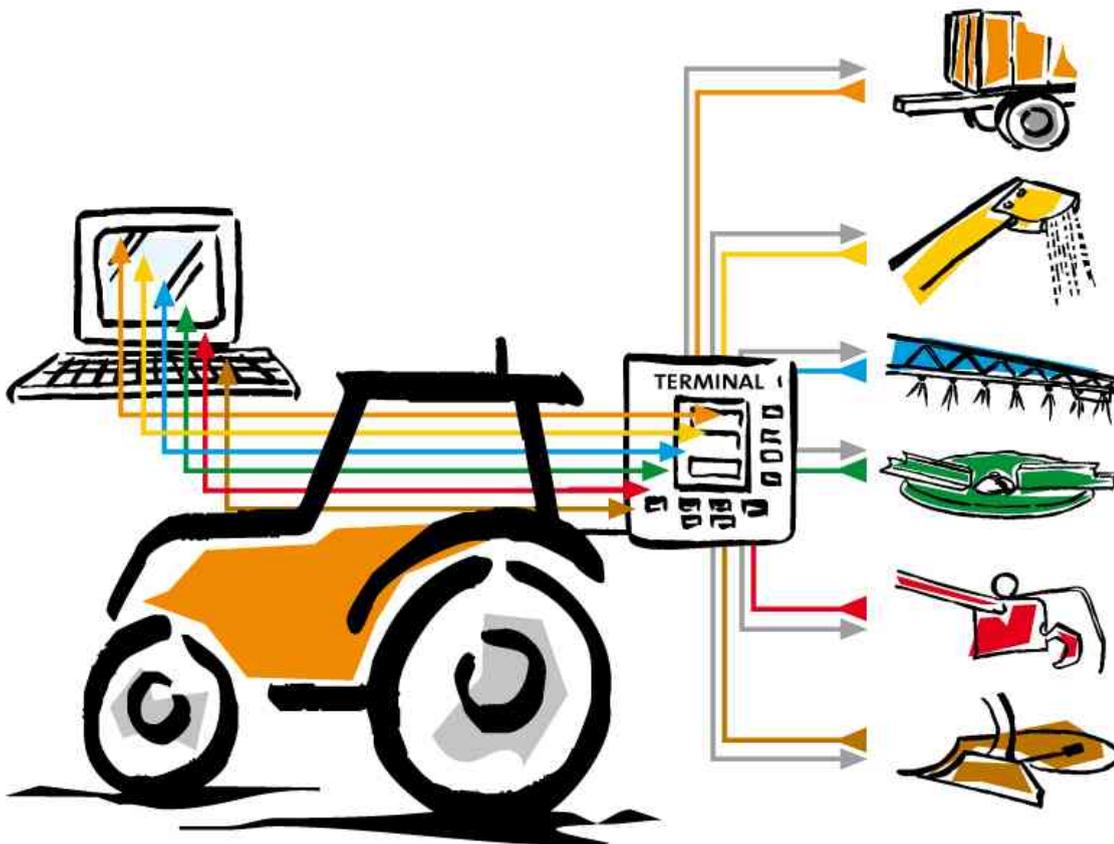


Documentos

ISSN 1518-7179
Novembro, 2007

27

Redes Embarcadas em Máquinas e Implementos Agrícolas: o Protocolo CAN (Controller Area Network) e a ISO11783 (ISOBUS)



ISSN 1518-7179

Novembro, 2007

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Instrumentação Agropecuária
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

Documentos 27

Redes Embarcadas em Máquinas e Implementos Agrícolas: o Protocolo CAN (Controller Area Network) e a ISO11783 (ISOBUS)

Rafael Vieira de Sousa
Eduardo Paciência Godoy
Arthur José Vieira Porto
Ricardo Yassushi Inamasu

Embrapa Instrumentação Agropecuária
São Carlos, SP
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Instrumentação Agropecuária

Rua XV de Novembro, 1452
Caixa Postal 741
CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: (16) 3374 2477
Fax: (16) 3372 5958
www.cnpdia.embrapa.br
E-mail: sac@cnpdia.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz
Membros: Dra. Débora Marcondes Bastos Pereira Milori,
Dr. João de Mendonça Naime,
Dr. Washington Luiz de Barros Melo
Valéria de Fátima Cardoso
Membro Suplente: Dr. Paulo Sérgio de Paula Herrmann Junior

Supervisor editorial: Dr. Victor Bertucci Neto
Normalização bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso
Tratamento de ilustrações: Valentim Monzane
Foto da capa: Fábio Ruiz Simões
Editoração eletrônica: Valentim Monzane

1ª edição

1ª impressão (2007): tiragem 300

Todos os direitos reservados.

**A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).**

**CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.
Embrapa Instrumentação Agropecuária**

S725r Sousa, Rafael Vieira de
Redes embarcadas em máquinas e implementos agrícolas: o Protocolo
CAN (Controller Area Network) e a ISO11783 (ISOBus). / Rafael Vieira de
Sousa, Eduardo Paciência Godoy, Arthur José Vieira Porto, Ricardo Yassushi
Inamasu. - São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2007.
40 p. - (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Documentos,
ISSN 1518-7179; 27).

1. Eletrônica embarcada. 2. ISOBus. 3. ISO 11783. 4. Fieldbus. 5. CAN -
Controller Área Network. 6. Máquinas agrícolas Comunicação. 7. Protocolos
de distribuição. 8. Sistemas distribuídos. 9. Engenharia agrícola. I. Godoy,
Eduardo Paciência. II. Porto, Arthur José Vieira. III. Inamasu, Ricardo Yassushi.
IV. Título. IV. Série.

CDD 21 ED. 004.6
003.78
631.3

© Embrapa 2007

Autores

Rafael Vieira de Sousa

Engenheiro Eletrônico, Dr., Universidade de São Paulo,
São Carlos, SP, rafael.sousa@gmail.com

Eduardo Paciência Godoy

Engenheiro de Controle e Automação, Ms.,
Universidade de São Paulo,
São Carlos, SP, epgodoy@yahoo.com.br

Arthur Jose Vieira Porto

Engenheiro Mecânico, Dr.,
Professor Titular da Universidade de São Paulo,
São Carlos, SP, ajvporto@sc.usp.br

Ricardo Yassushi Inamasu

Engenheiro Mecânico, Dr.,
Embrapa Instrumentação Agropecuária,
Rua XV de Novembro, 1452
C. P. 741 - CEP 13560-970
São Carlos, SP
ricardo@cnpdia.embrapa.br

Apresentação

Esta publicação, que chega ao nosso público através da série Documentos da Embrapa, apresenta uma descrição geral do protocolo CAN (*Controller Area Network*), discute formas de implementar ECU (*Electronic Control Unit*) CAN (*dispositivos eletrônicos com interface CAN*) e descreve as partes que compõem a ISO 11783 (ISOBUS).

Foi elaborado para dar suporte ao mini-curso sobre redes embarcadas em máquinas e implementos agrícolas do II WORKSHOP ISOBUS (21 e 22 de Fevereiro de 2008, Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, SP), com o objetivo principal de apresentar ao participante do treinamento o protocolo de comunicação digital CAN, assim como, sua aplicação em máquinas e implementos agrícolas com a implementação do padrão ISOBUS e ensinar como especificar uma rede embarcada baseada no protocolo CAN e na ISOBUS segundo necessidades de aplicação.

A Embrapa Instrumentação Agropecuária mantém-se na linha fronteira do avanço científico e tecnológico ao integrar a força tarefa ISOBUS Brasil, inserindo o nosso país no esforço internacional de padronização de comunicação entre tratores e implementos agrícolas, em ação que deverá trazer benefícios para diversos segmentos relacionados ao agronegócio: agricultores, assistência técnica, distribuidores e fabricantes.

Álvaro Macedo da Silva
Chefe Geral

Sumário

Introdução	9
Redes de Computadores	10
Redes de Campo - Fieldbus	12
CAN - Controller Area Network	12
Camada Física	14
Mecanismo de Acesso ao Meio	15
Tipos de Quadros	17
Detecção e Controle de Erros	20
Filtros de Mensagens	21
Protocolos de Alto Nível	21
Implementações de Padrões	24
Projeto do Circuito de ECU's	24
Interface CAN Padrão - ICAN	26
ISO 11783	28
O CAN e a ISO 11783	29
A Camada Física	29
A Camada de Enlace de Dados	30
Protocolos de Alto Nível	33
Camada de Rede	33
Administração de Rede	35
Mensagens de Implemento e Mensagens Automotivas	36
Terminal Virtual e ECU do Trator	37
Controlador de Tarefas	37
Conclusões	38
Referências	39
Anexos	41
Lista de Abreviaturas e Siglas	41
Esquemático do Circuito da Interface ICAN descrita na seção II.2	42

Redes Embarcadas em Máquinas e Implementos Agrícolas: o Protocolo CAN (Controller Area Network) e a ISO 11783 (ISOBUS)

Rafael Vieira de Sousa
Eduardo Paciência Godoy
Arthur José Vieira Porto
Ricardo Yassushi Inamasu

Introdução

O desenvolvimento de sistemas computacionais e o desenvolvimento de redes computacionais para integração destes sistemas foram conquistas tecnológicas marcantes do século XX, que influenciaram direta ou indiretamente os diversos setores de atividade humana.

Pesquisas em diversas áreas da ciência têm possibilitado o surgimento de novas tecnologias que ampliam as definições clássicas de sistema computacionais e de redes computacionais. Sistemas computacionais baseados em dispositivos ópticos, ou ainda, baseados em interações moleculares são exemplos da diversidade destas novas tecnologias.

Neste documento, um sistema computacional, ou simplesmente computador, em sua forma mais elementar, deve ser entendido como um conjunto formado por unidade de processamento, unidade de armazenamento e unidade de interface de entrada e saída para interação com sistemas externos. Tais unidades são compostas por circuitos elétricos analógicos e/ou digitais e por programas computacionais. Por sua vez, uma rede computacional, ou simplesmente rede, deve ser entendida como um conjunto computadores com circuitos elétricos analógicos e/ou digitais e programas computacionais de interface, que permitam a comunicação entre estes computadores, através de um ou mais meios físicos, utilizados para propagação de informação.

Outros dois conhecimentos importantes para entendimento de redes digitais de comunicação de dados são o conceito de *Bit* e o processo de transmissão de informações binarizadas. As informações em redes digitais trafegam no formato binário, ou seja, as informações são representadas (codificadas) por bits e transmitidas nesse formato. Assim, pode-se afirmar que o bit (simplificação para dígito binário, "Binary digiT" em inglês) é a menor unidade de informação e pode ter dois valores, 0 ou 1, ou verdadeiro ou falso, ou neste contexto quaisquer dois valores mutuamente exclusivos.

A transmissão dos bits (comunicação digital) através de um meio físico consiste, geralmente, na variação de uma característica de um sinal de acordo com os zeros e uns que representam a informação. Pode-se ilustrar a comunicação digital através do processo para transmissão da letra S (informação) em um sistema simples mostrado na Fig. 1. Nesse processo podemos identificar as seguintes etapas:

- a) Codificação: para transmitir a letra S, representa-se (codifica-se) essa letra por um número binária, por exemplo, 0101 0011 (informação digital);
- b) Transmissão: varia-se a tensão elétrica sequencialmente (pulsos) em um extremo do condutor através de uma chave simples. A variação ocorre com uma determinada frequência e em dois níveis, 0V e 5V, sendo que 0V representa o bit 0 e 5V representa o bit 1.
- c) Recepção: a variação da tensão (pulsos) pode ser medida no outro extremo do condutor e a informação digital interpretada.

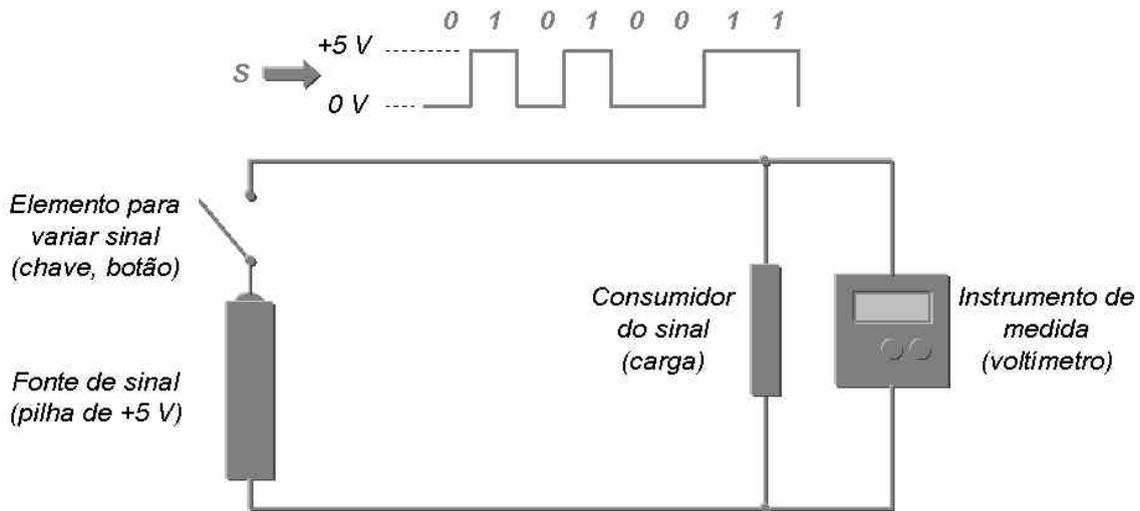


Fig. 1 - Exemplo de um de um sistema para transmissão digital

A informação digital é transmitida pelo sistema da Fig. 1 através da operação da chave que, quando aberta elimina a fonte de sinal (pilha) do circuito impondo 0V aos terminais do instrumento de medida no outro extremo do meio condutor (bit 0). Quando a chave é fechada a fonte de sinal é inserida no circuito impondo 5V aos terminais do instrumento de medida (bit 1).

