operações anteriores. Por exemplo, a aplicação de fertilizantes pode ser reduzida em função de uma super dosagem anterior. No caso de um controle espacialmente variável pode-se considerar não-somente as medidas atuais dos sensores, mas também os mapas anteriores das medidas e das saídas dos atuadores. Esse método teoricamente permite que efeitos de persistência química, do ciclo do nitrogênio, do clima, do acúmulo de nutrientes e outros processos históricos possam ser considerados para o controle. O grande problema é a manipulação da enorme quantidade de dados e das relações entre eles.

3.3 SISTEMA INTEGRADO PARA CONTROLE DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Do controle homogêneo ao controle espacialmente variável baseado em parâmetros históricos nota-se uma sofisticação cada vez maior e ao mesmo tempo mais flexibilidade para se tratar a variabilidade espacial e temporal. Também há um significativo aumento dos custos envolvidos. Os avanços da instrumentação eletrônica e da informática tendem a tornar tecnologicamente viável até a mais sofisticada metodologia. Há porém, questões práticas e sócio-econômicas a serem resolvidas. De qualquer maneira, até mesmo nos países do terceiro mundo os primeiros passos já podem ser dados no sentido de se adotar a agricultura de precisão. Nos parágrafos que se seguem será apresentado um sistema integrado de controle da produção agrícola. Em cada tópico serão enumerados alguns trabalhos correlatos desenvolvidos no CNPDIA.

A não ser pelos métodos de controle homogêneo e controle automático, os outros métodos envolvem o armazenamento de dados em massa com atributos espaciais. Nesse caso o caminho natural para tratamento e armazenamento desse tipo de dados é o uso de sistemas de informação geográfica (o já mencionado GIS) associados ao GPS para determinação da localização. A Figura 1 ilustra a idéia de um sistema integrado de controle da produção agrícola que considere a variabilidade espacial. Nesse sistema todos os dados de entrada são centralizados em um computador onde são processados para gerar os mapas de controle para os atuadores. Um sistema de comunicação de dados bidirecional via rádio fornece esses mapas ao implemento e permite que dados vindos do implemento também alimentem o computador. Os principais elementos desse sistema integrado são:

3.3.1 As entradas

Os dados de entrada podem ser obtidos basicamente através de três formas: a) processos manuais que envolvem análise laboratorial, b) sensores dinâmicos durante as operações de campo e c) sensoriamento remoto.

3.3.2 O processos manuais

O processo manual é aquele que consiste na coleta de amostras no campo e subsequente análise laboratorial, como por exemplo, a análise de solos. Tais dados podem ser detalhados e precisos, mas geralmente esparsos devido ao grande esforço e tempo despendidos e ao elevado custo envolvido no processo de sua obtenção. As técnicas de Geoestatística têm sido utilizadas como poderosas ferramentas de interpolação para suprir as lacunas de dados. De qualquer maneira a automação e o desenvolvimento de novas metodologias para análise podem viabilizar um maior número de amostragens.

O CNPDIA tem desenvolvido equipamentos e metodologias que contribuem para acelerar o processo e reduzir os esforços e o custo da análise e classificação de solos. Entre os equipamentos destaca-se um analisador de propriedades físicas baseado na atenuação de um feixe de raios gama pelas partículas de solo em suspensão numa solução, Vaz et al (1992). O equipamento é microcontrolado e com relação ao tradicional método da pipeta ele reduz o tempo de análise de 24 horas para cerca de 20 minutos. Além disso o equipamento fornece não-somente as porcentagens de argila, areia e cascalhos, mas também uma curva do tamanho de partículas em função da sua porcentagem na amostra. Como metodologias destacam-se a medida de concentração de pesticidas utilizando um sensor baseado no método de polarografia, Vaz et al (1996) e o emprego das espectroscopias de Ressonância

Magnética Nuclear, Ressonância Paramagnética Eletrônica, Infravermelho, Ultravioleta-Visível e Indução de Raios X por Partículas, todas como alternativas dos métodos analíticos da concentração dos elementos químicos e biológicos do solo, Martin-Neto et al (1996).

Todas são técnicas muito mais rápidas que viabilizam um grande número de análises. Apesar de envolverem equipamentos que devido ao custo devem ser usados como “facilities”, elas aceleram os resultados de pesquisas que fornecem dados importantes para o estudo da variabilidade.



Figura 1 - Idéia básica de um sistema integrado para controle da produção agrícola que considere a variabilidade.

