

Automação de máquinas e implementos agrícolas: eletrônica embarcada, robótica e sistema de gestão de informação

Rafael Vieira de Sousa
Wellington Carlos Lopes
Ricardo Yassushi Inamasu

1 Introdução

O desenvolvimento e a aplicação de tecnologia no setor agropecuário tornou-se um dos elementos fundamentais para inserção ou manutenção da competitividade comercial no mercado globalizado de países com vocação para o agronegócio. Nesse sentido, o baixo nível de aplicação de tecnologia conduz à baixa eficiência e à baixa produtividade dos processos de produção vegetal e animal e pode colocar o país em uma posição de inferioridade nas relações comerciais internacionais, principalmente no caso do Brasil que tem ainda um grande potencial para desenvolvimento do agronegócio (FAO, 2009). Associado a isso, a escassez de mão de obra, as restrições para ampliação das áreas de cultivo e a busca pela sustentabilidade econômica, ambiental e social desse setor, também geram desafios importantes para a evolução tecnológica e têm demandado inúmeros esforços de pesquisa, desenvolvimento e inovação.

Uma das tendências atuais para superação das carências apontadas é a aplicação de sistemas de automação em áreas como, por exemplo, máquinas e implementos agrícolas, irrigação, criadouros, processamento, armazenamento e transporte de produtos agrícolas, construções rurais e ambiência. Também, junto a essa evolução tecnológica, surgem novos conceitos ou práticas que procuram maximizar os seus benefícios. Entre os conceitos atuais que buscam a automação como suporte para as práticas agropecuárias destaca-se a Agricultura de Precisão (AP).

O conceito de AP foi definido de várias formas ao longo dos anos. Seu significado pode ter distintas interpretações em função do foco de análise, tecnologia disponível e método adotado. Atualmente a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) define a Agricultura de Precisão como “um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e temporal da unidade produtiva e visa ao aumento de retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito ao ambiente”.

A escala de amostragem das variáveis envolvidas e a precisão na execução das tarefas para as novas práticas, muitas vezes, são maiores que as exigidas pela agropecuária tradicional, demandando tecnologias de informação e comunicação que as viabilizem em custo e eficiência (STEINBERGER et al., 2009). A tendência é aumentar a sua frequência de amostragem com seu limite chegando ao tratamento por planta, o que já pode ser constatado em culturas perenes como em fruticultura. Entretanto, a escala amostral para cada fator específico deve ser definida

através de um balanço que leve em conta fatores como, por exemplo, custo de tempo e financeiro em contraposição a elevação da produtividade associada ao aumento de precisão. O controle de insetos e o monitoramento do clima para o gerenciamento das tomadas de decisões para o cultivo são exemplos de variáveis que são gerenciadas em larga escala. Outros fatores como fertilidade do solo e distribuições de doenças podem variar significativamente em nível de talhão durante a semeadura e a germinação. Por esta razão, é importante observar o gerenciamento agrícola em termos das unidades espacial e temporal para tomada de decisão. Estas escalas são vistas como um fluxo contínuo de informações das áreas de atuação, desde uma planta até a propriedade como um todo.

Entre as tecnologias que podem ser consideradas como o estado da arte para automação de máquinas e implementos agrícolas destacam-se: sensores que permitem aferir variáveis agrônomicas em campo através de sensoriamento local ou remoto; sistemas de aplicação de insumos em taxa variável e sistemas que realizam sensoriamento, processamento (tomada de decisão) e atuação durante o movimento da máquina (PEETS et al., 2012). Essas tecnologias possuem um ponto de convergência que é a eletrônica embarcada, ou seja, o conjunto de sistemas eletrônicos que possuem processadores (hardware) e programas dedicados (software ou firmware) para aquisição, processamento, armazenamento e comunicação de dados. O incremento acentuado de tais sistemas eletrônicos através do desenvolvimento de monitores e controladores para máquinas e implementos agrícolas demandou a padronização dessa eletrônica embarcada, que hoje é viabilizada através da implantação da norma ISO 11783, conhecida no mercado também como Isobus (AGRICULTURAL INDUSTRY ELECTRONICS FOUNDATION, 2014; INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION, 2014). A padronização é fundamental para viabilizar a eletrônica embarcada em máquinas e implementos agrícolas na medida em que evita a duplicação de instalação, elimina obsolescência por compatibilidade, possibilita intercambiabilidade, reduz custo de manutenção, libera o agricultor de fornecedores exclusivos de sistemas comerciais e pode permitir a simplificação da integração de informações com sistemas computacionais externos às máquinas.

Um dos desafios relacionados ao uso da rede Isobus é a pesquisa e desenvolvimento de controladores automáticos compatíveis com tarefas agrícolas específicas e seus respectivos implementos tendo em vista a diversidade de tratos e implementos agrícolas existentes (BACKMAN et al., 2013). Esse fato é acentuado no Brasil, pois a agropecuária nacional possui características próprias e demandam máquinas, implementos e equipamentos adequados para a nossa realidade. Junto a isso, embora haja no Brasil o entendimento da importância desse padrão, os fabricantes de máquinas e equipamentos agrícolas, e, principalmente, os fabricantes nacionais de implementos deparam-se com barreiras técnicas por não possuírem, tradicionalmente, departamentos para desenvolvimento de eletrônica embarcada e pela carência no mercado de empresas fornecedoras de eletrônica própria para aplicações agrícolas. Essas barreiras impõem às empresas a necessidade de investimentos significativos para serem superadas, e, além disso, demandam-se investimentos para formação de mão-de-obra especializada (INAMASU et al., 2011).

Além das tecnologias descritas, frutos de pesquisas e de inovações desenvolvidas nas últimas duas décadas, atualmente outro foco de pesquisa recente e importante em tecnologias para agropecuária tem sido a busca por sistemas inteligentes que tornam viável a aplicação de Robôs Agrícolas Móveis. Nos últimos anos, trabalhos de pesquisa como, por exemplo, os apresentados por Bakker et al. (2011), Cariou et al. (2009), Cheein et al. (2011), Dong et al. (2011), Griepentrog et al.

(2013) e Slaughter et al. (2008) têm gerado soluções viáveis para o desenvolvimento de sistemas inteligentes de automação e de sistemas robóticos que possibilitam operações mais precisas para reduzir custos, aumentar a produtividade e minimizar o impacto ambiental em tarefas agrícolas.

Embora na última década muitos trabalhos de pesquisa tenham proposto arquiteturas diversas de controle para sistemas automáticos inteligentes e para robôs móveis, ainda há grandes desafios para a pesquisa de arquiteturas para sistemas que atuam em ambientes pouco estruturados. A imprevisibilidade natural, a variação temporal e espacial de certos parâmetros físicos como umidade, luminosidade e temperatura, principalmente nos ambientes abertos, elevam a imprecisão natural nas medições dos sensores conduzindo a elevados graus de incerteza, como relatado por diversos autores (GRIEPENTROG et al., 2013; PETERSON et al., 2011). Essas características adversas constituem desafios a serem superados pela pesquisa e desenvolvimento de sistemas inteligentes de automação e de arquiteturas robóticas. Além disso, a capacidade de aquisição, armazenamento e processamento de dados dos sistemas de um robô demandam tecnologias de informação e comunicação muito bem estruturados e capazes de operar dados, em volume e diversidade, superiores aos das máquinas e implementos agrícolas convencionais.