Em sistemas de comunicação, o volume de tráfego em redes digitais é geralmente descrito em bits por segundo (b/s), que no exemplo da Figura 1 relaciona-se com a frequência com que a chave opera. Por exemplo, "um modem de 56 kpbs é capaz de transferir dados a 56 kilobits em um único segundo" (o que equivale a 7 kilobytes, 7 KB, com B maiúsculo para denotar a unidade em bytes e não a bits 1 byte é um conjunto de oito bits).

Redes de Computadores

Com a finalidade de facilitar a compreensão, o projeto e a implementação de uma rede de computadores, a estrutura de uma rede é dividida em *níveis* ou *camadas* que têm a função de oferecer determinado serviço para camada imediatamente superior. Assim uma camada é constituída por um conjunto circuitos eletrônicos e/ou programas que implementam determinados *serviços* a uma camada superior, formando uma interface transparente entre as camadas, ou seja, a camada superior utiliza os serviços de uma camada inferior, sem a necessidade da camada superior ter informações sobre a implementação dos serviços pela camada inferior. A divisão em camadas e a implementação de serviços transparentes permitem que uma determinada camada em um computador se comunique com uma camada análoga em outro computador, trocando informações sem a necessidade de conhecerem de que forma as camadas inferiores implementam a comunicação.

O conjunto de regras e convenções que uma camada utiliza para se comunicar com a camada análoga em outra máquina é denominado *Protocolo*. Uma camada pode ser constituída por um ou mais protocolos que são definidos de forma a implementarem os serviços de cada camada.

A *ISO International Organization for Standardization* propôs um modelo para a estrutura de camadas de uma rede. Este modelo é denominado *Modelo de Referência OSI (Open Systems Interconnection)*, ou simplesmente modelo OSI, e foi sugerido com o intuito de padronizar internacionalmente o projeto de redes. O modelo OSI foi definido com sete camadas, que são: Física, Enlace de Dados, Redes, Transporte, Sessão, Apresentação e Aplicação. A Figura 2 ilustra as sete camadas definidas para o modelo, as interfaces de serviço e a arquitetura de protocolos.

Indústrias, universidades, associações de normas e outros grupos interessados em integrar sistemas computacionais em redes específicas para aplicações próprias, têm desenvolvido *Padrões* que utilizam os conceitos do modelo OSI. Muitos destes padrões são desenvolvidos com apenas alguns protocolos ou camadas, proporcionando a cada usuário desenvolver outros protocolos e camadas, para criar, desta forma, uma rede adequada à aplicação desejada. Existe um número grande de padrões para atender as necessidades de aplicações diversas, como por exemplo, em redes de computadores pessoais, sistemas de comunicação de voz e imagem, sistemas de posicionamento, sistemas de instrumentação e sistemas de automação e controle em veículos, plantas industriais e residências entre outros.

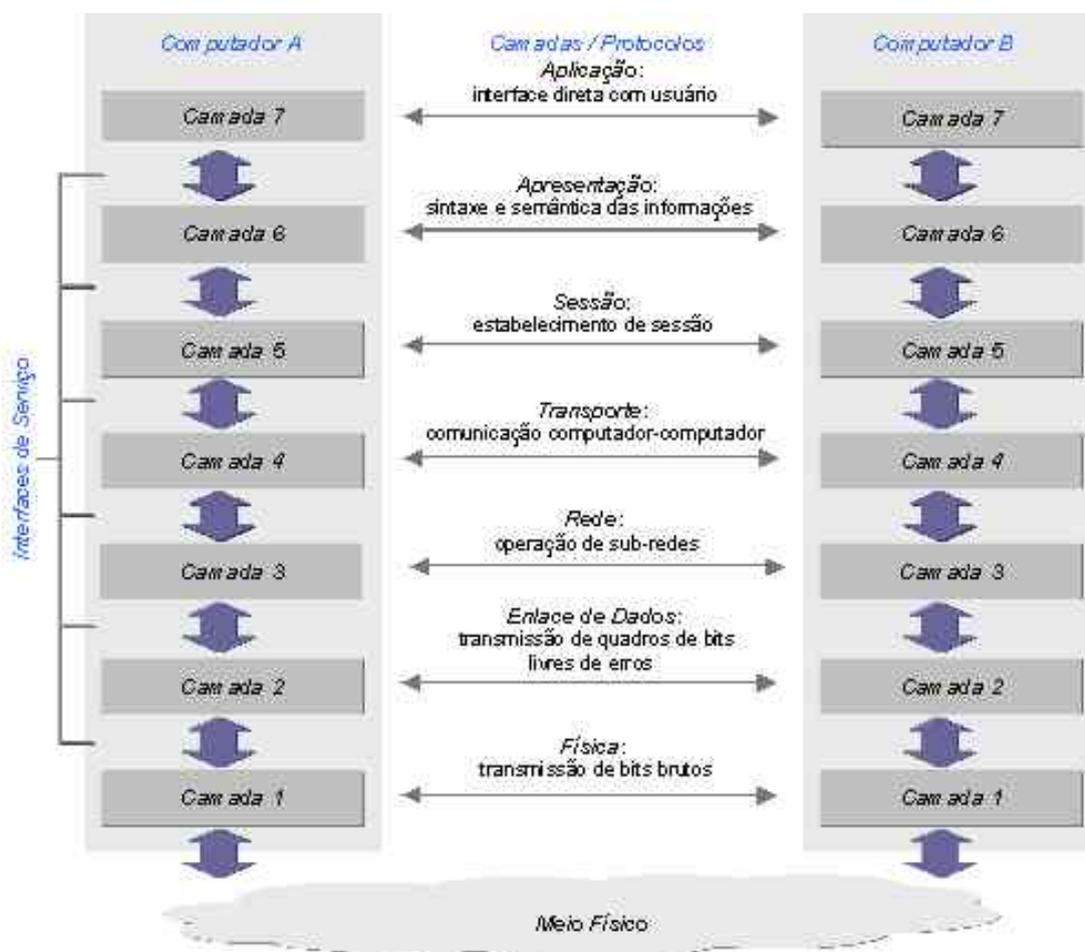


Fig. 2 - Ilustração do modelo ISO/OSI

Redes de Campo - Fieldbus

No setor de automação industrial se destaca uma classe de rede denominada *Barramento de Campo* ou *Fieldbus*. Um *Barramento* é um conjunto formado por fios, conectores e dispositivos de potência para promover a interconexão de dispositivos e permitir a comunicação entre estes. A definição tradicional para fieldbus foi de uma rede digital serial multiponto para conexão de dispositivos de campo (sensores e atuadores) e de controle (computadores industriais, controles lógicos programáveis CLP's e terminais de configuração, manutenção e supervisão), ou seja, uma rede com dispositivos de campo e de controle que compartilham um único meio para comunicação digital de dados. Esse conceito ampliou-se com o surgimento de novas tecnologias baseadas em novos protocolos de comunicação, que permitem implementar esta classe de redes com controle distribuído, utilizando dispositivos com maior capacidade de processamento, freqüentemente denominados *Transdutores Digitais Inteligentes (TDI's)*. A Figura 3 ilustra uma rede fieldbus com dispositivos de campo e de controle utilizados em plantas industriais.

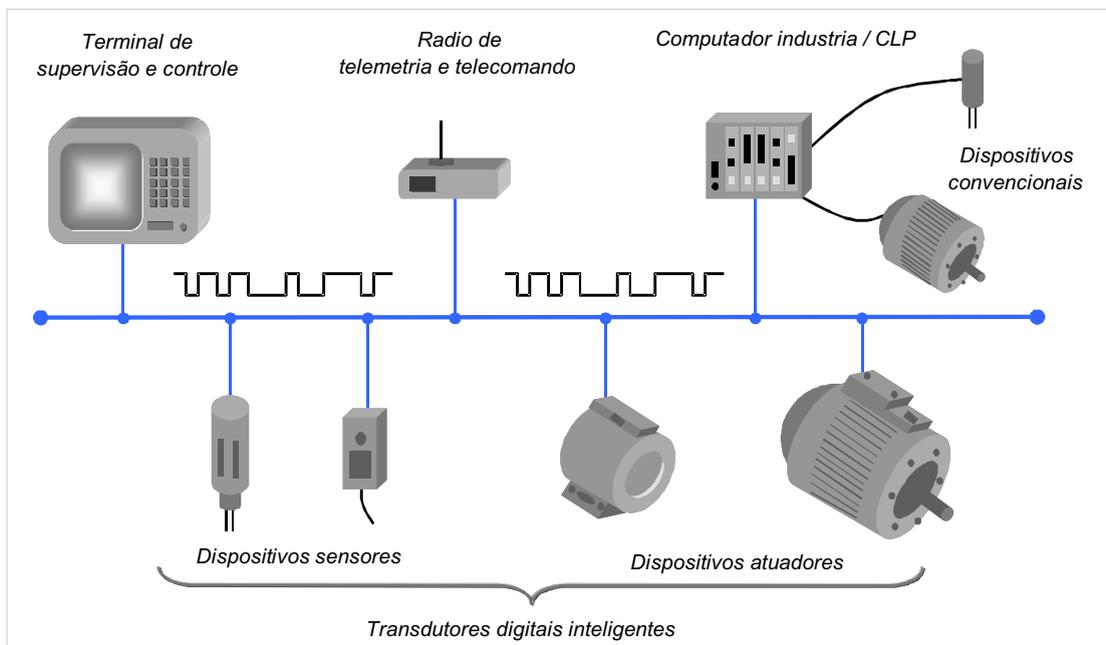


Fig. 3 - Fieldbus com dispositivos de campo e de controle

As tecnologias de *redes fieldbus*, inicialmente utilizadas em automação de plantas industriais, têm se expandido para outras áreas. Estas tecnologias têm sido empregadas em sistemas de automação e controle em aplicações diversas, como por exemplo, em veículos, residências e laboratórios.

CAN - Controller Area Network

Sob os conceitos de *fieldbus* foi desenvolvido o protocolo de comunicação digital serial *CAN - Controller Area Network* - ou *Rede de Área de Controle*. O CAN foi desenvolvido na década de oitenta por Bosch (2007) para promover a interconexão entre dispositivos de controle em automóveis, mas em poucos anos esta tecnologia migrou para outras áreas. Atualmente encontram-se padrões baseados no CAN em outros tipos de veículos, como caminhões, ônibus, barcos, satélites, máquinas agrícolas, máquinas da construção civil e máquinas militares. Outros padrões com o CAN foram desenvolvidos para automação de

plantas industriais, aplicações na área de robótica e para aplicações em instrumentação, como em instrumentação médica e agrícola.

A crescente popularidade de aplicações com CAN em sistemas de automação e controle é sustentada, entre outros fatores, por este possuir, em relação a outros padrões, características muito próprias para tais sistemas, das quais são importantes:

- Possibilidade de configurações para operar com taxas de comunicação de poucos Kb/s até 1 Mb/s;
- Comunicação de dados utilizando dois fios, o que reduz o custo e complexidade da implementação física e promove proteção às interferências eletromagnéticas;
- Tamanho de dados por quadro otimizado, que permite a transmissão de dados comuns a dispositivos de sistemas de controle, com pequeno intervalo de tempo de ociosidade para cada dispositivo;
- Utilização de um método de arbitragem para acesso ao meio para transmissão de dados o que evita colisões e permite uma resposta rápida à necessidade de transmissão;
- Possibilidade de implementação de rede com comunicação ponto-a-ponto (entre dois dispositivos), por multidifusão (de um dispositivo para um grupo de dispositivos) ou por difusão (de um para todos dispositivos);
- Mecanismos de identificação de erros e de tolerância a falhas que permitem a implementação de redes bastante robustas;
- Flexibilidade para adição, remoção e mudança de dispositivos, que favorecem as operações de manutenção e alterações no sistema;

O protocolo CAN, como desenvolvido por Bosch (2007), foi padronizado e documentado internacionalmente pela ISO, gerando a *Norma ISO 11898*, para aplicações de alta velocidade e a *Norma ISO 11519*, para aplicações de baixa velocidade. Estes padrões apresentam camada física e camada de enlace de dados em acordo com o modelo OSI. A Figura 4 mostra as camadas desenvolvidas para o CAN relacionando-as com as camadas do modelo OSI.

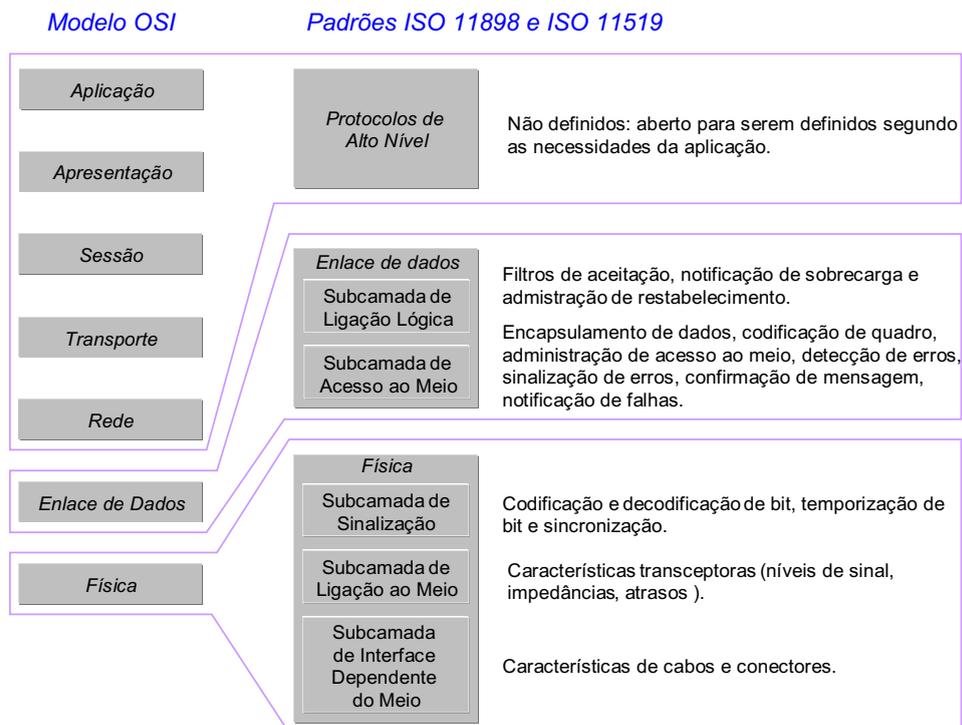


Fig. 4 - Relação entre o modelo OSI e os padrões ISO 11898 e ISO 11519

Como pode ser visto na Figura 4, as camadas acima da camada de enlace de dados não são definidas pelas normas ISO 11898 e ISO 11519, ficando aberto para que cada usuário ou grupo de usuários desenvolva o próprio padrão, baseado em protocolos de camadas superiores, denominados *Protocolos de Alto Nível (Higher Layer Protocols)*, com especificações que atendam as necessidades de cada aplicação.