Na Figura 1, as entradas consistem de dados manuais que envolvem análises laboratoriais, dados coletados automaticamente por sensores estáticos (instalados no campo) e sensores dinâmicos (instalados nos implementos) e também dados obtidos por sensoriamento remoto. Os dados de posicionamento são fornecidos por GPS. O processamento integra sistemas GIS com técnicas de geoestatística, programas de modelamento, entre outros, para estabelecer e gerar mapas de controle. Esses mapas são transferidos para o implemento através de um canal de comunicação de dados sem fio. No implemento um processador e eletrônica embarcados acionam atuadores com base nos mapas recebidos.

3.3.3 O uso de sensores

As operações de campo são uma boa oportunidade para a aquisição de dados espacialmente distribuídos já que os próprios implementos ao varrerem o campo podem executar também essa função. Uma vez que o registro da localização é resolvido com o uso de GPS, a maior dificuldade em coletar dados dessa forma está em sensorear os parâmetros de interesse com precisão sem afetar negativamente a operação do implemento (como retardar demasiadamente sua operação). Os principais parâmetros que podem ser medidos dessa maneira são algumas propriedades do solo (matéria orgânica, conteúdo de água, topografia), propriedades da cultura (altura, área foliar, estresse hídrico, crescimento, produtividade) e infestações. A precisão dessas medidas é dificultada por diversos fatores. Entre eles estão os artefatos (fatores que possam confundir os sensores), mudanças ambientais e a complexidade e natureza dinâmica dos sistemas químicos e biológicos. Como pode-se notar muitas dessas dificuldades são dependentes de fatores locais. Assim, apesar dos equipamentos e sensores já existentes nos países desenvolvidos, esta é uma das lacunas a serem exploradas pela pesquisa local para adoção da agricultura de precisão.

Outra maneira de sensoriar dados espacialmente distribuídos é a utilização de sensores estáticos. Nesse caso deve-se instalar o maior número de sensores possível, espalhados por toda a área de interesse. A topologia convencional dos sistemas de aquisição de dados, com um coletor de dados centralizando a aquisição de todos os sensores e usando um cabo para cada sensor, inviabiliza essa tarefa no campo. Aproveitando o tamanho reduzido, o baixo custo e o ínfimo consumo de energia da geração mais recente de microcontroladores o CNPDIA desenvolveu um sistema de aquisição de dados baseado na topologia em barramento com sensores inteligentes, Torre-Neto, 1995. No lugar de vários fios, um único cabo é utilizado para transmitir na forma digital os dados de uma verdadeira rede de sensores viabilizando a tarefa de coleta automática de dados no campo. O barramento suporta até 250 sensores (de vários tipos), pode ter até 1200 m e pode ser ligado diretamente a um microcomputador ou a um equipamento de rádio-modem para transmissão à distância.

Com relação à sistemas convencionais de aquisição e sensores para campo, o CNPDIA também tem vários desenvolvimentos. Entre eles destacam-se: Estação Climatológica Computadorizada Cruvinel et al (1993); Sensor e Equipamento para Registro do Período de Molhamento Foliar, Corona-Júnior et al (1993); Medidor Multisensor de Temperatura para Solos, Herrmann et al (1993), Monitoramento de Órgãos Vegetais (Ferreira, 1994), Medidor de taxa de difusão de Oxigênio (TDO) e Potencial de

Oxirredução, Herrmann et al (1995) e Coletor de Dados Convencional, Inamasu et al (1992).

3.3.4 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto inclui dados obtidos por satélites, aviões, balões ou ainda veículos de controle remoto. Cada método deve ser analisado segundo a resolução e a relação custo/benefício desejada. Fotografias aéreas obtidas por aviões são frequentemente utilizadas por agricultores norte-americanos. Pelo custo de \$30 por fotografia eles obtêm informações com melhor resolução que satélites convencionais.

Um trabalho interessante realizado no CNPDIA é a obtenção de imagens de uma parcela através de uma câmera de vídeo sustentada a cerca de 12 m de altura por um suporte portátil. As imagens obtidas são usadas para estudos da porcentagem de cobertura vegetal. O pacote inclui o programa SIARCS para tratamento das imagens, também desenvolvido pelo CNPDIA, Jorge (1996) e Jorge & Crestana (1996a). Nessa linha de processamento de imagens, não necessariamente envolvendo o sensoriamento remoto, outros trabalhos relevantes têm sido desenvolvidos no centro. Entre eles há a tomografia (raios X e gama, RMN, emissão) para estudos de propriedades físicas do solo, Crestana et al (1996b) e o processamento de imagens digitais para estudos da distribuição do perfil de gotas de chuvas naturais ou artificiais, Cruvinel et al (1996).