A quantidade de projetos e publicações internacionais em automação e robótica para agropecuária ganhou volume expressivo nos últimos cinco anos e ainda é crescente. Revistas científicas internacionais como a *Computers and Electronics in Agriculture* e a *Biosystems Engineering*¹ tem entre os temas de seu escopo a automação e a robótica. A International Federation of Automatic Control (IFAC)², que em seus 66 anos tem sido uma das mais importantes associações internacionais de promoção da ciência e da tecnologia em automação e controle, conta hoje com comitês técnicos específicos na temática de modelagem e controle para sistemas agropecuários e ambientais (TC8.1, TC8.2 e TC8.4), com destaque para a robótica, especialmente o comitê TC8.1, que promove a *Conference on Modelling and Control in Agriculture, Horticulture and Post Harvest Industry - Agricontrol*, e em sua quarta edição, em 2013 (AGRICONTROL 2013)³, contou com sessões em instrumentação, mecatrônica e controle para sistemas agropecuários, além de três sessões específicas em robótica nessa temática.

Identifica-se projetos internacionais que concentram esforços de diversos centros de pesquisa em robótica para a agricultura, como, por exemplo, o projeto *Robot Fleets for Highly Effective Agriculture and Forestry Management* (RHEA)⁴ que conta com integrantes de centros de pesquisa de oito países diferentes e é apoiado por comissão europeia de pesquisa do *European Union's Seventh Framework Programme*. Outra iniciativa notável é o projeto ICT-AGRI financiado pelo programa ERA-NET da Comissão Europeia por meio do *7th Framework Programme for Research*⁵ que tem o objetivo de promover a pesquisa em tecnologias de informação e de comunicação (TIC) e em robótica para a agricultura.

Entretanto, se o panorama internacional de pesquisa em automação e robótica para a agricultura tem se tornado um tema de destaque, a realidade brasileira da pesquisa em sistemas inteligentes

¹ Disponível em: <www.journals.elsevier.com/biosystems-engineering>.

² Disponível em: <www.ifac-control.org>.

³ Disponível em: <<http://agricontrol2013.automaatioseura.com>>.

⁴ Disponível em: <www.rhea-project.eu>.

⁵ Disponível em: <<http://db-ictagri.eu/ict-agri/content/home.php>>.

de automação e em robótica para a agricultura é bastante limitada. Nesse contexto, estabeleceu-se um cenário negativo para a agropecuária e para o agronegócio nacional, a medida em que o Brasil como potência do agronegócio mundial carece de pesquisa, desenvolvimento e inovação em tecnologias de controle e automação para os sistemas de produção vegetal e animal.

Outro desafio importante é a pesquisa de metodologias e tecnologias de informação e comunicação para integração entre robôs móveis ou máquinas e implementos agrícolas, com eletrônica embarcada compatível com o Isobus (NIKKILÄ et al., 2010), e sistemas de interpretação e manipulação de quantidades massivas e diversas de dados coletados, que auxiliem na compreensão das causas da variabilidade espacial e temporal dos processos agropecuários. Pesquisas atuais têm buscado, através do mapeamento de processos agropecuários e dos respectivos fluxos de informações, propor arquiteturas para sistemas automáticos de coleta e comunicação de dados e sistema de controle baseados na norma ISO11783, assim como propor o respectivo modelo conceitual de integração entre tais sistemas automáticos e sistemas de gestão agropecuário (NIKKILÄ et al., 2010; SØRENSEN et al., 2010).

A indústria de manufatura possui soluções bem estabelecidas baseadas em sistemas de informações gerenciais (*Management Information System - MIS*) que são parte integrante do sistema de planejamento de recursos e gestão global de empresas (*Enterprise Resource Planning - ERP*) (KARNOUSKOS; COLOMBO, 2011). Entretanto, o desenvolvimento e a aplicação de conceitos e de metodologias similares no setor agropecuário ainda apresenta grandes desafios, principalmente devido à diversidade e à variabilidade dos processos de produção vegetal e animal (SORENSEN et al., 2010). O projeto, o desenvolvimento e a implantação de um *Farm Management Information System (FMIS)*, que pode ser traduzido por Sistema de Informação de Gestão Agropecuário, para processos de produção vegetal ou animal, devem contemplar várias entradas de dados, originadas de diferentes equipamentos em diferentes formatos, incluindo formatos que atendam à norma ISO11783. Além disso, é necessário oferecer suporte ao gerenciamento de informações geográficas e capacidade de processamento de modelos biológicos, capazes de relacionar parâmetros descritivos com informações de solo, atributos biológicos dos cultivos e parâmetros climatológicos (NIKKILÄ et al., 2010; SORENSEN et al., 2010).

Diante do panorama apresentado, pode-se verificar que há demanda premente para a pesquisa e desenvolvimento de metodologias e tecnologias agrícolas aplicadas a aquisição automática de dados e controle inteligente de operações em processos de produção vegetal e animal, e que tenham interfaces automáticas para integração das informações desses sistemas com sistemas de gestão.

2 Sistemas embarcados

Na década de 1980 a eletrônica começou a ser embarcada em veículos, e nos EUA, Europa e Japão surgem os primeiros protótipos e padrões para sistemas de controle automático para máquinas e implementos agrícolas. Já na década de 1990, sistemas comerciais incorporam os receptores GNSS (Sistemas de Navegação Global por Satélites - *Global Navigation Satellite Systems*) e monitor gráfico na cabine do trator para realizar mapeamento de variáveis de desempenho da máquina e variáveis agronômicas da lavoura. O GNSS é conhecido pelo nome do sistema norte americano *Geographic Positioning System (GPS)* por este ser o primeiro sistema GNSS

implementado. Nessa década, surgem os primeiros mapas de produtividade e as telas gráficas em máquinas agrícolas, com o diferencial que o sistema era programável por meio de barramento em rede de computador embarcado.

No final da década de 1990, no Brasil, as indústrias internacionais de tratores trouxeram a eletrônica embarcada em máquinas de grande porte como as grandes colhedoras, já com capacidade para realizar mapeamento da lavoura durante a operação, ou seja, apresentaram a eletrônica embarcada em máquina para geração de mapa georreferenciado de variável e identificar a variabilidade espacial, como, por exemplo, colhedoras com sistema de mapeamento da produção agrícola. Desde então, a pesquisa em tecnologias para veículos agrícolas e a busca por inovações para atender às necessidades das novas práticas agrícolas culminou em alguns produtos comerciais que, atualmente, constituem o estado da arte das tecnologias para automação de máquinas agrícolas. Dentre essas tecnologias destacam-se a Tecnologia de Aplicação à Taxa Variável (*Variable Rate Technology* - VRT), sistemas *On-The-Go* e Piloto Automático.

As tecnologias VRT são aplicadas a máquinas agrícolas principalmente para permitir a aplicação controlada de insumos (fertilização e pulverização) ou para permitir o controle de plantio (espaçamento e quantidade de sementes) de acordo com mapa de recomendação. Normalmente necessitam de controle automático de velocidade e receptor GNSS instalado na máquina agrícola para reconhecimento da coordenada geográfica de onde se localiza. Contam com um sistema computacional de apoio prévio para estudo e geração de mapa de recomendação.