A comunicação de dados em uma rede com protocolo CAN é baseada em *mensagens*, que são transportadas em *quadros de bits*, que por sua vez, são formados por *campos de bits*, que são conjuntos de bits com determinada função no quadro. A Figura 5 ilustra uma mensagem CAN e o quadro para transmissão de dados do CAN formado por diferentes campos de bits.

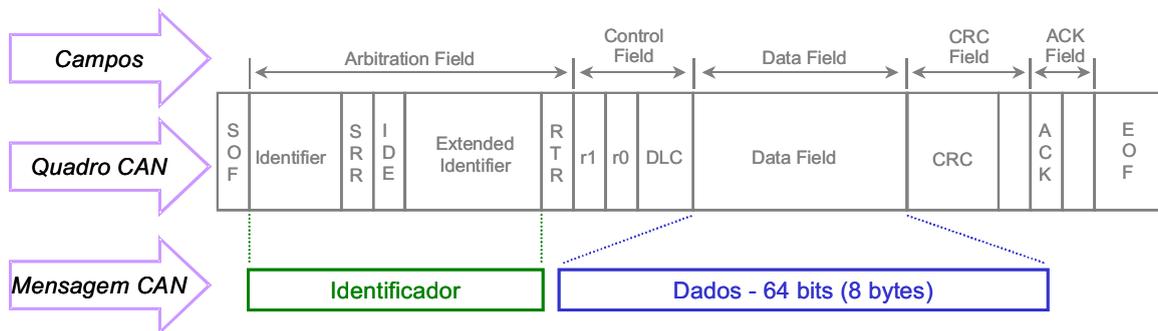


Fig. 5 - Formação da mensagem CAN a partir de quadro de bits do CAN

A Figura 5 mostra que a mensagem CAN é formada por campo de dados denominado *Data Field*, ao qual está associado outro campo que caracteriza a mensagem. No caso do CAN, este campo identificador que caracteriza a mensagem é denominado *Identifier*. Este campo define também a prioridade de cada mensagem. O valor do identificador das mensagens de cada nó é exclusivo em uma rede CAN, e quanto mais baixo o valor do identificador, maior é a prioridade das mensagens desse nó. Utilizando um identificador, os vários nós fazem o escalonamento do acesso ao meio. Na recepção, quando os nós recebem a mensagem transmitida por um determinado nó, estes realizam o teste de aceitação e verificam se a mensagem tem interesse para esse nó ou não, através do identificador.

Existem duas versões do protocolo CAN, que diferem pelo formato do quadro de bits. Estas duas versões são: o *Standard CAN (CAN 2.0A)*, com o identificador composto por 11 bits, e o *Extended CAN (CAN 2.0B)*, com identificador composto por dois campos, um com 11 bits e outro com 18 bits (total de 29 bits). Ambas as versões definem um campo de dados do quadro de dados composto por 64 bits (8 bytes), além de outros campos de controle e verificação.

A seguir são descritas algumas características gerais do CAN, baseadas nas normas ISO 11898 e ISO 11519, e são descritos alguns protocolos de alto nível.

Camada física

O barramento CAN utiliza a codificação NRZ (*Non Return to Zero*), regra de violação de bits - *Bit-Stuffing* - para assegurar o sincronismo, e sinal elétrico diferencial para comunicação de dados em um barramento a dois fios (geralmente par trançado).

A técnica de bit-stuffing definida para o CAN impede a transmissão de mais que 5 bits consecutivos idênticos. Esta técnica permite que existam blocos de 6 em 6 bits com

características previsíveis. Estes blocos são usados pelos nós receptores para verificar erros de transmissão e para resincronização.

É possível o funcionamento da rede utilizando adaptadores de sinais elétricos, denominados *Transceptores*, específicos para o CAN, ou utilizando outro tipo de adaptador, como por exemplo, os utilizados para o padrão RS485 da EIA (*Electronic Industries Alliance*). O único pré-requisito para a utilização de um meio diferente é a possibilidade de poder obter-se níveis recessivos e níveis dominantes nesse meio. As normas da ISO recomendam que os transceptores de interface sejam desenvolvidos de maneira que a comunicação possa continuar mesmo que um dos dois fios do barramento esteja rompido ou curto-circuitado à fonte de alimentação, ou ainda curto-circuitado à referência (ao *terra*).

Os sinais elétricos digitais do CAN são representados pelos níveis recessivo e dominante. Quando presentes um nível recessivo e um nível dominante no meio é sempre o nível dominante que prevalece. É este princípio que possibilita o mecanismo de acesso ao meio utilizado pelo CAN. A Figura 6 ilustra os níveis de sinal do CAN, considerando as duas linhas de transmissão do CAN CAN_H e CAN_L.

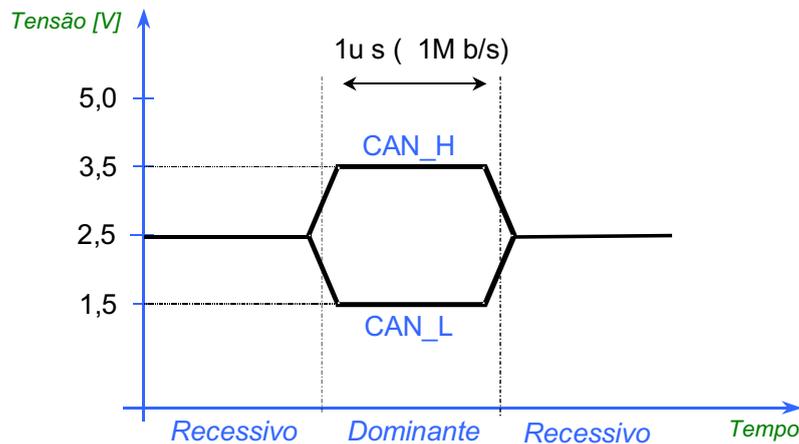


Fig. 6 - Níveis de sinais elétricos especificados pelas normas ISO 11898 e ISO 11519

Como ilustra a Figura 6, a tensão elétrica nominal para o bit recessivo é 2,5V, tanto para CAN_H como para CAN_L, assim a diferença entre as tensões elétricas nominais para o bit recessivo no barramento é 0V. A tensão elétrica nominal para o bit dominante é 3,5V para CAN_H e 1,5V para CAN_L, assim a diferença entre as tensões elétricas nominais para o bit dominante é 2V. Este tipo de sinalização, utilizando a diferença entre dois sinais elétricos, é denominado sinalização balanceada, e minimiza interferência eletromagnética na comunicação, pois a interferência afeta igualmente as duas linhas, mantendo desta forma a diferença entre as tensões que representam cada bit.

As normas da ISO especificam ainda características elétricas de conectores e cabos. Especificam tempos de bit e formas de sincronização para diferentes taxas de transmissão, assim como as dimensões do barramento para estas diferentes taxas.

Mecanismo de acesso ao meio

O mecanismo de acesso ao meio para comunicação de dados é feito através do método CSMA/NDBA - *Carrier Sense Multiple Access with Non-Destructive Bitwise Arbitration* (Acesso Múltiplo com Detecção de Portadora com Arbitragem Não Destrutiva por Operação

Lógica Bit-a-Bit). O CSMA define que para um nó transmitir, este deve aguardar que o barramento esteja desocupado. Estando desocupado, o nó inicia a transmissão bit-a-bit, verificando se no mesmo instante outro nó também iniciou uma transmissão, através dos sinais no barramento. O processo de NDBA soluciona os problemas de colisões através de uma lógica "E" por fios, quando dois ou mais nós iniciam a transmissão simultaneamente. Neste método os bits são relacionados com estados, sendo que o estado 0 sobrepõe-se a um estado 1. Sendo assim, o nó com mensagem com Identificador de menor valor terá maior prioridade na transmissão da mensagem, estabelecendo um processo de acesso ao meio denominado *Arbitragem*. A Figura 7 ilustra com um exemplo a disputa entre dois nós para acessar o meio.

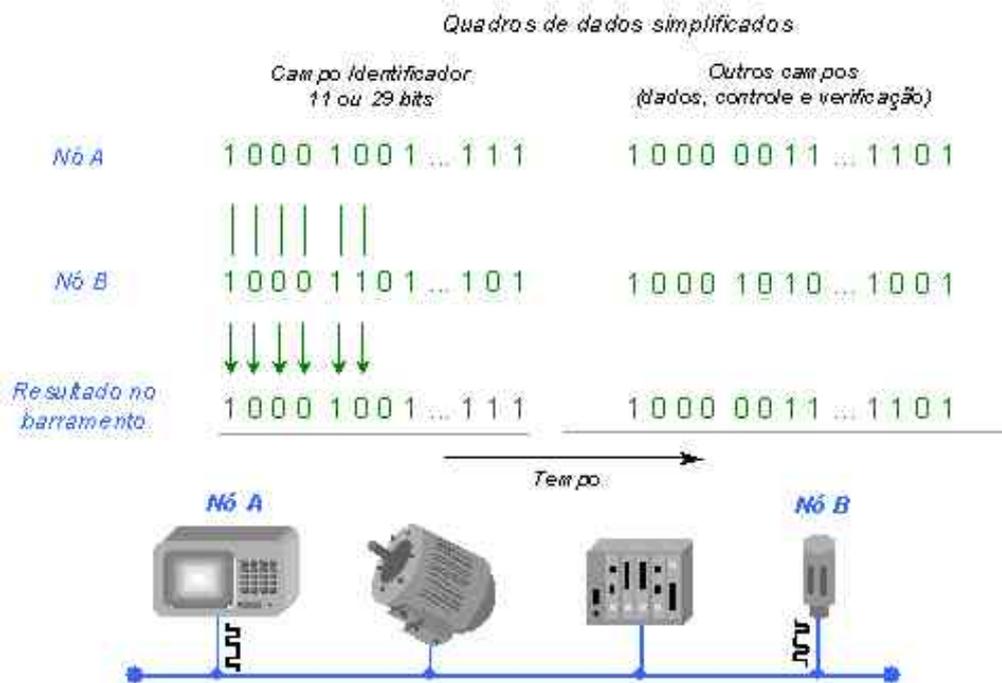


Fig. 7 - Exemplo do processo de arbitragem do CAN

No exemplo da Figura 7 o Nó A tenta transmitir um quadro, referente a uma mensagem, com identificador *1000 1001. 111* e o Nó B tenta transmitir outro quadro com o identificador *1000 110...111*. Como pode ser visto na Figura 7, os nós prosseguem transmitindo seus identificadores que são iguais até o sexto bit, e verificam o resultado no barramento a cada bit. No momento da transmissão do sexto bit, o Nó A transmite 0 (bit dominante) e o Nó B transmite 1 (bit recessivo), logo, devido às propriedades da arbitragem da rede CAN, o Nó B irá detectar um bit dominante, quando havia transmitido um bit recessivo, então sai do meio e torna-se nó receptor, enquanto o Nó A prossegue transmitindo normalmente até o fim do quadro.

O mecanismo completo de acesso ao meio é o seguinte: os nós que vão transmitir aguardam barramento estar desocupado e em seguida transmitem um bit dominante, de modo a sincronizar a comunicação com os outros nós. Depois estes nós transmitem os seus respectivos identificadores. Os nós que tentam ter acesso ao meio, também monitoram os sinais elétricos no barramento, e quando detectam a presença de um bit dominante tendo transmitido um bit recessivo, saem do meio e esperam até que o barramento esteja de novo em repouso e se possa iniciar um novo período de arbitragem. Os nós que saíram do meio por terem perdido o direito de acesso durante o processo de arbitragem, passam a ser nós receptores, que no final da mensagem deverão, tal como todas as outras, confirmar que a mensagem foi recebida sem qualquer erro.

Tipos de quadros

Um quadro de dados segundo a versão CAN 2.0A, denominado *Standard Frame (Quadro Padrão)*, permite a existência de 2048 mensagens (identificador com 11 bits: 2^{11}), já um quadro de dados segundo a versão CAN 2.0B, denominado *Extended Frame (Quadro Estendido)*, permite a existência de aproximadamente 500 milhões de mensagens (identificador com 29 bits: 2^{29}). Esta característica do CAN permite que as mensagens trocadas sejam vistas como informações com prioridades diferentes e independentes dos nós que as produzem. Estas informações, uma vez produzidas, podem ser consumidas por qualquer nó ligado ao barramento. Os nós consumidores podem utilizar filtros de aceitação de mensagens. Estes filtros podem ser configurados de modo a interromper o processador do nó, ou CPU (*Central Processing Unit* Unidade Central de Processamento) do nó, apenas quando chegam mensagens de interesse para esse nó. O número de filtros de aceitação é limitado e varia com a implementação de cada circuito controlador de protocolo.

Os quadros de bits estão relacionados com especificações de camada de enlace de dados. Para o CAN são definidos quatro tipos de quadros de bits:

- *Data Frame* (Quadro de Dados);
- *Remote Frame* (Quadro Remoto);
- *Error Frame* (Quadro de Erro);
- *Overload Frame* (Quadro de Sobrecarga);

Além dos quadros citados anteriormente, há um conjunto de bits composto por 3 bits recessivos que formam um campo denominado *Intermission*. Estes bits sucedem o final de cada um dos tipos de quadros citados e antecedem a condição de barramento livre (*Bus Idle*), na qual o barramento é mantido em estado recessivo.

