

Capítulo 10

Rede de Sensores sem Fio e Computação Ubíqua na Agropecuária

André Torre Neto

1. Introdução

Como ilustrado na Figura 1, a coleta automática de dados no campo agrícola pouco evoluiu, se comparada com a automação nas áreas urbana e industrial. Se no ambiente rural prevalecem as Estações Climatológicas com arquitetura centralizada e alguns poucos sensores individualmente conectados a entradas específicas e sem padronização, no ambiente urbano e industrial é predominante o emprego de sensores inteligentes interligados por barramentos digitais que propiciam o uso de múltiplos sensores ou atuadores interligados por cabeamento único e com padronização. Para citar alguns, tem-se o ProfiBus, LonWorks, DeviceNet, ControlNet, entre outros (FIELD Buses, c2011). O protocolo SDI-12 (SDI-12... [2009]), proposto para coleta de dados ambientais, é o mais importante barramento adotado por fabricantes de equipamentos e sensores para o campo. Entretanto, esse padrão apresenta deficiências, entre elas a taxa de comunicação limitada a 1200 bauds (bits/seg) e o comprimento do barramento limitado a 60 metros. Também deve ser lembrado que, no caso de máquinas e implementos agrícolas, encontra-se o ISOBus (ISOBUS, 2010), uma especificação baseada no CAN - *Controller Area Network* - criada principalmente para atender a agricultura de precisão.

O que deve revolucionar a coleta de dados ambientais e os sistemas de monitoramento e controle no campo agrícola são as redes de sensores sem fio (RSSF) e a computação ubíqua. As RSSF são o resultado da rápida convergência de três tecnologias-chave: os circuitos digitais, a comunicação sem fio e os microsistemas eletromecânicos (MEMS – *Micro Electro-Mechanical Systems*). Os recentes avanços na engenharia de projetos de circuitos integrados levaram a uma significativa redução no tamanho, consumo de energia e custo da microeletrônica. Surgiram, assim, dispositivos autônomos (os Nós das RSSF), cada um contendo um ou mais sensores e com capacidade computacional e de comunicação que os capacitam a formar redes. A concepção da computação ubíqua é a fusão dos computadores com o ambiente, a ponto de tornarem-se invisíveis para os usuários. A ideia é que se tenham objetos do dia a dia com sua aparência e funcionalidade originais, porém agregando a capacidade computacional e a de comunicação inerentes das RSSF. A miniaturização já permite a implementação de muitos artefatos assim; entretanto, as fontes de energia não evoluíram com a mesma eficiência. A otimização do consumo de energia é o que permite que a vida útil dos Nós das RSSF esteja em torno de alguns anos. De qualquer forma, o estado da arte e os componentes oferecidos no mercado já possibilitam inúmeras aplicações.

Futuro em sistemas para coleta de dados no campo

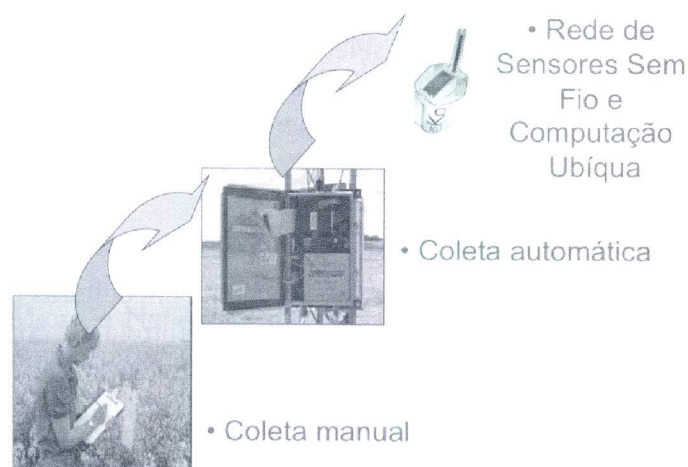


Figura 1: Os sistemas de coleta automática de dados no campo são majoritariamente convencionais, representados principalmente pelas Estações Agrometeorológicas que usam sensores individualmente conectados a coletores de dados com arquitetura centralizada, sem padronização. As redes de sensores sem fio e os sistemas ubíquos devem revolucionar esse quadro.