As tecnologias *On-The-Go* realizam sensoriamento, processamento (tomada de decisão) e atuação durante o movimento da máquina. Sistemas baseados nessas tecnologias não necessitam de georreferenciamento para navegação, porém incluem uma unidade de comando dinâmico que determina a aplicação através de análises em tempo real das medidas de um sensor do solo ou cultura para cada lugar dentro do campo percorrido. Frequentemente demandam controle preciso de navegação, redução no tempo de resposta do sistema e sistema computacional para gerar a recomendação imediata ao sistema de aplicação (implemento).

Os pilotos automáticos ou sistema automáticos de guiagem são tecnologias aplicadas a máquinas agrícolas para permitir a navegação autônoma e mais precisa no campo. São aplicados normalmente para viabilização de trabalho noturno, plantio, aplicação precisa de insumos e suporte para as técnicas citadas nos destaques anteriores (VRT e *On-The-Go*).

Diversos sensores para aplicação de insumos *On-The-Go* têm sido pesquisados na última década, com destaque para os sensores óticos. Tais sensores permitem realizar leitura da cor do dossel das plantas, que é utilizada para inferir a quantidade de insumo requerido pela planta. Esses sensores normalmente possuem fonte de luz que ilumina o dossel por meio de semicondutor (LED - *light-emitting diode*) e a luz refletida é captada por sensores óticos.

A Figura 1 ilustra uma possível estrutura para um sistema de sensoriamento e aplicação de insumos *On-The-Go*. Na Figura 1 pode-se observar o fluxo de dados captados por um ou mais sensores que são posteriormente armazenados (memória ou banco de dados) e processados (controlador embarcado), gerando uma ação de controle para válvulas de aplicação de insumo (atuadores).

Atualmente estão disponíveis no mercado alguns modelos de sensores óticos com a finalidade de ler o estado da cultura em tempo real para controlar a aplicação de fertilizante nitrogenado ou controlar a aplicação localizada de pesticidas. Porém, os dados dos sensores devem ainda ser cui-

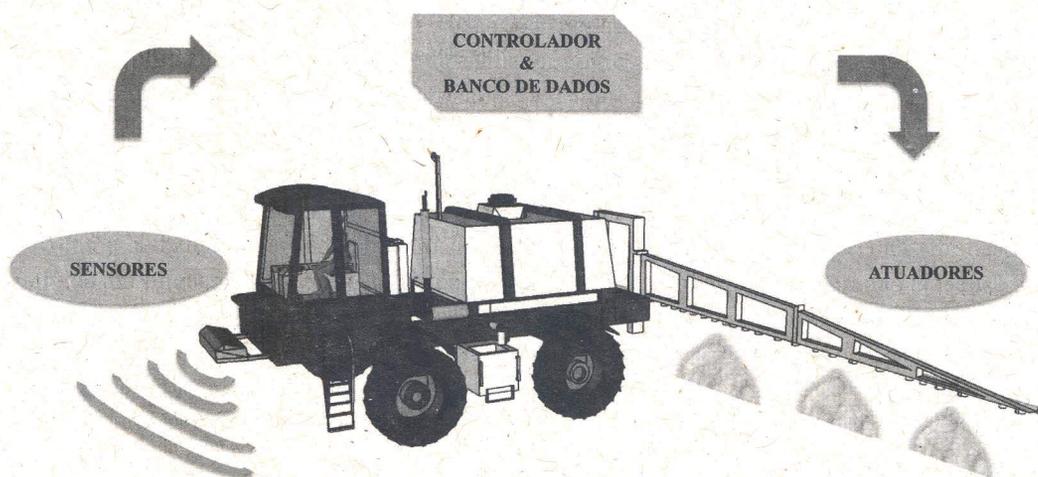


Figura 1. Sistema de sensoriamento e aplicação *On-The-Go*.

dadosamente testados e analisados antes de uma aplicação, pois há modelos em que o algoritmo de controle de aplicação de fertilizante nitrogenado está programado em seu sistema proprietário e os ajustes são ainda de acesso restrito. Os sensores que permitem a leitura de dados possuem interface serial com liberação de dados sequenciais em tempo regular, sendo que os protocolos de comunicação ainda não são estabelecidos em normas.

2.1 Eletrônica embarcada

Recentes tecnologias disponíveis no mercado foram concebidas para aquisição, armazenamento e transmissão de uma grande quantidade de dados que podem ser eletronicamente adquiridos na lavoura. Sensores agrícolas, dispositivos de processamento e armazenamento, e atuadores são implementados usando padrões de comunicação para troca de informações diferentes. A eletrônica embarcada em tratores e implementos não pode ser dissociada de sistema que inclua microprocessador e, conseqüentemente, de sistema eletrônico digital com hardware e software. Tal sistema computacional é caracterizado como computador embarcado e, normalmente, possui Unidade Central de Processamento (UCP), memórias e conjunto de elementos para entradas e saídas de dados. As entradas são associadas a elementos que fornecem os dados por meio de sensores ou de dispositivos de leitura e recebimento de dados. As saídas, por meio digital, podem comandar diversos dispositivos presentes em máquinas agrícolas, desde lâmpadas, mostradores, válvulas, e até o motor e a transmissão são considerados como atuadores.

Os computadores embarcados, no âmbito de tratores e implementos, são conhecidos como Electronic Control Unit (ECU) ou Unidade de Controle Eletrônico. Com a popularização dos processadores e da tecnologia de redes de computadores embarcadas em veículos, as ECU tem sido empregadas em quantidades diversas e distribuídas na máquina para que cada qual realize diferentes tarefas, como, por exemplo, o controle da comunicação com o operador, controle do motor e transmissão, leitura e registro de tarefas em formato de mapas, leitura do posicionamento, entre outras.

A tecnologia de rede empregada em máquinas agrícolas não é como a de escritórios. As redes utilizadas nos computadores domésticos em redes com cabo são conhecidas como Ethernet. Para veículos o padrão mais popular é o Controller Area Network (CAN), pois permite a criação de

redes robustas e mais simples. Esse padrão ou protocolo também tem sido adotado para promover a interconexão entre dispositivos de automação e controle em máquinas agrícolas e viabiliza a implantação de sistemas distribuídos. Tal protocolo foi adotado compondo o padrão internacional da International Organization for Standardization (ISO) para aplicações em máquinas e implementos agrícolas, denominado ISO11783, e também conhecido atualmente no mercado como Isobus.