A seguir é apresentada uma descrição dos quatro tipos de quadros.

a- Quadro de Dados

Nas duas versões do CAN, o quadro de dados possui o campo de dados que permite a transmissão de 0 a 8 bytes (64 bits), o campo identificador e outros campos de controle e verificação. A Figura 8 ilustra o quadro de dados da versão CAN 2.0A.

Na Figura 8 os campos (*fields*) de bits do quadro de dados têm os seguintes significados e funções:

- *SOF (Start of Frame) Field* (Campo de Início de Quadro): composto por um bit dominante que indica início de quadro;
- *Arbitration Field* (Campo de Arbitragem): campo relacionado com o processo de arbitragem. Contém o identificador e um bit denominado RTR (*Remote Transmission Request*). Se o RTR for 0, o quadro é do tipo quadro de dados, caso seja 1, indica que o quadro é do tipo quadro remoto;
- *Control Field* (Campo de Controle): contém 6 bits de controle. O primeiro bit é o IDE (*Identifier Extended Bit*), que sinaliza se o quadro é padrão (se o bit for dominante) ou estendido (se o bit for recessivo). O bit seguinte, r0, é reservado para novas aplicações em futuras versões do CAN. Os quatro últimos bits deste campo formam um conjunto denominado DLC (*Data Length Code*), que indica o número de bytes no campo de dados;
- *Data Field* (Campo de Dados): contém 8 bytes (64 bits) com o bit mais significante do primeiro byte de dados sendo transmitido primeiro. Os bytes podem representar diversas informações, uma informação ou partes de uma informação;

- *CRC (Cyclic Redundance Check) Field* (Campo de Verificação de Redundância Cíclica): possui 15 bits utilizados para implementação do código de detecção de erros e um bit recessivo delimitador deste campo. O código é calculado de acordo com um polinômio específico definido para o CAN, e utiliza os 4 primeiros campos do quadro de dados (SOF, Arbitration Field, Control Field e Data Field) para o cálculo. Este código introduz uma redundância suficiente para permitir que receptores deduzam que houve um erro durante a transmissão;
- *ACK (Acknowledge) Field* (Campo de Confirmação): consiste em dois bits, um bit denominado *ACK*, recessivo, que é sobrescrito por bits dominantes transmitidos de um outro nó que recebe a mensagem com sucesso,- *EOF (Enf of Frame) Field* (Campo de Fim de Quadro): possui 7 bits recessivos, indicando o fim do quadro.

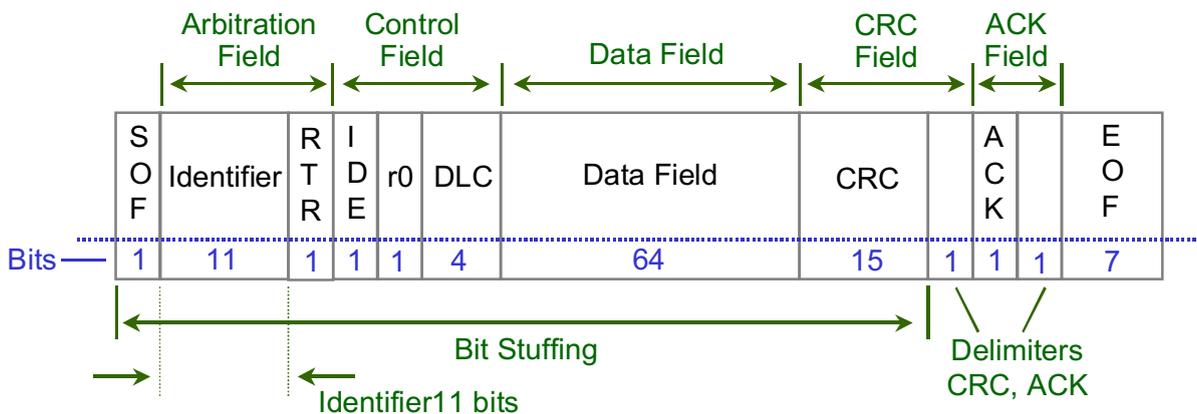


Fig. 8 - Formato do quadro de dados do CAN 2.0A

O quadro estendido diferencia-se do quadro padrão por possuir o campo de arbitragem com os 29 bits do identificador divididos em dois blocos, um de 11 bits, como no quadro padrão, e outro com 18 bits. Na versão estendida, o bit IDE faz parte do campo de arbitragem e não do campo de controle, como na versão padrão. Ainda no campo de arbitragem da versão estendida, é adicionado um bit denominado *SRR (Substitute Remote Request)*, que deve sempre ser transmitido como recessivo para garantir que o quadro estendido tenha prioridade menor em relação a um quadro padrão, em uma rede CAN com nós com diferentes versões do protocolo. Outra diferença entre o quadro de dados estendido e o padrão, é que o campo de controle do quadro estendido não contém o bit IDE, que está no campo de arbitragem, e em seu lugar está presente mais um bit reservado (r1). Figura 9 ilustra o quadro de dados da versão CAN 2.0B.

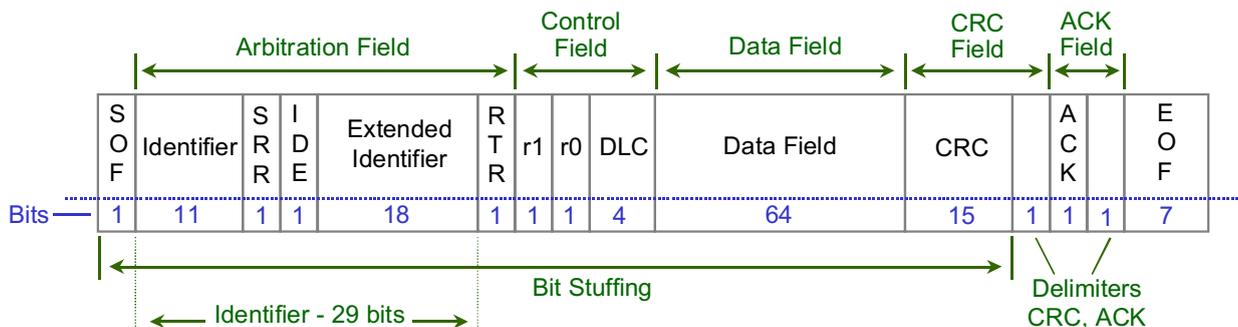


Fig. 9 - Formato do quadro de dados do CAN 2.0B

b- Quadro Remoto

O quadro remoto permite de forma eficiente e rápida, que um nó cliente possa solicitar a um outro nó receptor remoto (servidor), o envio de um quadro de dados com o mesmo Identificador do quadro remoto. A estrutura do quadro remoto difere da estrutura do quadro de dados, por não apresentar o campo de dados. Os outros campos são iguais. A Figura 10 ilustra o quadro remoto definido pela versão CAN 2.0B.

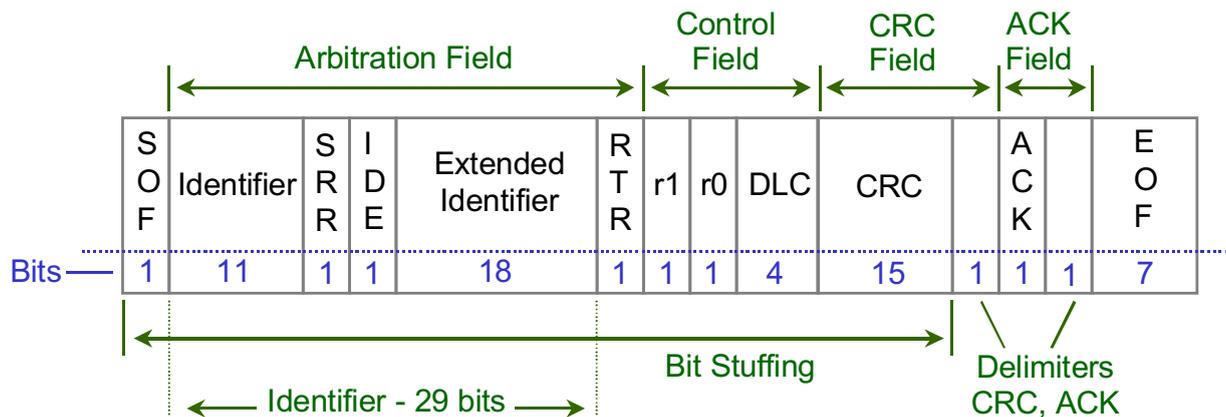


Fig. 10 - Formato do quadro remoto do CAN 2.0B

O bit RTR deverá ser recessivo e o campo DLC poderá ter qualquer valor entre 0 a 8.

Após a recepção de um quadro remoto, o servidor deve enviar a resposta de forma automática sem interromper a CPU.

c-Quadro de Erro

O quadro de erro é gerado por qualquer nó que detecte um erro no barramento. Este tipo de quadro consiste de dois campos, um campo sinalizador de erro, denominado *Error Flag*, e um campo delimitador, denominado *Error Delimiter*. O campo sinalizador de erro pode ser de dois tipos, dependendo do valor dos contadores de erros de transmissão ou recepção especificados para o CAN.

Um nó ao detectar um erro envia um quadro constituído por seis bits consecutivos, o que viola a regra de bit-stuffing e leva a que os outros nós transmitam também um quadro de erro. Deste modo, pode existir sobreposição de quadros transmitidos por todos os nós. Os níveis dos bits que são transmitidos pelo nó dependem do estado em que este nó se encontra, e que, por sua vez, esta relacionado com os valores dos contadores de erro. Um nó pode encontrar-se em estado *Error-Passive*, *Error-Active* ou *Bus-Off*, que são descritos com mais detalhes em seção posterior. Um nó que se encontra no estado *Error-Passive* transmite um quadro de erro com campo sinalizador de erro com 6 bits recessivos, seguidos por campos sinalizadores de erro de outros nós. Caso o nó se encontre em estado *Error-Active* o campo sinalizador de erro é constituído por 6 bits dominantes. O delimitador do quadro de erro, para ambos os casos, é constituído por 8 bits recessivos e é consecutivo aos campos sinalizadores.

Um quadro de erro só é transmitido quando ocorre um erro na transmissão ou na recepção de uma mensagem. Quando existe um erro na mensagem, o nó que tentou transmitir volta a tentar a sua transmissão competindo pelo acesso ao meio com os outros nós. São

efetuadas retransmissões até que o nó passe ao estado *Bus-Off*, que ocorre quando é atingido um número máximo baseado nas tentativas de retransmissão sem sucesso.

d- Quadro de Sobrecarga

O quadro de sobrecarga apresenta, assim como o quadro de erros, dois campos, um campo sinalizador de sobrecarga, denominado *Overload Flag*, e um campo delimitador, denominado *Overload Delimiter*. O campo sinalizador é composto por uma seqüência de 6 bits recessivos, seguida de campos sinalizadores gerados por outros nós. O campo delimitador é composto por 8 bits recessivos e segue a seqüência de campos sinalizadores. O quadro de sobrecarga é transmitido em duas situações:

- Quando é detectado um bit dominante no campo Intermission entre dois quadros;
- Quando um receptor não está preparado para aceitar uma mensagem e precisa de mais algum tempo para se preparar.

Detecção e controle de erros

As especificações do CAN disponibilizam alguns mecanismos de controle e administração de erros, de modo a impedir que um dispositivo que funcione mal provoque erros no barramento.

Em cada nó CAN existem dois contadores: o REC (*Receiver Error Counter*) de 7 bits, que guarda a contagem dos erros devidos a recepções erradas, e o TEC (*Transmite Error Counter*), que acumula os erros devidos às transmissões de mensagens por esse nó.

Existem 5 tipos de erros que o CAN pode identificar e que causam o incremento dos contadores. Os tipos de erros são os seguintes:

- *Bit Error* (Erro de Bit): bit transmitido por um nó é diferente do bit presente no barramento monitorado pelo nó. Isto não é considerado erro na arbitragem. Nesta fase uma estação pode enviar um bit recessivo e detectar um bit dominante colocado no barramento por outro nó;
- *Stuff Error* (Erro de Stuff): falta o bit de *stuff*, ou seja, mais de cinco bits transmitidos com o mesmo nível de tensão (violação da regra de bit-stuffing)
- *Form Error* (Erro no Quadro): um bit que deveria ter um valor esperado, pré-definido, não tem o valor correto;
- *CRC Error* (Erro no CRC): cálculo do CRC recebido por um nó, difere do valor transmitido junto aos dados, indicando erro no valor de um ou mais bits da mensagem;
- *ACK Error* (Erro de Confirmação): o nó que acabou de transmitir não recebe qualquer confirmação dos outros nós.

São definidos estados de erro de um nó, e estes estados estão relacionados com o valor dos contadores de erro TEC e REC. A Figura 11 mostra os diferentes estados de erro relacionados com os valores dos contadores.

Os contadores TEC e REC são incrementados de 1 ou de 8 conforme a gravidade do erro detectado, e são decrementados de 1, sempre que se verifique uma transmissão ou uma recepção sem problemas.

Quando um nó, que se encontra no estado *Error-Active*, detecta um erro e o sinaliza através da transmissão de um quadro de erro constituído por seis bits dominantes, os outros nós irão detectar uma violação da regra de bit-stuffing, o que os leva a descartar os dados recolhidos até ao momento e a transmitir também um campo sinalizador de erro, denominado *Error Echo Flag*. Um nó no estado *Error-Active* está em estado normal de operação, sendo permitido transmitir e receber dados sem restrições.