3.3.5 O Processamento

Os dados de entrada devem ser processados para gerar os mapas de controle para os atuadores como, por exemplo, a taxa de aplicação de fertilizantes. Dependendo da sofisticação desejada o processamento pode exigir grande capacidade computacional. Nesse caso o computador deve ser devidamente instalado na sede ou escritório da fazenda. O software deve ter uma excelente interface com o usuário para facilitar o gerenciamento do controle espacialmente distribuído. Os dados adquiridos formam várias camadas de mapas que devem ser sobrepostas e combinadas para as tomadas de decisão. Por exemplo, o operador deve ser capaz de sobrepor o mapa da topografia com os das análises do solo e da produtividade da última colheita e com base nessa sobreposição modificar o mapa de controle da taxa de aplicação de fertilizantes. Tais ferramentas seriam baseadas em sistemas GIS (como o programa conhecido por IDRISI). Além dessas sofisticadas ferramentas o treinamento e a experiência são fundamentais, já que a tomada de decisões por máquinas ainda não é totalmente confiável.

Outra ferramenta interessante é a simulação de processos como do crescimento de uma cultura para testar e aperfeiçoar o manejo. Há uma grande lacuna em modelos adequados e insuficiência de dados nessa área. Os modelos existentes na maioria das vezes requerem adaptações às condições regionais ou locais. O CNPDIA também tem atuado na linha de modelamento do transportes de pesticidas no solo. Em um projeto temático com apoio financeiro da FAPESP, o modelo de previsão do destino de pesticidas no solo conhecido como LEACHM-P, desenvolvido na Universidade de Cornell, foi adaptado para as condições de clima e solo locais, Giuliano (1995).

Uma vez gerados, os mapas de controle devem ser transferidos para os atuadores, ou na forma de tabelas ou na forma de equações. Se o controle for feito em *tempo separado*, pode-se apenas transportar o meio de armazenamento para o implemento. Caso o controle seja em tempo real a transferência deve ser *on-line* e sem fio. Nesse caso o mercado de

informática oferece pontos de rede via rádio portáteis, de alta velocidade e confiáveis, Black Box (1996).

3.3.6 As Saídas

Entre as possíveis saídas de um sistema integrado estão a já mencionada aplicação de fertilizantes, a aplicação de pesticidas, o plantio e o preparo do solo. Em cada uma dessas operações o implemento de ser metricamente localizado e um controlador deve ajustar o ponto de operação conforme o mapa de controle tão rápido quanto possível. Tal procedimento será similar para várias operações. Geralmente trata-se do controle elétrico do sistema hidráulico ou de elementos mecânicos. O ponto de operação deve ser acompanhado através de uma realimentação para o controlador a fim de proporcionar maior segurança para o sistema e o operador.

3.4 OPORTUNIDADES DA AGRICULTURA DE PRECISÃO

Como a agricultura de precisão envolve um sistema integrado é evidente que as oportunidades de pesquisa e desenvolvimento dentro desse tema são bastante diversificadas. Também é certo que há aspectos sócio-econômicos específicos a serem considerados para sua adoção. Um sistema integrado ideal deve incluir todos os elementos da Figura 1. Porém, é praticamente impossível tê-los todos ao mesmo tempo. É necessário identificar quais são prioritários sem entretanto abandonar os que não o são.

3.4.1 Estudos da variabilidade

Há pouco conhecimento sobre a variabilidade no campo e parece não haver atalhos para sua compreensão. Como resultado de processos naturais e também de manejo a produtividade pode duplicar ou até triplicar de um local para outro dentro da mesma cultura, conforme a Tabela 1. A maioria dos experimentos agronômicos são realizados em parcelas praticamente uniformes com resultados dirigidos para o controle homogêneo. Muitas das recomendações assim obtidas não produzem bons resultados para a área produtiva certamente devido à variabilidade.

Tabela 1 – Faixas de produtividade para diferentes culturas. Reichenberger & Russnogle (1989).