Para suprir as carências tecnológicas destacadas anteriormente e apoiar as empresas nacionais, está em andamento, sob a coordenação da Embrapa Instrumentação, o projeto do Fundo para o Setor do Agronegócio, CT - Agro - MAPA 01/2008, subsidiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), processo: 01.09.0285.00, sob o título “Sistemas para Viabilizar Monitoramentos e Intervenções Localizadas”. Esse projeto congrega, além de empresas, grupos de pesquisa da Universidade de São Paulo (USP) e do Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI), e tem como objetivo geral fomentar, no mercado nacional, as tecnologias relacionadas com o Isobus para tratores e, principalmente, para implementos agrícolas. O projeto trata da integração das tecnologias, de certa forma estabelecidas, para monitoramento do solo e de plantas para desenvolvimento de tecnologias Isobus compatíveis para o mercado nacional. Além disso, os pesquisadores participam desde 2006, junto a membros representantes da indústria de máquinas e implementos agrícolas, da Foice Tarefa Isobus Brasil (FTI Brasil) para promoção da norma ISO1783 e de tecnologias relacionadas. Participam também do Comitê Brasileiro de Tratores, Máquinas Agrícolas e Florestais (CB-203), da Comissão de Estudo de Comunicação e Eletrônica Embarcada (CE-203:019.02) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), responsável pelo projeto da norma ABNT NBR ISO-11783 sob o título “Tratores e máquinas agrícolas e florestais - rede serial para controle e comunicação de dados”, versão Nacional da norma ISO 11783.

Em consonância com os objetivos de pesquisa e desenvolvimento, uma das etapas do projeto foi a concepção de Unidade Eletrônica de Controle com Isobus para viabilizar a construção de sistema de automação padronizado para máquinas e implementos agrícolas (Isobus ECU ou I-ECU), incluindo também aplicação em robôs agrícolas móveis. O trabalho de pesquisa e desenvolvimento foi dividido nas seguintes etapas principais:

- a) Pesquisa dos elementos mínimos para projeto de sistemas embarcados ISO11783 compatíveis.
- b) Estudo e definição dos requisitos mínimos de sistemas mecatrônicos de robôs agrícolas móveis.
- c) Levantamento dos requisitos funcionais de processos comuns das práticas de AP.
- d) Levantamento das mensagens definidas na norma ISO11783 que atendam aos requisitos identificados em “b” e “c”.
- e) Especificação e projeto de unidade eletrônica de controle universal para implemento agrícola (I-ECU).
- f) Definição de requisitos de interface para sistema de gestão agrícola (FMIS) aplicado às práticas de AP.
- g) Modelagem conceitual de integração de informações para sistemas de coleta e comunicação automática de dados de máquinas agrícolas automatizadas (trator e implemento automatizado ou robô agrícola móvel).

As etapas “a” e “d” foram realizadas a partir da pesquisa de trabalhos publicados, do estudo de sistemas de aquisição e comunicação de dados e do estudo da norma ISO11783. As etapas “b” e “c” foram realizadas da mesma forma, porém incluíram levantamentos em campo por meio de visitas técnicas a cooperativas e unidades produtoras, em especial para execução da etapa “c”.

Na etapa “b” observou-se que os principais dispositivos especiais utilizados no estágio de percepção para guiagem e navegação de robôs agrícolas móveis são: câmeras; receptor GNSS, varredor ou digitalizador Laser (*Scanner Laser*); e sistema de navegação inercial ou Inertial Navigation System (INS).

A definição do FMIS na etapa “f” foi realizada a partir da pesquisa de trabalhos publicados e das informações obtidas nas etapas de “a” a “d”. A modelagem proposta na etapa “g” foi realizada a partir da sistematização de informações e da estruturação de um modelo que atenda a todos os requisitos e características dos fluxos de informação de cada subsistema.

Para a especificação e projeto da I-ECU utilizou-se as informações obtidas nos levantamentos e especificações das etapas “a” a “d”. As especificações preliminares da I-ECU orientou a aquisição do conjunto de desenvolvimento de software e de hardware i.MX28 EVK da empresa Freescale, que foi utilizado para familiarização com o processador escolhido e para definir o conjunto apropriado firmware-hardware através de implementação de testes.

A especificação da I-ECU também foi embasada em características de software e de hardware típicos de sistemas embarcados para automação com destaque para: quantidade e tipos de entradas e saídas para sensores e atuadores; quantidade e tipos de interfaces de comunicação; capacidade de processamento; necessidades do sistema operacional; capacidade de armazenamento de dados; fonte de alimentação e requisitos de consumo de energia; e características físicas do ambiente de operação (ex. temperatura, umidade, vibração e ruídos eletromagnéticos). Considerando as características citadas, os levantamentos e especificações das etapas de “a” a “d” e os resultados dos testes com o conjunto i.MX28 EVK definiu-se um esquemático básico para o circuito eletrônico da I-ECU ilustrada na Figura 2.

Como ilustrado na Figura 2, o circuito eletrônico da I-ECU baseia-se no processador i.MX287 da empresa Freescale tecnologia Advanced RISC Machine (ARM) que está conectado a quatro tipos de memórias diferentes: memória tipo NAND (4 Gb), utilizada para armazenar o sistema operacional embarcado e o firmware das aplicações ISO11783 compiladas; memória tipo DDR2 SDRAM (64 MB x 16) para armazenamento de dados temporários e operações realizadas pelo processador; memória tipo EEPROM SPI (256 kb) com interface de comunicação padrão Serial Peripheral Interface (SPI) para armazenamento de quantidade restrita de dados; e conector (*Slot*) para cartão de memória padrão SD/MMC, que pode ser inserido e removido para armazenamento e transferência de quantidade massiva de dados, inclusive para o carregamento do sistema operacional e de aplicações ISO 11783.

O hardware da I-ECU ilustrado na Figura 2 contempla as seguintes interfaces de comunicação: porta Ethernet, porta padrão USB e porta padrão RS232 para comunicação com dispositivos eletrônicos especiais que utilizam dados e parâmetros mais elaborados (maior banda), como, por exemplo, aqueles utilizados em robôs móveis (câmera, varredor laser, sistema inercial e receptor GNSS); porta padrão RS232C, utilizada como interface em computador pessoal para gravação e depuração do firmware; e portas padrão CAN que viabiliza implementação física de rede