2. Aplicações das RSSF na agropecuária

A elevação dos custos de produção, principalmente com as altas dos agroquímicos, as exigências dos mercados por alimentos mais seguros, a preocupação crescente com a contaminação ambiental e as mudanças climáticas são fatores que têm contribuído para intensificar a presença dos grandes avanços da microeletrônica nos campos agrícolas. Atualmente, é comum embarcar nas cabines dos tratores e máquinas, terminais eletrônicos ligados a receptores GPS e conectados a uma ampla rede de sensores e atuadores distribuídos no motor, nas rodas e, especialmente, nos implementos, para a prática da agricultura de precisão (SRINIVASAN, 2007). Seguindo a tendência da indústria automobilística, essa rede de instrumentos tem sido estabelecida com o protocolo *Control Area Network*, CAN, sobre um barramento, o ISOBus, que circula entre as diversas partes de interesse (MUNACK; SPECKMANN, 2001). A produção animal é outro exemplo a ser considerado. A substituição dos antigos sistemas de marcas por identificadores eletrônicos, inicialmente na forma de brincos com códigos de barra, e mais recentemente com os dispositivos conhecidos por *Radio Frequency Identification*, RFID, é uma realidade que permite não somente a identificação, como também a rastreabilidade nessa cadeia produtiva (SAHIN et al., 2002).

Se, por um lado, existem soluções consagradas como os exemplos acima citados, por outro, o recente desenvolvimento das redes de sensores sem fio poderá ampliar ainda mais a presença da tecnologia eletrônica no agronegócio. O uso de instrumentos transmitindo dados via rádio ou via infravermelho no ambiente agrícola requer uma revolução e padronização. A vantagem óbvia é a grande facilidade de instalação e manutenção de sistemas operando sem fio no campo. Entretanto, diante das possibilidades de aplicações da computação ubíqua, através da rede de sensores sem fio, a ser estabelecida no campo e atravessando as porteiras, os benefícios serão ainda maiores (WANG et al., 2006). Imagine-se a potencial economia de insumos e a menor contaminação ambiental que poderia trazer uma extensão da eletrônica embarcada no controle de processos como a pulverização ou a quimigação realimentados por informações da variabilidade espacial de parâmetros em tempo real obtidos por uma rede de sensores monitorando as plantas e o solo. Na produção animal, com a substituição dos RFIDs por dispositivos sensores que ampliem as funcionalidades de identificação para o monitoramento em tempo real do comportamento e saúde animal, rapidamente, indivíduo por indivíduo, o produtor diagnosticaria problemas antes de se tornarem endêmicos. Fora da porteira, o monitoramento em tempo real, caixa por caixa de frutas e hortaliças, das condições de armazenamento, transporte e distribuição de produtos perecíveis, garantiria informações precisas sobre o tempo de prateleira.

Diante dessas inúmeras demandas, foram selecionadas seis linhas de aplicações a serem detalhadas a seguir: a) pulverização de precisão, b) irrigação de precisão, c) monitoramento da fertilidade no solo d) monitoramento e rastreamento animal, e) monitoramento vegetal e f) mudanças climáticas e problemas fitossanitários.

2.1 Pulverização de precisão

A pulverização de agroquímicos é um processo frequente em culturas perenes e que pode representar até 60% dos custos da produção, como é o caso da citricultura. Entretanto, como mostra a Figura 2, ocorrem perdas significativas de produtos pelos excessos praticados devido ao receio do recobrimento falho. Na tentativa de minimizar as perdas e otimizar a aplicação, são usados papéis sensíveis e a coleta de resíduos para a regulação dos bicos de pulverização.



Figura 2: O uso de papel sensível e coleta de resíduos para o controle de perdas no processo de pulverização. Imagens obtidas na Fazenda Entre Rios de propriedade da Fischer Agropecuária em oportunidade de realização de um dia de campo sobre pulverização.

Nesta atividade, um conceito de controle baseado na comunicação máquina com máquina (*Machine to Machine based process control*, M2M) pode ser aplicado no estabelecimento do controle da pulverização de agroquímicos em pomares. Para a concretização dessa idéia, prevê-se o desenvolvimento de sensores, possivelmente baseados em microssistemas eletromecânicos (MEMS), mimetizando a forma e a textura de folhas para a medida do padrão de molhamento foliar e escurimento. Ligados a uma rede sem fio, tais sensores realimentarão a eletrônica embarcada dos pulverizadores para o estabelecimento da pressão e velocidade ideais para se conseguir a máxima cobertura das folhas, nas posições de interesse e, ao mesmo tempo, mínimas perdas para o ambiente.