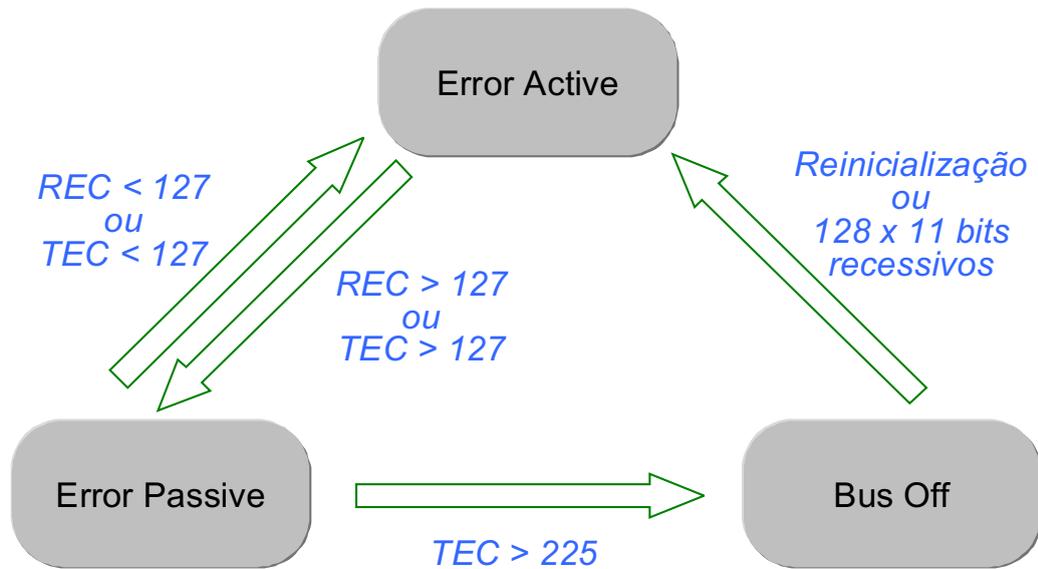


Figura 11 - Estados de erro possíveis para um dispositivo CAN

Se um nó detectar que o valor de um dos seus contadores excede o valor de 127 (TEC e $REC > 127$), este passa para o estado Error-Passive. Neste estado, o nó passa a assumir que um erro no barramento pode, muito provavelmente, ser causado por ele, por isso, sempre que detecta um erro emite um quadro de erro constituído por seis bits recessivos. Neste estado ainda é permitido transmitir e receber dados sem restrições.

Um nó passa ao estado *Bus-Off* quando o número de erros de transmissão é igual a 255. Neste estado, um nó está completamente desligado do barramento, até que se efetue uma reinicialização do controlador do protocolo CAN do nó.

Filtros de mensagens

Os filtros de mensagens permitem separar, individualmente, em cada nó, as mensagens que lhe interessam das que não lhe interessam. Deste modo, haverá uma otimização na tarefa de processamento de mensagens pelo processador do nó e este não tem que estar sempre sendo interrompido para processar mensagens.

Existem dois tipos de filtros de mensagens:

- Filtro de Aceitação: filtros que contêm valores configurados previamente que são comparados com os valores de identificadores de mensagens no barramento para determinar se a mensagem será ou não carregada e processada pelo nó (tem ou não interesse para o nó);
- Máscara: permite definir quais bits de identificadores de mensagens no barramento serão comparados com os valores de filtros de aceitação para determinar se a mensagem será ou não carregada e processada pelo nó.

Protocolos de alto nível

Os protocolos de alto nível são desenvolvidos utilizando a mensagem CAN, formado pelo campo identificador e pelo campo de dados dos quadros definidos pelo CAN (quadro padrão ou quadro estendido). No campo de dados são dispostos conjuntos bits representando as informações que se deseja transmitir, que podem ser, por exemplo:

- Dados de controle para outros nós;

- Dados coletados por sensores;
- Dados informando o estado do nó ou de dispositivos conectados ao nó;
- Solicitação de dados a determinados nós;
- Parâmetros de configuração para outros nós.

Os dados de uma mensagem podem conter também bits que representam características da informação, como: unidade de medida, precisão, se o dado está fragmentado e faz parte de um conjunto maior, ordenação, entre outros.

O identificador é utilizado para endereçamento e qualificação da mensagem. Os bits deste campo podem conter informações como: endereço de destino da mensagem, endereço de origem, se esta pertence a um determinado grupo de mensagens, entre outras.

A Figura 12 ilustra a forma de utilização de um quadro de dados CAN 2.0B para implementação de protocolos de alto nível.

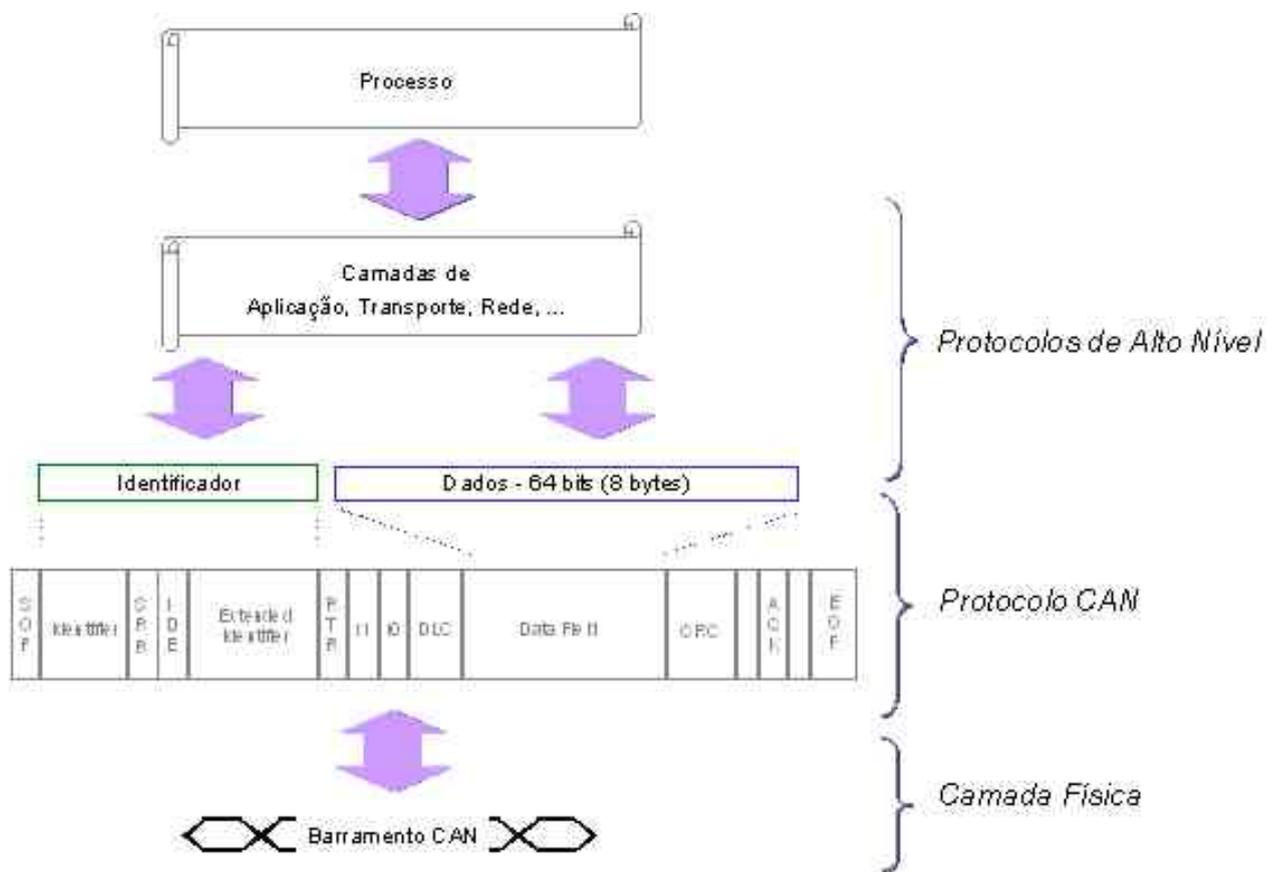


Fig. 12 - Implementação de protocolos de alto nível utilizando quadro CAN

As aplicações mais expressivas do CAN têm sido em automação industrial e automação de veículos (automóveis, tratores, caminhões, embarcações e máquinas agrícolas). As diversas formas de implementar uma rede baseada no CAN dependem das necessidades identificadas por cada setor ou grupo e variam de acordo com as estratégias adotadas para atender estas necessidades. A TABELA 1 mostra alguns dos padrões mais representativos presentes no mercado atual.

TABELA 1 Padrões mais importantes desenvolvidos baseados no CAN

Padrão	Descrição
<i>CAL (CAN Application Layer)</i>	Especificado por CAN in Automation (Cia) e publicado em 1993. Aplicação em sistemas distribuídos na área industrial.
<i>CANopen</i>	Subconjunto do CAL especificada pela Cia para automação industrial.
<i>DeviceNet</i>	Padrão desenvolvido pela Allen-Bradley e gerenciado por uma associação de normas independente, a ODVA - Open DeviceNet Vendor Association. Aplicado em automação fabril.
<i>CAN Kingdom</i>	Não é um padrão, mas um conjunto de regras que foram organizadas em um programa que permite manipular conjunto de primitivas de protocolo e construir um padrão final com protocolos personalizados para cada aplicação. Foi desenvolvido pela firma sueca KVASER em conjunto com grupo CAN Textile Users Group para automação fabril.
<i>SDS (Smart Distribution Systems)</i>	É um padrão aberto desenvolvido pela empresa Honeywell Micro Switch. Aplicado em automação industrial. Foi desenvolvido especialmente para sistema distribuído de sensores e atuadores ligados a dispositivos de lógica binária como CLP's
<i>OSEK/VDX</i>	Originado de projeto conjunto de indústrias automotivas, consiste em um padrão aberto para sistemas de controle distribuído em veículos.
<i>NMEA 2000</i>	Padrão desenvolvido por um grupo da National Marine Electronic Association para redes de dispositivos eletrônicos em embarcações navais. É baseado nos padrões ISO 11783 e SAE J1939.
<i>SAE J1939</i>	Desenvolvido para aplicação em veículos de terra de grande porte como: caminhões, ônibus, tratores, incluindo máquinas e implementos agrícolas.
<i>DIN 9684</i>	Especificado pela associação de normas da Alemanha DIN, para aplicações agrícolas. É baseado na versão 2.0A do CAN, adotou e influenciou algumas especificações de padrões da ISO.
<i>ISO 11783</i>	As atividades de normatização pela ISO deste padrão para aplicações em máquinas e implementos agrícolas estão sendo concluídas. Possui diversas especificações iguais ao padrão SAE J1939 e ao DIN 9684.

Como podem ser observados na TABELA 1, os padrões baseados no CAN mais importantes para a área agrícola atualmente são: DIN 9684 da associação de normas alemã DIN *Deutsches Institut für Normung*, SAE J1939 da sociedade norte-americana SAE *Society of Automotive Engineers* e ISO 11783 da ISO.

Além dos esforços de instituições de pesquisa e associações de normas, constata-se o esforço por parte de fabricantes de máquinas, implementos e outros equipamentos para tornar a implementação dessa norma uma realidade. Associações como a *Association of Equipment Manufacturers* (AEM) representada pelo *North American ISOBUS*

Implementation Task Force (NAIITF) e a Federation of Engineering Industry (VDMA) representada pelo *Implementation Group ISOBUS (IGI)* são exemplos dessas parcerias entre fabricantes e associações de normas para promover o desenvolvimento e a implementação da ISO 11783.

No Brasil, o emprego de redes baseadas no protocolo CAN em máquinas agrícolas é ainda restrito a produtos importados, como em colheitadeiras combinadas de grande porte. Trabalhos de pesquisa têm sido realizados para contribuir com os esforços internacionais para desenvolvimento e implementação da ISO 11783 e para contribuir com a assimilação dessa tecnologia por instituições e empresas nacionais (STRAUSS, 2001; SOUSA, 2002; GUIMARÃES, 2003; SILVA, 2003, GODOY, 2007). No ano de 2005, foi criada a Força Tarefa ISOBUS do Brasil que integra empresas, associações e grupos de pesquisa na busca da promoção dessa norma no Brasil.

Implementações de Padrões

Para a tomada de decisão sobre qual padrão utilizar ou sobre o desenvolvimento de um padrão próprio é importante considerar, além de especificações técnicas, as necessidades associadas a fatores como: mercado alvo, custo de implementação e manutenção, nível de complexidade de implementação e operação, necessidade de integração com outros padrões e expansões futuras.

A partir da definição das necessidades que um sistema baseado no CAN deve atender, pode-se buscar as melhores especificações técnicas para desenvolvimento e implementação de uma norma. Com a definição das especificações pode-se optar por um padrão existente no mercado, que melhor atenda a estas especificações, e contar com dispositivos existentes no mercado. Também se pode optar pelo desenvolvimento de um padrão próprio segundo as especificações definidas, ou ainda, adotar especificações de um padrão existente e adicionar outras especificações, criando um padrão misto.

Para uma determinada aplicação a definição das especificações técnicas pode ser baseada em três itens:

- a- Definição dos parâmetros de livre escolha, previstos pelo protocolo, como por exemplo, versão do protocolo, taxa de comunicação, número de nós e tamanho do barramento;
- b- Definição de parâmetros de camada física e de componentes eletrônicos não definidos pelo protocolo, como por exemplo, conectores, cabos e circuitos transceptores e controladores;
- c- Definição dos parâmetros de protocolo de alto nível e que estão relacionados diretamente com a aplicação da rede CAN. Como exemplo desses parâmetros cita-se: necessidade de sub-redes, tipos de mensagens, tamanho de mensagens, interfaces com ser humano para operação e manutenção, possibilidades de expansão e formas conexão e inicialização de nós à rede.