Cultura	Faixa de produtividade
Trigo	57 a 103 kg/ha
Milho	66 a 142 kg/ha
Sorgo	30 a 92 kg/ha

Buchholtz e Wollenhaupt (1989), mostram que a variabilidade de fósforo é comum e registram valores entre 14 e 130 Kg/ha de fósforo em um campo de 32 ha, amostrado em parcelas de 1,6 ha. Inúmeros outros exemplos podem ser citados. As variações existem, mas quantas medidas, quando e onde realizá-las para se ter uma estimativa razoável da variabilidade? Diferentes propriedades do solo têm diferentes variações, Kachanoski et al (1988). Qual é o espaço entre amostragens e o número de amostras ideal em cada caso? Qual deve ser a frequência de amostragem? Para responder essas e outras perguntas parece haver consenso no seguinte: um grande volume de dados é necessário e eles devem ser obtidos com a mesma metodologia para viabilizar a comparação de resultados. Tal esforço

deve envolver equipes interdisciplinares e multiinstitucionais trabalhando em um projeto temático em vários campos agrícolas em diferentes localidades. Esse tipo de trabalho é necessário para avaliar o potencial da agricultura de precisão para uma dada região.

3.4.2 Sensores

Se por um lado, para haver representatividade, é necessário um grande volume de dados, por outro, a coleta manual de dados pode inviabilizar essa tarefa. A aquisição automática de dados através de sensores é imprescindível. A natureza heterogênea dos processos a serem medidos (físicos, químicos e biológicos) e a agressividade do ambiente agrícola pode significar maior custo dos elementos sensores e penalizar o número de pontos amostrados. É importante e necessário o desenvolvimento de novos sensores com custos reduzidos.

Em parte as quantidades a serem medidas são de longo prazo. Isso significa que são parâmetros que apresentam mudanças anuais mínimas. A topografia, quantidade de matéria orgânica e a constituição física dos solos são alguns exemplos. Outras quantidades são de curto prazo. O nível de nutrientes e a umidade do solo são considerados parâmetros de curto prazo. As quantidades de longo prazo são passíveis de serem medidas manualmente, seja no local, ou por amostragens e subsequente exame laboratorial. As de curto prazo devem ser priorizadas.

Os principais desenvolvimentos atuais são sensores para o potencial de água do solo, nível de nutrientes (principalmente nitratos), nível de clorofila, crescimento vegetal, entre outros. Um destaque são os sensores de produtividade. Há vários modelos comerciais, porém não há plena aceitação do mercado. Esforços têm sido feitos para corrigir a influência de fatores como a umidade da cultura no momento da colheita. Curiosamente, apesar da quantidade de matéria orgânica ser considerada um parâmetro de longo prazo o seu monitoramento através de sensores tem tido atenção especial devido ao emprego cada vez maior de herbicidas que causam o seu desequilíbrio. Uma área pouco explorada é o monitoramento de doenças e infestações que consomem água, nutrientes e bloqueiam a luz impedindo o crescimento normal das plantas.

3.4.3 Software

É uma área que obrigatoriamente deve sofrer adaptações às condições regionais. Não-somente devido ao idioma e aspectos culturais que deverão influir na interface com o usuário, mas principalmente pelo desenvolvimento de algoritmos com base em formulações teóricas certamente diversas.

A equipe de programadores deve dominar várias técnicas já adotadas na área, como sistemas operacionais para tempo real, GIS, redes neurais e até mesmo fractais. O caráter sistêmico, de integração de várias tecnologias, em geral, em diferentes escalas e o grande intercâmbio de dados necessita de padrões a serem seguidos. As organizações e associações devem participar ativamente da especificação desses padrões para garantir a capacidade de transferência e compatibilidade de informações.

3.4.4 Atuadores

Os dados coletados e seu processamento somente serão úteis quando estiverem gerando o ponto ótimo de operação dos atuadores, no caso agrícola, principalmente dos irrigadores e aplicadores de agroquímicos.

A operação de maior interesse da pesquisa é a aplicação de fertilizantes. O consumo desse insumo em 1990 nos Estados Unidos foi em torno de 45 milhões de toneladas. Estima-se que os fertilizantes representam entre 25 e 45% do custo de produção do milho. Além de estreitar a margem de lucro o uso ineficiente de fertilizantes contribui para o aumento da poluição ambiental. A fertilização através da agricultura de precisão pode não-somente aumentar os lucros mas também contribuir significativamente para a diminuição da poluição. Porém, novamente, tais vantagens dependem de cada propriedade e do sistema produtivo.

A segunda maior área de interesse da agricultura de precisão é o controle da aplicação de pesticidas. Dados de 1988 mostram que, também nos Estados Unidos, são gastos cerca de 4,5 bilhões de dólares anuais com pesticidas, sendo metade desse valor especificamente em herbicidas.