2.2 Irrigação de precisão

Em projeto PIPE FAPESP (Programa de Inovação em Pequenas Empresas da Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo), contando ainda com o apoio do projeto em rede NAMITEC financiado pelo CNPq (Tecnologias de Micro e Nanoeletrônica do Conselho Nacional de Pesquisa), uma rede de sensores sem fio e todo o suporte de software com banco de dados espaçotemporal e programa gerenciador com funcionalidades de SIG (Sistemas de Informações Geográficas) foram desenvolvidos para o controle da irrigação espacialmente diferenciada por zonas de manejo (Figura 3). A especificação foi feita em conjunto com a Embrapa, que implementou a versão do sistema baseada em componentes discretos, enquanto que no NAMITEC foram desenvolvidos os principais circuitos que comporão a versão SOC (System On Chip) dos Nós do mesmo sistema. A próxima etapa consiste em finalizar este SOC no atual INCT NAMITEC (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Nano e Microeletrônica) e realizar a avaliação econômico-ambiental do sistema, ou seja, determinar qual é a economia de água e energia possível através da irrigação de precisão. Tal avaliação está prevista em pomares de citricultura no Estado de São Paulo, região de Araraquara, e vitivinicultura no Estado de Pernambuco, vale do rio São Francisco, região de Petrolina.

Irrigação de Precisão

Visão geral: Plataforma Tecnológica para Irrigação de Precisão

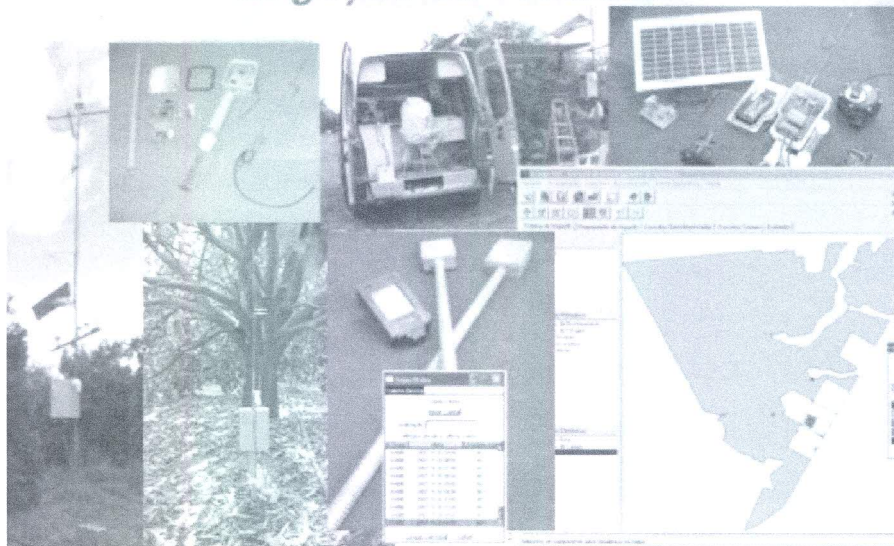


Figura 3: A Plataforma Tecnológica para Irrigação de Precisão desenvolvida pela Embrapa Instrumentação Agropecuária é composta de diversos componentes de hardware e software, a saber: Nós sensores de umidade e temperatura no solo; Estações de Campo para retransmissão de longa distância; Válvulas solenóides "Latching" adaptadas como Nós da rede; Computador de mão com programas que facilitam a instalação e manutenção da rede de sensores; e Programa Gerenciador com funcionalidades de sistema de informações geográficas, SIG, operando junto à base de dados espacotemporal. Um Laboratório Móvel foi montado para a instalação e manutenção de unidades-piloto de demonstração.

2.3 Monitoramento da fertilidade do solo

Dentre os insumos agrícolas, os fertilizantes são a principal causa das pressões econômicas no sistema de produção. No Brasil, a prática do plantio direto sobre a palha e as novas técnicas de fixação de nitrogênio são respostas a essa pressão. Aliadas a sistemas de monitoramento e controle, tais respostas poderiam ser ainda mais efetivas. O desenvolvimento de sensores que determinem a concentração de íons, como nitrato, fósforo, potássio e teor de matéria orgânica no solo é de fundamental importância no processo de otimização da fertilização. Um trabalho neste sentido vem sendo desenvolvido com sensores químicos, baseados em potenciometria e membranas íons seletivas, com a participação da Embrapa Pecuária do Sudeste, Embrapa Instrumentação Agropecuária, Universidade Federal de São Carlos e Universidade Autônoma de Barcelona (Figura 4). Trabalha-se, atualmente, na interface e avaliação desses sensores, como Nós de RSSF para monitoramento *in situ* e mapeamento da fertilidade em tempo real. Tanto a fertilização como a fertirrigação espacialmente diferenciada devem ser contempladas com os resultados.