Projeto do circuito de ECU's

Na implementação de um padrão baseado no CAN os nós são tipicamente constituídos por três módulos elementares:

- Transceptor CAN: módulo responsável pela adaptação dos níveis de tensão entre circuito do nó e do barramento CAN. Também promove a adaptação de impedâncias e a proteção do nó à faltas;
- Controlador CAN: módulo central da implementação e do controle do protocolo;

- Sistema Computacional Central: módulo constituído por CPU, memória, programas computacionais e interface com o controlador CAN e interfaces para outros dispositivos como sensores, atuadores e terminais de controle. Através deste módulo são implementados os protocolos de alto nível.

Muitos dos padrões presentes no mercado adotaram as especificações das normas ISO 11898 e ISO 11519, devido a isso, existem no mercado muitos circuito integrados (CI's) que obedecem a essa especificações.

Os transceptores e controladores são os elementos básicos para elaboração de redes CAN, pois determinam as características de operação de rede, como velocidade de transferência de dados (taxa de bits), imunidade a interferências, robustez, capacidade de carga (número de nós), detecção, sinalização e distinção de erros, detecção de faltas, custo, entre outras. As normas da ISO recomendam que os transceptores de interface sejam desenvolvidos de maneira que a comunicação possa continuar mesmo que um dos dois fios do barramento esteja rompido ou curto-circuitado à fonte de alimentação, ou ainda curto-circuitado à referência (ao terra). Os transceptores CAN podem ser adquiridos no mercado na forma de CI's ou podem ser construídos com componentes discretos.

A montagem dos diferentes quadros, o processo de arbitragem, o gerenciamento de envio de mensagens e recebimento de confirmação, a identificação de erros de comunicação e outras definições referentes ao CAN são implementadas pelos controladores CAN. Tais controladores podem ser encontrados no mercado sob diversas formas, desde placas tipo PCI ou ISA para conexão em computadores pessoais, assim como cartões tipo PCMCIA e circuitos integrados simples.

Atualmente existe um grupo de circuitos integrados que são denominados Microcontroladores, que têm sido utilizados amplamente em circuitos eletrônicos. Estes microcontroladores são sistemas computacionais implementados em um único circuito integrado e permitem que sejam gravados programas computacionais (rotinas de programa) que implementam as funções do microcontrolador em cada circuito. No mercado podem ser encontrados microcontroladores com controladores CAN integrados ou microcontroladores com interfaces que permitem a integração fácil de controladores externos ao microcontrolador. Em relação a essas interfaces é importante observar que, em projetos com controladores não integrados a sistemas computacionais, é necessário definir o tipo de interface que será utilizada para troca de dados entre o controlador e o microcontrolador ou outro tipo de sistema computacional utilizados, para que haja compatibilidade e seja possível a implementação do circuito desejado. Os controladores possuem diferentes interfaces para se comunicar com outros componentes, sendo que as mais comuns notadas no levantamento são: interface serial tipo SPI e interface Paralela. Outra interface presente é a interface serial tipo I2C.

Para desenvolvimento do circuito de uma ECU, sendo o controlador responsável pela implementação do protocolo CAN, as demais regras definidas pela norma devem ser implementadas em um sistema computacional que se comunique com o controlador. Tal sistema computacional deverá ter capacidade de processamento e de memória relacionado com a características da ECU, podendo ser, por exemplo, um simples microcontrolador se a ECU for associada com sensores ou um computador embarcável se a ECU for um terminal IHM (interface homem-máquina).

No mercado mundial existem diversos dispositivos com controlador CAN integrado principalmente para aplicações em automação industrial e automobilística, como por exemplo, transdutores (atuadores e sensores) CAN.

Computadores portáteis, como os notebooks, ainda não existem no mercado com controlador CAN integrado, mas existem interfaces externas, como cartões de interface PCMCIA, que possibilitam a utilização destes computadores em barramento CAN. Outra possibilidade para integração deste tipo de computador a barramentos CAN é a utilização de interface externa, como interfaces CAN/USB, CAN/RS232 ou CAN/RS485.

Os computadores-embarcáveis, como os computadores tipo PC104, são sistemas computacionais para tarefas dedicadas, possuem boa capacidade de processamento e armazenamento de dados, são compactos e de custo inferior, relativamente, aos microcomputadores pessoais comuns. Apresentam possibilidade de utilização de diversos programas e periféricos (interfaces visuais e teclas de controle). São encontrados no mercado com diversos tipos de interfaces internas integradas ao sistema, incluindo interfaces CAN. Apresentam grande potencial para projeto de ECU's segundo os padrões descritos neste trabalho.

Os computadores-de-mão, como os *palmtops*, são sistemas bastante compactos em relação a microcomputadores e computadores embarcáveis. Apresentam interface visual e programas de desenvolvimento de aplicativos bastante elaborados, que tornam fácil o desenvolvimento de aplicações. Possuem, geralmente, interfaces de comunicação via infravermelho ou interfaces serial segundo os padrões RS232 ou USB. Não existem modelos disponíveis com interface interna com controlador CAN. Portanto para integração destes sistemas a barramentos CAN é necessário a utilização de interface externa, como interfaces CAN/USB ou CAN/RS232.

O padrão mais comum de comunicação de dados utilizado entre os receptores GPS e os coletores de dados, é o padrão de comunicação NMEA 0183. A norma deste padrão foi elaborada pela associação de normas NMEA e define características elétricas, protocolo de transmissão de dados, temporizações e tipos de mensagens. A versão 1 desta norma possui características elétricas baseadas no padrão RS232. Também é possível encontrar receptores GPS com interfaces segundo outros padrões, como padrões proprietários baseados no padrão USB ou no padrão RS485. Recentemente, foi concluída a normatização de um novo padrão NMEA, denominado NMEA 2000, que é baseado no CAN. O padrão NMEA 2000 apresenta especificações para receptores GPS compatíveis com especificações dos padrões SAE J1939 e ISO 11783 e já estão disponíveis no mercado receptores GPS que possuem uma interface padrão para ser utilizado em sistemas com qualquer um destes três padrões.

Outras interfaces que também se destacam são os padrões RS485 e USB. Os padrões RS232 e RS485 são padrões de camada física e sobre eles são utilizados alguns protocolos proprietários ou abertos de camadas superiores. O USB é um padrão mais elaborado que os padrões RS232 e RS485, mas também necessita de alguns protocolos proprietários ou abertos de camadas superiores sobre ele. O padrão USB é mais utilizado atualmente para interligar computadores com periféricos, como impressora, mouse, CD-ROM, monitor, multimídia, fax, etc, mas sua utilização tem se ampliado sendo encontrado em computadores-de-mão, celulares, rádio digitais, câmeras, GPS e até em sensores industriais.

Interface CAN padrão ICAN

A Figura 13 ilustra através de diagrama, um exemplo de circuito eletrônico de uma interface CAN desenvolvida e testada em laboratório, que permite a conexão de dispositivos com interface RS232 ou sensores e atuadores através de interfaces analógicas ou digitais (BRAZ et al., 2004).

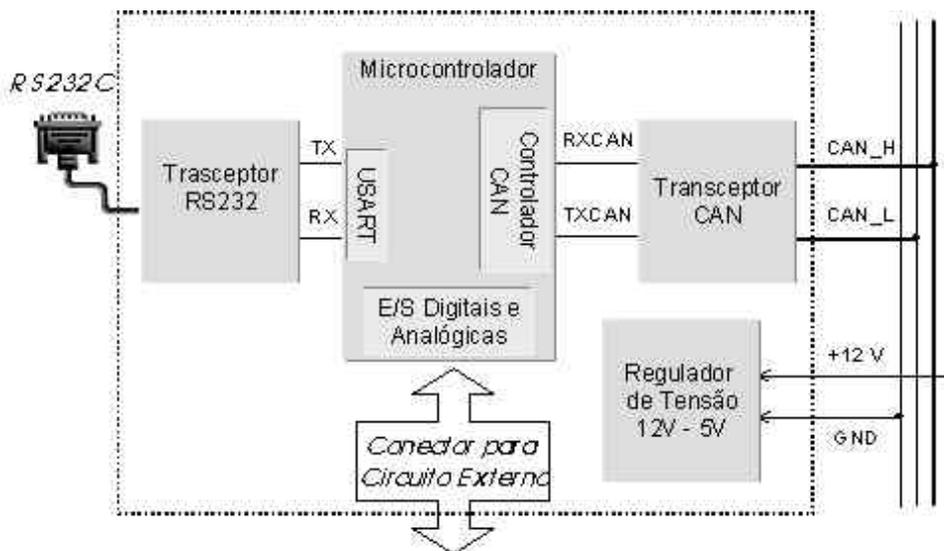


Fig. 13 - Relação entre os componentes físicos de um nó CAN e os protocolos

Como mostrado na Figura 13, o circuito da interface é composto basicamente por três circuitos integrados que são: microcontrolador, transceptor CAN e transceptor RS232. Os transceptores têm a função de adaptar os níveis de tensão dos sinais de comunicação para os níveis definidos para os respectivos padrões. A porta de comunicação RS232C é baseada em um controlador tipo USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver Transmitter) e a porta CAN baseada em um controlador CAN. A interface possui também um módulo para regulação de tensão que abaixa a tensão provida pelo barramento, normalmente 12 ou 24 V, para 5V, que é a tensão de alimentação necessária aos circuitos integrados da interface.

O módulo de conexão para circuito externo permite que entradas e saídas, analógicas ou digitais, estejam disponíveis diretamente para conexão de sensores e atuadores ou através de circuito de condicionamento de sinais. Este circuito constitui uma interface padrão que pode ser utilizada para compor diferentes nós CAN e formar uma rede CAN. Para que a rede formada seja fisicamente compatível com a ISO 11783 é necessário escolher os componentes transceptor CAN e controlador CAN segundo as especificações da camada física e camada de enlace de dados definidas pela norma.

A Figura 14 ilustra a utilização dessa interface externa para permitir conectar dispositivos com interface interna RS232 e sensores e atuadores a um barramento CAN.



Fig. 14 - Interface RS232-C/CAN para instrumentos, sensores e atuadores

ISO 11783

O comitê da ISO (ISO,2007) responsável pela norma ISO 11783 - *Tractors and machinery for agriculture and forestry Serial control and communications data network* é o TC23/SC19/WG1 e está com os trabalhos em fase de conclusão. Este padrão adota o CAN e algumas especificações desta norma foram baseadas na norma DIN 9684 e muitas outras foram baseadas na norma SAE J1939. A Tabela 2 apresenta as partes da documentação da norma ISO 11783 e uma síntese sobre cada parte.

TABELA 2 Síntese da documentação da norma ISO 11783

Parte	Título	Escopo
Parte 1	General Standard	Visão geral sobre o padrão e da aplicação de cada parte
Parte 2	Physical Layer	Cabos, conectores, sinais elétricos e características mecânicas e elétricas gerais do barramento
Parte 3	Data Link Layer	Implementação do CAN e especificação da estrutura das mensagens
Parte 4	Network Layer	Interconexão de sub-redes
Parte 5	Network Management Layer	Processo de inicialização e endereçamento de ECU's
Parte 6	Virtual terminal	Especificações do terminal de controle e operação
Parte 7	Implement Messages Application Layer	Definição de mensagens básicas dos implementos e da máquina
Parte 8	Power Train Message	Definição de mensagens automotivas
Parte 9	Tractor ECU	Especificações da Tractor ECU
Parte 10	Task Controller	Especificação de interfaces para dispositivos e programas computacionais de controle e administração com o barramento
Parte 11	Mobile Agricultural Data Dictionary	Definições relativas à norma
Parte 12	Diagnostics	Serviço de diagnóstico
Parte 13	File Server	Servidor de arquivo
Parte 14	Sequence Control	Controle Seqüencial (das funções automatizadas)

O propósito do padrão ISO 11783 é prover um padrão aberto para interconexão de sistemas eletrônicos embarcáveis. O sistema eletrônico que promove a interconexão de um dispositivo ao barramento é denominado *Electronic Control Unit (ECU)* ou Unidade Eletrônica de Controle. Uma única ECU pode ser responsável pela conexão de um ou mais dispositivos a um barramento. Também um dispositivo pode ser conectado a um barramento por uma ou mais ECU's. O conjunto formado por ECU e dispositivo constitui um nó CAN. A Figura 15 ilustra um exemplo de rede segundo o padrão da ISO, disposto em um trator e com um implemento conectado.

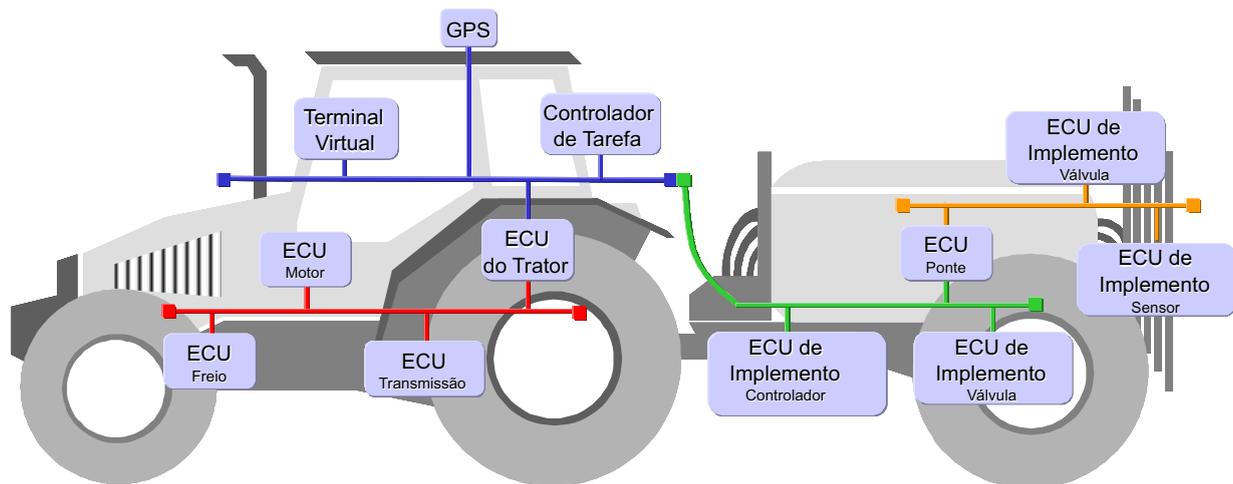


Fig. 15 - Ilustração de uma rede ISO 11783 (SOUSA, 2002).