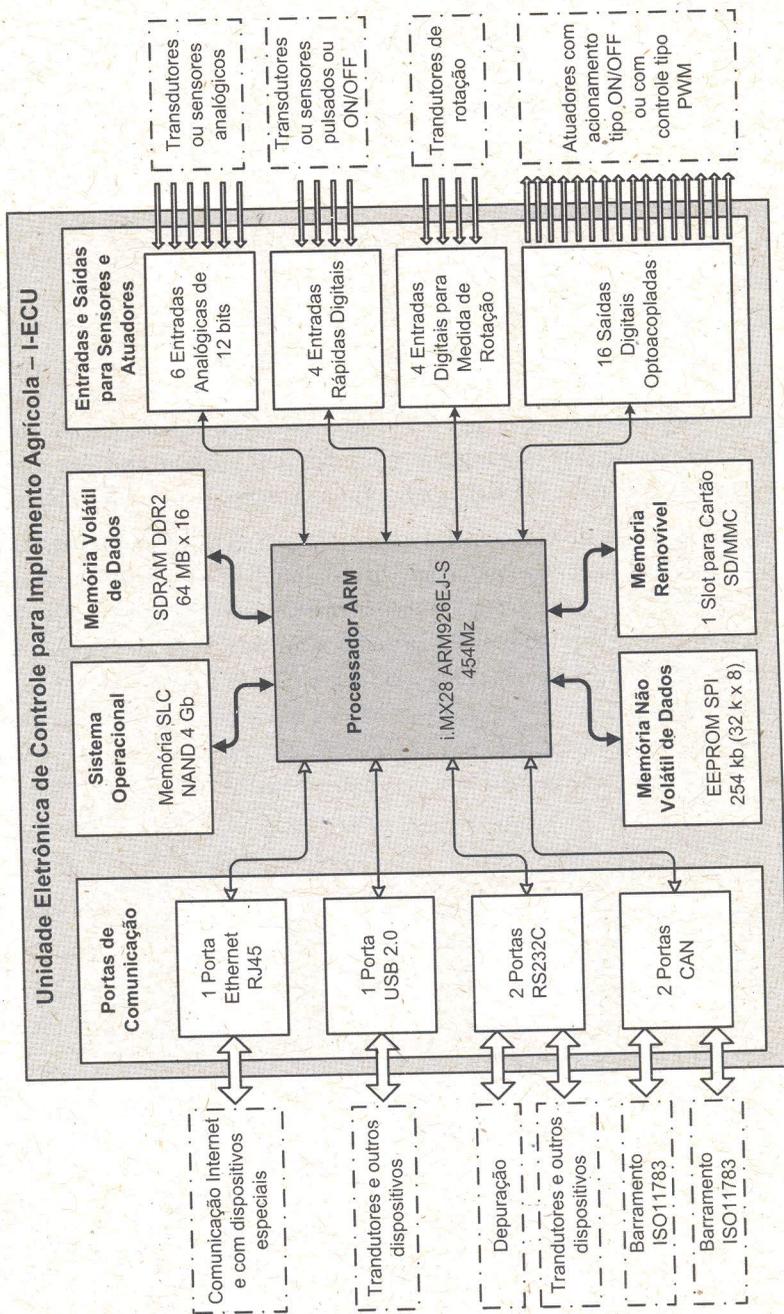


Figura 2. Diagrama funcional do circuito eletrônico da I-ECU.

ISO11783 (camada física). O hardware da I-ECU também contém entradas e saídas para sensores e atuadores com padrões comuns de mercado.

2.2 Norma Iso11783 - Isobus

No período em que a eletrônica embarcada começa a ser difundida em produtos comerciais nos EUA e na Europa, os agricultores passaram a demandar compatibilidade entre formato de arquivos e entre dispositivos eletrônicos. Dessa forma, surge a semente para a padronização internacional de comunicação eletrônica de dados e de sistemas de controle entre máquinas e implementos.

Atualmente, instituições de pesquisa, empresas e associações de normas concentram esforços significativos para padronização da eletrônica embarcada em máquinas e implementos agrícolas através da implantação da norma ISO11783. Observa-se também o esforço por parte de fabricantes de máquinas, implementos e de outros equipamentos para a promoção e para a implantação do Isobus. Como resultado dessas parcerias entre fabricantes, instituições de pesquisa e associações de normas, destaca-se a Agricultural Industry Electronics Foundation (AEF), uma organização internacional independente que tem o objetivo de promover não só a divulgação do padrão Isobus em diversos meios, como também criar e disponibilizar procedimentos e ferramentas para apoiar o desenvolvimento e a certificação de máquinas e equipamentos com essa tecnologia.

A norma ISO11783 tem como objetivo viabilizar a interconexão padronizada de sistemas eletrônicos embarcáveis através de um barramento de rede digital e permitir a comunicação de dados entre estes dispositivos sensores, atuadores e controladores nas máquinas e implementos agrícolas, assim como padronizar um formato de dados para interconexão com sistema externo à máquina. Como definido na norma, uma ECU pode ser responsável pela conexão de um ou mais dispositivos a um barramento de comunicação. Além disso, um dispositivo pode ser conectado a um barramento por uma ou mais ECU. O conjunto formado por uma ECU e por dispositivos conectados constitui um nó de rede padrão CAN. A ISO11783 adota o protocolo CAN como enlace de comunicação por fio e algumas especificações da norma foram baseadas na norma DIN9684 e muitas outras foram baseadas na norma SAE J1939. A documentação atual da norma ISO11783 é composta por 14 partes publicadas como padrões internacionais - International Standard (IS), elencados a seguir.

- Parte 1: Padrão Geral para Comunicação de Dados Móvel
- Parte 2: Camada Física
- Parte 3: Camada de Enlace de Dados
- Parte 4: Camada de Rede
- Parte 5: Gerenciamento de Rede
- Parte 6: Terminal Virtual
- Parte 7: Camada de Aplicação de Mensagens do Implemento
- Parte 8: Mensagens de Tomada de Potência
- Parte 9: ECU do Trator
- Parte 10: Controlador de Tarefa e Gerenciamento da Informação
- Parte 11: Dicionário de Elementos de Dados Móveis

— Parte 12: Serviços de Diagnósticos

— Parte 13: Servidor de Arquivos

— Parte 14: Controle de Sequência

Os sistemas projetados e desenvolvidos no padrão Isobus permitem uma maior conectividade entre máquinas e implementos agrícolas, independentemente dos fabricantes, além de evitar a redundância de sistemas eletrônicos (sensores, atuadores e terminais) instalados nas máquinas. Uma máquina agrícola que possua uma rede básica de comunicação no padrão ISO11783 é composta normalmente pelas seguintes unidades: Terminal Virtual (VT - *Virtual Terminal*) denominado pela AEF como Terminal Universal (UT - *Universal Terminal*); Unidade de Controle Eletrônico do Trator (TECU - *Tractor ECU*); Controlador de Tarefas (TC - *Task Controller*), e Unidade de Controle Eletrônico do Implemento (*Implement ECU*). O receptor GNSS não é obrigatório, mas sua utilização é definida na norma em compatibilidade com outra norma, a NMEA2000.

A Figura 3 apresenta um exemplo de conexão entre implementos com sensores *on-the-go* e uma máquina (trator) no padrão Isobus. Nessa Figura 3 utiliza-se a simbologia definida pela Norma ISA-S5 International Society of Automation (ISA) (em português, Sociedade Internacional de Automação) para compor o diagrama esquemático no qual a I-ECU descrita e ilustrada anteriormente na Figura 2 é utilizada como interface para um Sensor de Condutividade Elétrica do Solo (S_{CE}) e um Sensor de Índice de Vegetação (S_{IV}). Essas estruturas foram utilizadas no projeto mencionado anteriormente e os sensores comerciais empregados foram: sensor de condutividade elétrica do solo, desenvolvido pela Embrapa Instrumentação (RABELLO et al., 2011), e sensor ativo Crop Circle-ASC 470, da empresa Holland Scientific, que emite e capta o espectro de luz refletida em comprimentos de onda específicos pela planta, calculando índices relacionados com o seu estado nutricional. Os sensores utilizados no sistema automático de aquisição possuem dispositivo controlador de registro e conversão de dados (CTR) que dispõem de porta para transferência de dados baseada no padrão RS232C. O CTR de condutividade elétrica foi integrado à I-ECU através de sua porta RS232C, porém o CTR de índice de vegetação foi integrado à I-ECU através de interface CAN, tendo em vista a aplicação de mais de um sensor na mesma operação de mapeamento em campo (rede CAN permite diversos nós conectados à I-ECU).