Monitoramento da Fertilidade do solo

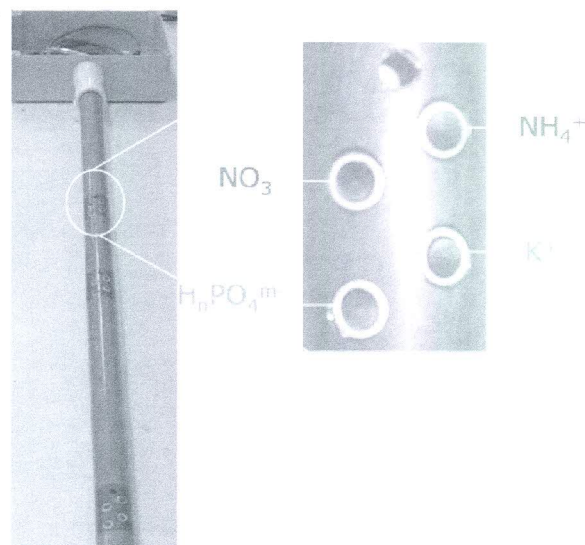


Figura 4: Sonda de fertilidade do solo desenvolvida com sensores potenciométricos e membranas seletivas a íons para amônia, nitrato, ácido fosfórico e potássio.

2.4 Monitoramento, rastreabilidade e ambiência na produção animal

A identificação de animais por RFID passa por questões práticas, como a padronização e a normatização, além de econômicas, como a pequena diferença paga pelo produto rastreado. Tais questões limitam sua adoção, principalmente no mercado nacional. O passo seguinte aos RFID seriam as redes de sensores sem fio. Para o produtor, o emprego dessa tecnologia traria vantagens adicionais, já que permitiria o monitoramento do comportamento e saúde animal, bem como sua localização em tempo real (Figura 5). Entretanto, a viabilidade econômica é uma barreira a ser superada. Tem-se trabalhado na adaptação de dispositivos de rede de sensores sem fio, na forma de brincos ou colares, para serem avaliados no monitoramento de animais sob manejo extensivo. Com a adaptação de simples microfones para transmitirem no padrão digital sem fio, já é possível a verificação de vários fatores da rotina dos indivíduos e rebanho. Adicionalmente, têm sido exploradas as possibilidades de desenvolvimento de sensores avançados, novamente baseados em MEMS, para o monitoramento de processos fisiológicos, tais como, reações bioquímicas. Na produção intensiva as RSSF, são usadas para o monitoramento e controle dos parâmetros ambientais e de hábitos no criadouro para otimizar as questões de ambiência.

A1.3.4 - Monitoramento da Produção Animal

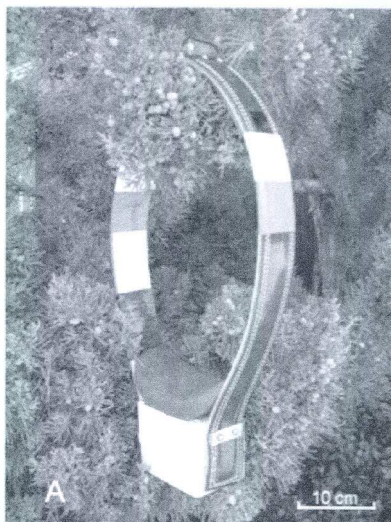
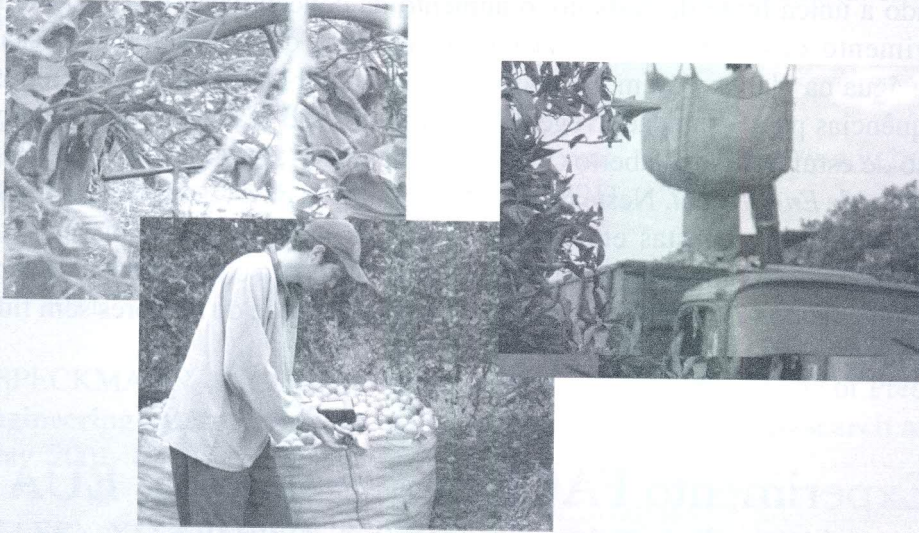