Nos aplicadores convencionais procura-se manter a taxa de aplicação constante baseada no fluxo constante. No máximo há a correção do fluxo de acordo com a velocidade do implemento. Na agricultura de precisão deseja-se que a taxa de aplicação varie de acordo com a posição. As modificações nos equipamentos podem parecer simples mas o desempenho dessas modificações são importantes. A dinâmica do novo processo é maior. A impressão obtida em vários estudos é que a aplicação de agroquímicos com concentração constante não é a melhor solução. A variação de fluxo resulta em variações do tamanho das gotas e conseqüentemente maior ou menor dispersão do produto. Por outro lado o fluxo constante apresenta tempo de resposta lento. Além dessas questões a serem resolvidas com produtos líquidos, há ainda as questões relacionadas com produtos sólidos.

3.4.3 Posicionamento dos implementos

O dado da posição geográfica, tanto dos sensores como dos atuadores em ação, completa as informações de campo necessárias à aplicação da tecnologia de “precision farming”. As variáveis coletadas são relacionadas às coordenadas geográficas possibilitando obter mapas de produção, umidade, fertilidade, entre outros e de atuar diretamente sobre o implemento de acordo com a sua posição no campo.

Entre as várias técnicas de obtenção de coordenadas geográficas, a tecnologia de Global Positioning Satellites (GPS) é a mais viável para grandes áreas. O primeiro satélite foi posto em órbita em 1970 pelo Departamento de Defesa dos EUA para auxiliar a artilharia no acerto dos seus projéteis contra alvos inimigos com a devida precisão ou para auxiliar submarinos a determinar sua posição no globo terrestre. Os satélites atuais podem obter a latitude, longitude e altitude de qualquer ponto do planeta com precisão métrica ou submétrica. Por motivos de segurança nacional, os satélites de uso originalmente militar transmitem dados com distorção, de modo que o receptor obtém coordenadas com erro de cerca de 100 metros. Entretanto, através de técnicas denominadas de correção diferencial, as coordenadas de GPS podem ser corrigidas para erros de menos de um metro.

A técnica de correção diferencial utiliza dois receptores GPS, um fixo de posição conhecida e um móvel. O erro conhecido do ponto fixo é utilizado para corrigir a posição obtida para o ponto móvel.

No território brasileiro, há número suficientes de satélites que podem ser utilizados para a agricultura. Na Figura 2 apresenta-se alguns modelos de receptores de GPS encontrados no mercado. Possuem capacidade de receber sinais de cerca de 10 satélites.

3.4.4 *Uso da realidade virtual na agricultura*

Com o uso de *softwares* apropriados, computadores conectados a uma rede podem operar de forma que a memória de cada máquina, tanto o disco rígido como a memória do usuário, venha a ser parte da memória coletiva desta rede. Para os usuários individuais isto vem a ser visto como uma única memória, uma fonte e um depósito para informações. A capacidade coletiva, entretanto, é referenciada como memória virtual.

Em futuro próximo, o desenvolvimento e o sucesso na comercialização de novos produtos e serviços agrícolas, incluindo aqueles associados com *sites* agrícolas específicos irão requerer cada vez mais parcerias e organizações da memória virtual acima descrita. O desenvolvimento de tais parcerias trará nessa integração especialistas com diferentes formações e tipos de especialização, Kirner (1995).

Esforços em pesquisa e desenvolvimento (P&D) auxiliarão as iniciativas comerciais de forma a possibilitar o desenvolvimento de parcerias em ambiente virtual. Neste ambiente serão concebidos projetos, desenvolvimento e implementação de processos com transferência de tecnologia de forma integrada. Essa integração tecnológica habilitará mecanismos que possibilitem antecipar problemas, garantindo uma maior aproximação dos estágios de sucesso. Assim, como as memórias coletivas das redes de computadores



Figura 2 - GPS portáteis encontrados no mercado:

- a) Garmin GPS 12XL™ da Garmin
- b) GPS 3000™, da Magellan, Navigation and Communications products
- c) Explorer da Eagle.

parceiros inseridos dentro do complexo arranjo das parcerias do futuro estarão dividindo responsabilidades na transferência da pesquisa e da tecnologia.