Na Figura 3 observa-se que a I-ECU comunica-se através do barramento ISO11783 com VT, TECU e TC. O VT especificado na Parte 6 da norma é uma ECU com tela gráfica que promove a interface entre a máquina (trator e implemento) e o operador (ser humano), e fica localizada na cabine de operação da máquina agrícola. Quando um implemento Isobus é conectado em um trator Isobus, uma ECU de implemento qualificada como Mestre do Grupo de ECU (*Working Set Master*) fica responsável por interconectar todos os dispositivos do implemento e demais ECUs relacionadas com uma aplicação agrícola ao VT através de um arquivo padrão denominado *Object Pool* (OP), transmitido do implemento (I-ECU) para o trator (VT) pela rede. O *Object Pool* é um arquivo binário que contém a descrição de um conjunto de objetos definidos pela norma (máscaras, botões, variáveis, indicadores gráficos, figuras etc) que são exibidos no VT para representar graficamente as funções e parâmetros da ECU do implemento responsável pelo comando da aplicação agrícola. O protocolo de tratamento da interface gráfica é organizado de maneira orientada a objeto (*object-oriented*). As informações das ECUs conectadas ao barramento são mostradas na tela física do VT e são definidas pelo elementos *data mask* (máscara de

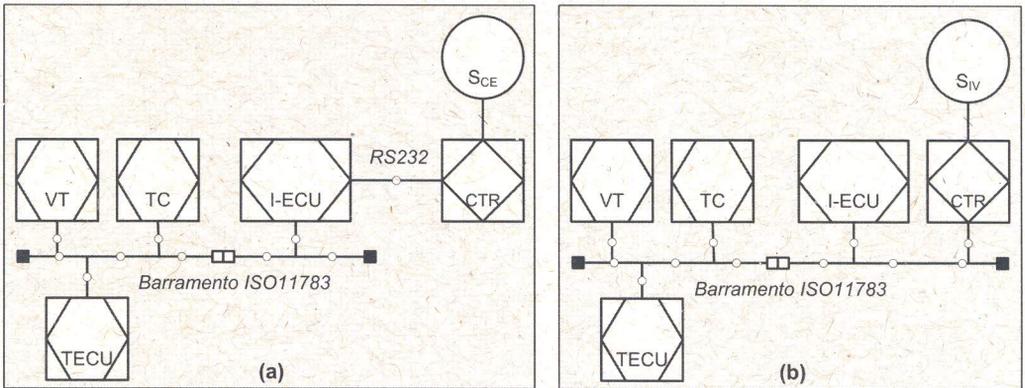


Figura 3. Sistemas de coleta e comunicação automática de dados baseado na ISO11783: (a) medição de condutividade elétrica; (b) medição de índice de vegetação.

dados), *alarm mask* (máscara de alarme) e *soft-key masks* (máscaras soft-key). Os dados dessas máscaras estão contidos em objetos de definições que em conjunto compõem o *Object Pool*.

A Tecu especificada na Parte 9 é uma Unidade de Interconexão de Rede (Network Interconnection Unit - NIU). As NIUs podem ser do tipo *Repeater* (Repetidor), *Brige* (Ponte), *Router* (Roteador) ou *Gateway* (Portal), com funções semelhantes às funções destes elementos nas redes de computadores pessoais convencionais. A Tecu é, portanto, uma NIU com funções especiais e faz a interconexão do Barramento do Trator com o Barramento de Implemento. O Barramento do Trator é a sub-rede onde podem estar conectadas ECU para parâmetros veiculares associados, por exemplo, com o motor e com a transmissão. O outro tipo é a sub-rede principal de implementos, denominada Barramento de Implemento, onde podem estar conectadas ECUs para parâmetros relacionados com aplicações agrícolas, como, por exemplo, plantio ou pulverização. A Tecu deve inicializar no barramento do implemento do mesmo modo que qualquer outra ECU na rede, e o seu acesso ao VT é idêntico ao de qualquer outro implemento e dispositivo, porém existem três classe possíveis de Tecu quanto às funções: Classe 1, Classe 2 e Classe 3.

A Tecu Classe 1 possui uma interface simples com suporte para rede e fornece principalmente medições internas do trator com as mesma informações definidas na norma ISO 11786, mais antiga que a ISO11783, comum em alguns tratores. Além disso, suporta o gerenciamento de energia, armazenamento do idioma de parâmetros específicos e permite o controle da iluminação do trator. A Tecu Classe 2 possui as funções de uma Tecu Classe 1 e tem funções adicionais com dados, tais como: hora e data, distância e direção baseados no solo e roda, informações da tomada de potência mecânica (PTO), todas as mensagens da iluminação do implemento e estados de válvulas auxiliares. Isto permite um controle mais sofisticado do implemento e uma estratégia de segurança. A Tecu Classe 3 é a mais completa e possui as funções das Tecu Classe 1 e Classe 2 e, além disso, esta categoria de Tecu aceita comandos do barramento do implemento. Em particular, os comandos básicos para engate traseiro, desacoplamento da potência e o processamento do controle de válvulas auxiliares. Portanto, o implemento está hábil a controlar a potência desejada na fonte e a posição do engate.

O TC especificado na Parte 10 é uma ECU especial responsável pelo envio, recebimento e armazenamento de dados de processos agrícolas, e, além disso, contém a interface de dados para

sistemas computacionais externos à máquina agrícola. Essa ECU é responsável por gerenciar o controle de tarefas pré-determinadas, sendo que as tarefas são prescritas previamente, e são transmitidas para o trator no formato de arquivo XML (Extensible Markup Language). Para que as tarefas possam ser realizadas, um implemento Isobus compatível deve enviar as características de seus dispositivos ao TC utilizando um arquivo denominado Device Description Object Pool (DDOP); também no formato XML. Essa ECU não possui um tela gráfica e por isso pode apresentar as tarefas e as funções relacionadas no VT.

3 Modelo conceitual de integração de informação

A interpretação da enorme quantidade de dados coletados, a compreensão das causas da variabilidade e a proposta de estratégias sólidas para a gestão de sistemas agropecuários e agroindustriais têm demandado sistemas de informação específicos para a agropecuária, que possam melhorar as estratégias de manejo da lavoura e animal, contribuir com a gestão do agronegócio, viabilizar a regulamentação governamental e padronizar os processos que viabilizam a rastreabilidade e a certificação de produtos agropecuários. Em particular para a AP, dentre as diversas abordagens existentes relacionadas ao tema, é comum encontrar citações referentes à coleta massiva de dados, sistemas georreferenciados, geração de mapas e aplicação de insumos à taxa variável. Entretanto, essas operações quando realizadas de forma isoladas, ou sem um gerenciamento adequado, não providenciam ganhos efetivos ou, geram informações desconstruídas.

O projeto, desenvolvimento e implantação de um sistema de informação de gestão agrícola ou FMIS para processos de produção agrícola deve contemplar várias entradas de dados, originadas de diferentes equipamentos em diferentes formatos, incluindo formatos que atendam à norma ISO11783. Além disso, principalmente no contexto da AP, é necessário oferecer suporte ao gerenciamento de informações geográficas e capacidade de processamento de modelos biológicos, capazes de relacionar parâmetros descritivos com informações de solo, atributos biológicos dos cultivos e parâmetros climatológicos. Diante desse panorama, confrontando os requisitos mínimos de sistemas automação e os requisitos funcionais de processos comuns das práticas de AP com as mensagens definidas na norma ISO11783, determina-se o grupo de mensagens explicitados na Tabela 1.