Figura 5: Exemplo de produto na forma de colar utilizado para a localização de animais ou rebanho através de receptores GPS e transmissores de rádio.

2.5 Rastreabilidade vegetal

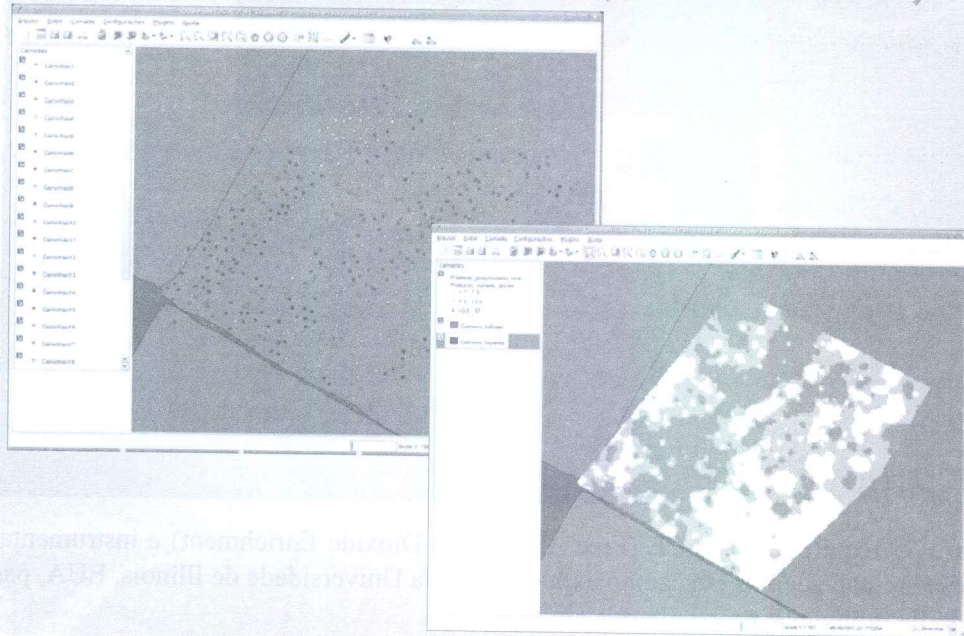
A rastreabilidade é uma necessidade estratégica premente frente ao cronograma da implementação de barreiras não tarifárias, principalmente pela comunidade européia. Para o Brasil, urge o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem identificar a origem e histórico de produtos de exportação como a fruticultura. Portanto, existe uma oportunidade ímpar no desenvolvimento de tecnologias que integrem a rastreabilidade e a fruticultura sob a égide da tecnologia de informação. A expectativa está no desenvolvimento e na utilização de sensores, RFIDs e sistemas eletrônicos para a implantação da rastreabilidade ao longo de toda a cadeia produtiva da fruticultura em geral e da horticultura de precisão. Um exemplo de aplicação é apresentado na Figura 6.

Uso de RFIDs para mapeamento da produtividade e rastreabilidade em Citricultura



a)

Mapa de produtividade (caixas/árvore)



b)

Figura 6: No projeto "Agronegócio na sociedade da informação: Explorando oportunidades em citricultura", financiado pelo PRODETAB, Programa de Desenvolvimento Tecnológico da Agricultura Brasileira, empregaram-se identificadores eletrônicos por rádio-frequência (RFID), para o mapeamento da produtividade em citricultura durante o processo de colheita manual na fazenda Maringá da Fischer Agropecuária, Gavião Peixoto, SP (a). Além de gerar o mapa de produtividade, o método permite identificar quais as árvores que contribuíram para a carga de cada caminhão (b). Dessa forma, se no pomar for praticada a aplicação sitioespecífica de insumos (Agricultura de Precisão), é possível ter informações da dosagem de agroquímicos por carga e dirigi-las para um processamento diferenciado.