Neste padrão estão definidos três tipos de sub-redes, que são conectados por dispositivos denominados *Network Interconnection Unit (NIU)* ou Unidade de Interconexão de Rede. Estas NIUs podem ser *Repeaters* (Repetidores), *Briges* (Pontes), *Routers* (Roteadores) e *Gateways* (Portais), com funções semelhantes às funções destes elementos nas redes de computadores convencionais. Um tipo de sub-rede é a sub-rede do veículo, denominada *Tractor Bus* ou Barramento do Trator, onde podem estar conectadas ECU's relacionados com transdutores automotivos como, pode ser visto em vermelho na Figura 15. O outro tipo é a sub-rede principal de implementos, denominada *Implement Bus* ou Barramento de Implemento, que pode ser visto em azul e verde na Figura 15. A *Tractor ECU* (ECU do Trator) é uma NIU com funções especiais que faz a interconexão do barramento do trator com o barramento de implemento. O outro tipo de sub-rede, que está representado em laranja na Figura 15, pode ser qualquer *fieldbus*, desde que esta possua uma NIU para adaptar o formato de transmissão dos dados entre os barramentos com diferentes padrões.

A seguir é apresentada uma sistematização das partes componentes da norma ISO 11783.

O CAN e a ISO 11783

Adotaram-se especificações da norma ISO 11898 para compor as camadas física e de enlace de dados da norma ISO 11783. Além dessas especificações, outras complementares foram definidas segundo as necessidades da aplicação agrícola.

A camada física

A Parte 1, referente a especificações de camada física da ISO 11783, define uma taxa de comunicação de 250 kb/s e adota especificações da norma ISO 11898, como por

exemplo, codificação NRZ (*Non Return to Zero*), regra de violação de bits (*Bit-Stuffing*) e níveis de sinais elétricos. São definidos o número máximo de nós igual a 30 por sub-rede e um comprimento máximo de barramento igual a 40 m por sub-rede.

O cabo para o barramento especificado é do tipo par trançado, não blindado e com quatro pares de condutores elétricos. Dois condutores são utilizados para sinalização elétrica digital na comunicação de dados (CAN_L e CAN_H) e os outros dois condutores alimentam eletricamente os circuitos de terminação do barramento (TBC_PWR e TBC_RTN). O circuito de terminação, denominado *Terminating Bias Circuit (TBC)*, tem duas funções que são: prover uma terminação com casamento de impedância, para suprimir reflexões de sinal na linha de transmissão formada pelos condutores CAN_L e CAN_H, e prover tensão elétrica de referência de 2,5 V para os sinais elétricos do barramento, que corresponde ao estado recessivo e é o valor em torno do qual os sinais CAN_L e CAN_H variam.

Além das características citadas a documentação de camada física especifica também outras características elétricas e mecânicas dos componentes do barramento tais como: resistências e capacitâncias internas, níveis máximos de sinais elétricos suportados, atrasos de propagação de sinais elétricos, topologia de cabos, dimensões limites por sub-rede, limites de temperatura de operação. Outras especificações de camada física tratadas pela norma são: conectores, tempo de bit (subdivisão do tempo relacionado a transmissão de um bit), subdivisões do bit, amostragem de bit, sincronização, limites de atraso de transmissão, circuitos elétricos, métodos para verificação de parâmetros elétricos do barramento e esquemas elétricos de TBC's, circuitos transceptores e de circuitos de alimentação elétrica.

Os circuitos responsáveis pela adaptação dos níveis de tensão entre circuito de um dispositivo e o barramento CAN são denominados *Transceptores*. Esses transceptores também promovem a adaptação de impedâncias e a proteção contra faltas do nó CAN. As normas da ISO recomendam que os transceptores de interface sejam desenvolvidos de maneira que a comunicação possa continuar mesmo que um dos dois fios do barramento esteja rompido ou curto-circuitado à fonte de alimentação ou ainda curto-circuitado à referência (ao *terra*). Os transceptores CAN podem ser construídos com componentes discretos ou podem ser adquiridos no mercado na forma de circuitos integrados (*CI's*) de fabricantes como Bosch, Infineon Technologies, Microchip Technology e Philips Semiconductors.

A camada de enlace de dados

A camada de enlace de dados da norma ISO 11783 adota a versão CAN2.0B do protocolo CAN, como especificado pela ISO 11898, *Extended CAN* (CAN Estendido). O campo de dados da mensagem possui de 0 a 8 bytes (64 bits) e o campo identificador que possui 29 bits que caracterizam a mensagem. Este campo identificador permite que as mensagens trocadas sejam vistas como informações com prioridades diferentes e independentes dos nós que as produzem. Estas informações, uma vez produzidas, podem ser consumidas por qualquer nó ligado ao barramento. Os nós consumidores podem utilizar filtros de aceitação de mensagens. Estes filtros podem ser configurados de modo a interromper o processador do nó, ou CPU (*Central Processing Unit* Unidade Central de Processamento) do nó, apenas quando chegam mensagens de interesse para esse nó. O número de filtros de aceitação é limitado e varia com a implementação de cada circuito controlador de protocolo.

O mecanismo de acesso ao meio para comunicação de dados pelo barramento é denominado CSMA/NDBA - *Carrier Sense Multiple Access with Non-Destructive Bitwise*

Arbitration (Acesso Múltiplo com Detecção de Portadora com Arbitragem Não Destrutiva por Operação Lógica Bit-a-Bit). Este mecanismo origina um método de acesso ao meio denominado *Arbitragem* que soluciona os problemas de colisões através de uma lógica "E" por fios e relaciona os bits com estados, sendo que o estado 0 sobrepõe-se a um estado 1, e, por conseguinte, estabelece que um nó com mensagem com Identificador de menor valor terá maior prioridade na transmissão da mensagem.

A montagem dos diferentes quadros, o processo de arbitragem, o gerenciamento de envio de mensagens e recebimento de confirmação, a identificação de erros de comunicação e outras definições referentes ao CAN são implementadas por circuitos denominados *Controladores CAN*. Junto com os transceptores, os controladores são os elementos básicos para elaboração de redes CAN, pois determinam as características de operação de rede, como velocidade de transferência de dados (taxa de bits), imunidade a interferências, robustez, capacidade de carga (número de nós) e propriedades de detecção, sinalização, distinção de erros e detecção de faltas.

Atualmente existe um grupo de circuitos integrados que são denominados *Microcontroladores (C)*, que têm sido utilizados amplamente em circuitos eletrônicos. Estes microcontroladores são sistemas computacionais implementados em um único circuito integrado e permitem que sejam gravados programas computacionais (rotinas de programa) que implementam as funções do microcontrolador em cada circuito. No mercado podem ser encontrados microcontroladores com controladores CAN integrados ou microcontroladores com interfaces que permitem a integração fácil de controladores externos ao microcontrolador. Existem vários fabricantes de circuitos integrados controladores e de microcontroladores com ou sem controladores internos, como, por exemplo, Bosch, Infineon Technologies, Microchip Technology, Motorola e Philips Semiconductors

Para desenvolvimento de uma ECU, sendo o controlador responsável pela implementação do protocolo CAN, as demais regras definidas pela norma devem ser implementadas em um sistema computacional que se comunique com o controlador. Tal sistema computacional deverá ter capacidade de processamento e de memória relacionado com a características da ECU, podendo ser, por exemplo, um simples microcontrolador se a ECU for associada com sensores ou um computador embarcável, se a ECU for um terminal de controle.

A Parte 3 da norma define, além do protocolo CAN, formas de utilização dos campos de bits Identificador e Campo de Dados, que formam uma mensagem CAN. É definido um esquema de uso de bits do que origina duas Unidades de Protocolo de Dados (*Protocol Data Unit - PDU*). Estas duas PDU's são estruturas de mensagem que permitem diferentes tipos de endereçamentos para uma mensagem. A estrutura denominada PDU1 permite que uma ECU envie uma mensagem diretamente para outra ECU. A estrutura denominada PDU2 permite que se identifique o tipo de dados da mensagem, mas não endereça a mensagem a uma ECU específica, podendo qualquer ECU conectada ao barramento avaliar o conteúdo da mensagem pelo seu identificador, e, então, decidir pela recepção ou não desta mensagem.

A norma define 256 (0 a 255 - 8 bits) endereços possíveis em uma rede, como pode ser verificado na Figura 16, pelos tamanhos dos campos *Destination Address* (Endereço de destino) e *Source Address* (Endereço de Origem), das duas estruturas possíveis para o Identificador, denominadas PDU1 e PDU2. Destes 256 endereços, 253 podem ser atribuídos a dispositivos na rede. O endereço 255 é o endereço de destino global e o endereço 254 é um endereço nulo utilizado para administração da rede. A Figura 16 mostra os dois tipos de PDU's especificadas pela norma.

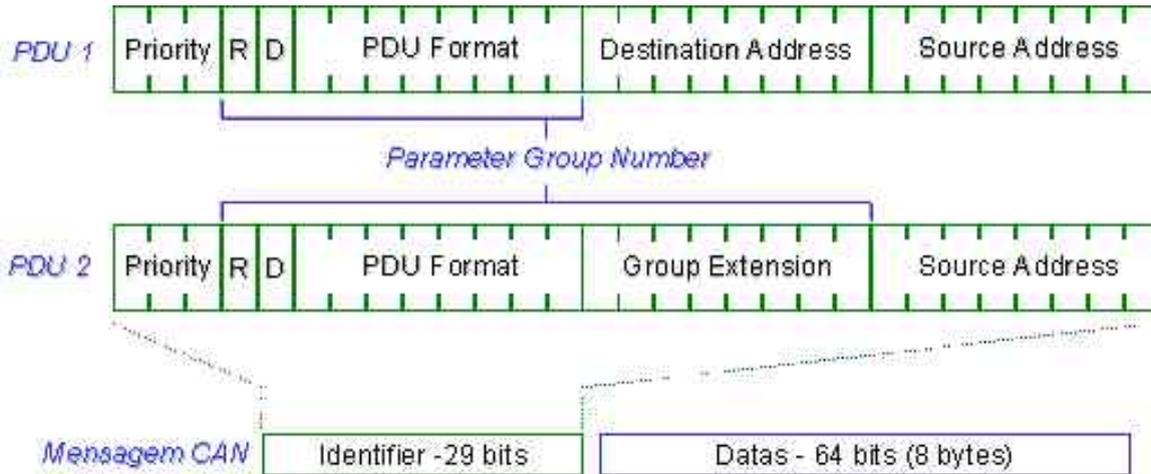


Figura 16 - Quadro de Dados, Mensagem e PDU's especificadas pela norma ISO 11783

O campo *PDU Format* (Formato de PDU) do identificador, que pode ser visto na FIGURA 16, permite que as ECU conectadas ao barramento possam identificar o tipo de PDU, PDU1 ou PDU2, que está sendo utilizada na comunicação de uma mensagem por um determinado nó. Se o campo da PDU (1 byte) tiver valor decimal igual ou superior a 240, a PDU é do tipo 2 (PDU2), senão esta será do tipo 1 (PDU1).

O campo de que informa o formato de PDU tem outra função, além de permitir a identificação do tipo de mensagem, este campo, associado aos dois bits R e D, no caso da PDU1, formam um conjunto de 10 bits, denominado PGN ou *Parameter Group Number* (Número de Grupos de Parâmetros), que é ilustrado na Figura 16. No caso da PDU2, o PGN tem 18 bits, sendo formado pelo campo de formato de mensagem, pelos bits R e D e pelo campo *Group Extension* (Extensão de Grupo). Os campos *Destination Address* e *Group Extension*, também são referenciados como *PDU Specific* (Especificação de PDU).

A norma classifica os dados que podem ser transmitidos em dado medido, dado de estado ou dado de comando e especifica parâmetros para caracterizar estes dados, como por exemplo, para um dado referente a variáveis contínuas mensuradas, especifica unidade de medida, precisão e resolução. Os conjuntos de parâmetros que possuem características semelhantes são agrupados para compor uma mensagem relativa a um determinado tema, como, por exemplo, mensagem com parâmetros do motor ou mensagem parâmetros de navegação. Este grupo de parâmetros é denominado PG ou *Parameter Group* (Grupo de Parâmetro) e é definido um formato de mensagem para cada PG. O PGN implementa uma forma de indicar o conteúdo dos dados de uma mensagem, ou seja, está associado ao PG. São possíveis 8672 grupos de parâmetro e este número elevado possibilita implementar diversos conjuntos de mensagens para atender as necessidades de comunicação de dados entre ECU's em uma máquina agrícola e seus implementos. Os formatos de mensagens e a relação destas com os PG's e PGN's serão melhores detalhadas na seção 3.3.2.3.

Considerando os bits que compõem o PGN em cada de PDU, o bit R é reservado para ampliação do número de grupos de parâmetros e seu valor deve ser 0 nesta condição. Os primeiros três bits das PDU's formam o campo *Priority* (Prioridade), que é um campo de prioridade independente e permite que sejam definidas prioridades diferentes para uma mensagem, independente do restante do identificador, pois segundo o mecanismo de acesso ao meio definido pelo CAN, estes são os primeiros bits que a serem submetidos ao processo de acesso ao meio (processo de colocação da mensagem a ser transmitida no

barramento) denominado *Arbitragem*. Ressalta-se que este campo não é o único a ser utilizado no processo de arbitragem, pois é possível que duas ECU's tentem transmitir mensagens com estes campos iguais, e neste caso os outros campos do Identificador serão verificados.