A agricultura virtual é análoga à rede de computadores e dela dependerá fortemente. Cenários do passado próximo da maioria dos países em desenvolvimento têm mostrado que o agricultor produzia, processava, distribuía e consumia os produtos agrícolas por ele

gerado, bem como proporcionava à propriedade a maioria dos serviços e suporte. A agricultura até então pôde ser desenvolvida em um ambiente que necessitava de pouca comunicação e coordenação fora da própria família do agricultor. Nos dias atuais e com vista ao planejamento futuro, a agricultura voltou-se às demandas das grandes populações urbanas, o que trouxe a necessidade do uso de especialistas do *agrobusiness*, estes preparados para gerir o negócio agrícola dentro de uma óptica mais ampla e efetiva.

Cada vez mais, dada a globalização da economia, as ações nesse sentido têm sido enfatizadas com a presença dos especialistas na chamada indústria agrícola. Certamente, somente o uso de especialistas e não generalistas traz algumas desvantagens, que devem ser gerenciadas com cuidado, como conflitos de interesses ou perda de um enfoque institucional mais amplo, como por exemplo, um maior entendimento sobre as organizações industriais e as responsabilidades para com a sociedade ou ainda a competição selvagem dentro dos negócios. Especialistas geralmente conhecem pouco sobre os sistemas práticos e de uso no campo. Porém quando conectados de forma a comporem um sistema em rede podem integrar com ótimo nível de profundidade e potencialidade ferramentas analíticas de análise, teorias de processos de redes, lógicas comerciais, projeto e análise de sistemas, sistemas de engenharia como agrícola, elétrica, eletrônica, materiais, mecânica, mecatrônica, civil, de alimentos, química, biologia, física, sistemas práticos e outras áreas do conhecimento básico ou aplicado resultando na integração do trabalho em ambiente virtual, de suas especialidades proximamente da prática, do campo.

Na agricultura moderna a produção de um produto consumível pode envolver a produção de uma longa seqüência de produtos intermediários, onde cada qual é usado na seqüência como cliente e fornecedor do produto anterior e do próximo respectivamente. A cada estágio o produto recebe um valor agregado. Na linguagem econômica cada passo na seqüência com os valores agregados e conhecido como um estágio econômico, os quais ligam em ponte a seqüência de produtos que formam a cadeia do valor. Para cada produto há um mercado.

Os vários componentes tecnológicos incluindo sensores, posicionadores, sistemas especialistas, sistemas de navegação, simuladores, *softwares* de controle, processadores digital de sinais, microprocessadores e mecanismos de controle automático devem ser integrados de forma a promoverem as ferramentas para o gerenciamento dos *sites* específicos. Cada item de informação ou tecnologia deve estar devidamente adequado de forma que a P&D nestas tecnologias estejam proximamente coordenadas com P&D nas cadeias de valor dos produtos. A produção de produtos diferenciados levará em conta os esforços da pesquisa integrados aos estágios da economia que levem a um produto final com qualidade e competitivo. Assim, será provavelmente preferível conduzir as funções de P&D simultaneamente ao invés de seqüencialmente, ou seja em paralelo, dentro de um enfoque de engenharias concorrentes, Holt (1991). O uso de tecnologias avançadas e da informação, incluindo as redes computacionais e a *internet*, habilitarão a integração das diversas áreas de P&D possibilitando a agricultura virtual para o desenvolvimento sustentável através da integração remota de especialistas com vistas a testes de produtos, comparações, aperfeiçoamentos, avaliação da utilidade, geração de informação com as quais os usuários podem integrar-se em sistemas operacionais práticos, transferencia de tecnologia de forma que os produtos da pesquisa sejam transferidos e implementados pelos

consumidores e pelos usuários da tecnologia e da informação, educação contínua, treinamento e suporte de decisão.

3.5 CONCLUSÃO

A idéia da agricultura de precisão tem à sua disposição vários componentes tecnológicos. Porém, há muito espaço para novos desenvolvimentos, seja em novos componentes ou na integração deles. A impressão de alguns especialistas agrícolas que ela seja muito complicada não é necessariamente correta. É claro que a implementação de um sistema de controle ideal, que trabalhe no ponto ótimo para todas as entradas imagináveis, é um grande desafio. Mas, algumas operações podem ser selecionadas para trabalhar em um ponto satisfatório tendo como orientação o sistema ideal com simplificações. Questões regionais vão determinar o que é satisfatório.

Como qualquer nova área de pesquisa e especialmente por ser multidisciplinar, a agricultura de precisão está se estabelecendo de forma organizada nos países desenvolvidos. Nos países em desenvolvimento, onde ela está se estabelecendo somente recentemente, é recomendável uma organização local que observe um forte acoplamento entre parceiros como compartilhar dados e algoritmos, cuidar para que não se reinvente o que já existe, empregar as mesmas metodologias/notações e evitar a duplicação de esforços mas ao mesmo tempo não perder oportunidades em novas áreas.