2.6 Mudanças climáticas e problemas fitossanitários

A concentração de dióxido de carbono atmosférico vem aumentando significativamente e há unanimidade de que esse aumento continuará por décadas, apesar dos esforços internacionais para redução das emissões. Sendo a única fonte de carbono, o aumento da concentração de CO_2 resulta em benefícios para o desenvolvimento das plantas, pois há menor abertura de estômatos e, dessa forma, melhor aproveitamento da água na planta. Porém, há poucos trabalhos publicados sobre os efeitos do aumento do CO_2 e suas consequências para a sanidade vegetal. Tais estudos são realizados sob condições próximas às do ideal, com o uso de estufas de topo aberto ("open-top chambers", OTC) e experimentos do tipo FACE - *Free Air Carbon Dioxide Enrichment*. Neste último, há a liberação de CO_2 em condições de campo (Figura 7), permitindo o estudo das respostas em agroecossistemas intactos. Nos dois casos, os sistemas de monitoramento e controle são complexos e podem ser facilitados com o uso da rede de sensores sem fio. A Embrapa está implementando um sistema de controle baseado em rede de sensores sem fio para automação de experimentos com OTCs e FACE.

Experimento FACE em Urbana, IL EUA



Figura 7: Experimento FACE (Free Air Carbon-Dioxide Enrichment) e instrumentação associada estabelecidos em campo experimental da Universidade de Illinois, EUA, para o estudo de problemas fitossanitários em soja.

3. Conclusão

Os trabalhos mencionados pretendem oferecer aos agricultores plataformas tecnológicas que integrem não somente as RSSF, mas todo o suporte de software e a capacitação de recursos humanos para apoiá-los nos desafios atuais e futuros da automação na agropecuária. São ferramentas para atender os mercados mais exigentes, pois processos de automação estão se tornando um diferencial na competitividade globalizada. Relevando realidades locais e regionais, na Embrapa Instrumentação já foi desenvolvida a Plataforma Tecnológica para Irrigação de Precisão, um resultado de sucesso no emprego das RSSF e computação ubíqua em campo agrícola. Trata-se do testemunho prático que essa inovação possibilita na

obtenção de informações contínuas de qualidade, ao mesmo tempo que aumenta enormemente a compatibilidade eletromagnética em relação à incidência de raios e oferece maior facilidade de instalação, manutenção e operação por usuários leigos. Adicionalmente, permite a modularidade e alternativas de adaptação de dispositivos OEM (Original Equipment Manufacturer), resultando na diminuição de custos gerais dos sistemas de automação.

Referências

FIELD Buses. c2011. Disponível em: <http://www.interfacebus.com/Design_Connector_Field_Buses.html>. Acesso em: 05 jul. 2011.

ISOBUS. **Força Tarefa Isobus**: apresentação. 2010. Brasil. Disponível em: <<http://www.isobus.org.br>>. Acesso em: 05 jul. 2011.

MUNACK, A.; SPECKMANN, H. Communication Technology is the Backbone of Precision Agriculture. **Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development**, Sapporo, v. 3, May, 2001. 12 p.

SAHIN, E.; DALLERY, Y.; GERSHWIN, S. Performance evaluation of a traceability system: an application to the radio frequency identification technology. In: PROCEEDINGS OF THE 2002 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, 2002, Yasmine Hammamet. **[Proceedings...]** Yasmine Hammamet, Tunisia: IEEE, 2002. v. 3, p. 647–650.

SDI-12 Support Group: serial data interface AT 1200 Baud. [2009]. Disponível em: <<http://www.sdi-12.org>>. Acesso em: 05 jul. 2011.

SRINIVASAN, A. **Handbook of precision agriculture**: principles and applications. New York: The Haworth Press, 2007. 683 p.

WANG, N.; ZHANG, N.; WANG, M. Wireless sensors in agriculture and food industry-Recent development and future perspective. **Computers and electronics in agriculture**, Amsterdam, n. 50, p. 1-14, 2006.