Tabela 1. Grupo de mensagens com informações comunicadas entre um sistema automatizado embarcado e um FMIS.

Tipo de serviço	Documento da norma	Parâmetro
Operação trator-implemento	ISO11783-7	Navegação, tomada de potência, engates traseiro e dianteiro, supervisão e controle processos, comando de atuadores do implemento e leitura sensores do implemento.
Dados automotivos	ISO11783-8	Motor, transmissão, freios, caixa de marcha e sistema de combustível
Operação trator	ISO11783-9	Sistema hidráulico do implemento, tomada de potência, gerenciamento de potência e navegação (velocidade e distância baseado nas rodas e solo).
Diagnóstico de sistemas	ISO11783-12	Protocolos para diagnóstico e identificação de ECUs, versão de softwares e certificação.

Os grupos de mensagens descritos na Tabela 1 estão disponíveis pelo TC de um sistema Isobus compatível (trator, colhedora ou robô móvel) e são fundamentais para alimentar um FMIS com as informações que atendam às necessidades citadas no contexto da AP. Esses grupos contêm informações tanto para gerenciamento da operação da máquina agrícola e seu implemento, como também para gerenciamento da operação ou tarefa agrícola em cada aplicação.

Os grupos de mensagens definidos na Tabela 1 contem parâmetros a serem comunicados pelo TC entre um sistema automatizado de um conjunto trator-implemento com um FMIS. Para que as tarefas possam ser realizadas, os sistemas ISO11783 compatíveis enviam as características de seus dispositivos para o TC utilizando o arquivo DDOP. Entretanto, a norma ISO11783 não estabelece um meio específico para a transferência de dados entre a máquina agrícola e um FMIS, mas estabelece no documento ISO 11783-10 uma padronização baseada na linguagem de marcação XML que permite a criação de documentos com dados organizados hierarquicamente, tais como, textos, banco de dados ou desenhos vetoriais. São definidos no documento formatos de dados, parâmetros necessários para o controle de processos agrícolas e formatos de mensagens para comunicação entre um FMIS e o TC.

A Figura 4 mostra o modelo conceitual para a arquitetura de integração entre um sistema embarcado automatizado, baseado na norma ISO11783, e o FMIS, por meio de um terminal de acesso implantado em computador pessoal.

Na Figura 4 observa-se que a I-ECU descrita em item anterior e ilustrada na Figura 2 comunica-se através do barramento ISO11783 com o VT, com o TECU e com o TC. A I-ECU conectada à rede ISO11783 é qualificada como Mestre do Grupo, sendo responsável por interconectar todos os dispositivos do implemento e demais ECUs relacionadas à aplicação agrícola com o VT através de arquivo tipo OP trafegado na rede. De forma similar a I-ECU comunica-se com o TC através do DDOP tanto para executar alguma tarefa (comando de aplicação), assim como para comunicar variáveis agrônômicas ou dos sistemas de aplicação que forem registradas ao longo da execução da tarefa.

Os dados referentes a processos agrícolas, seguindo o fluxo ilustrado na Figura 4, podem ser transferidos para o conjunto máquina-implemento utilizando identificadores próprios para mensagens de dados de processo especificados no Dicionário de Dados (base de dados denominado ISO 11783-11)⁶. As mensagens descritas na Tabela 1 podem ser utilizadas para a transmissão de dados medidos ou comandos para um ou mais controladores associado à ECU, sendo que a identidade dos dados é determinada por uma entrada do Dicionário de Dados.

Como ilustrado na Figura 4, o FMIS deve possuir um elemento de conversão e comunicação de dados para acesso a serviços providos pelo FMIS. Entre as funcionalidade do FMIS estão incluídas o acesso a bancos de dados geográficos e agrícolas que armazenam as informações referentes a aquisição automática dos dados colocados na Tabela 1. O uso dessas informações dentro do processo de gestão agrícola pode trazer resultados positivos e bastante significativos, como, por exemplo: redução do consumo de combustível, redução dos custos para manutenção das máquinas, redução do tempo da máquina parada (no campo ou no pátio), melhoria na logística de distribuição das máquinas em campo e no processo de logística, monitoramento e controle mais preciso de operações agrícolas, entre outros. Além disso, é possível acompanhar a eficiência da

⁶ Disponível em: <<http://dictionary.isobus.net/Isobus>>.

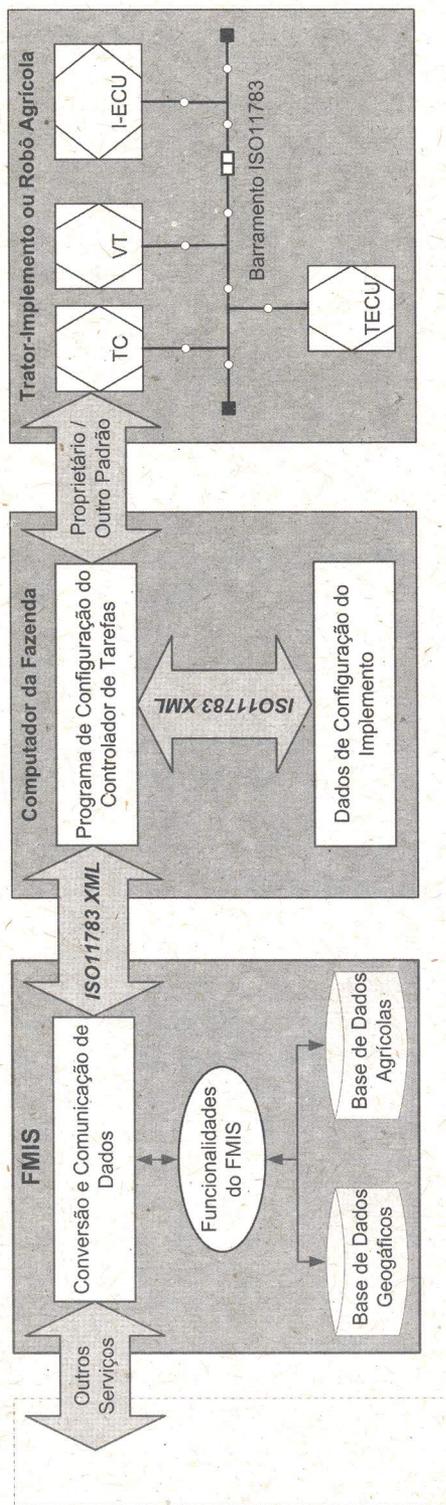


Figura 4. Arquitetura de integração entre um sistema embarcado ISO11783 e um FMIS: elementos, interfaces e fluxo de dados.

aplicação, ou seja, acompanhar parâmetros de execução de cada tarefa, como, por exemplo, valores efetivamente aplicados de insumos, valores de sementes efetivamente plantadas, registros de falhas em atuadores, entre outros.

Num sentido mais amplo, não há um limite físico do número de elementos de automação que podem ser implantados em uma máquina agrícola, seja de sensores, atuadores ou controladores, e sendo assim, desde que tais elementos sejam devidamente integrados à estrutura, como prescreve a norma ISO11783, o número de parâmetros, variáveis, comandos ou informações comunicadas com o sistema de gestão está limitado à necessidade ou à criatividade da engenharia dos sistemas agrícolas.