A maior dificuldade ainda reside em trabalhar o volume de dados da variabilidade espacial e temporal e interpretá-los para tomada de decisão em campo. O sistema água-solo-planta-atmosfera e os processos físicos-químicos-biológicos presentes não são mensuráveis em larga escala (bacia hidrográfica) e as modelagens pouco validadas. Como medir com confiança, interpretar as medidas e atuar?

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLACK BOX DO BRASIL, São Paulo, SP, Brasil. **Catálogo black box: the source of connectivity.** São Paulo, 1993. n.4, p.504.
- COCKERHAM, S.T.; ORTEGA, T.R. Remote data acquisition for agricultural experiment station management. **Applied Agricultural Research**, New York, v.4, n.2, p.144-147, 1989.
- COGHLAN, A. Hi-tech farming to save the environment? **New Scientist** n.23, p.25, Sept., 1995.
- CORONA JÚNIOR, N.; INAMASU, R.Y.; COLNAGO, L.A.; VOLPE, C.A.; CRUVINEL, P.E. Humectógrafo microcontrolado para previsão de doenças em plantas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, Ilhéus-BA, jul. 1993. **Anais...** Ilhéus: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola/CEPLAC, 1993. v.2, p.773-783, 1993.
- CRESTANA, S.; CRUVINEL, P. E.; MASCARENHAS, S.; BISCEGLI, C.I.; MARTINETO, L.; COLNAGO, L. A., ed. **Instrumentação agropecuária: contribuição no limiar do novo século.** Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996a. 291p.il.

- CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; MASCARENHAS, S.; VAZ, C.M.P.; NAIME, J.M.; CESAREO, R.; NIELSEN, D.R.; REICHARDT, K. Tomografia reconstrutiva. In: CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; MASCARENHAS, S.; BISCEGLI, C.I.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L.A., ed. **Instrumentação agropecuária: contribuição no limiar do novo século**. Brasília: EMBRAPA-SPI, p.152-200, 1996b.
- CRUVINEL, P.E.; HERRMANN, P.S.P.; TORRE-NETO, A. Estação instrumental para coleta e medida automática de parâmetros climatológicos. In: ENCONTRO NACIONAL DE FÍSICA DA MATÉRIA CONDENSADA, 16, Caxambu-MG, maio 1993. **Resumos estendidos do Grupo de Instrumentação...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 1993. p.72-73.
- CRUVINEL, P.E.; VIEIRA, S.R.; MINATEL, E.R.; CRESTANA, S. **Automatização de método para análise do volume de gotas de chuva natural ou artificial e sua distribuição com técnicas do processamento de imagens digitais**. São Carlos: EMBRAPA-CNPDIA, 1993. 5p. (EMBRAPA-CNPDIA. Comunicado Técnico, 4).
- CURRY, R.B.; KLINK, J.C.; HOLMAN, J.R.; SCIARINI, M.J. **Development of an automated weather station network in Ohio**. St. Joseph: ASAE, 1981. (ASAE Paper, 81-4502).
- FERREIRA, W.S. **Instrumentação para o monitoramento de microvariações em órgãos vegetais**. São Carlos: USP-EESC, 1994. Dissertação Mestrado.
- GIULIANO, A.D. **Verificação experimental de um modelo de simulação do movimento de solutos em um meio poroso natural**. São Carlos: UFSC-IFSC, 1995. Dissertação Mestrado.
- GRISMER, M.E. Field sensor networks and automated monitoring of soil water sensors. **Soil Science**, Baltimore, v.154, n.6, p.482-489, Dec. 1992.
- HERRMANN, P.S.P.; COLNAGO, L.A.; SILVEIRA, P.M.; CORONA JÚNIOR, N.; INAMASU, R.Y. Sistema microcontrolado para medidas da taxa de difusão de oxigênio e potencial oxi-redução do solo, "in situ" In: ENCONTRO NACIONAL DE FÍSICA DA MATÉRIA CONDENSADA, 18, Caxambu-MG, jun. 1995. **Anais do Grupo de Instrumentação...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 1995. p.183-185.
- HERRMANN, P.S.P.; CRUVINEL, P.E.; TORRE-NETO, A.; MARTIN-NETO, L.; GHINI, R. Medidor digital multisensor de temperatura para coletor solar. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 45, Recife-PE, jul. 1993. **Anais...** São Paulo: SBPC, 1993. v.1, p.468. ref.11-D.1.9.
- HOLT, D.A. Organizational paradigms of agricultural research and development. In: ANNUAL MEETING OF THE AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE, 4, Bethesda-MD, 1991. **Proceedings ...** Bethesda: Agricultural Research Institute, 1991.