4 Considerações finais

A multidisciplinaridade envolvida no setor agrícola atual faz com que diversos métodos, baseados em distintas áreas da ciência, sejam desenvolvidos visando a uma mesma aplicação. Da mesma forma, uma determinada tecnologia não fica restrita a melhorar uma única prática, mas é empregada em múltiplas situações, auxiliando no processo como um todo. Devido ao processo contínuo de evolução das áreas que envolvem ou interagem com a instrumentação eletrônica, automação e robótica, tais como, microeletrônica, sensores, computadores, telecomunicações, tecnologia da informação e da comunicação, o potencial de inovações foi ainda muito pouco explorado.

Dentre as tecnologias que apresentam forte pressão de demanda à mecanização e automação para a agropecuária, o foco ainda é pelo aumento da produtividade através da melhora ou da viabilização de processos tais como: medidas massivas de propriedades físicas e químicas do solo; acompanhamento da produção vegetal e volume de biomassa; medição e acompanhamento de disponibilidade de água; identificação e monitoramento de pragas (doenças, plantas invasoras, insetos), e identificação e monitoramento da saúde e nutrição animal. As tecnologias que tem sido adaptadas, desenvolvidas e exploradas na agricultura para atender a essas demandas, seja através do sensoriamento local ou remoto ou para a aplicação, carecem de modelos de referência e padronização, primeiramente, para viabilizar aquisição, comunicação, integração e manipulação de dados identificados ou georreferenciados, e, posteriormente, viabilizar a transformação desses dados em informações que relacionem variáveis ou parâmetros diversos, como, por exemplo, dados de solo, atributos biológicos dos cultivos e parâmetros climatológicos, para suporte à tomada de decisão.

A pesquisa e o desenvolvimento de tais modelos de referência e padrões apresentam caráter multidisciplinar e necessitam da promoção de agrupamento de competências e habilidades nos temas e áreas com interfaces comuns para geração e integração de novos conhecimentos e informações. Além disso, se há um grande espaço para melhoria e inserção de tecnologias, existe um outro gargalo no momento que é a formação de profissionais qualificados para pesquisa, desenvolvimento e aplicação dessas tecnologias. Essa qualificação deve ser orientada tanto ao nível técnico como ao nível acadêmico, e deve ser promovida tanto por instituições públicas como privadas. Dessa forma, essas duas vertentes, criação de tecnologia e desenvolvimento, competências e habilidades, são fundamentais para o fortalecimento e a sustentabilidade da agropecuária e do agronegócio no Brasil.

5 Referências

- AGRICULTURAL INDUSTRY ELETRONICS FOUNDATION. 2014. Disponível em: <<http://www.aef-online.org/>>. Acesso em: 24 set. 2014.
- BACKMAN, J.; OKSANEN, T.; VISALA, A. Applicability of the ISO 11783 network in a distributed combined guidance system for agricultural machines. **Biosystems Engineering**, London, v. 114, n. 3, p. 306-317, Mar. 2013. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2012.12.017.
- BAKKER, T.; ASSELT, K. VAN; BONTSEMA, J.; MULLER, J.; STRATEN, G. van. Autonomous navigation using a robot platform in a sugar beet field. **Biosystems Engineering**, London, v. 109, n. 4, p. 357-368, Aug. 2011. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2011.05.001.
- CARIOU, C.; LENAIN, R.; THUILOT, B.; BERDUCAT, M. Automatic guidance of a four-wheel-steering mobile robot for accurate field operations. **Journal of Field Robotics**, Hoboken, v. 26, n. 6-7, p. 504-518, July, 2009. DOI:10.1002/rob.20282.
- CHEEIN, A. F.; STEINER, G.; PAINA, G. P.; CARELLI, R. Optimized EIF-SLAM algorithm for precision agriculture mapping based on systems detection. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 78, n. 2, p. 195-207, Sept. 2011. DOI:10.1016/j.compag.2011.07.007.
- DONG, F.; HEINEMANN, W.; KASPER, R. Development of a row guidance system for an autonomous robot for white asparagus harvesting. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 79, n. 2, p. 216-225, Nov. 2011. DOI: 10.1016/j.compag.2011.10.002.
- FAO. **How to feed the world in 2050**. Rome, 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/wsfs/forum2050/wsfs-background-documents/issues-briefs/en/>>. Acesso em: 24 set. 2014.
- GRIEPENTROG, H. W.; DÜHRING, J. C. L.; PARAFOROS, D. S. Robots for field operations with comprehensive multilayer control. **KI - Künstliche Intelligenz**, Heidelberg, v. 27, n. 4, p. 325-333, June, 2013. DOI 10.1007/s13218-013-0266-z
- INAMASU, R. Y.; NAIME, J. de M.; RESENDE A, V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação. 2011. 334 p. il.
- INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION. **ISO11783: tractors and machinery for agriculture and forestry - serial control and communications data network**. Disponível em: <<http://www.iso.org/>>. Acesso em: 24 set. 2014.
- KARNOUSKOS, S.; COLOMBO, A. W. Architecting the next generation of service-based SCADA/DCS system of systems. In: ANNUAL CONFERENCE ON IEEE INDUSTRIAL ELECTRONICS SOCIETY, 37., 2011, Karlsruhe. p. 359-364.
- NIKKILÄ, R.; SEILONEN, I.; KOSKINEN, K. Software architecture for farm management information systems in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 70, n. 2, p. 328-336, Mar. 2010. DOI: 10.1016/j.compag.2009.08.013.
- PEETS, S.; MOUAZEN, A. M.; BLACKBURN, K.; KUANG, B.; WIEBENSOHN, J. Methods and procedures for automatic collection and management of data acquired from on-the-go sensors with application to on-the-go soil sensors. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 81, n. 1, p. 104-112, Feb. 2012. DOI: 10.1016/j.compag.2011.11.011.
- PETERSON, G. L.; DUFFY J. P.; HOOPER, D. J. Dynamic behavior sequencing for hybrid robot architectures. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, Dordrecht, v. 64, n. 2, p. 179-196, Nov. 2011. DOI 10.1007/s10846-010-9535-3

RABELLO, L. M. ; INAMASU, R. Y. ; BERNARDI, A. C. de C. ; NAIME, J. M. ; MOLIN, J. P. Mapeamento da condutividade elétrica do solo - sistema protótipo. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. de C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 41-45.

SLAUGHTER, D. C.; GILES, D. K.; DOWNEY, D. Autonomous robotic weed control systems: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 61, n. 1, p. 63-78, Apr. 2008. DOI: 10.1016/j.compag.2007.05.008.

SØRENSEN, C. G.; FOUNTAS, S.; NASH, E; PESONEN, L; BOCHTIS, D.; PEDERSEN, S. M; BASSO, B.; BLACKMORE, S. B. Conceptual model of a future farm management information system. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 72, n. 1, p. 37-47, June 2010. DOI: 10.1016/j.compag.2010.02.003.

STEINBERGER, G.; ROTHMUND, M.; AUERNHAMMER, H. Mobile farm equipment as a data source in an agricultural service architecture. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 65, n. 2, p. 238-246, Mar. 2009. DOI: 10.1016/j.compag.2008.10.005.