- HOWELL, T.A.; MEEK, D.W.; PHENE, C.J.; DAVIS, K.R.; MCCORMICK, R.L. Automated weather data collection for research on irrigation scheduling. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.27, n.2, p.386-391, 1984.
- HUBBARD, K.G.; ROSENBERG, N.J.; NIELSEN, D. C. Automated weather data network for agriculture. **Journal of Water Resources Planning and Management**, n.109, p.213-222, 1983.
- INAMASU, R.Y.; MACEDO, A.; RABELLO, L.M.; CRUVINEL, P.E.; TANIWAKI, K.; FRANZ, C.; FOLLE, S.M.; CORONA JÚNIOR, N. Coletor de dados para medir desempenho de tratores e implementos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21; SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA DO CONE SUL, 1, Santa Maria-RS, jul. 1992. **XXI congresso brasileiro...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola/ Universidade Federal de Santa Maria, 1992. v.3, p.1777-1789.
- JORGE, L.A.C., ed. **Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS**. São Carlos: EMBRAPA-CNPDI, 1993. 48p. (EMBRAPA-CNDPDIA. Circular Técnica, 1).
- JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S. **Recomendações práticas para utilização do SIARCS 3.0 nos estudos de raízes, cobertura vegetal, folhas e outras aplicações**. São Carlos: EMBRAPA-CNPDI, 1993. 34p. (EMBRAPA-CNPDI. Recomendação Técnica, 4).
- KACHANOSKI, R.G.; GREGORICH, E.G.; WESENBEECH, I.J. Estimating spatial variations of soil water content using noncontacting eletromagnetic inductive methods. **Journal of Soil Science**, Oxford, n.68, p.715-722, 1988.
- KIRNER, C. **Ambiente virtual para visualização interativa compartilhada**. São Carlos: UFSCar/PUCRS/EMBRAPA-CNPDI, 1995. Projeto de pesquisa PROTEM-AVVIC.
- MARTIN-NETO, L.; CRUVINEL, P.E.; MATTOSO, L.H.C.; COLNAGO, L.A.; FLOCCHINI, R.G.; SPOSITO, G. Espectroscopias de infravermelho, ultravioleta-visível e PIXE: alguns resultados disponíveis. In: CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; MASCARENHAS, S.; BISCEGLI, C.I.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L.A., ed. **Instrumentação agropecuária: contribuição no limiar do novo século**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1993. p.51-85.
- NIELSEN, D.R.; WENDROTH, O.; JÜRSCHIK, P.; KÜHN, G.; HOPMANS, J.W. Precision agriculture: challenges and opportunities of instrumentation and field measurements. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 1, São Carlos-SP, nov. 1993. **Anais...** São Carlos: EMBRAPA-CNPDI, 1993. (no prelo).
- PLUCKNETT, D.L.; WINKELMANN, D.L. Technology for sustainable agriculture. **Scientific American**, p.182-186, Sept. 1995.

- REICHENBERGER, L.; RUSSNOGLE, J. Farm by the foot. **Farm Journal**. p.11-15, Mar. 1989.
- SARGENT, R.J. Telemetry for a flood prevention scheme. **Water Pollution Control**, v.85, n.2, p.153-159, 1983.
- TORRE-NETO, A. **Estudo e implementação de um sistema de monitoramento remoto de variáveis edafo-ambientais**. São Carlos: USP-IFSC, 1995. Tese Doutorado.
- VAZ, C.M.P.; MACHADO, S.A.S.; MAZO, L.H.; AVACA, L.A.; CRESTANA, S. Electroanalytical determination of the herbicide atrazine in natural waters. **International Journal of Environmental and Analytical Chemistry**, Amsterdam, v.62, n.1, p.65-76, 1993.
- VAZ, C.M.P.; OLIVEIRA, J.C.M.; REICHARDT, K.; CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; BACCHI, O.O.S. Soil mechanical analysis through gamma ray attenuation. **Soil Technology**, Cremlingen, v.5, p.319-325, 1992.
- WAYNER, P. How microchips shook the world. **Byte**, Peterborough, v.21, n.12, p.68-74, Dec. 1993.