A Parte 3 da norma ISO 11783 também especifica os tempos limites para resposta de uma solicitação, espera por segmento de dado, espera por confirmação, e um protocolo de transporte, com regras definidas para o envio de dados com mais de 8 bytes (limite máximo para um quadro CAN). Este protocolo define estruturas para o Campo de Dados de forma a assegurar que dados com até 1785 bytes de uma ECU, possam ser fragmentados e enviados em diversos quadros CAN e que estes possam ser remontados na ordem correta e verificados por ECU's receptoras. As especificações deste protocolo de transporte permitem a comunicação ponto-a-ponto (ECU envia mensagens para outra ECU específica) e a comunicação por difusão (ECU envia mensagens que qualquer ECU pode receber). Na comunicação ponto-a-ponto é possível a ECU transmissora realizar o controle de fluxo de mensagens e o receptor controlar o número de mensagens enviadas em seqüência.

Protocolos de alto nível

Como pode ser visto na TABELA 2, apresentada anteriormente, as Partes de 4 a 10 possuem especificações de camadas de alto nível relacionadas com topologia de rede, administração de rede, mensagens de rede, mensagens de dispositivos e especificações dos dispositivos especiais Terminal Virtual, ECU do Trator e Controlador de Tarefas.

Camada de rede

A Parte 4 da ISO 11783 contém definições de características e de serviços das ECU's para que estas possam comunicar-se através de diferentes sub-redes. Na norma estão definidos três tipos de sub-redes com características específicas, que são conectados por dispositivos denominados *Network Interconnection Unit (NIU)* ou Unidade de Interconexão de Rede. As funções principais das NIU são:

- Encaminhamento de mensagens: consiste em receber uma mensagem de uma sub-rede e passar a outra sem alterá-la, respeitando prioridades e tempos de retardo máximo de cada mensagem;
- Filtragem de mensagens: consiste em selecionar as mensagens que devem ser encaminhadas. A filtragem pode ser realizada permitindo que todas mensagens sejam encaminhadas, exceto àquelas que possuam determinados PGN's configurados previamente, ou bloqueando (descartando) todas as mensagens, exceto aquelas que possuam determinados PGN's configurados previamente;
- Translação de endereço: consiste na alteração de endereço de uma mensagem, para passá-la de uma sub-rede a outra, permitindo que seja utilizado um único endereço para referenciar determinada sub-rede, através da utilização de tabelas previamente configuradas que associam endereços de origem com endereços de destino das sub-redes;
- Remontagem de mensagem: consiste em alterar o campo de dados de uma mensagem, adicionando-se outros dados, antes de transferi-la de uma sub-rede a outra, permitindo diminuir a taxa de ocupação do barramento em uma sub-rede;
- Administração de base de dados: consiste num conjunto padrão de regras para que se possa acessar e configurar as bases de dados de NIU's em uma rede. Através de mensagens definidas é possível configurar os filtros, obter informações de configuração e obter informações estatísticas, como por exemplo, ocupação do espaço de memória de dados, atrasos de transmissão e número de mensagens transmitidas.

A norma define cinco tipos de NIU's que são classificadas de acordo com as funções que elas possuem. Os cinco tipos de NIU's definidos e suas funções principais são: *Repeaters* (Repetidores - encaminhamento de mensagens), *Briges* (Pontes - encaminhamento e filtragem de mensagens), *Routers* (Roteadores - encaminhamento, filtragem e translação de endereço de mensagens), *Gateways* (Portais - encaminhamento, filtragem, translação de endereço e remontagem de mensagens) e *Tractor ECU* (ECU do Trator - encaminhamento, filtragem, translação de endereço e remontagem de mensagens, promovendo a interconexão do barramento do trator com o barramento do implemento).

A Figura 17 (LANDTECHNIK-VEREINIGUNG, 1998) mostra um exemplo de rede composta por diversas sub-redes interconectadas por NIU's, segundo as especificações da norma.

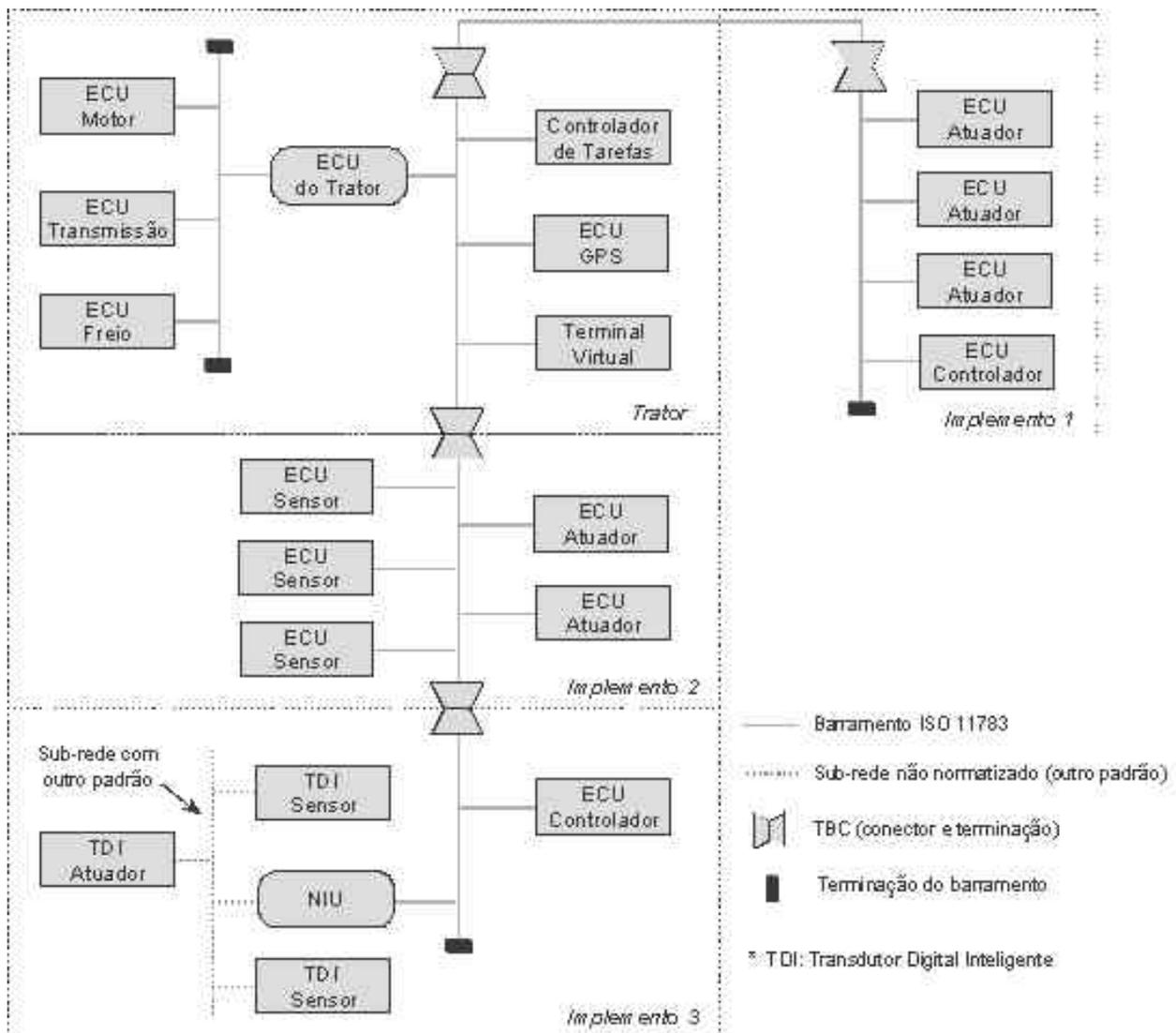


Fig. 17 - Exemplo de rede ISO 11783 composta por sub-redes conectadas por NIU's (LANDTECHNIK-VEREINIGUNG, 1998)

Como pode ser visto na Figura 17, a norma especifica a sub-rede do veículo denominada *Tractor Bus* (ou Barramento do Trator), onde podem estar conectadas ECU's relacionados com transdutores automotivos, como freios, transmissão, motor. O outro tipo de sub-rede é a sub-rede principal de implementos, denominada *Implement Bus* (Barramento de Implemento), onde podem estar conectadas ECU's de diversos tipos, como por exemplo,

controladores de implemento, transdutores inteligentes, receptor GPS, computadores embarcáveis e terminais de operação e de manutenção. A *Tractor ECU* é uma NIU com funções especiais e faz a interconexão do barramento do trator com o barramento de implemento. O barramento de implemento pode ser segmentado através de conectores especiais (TBC's), permitindo que os implementos sejam trocados de acordo com o trabalho de campo a ser realizado. Outro tipo de sub-rede possível, também representada na Figura 17, pode ser qualquer *Fieldbus* (Barramento de Campo), desde que este possua uma NIU com funções de *gateway* para adaptar os dados entre sub-redes de diferentes padrões.

A Parte 4 define as estruturas das mensagens de rede e os parâmetros transportados por estas mensagens, utilizados para administração das bases de dados das NIU's. Também são especificados, nesta documentação, os tempos limites que envolvem a realização das funções de cada tipo de NIU.

Administração de rede

A Parte 5 contém regras que definem a administração de endereços de origem das ECU's e a associação destes endereços com a identificação funcional do dispositivo conectado à rede pela ECU. Também define o processo conexão e inicialização de ECU's na rede. Nesta documentação são definidos os três tipos de ECU's previstos pela norma, que são: ECU Padrão (que não possui funções especiais), ECU de Diagnóstico ou de Desenvolvimento (conectada ao barramento com propósito de monitorar e analisar a rede a que está conectada) e ECU de Interconexão de Redes (como descrito na anteriormente, é denominada de NIU e tem as funções especiais que permitem a comunicação entre sub-redes componentes de uma rede).

São especificadas quatro formas distintas de configuração de endereços em uma ECU. Assim são caracterizados quatro tipos de ECU's segundo a forma atribuição de endereços: ECU de Endereço Não Configurável, ECU de Endereço Configurável em Manual, ECU de Endereço Configurável por Comando e ECU de Endereço Autoconfigurável.

A norma define uma estrutura de campo de dados de mensagem denominada NAME. Esta estrutura é composta por 64 bits e possui a função de prover uma descrição funcional de uma ECU para outras ECU's conectadas a um barramento; e também, de fornecer um valor numérico para o processo de anúncio e de disputa de endereço de origem, na conexão e inicialização de ECU's em um barramento.

A estrutura NAME constitui a base para o processo de conexão e inicialização de ECU's em uma rede. Esta estrutura permite que uma ECU, ao ser conectada a uma rede, seja identificada pela sua função e obtenha um endereço de origem. No processo de inicialização em que o endereço de origem é negociado, através de mensagens pelo barramento, esta estrutura tem importância ainda maior. Para esta negociação e para administração de rede são definidas quatro mensagens específicas. Estas mensagens são: *Request for Address Claim* (Solicitação de Anúncio de Endereço), *Address Claim* (Anúncio de Endereço), *Commanded Address* (Endereçamento por Comando) e *Cannot Claim* (Requisição de Endereço Não Possível).

São definidas regras para o processo de inicialização de ECU's, que utiliza as mensagens anteriores para definição de endereço de origem para uma ECU, pela troca de informações entre as ECU's já inicializadas e em operação normal com a ECU em processo de inicialização. A norma descreve estas regras e ilustra a comunicação de mensagens através de diagramas. O desenvolvimento de ECU autoconfiguráveis exige entendimento do

processo de inicialização. Assim, foi proposto e apresentado por SOUSA (2002) a utilização da ferramenta Redes de Petri, que é uma ferramenta de modelamento gráfico e matemático, para construção de modelos do processo de inicialização e auxílio na implementação de redes CAN segundo a norma ISO 11783.

Mensagens de implemento e mensagens automotivas

A Parte 7 especifica diferentes tipos de mensagens que podem ser utilizadas por ECU conectadas ao barramento de implemento. A Parte 8 da norma especifica os diferentes tipos de mensagens automotivas para comunicação de ECU's conectadas ao barramento do trator.

Como descrito na Seção Camada de Enlace de Dados, a norma classifica os dados que podem ser transmitidos e especifica parâmetros para caracterizar estes dados. Estes parâmetros são organizados em grupos, os PG's, que dependem do tipo de dados a serem comunicados. Cada PG possui um número que o identifica, o PGN, que deve estar presente no identificador da mensagem. A Figura 18 ilustra o PG relacionado com a posição do veículo e, também, o parâmetro latitude que compõe o campo de dados da mensagem referente a este grupo.

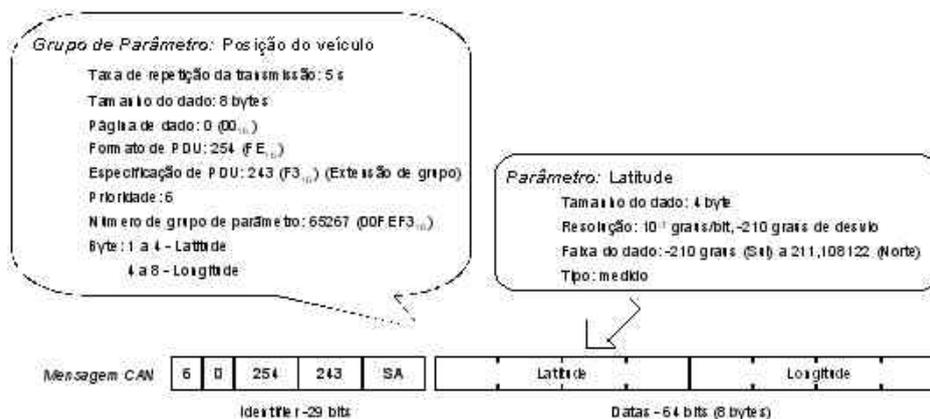


Fig. 18 - Exemplo de uma mensagem definida pela ISO 11783

Nas Partes 7 e 8 são definidos diversos parâmetros e PG's para diferentes ECU's conectadas ao barramento de implemento (Parte 7) e ECU's conectadas ao barramento do trator (Parte 8). A norma também permite definição de novos parâmetros e PGs para mensagens de dispositivos não previstos pela norma.

Além das mensagens relacionadas com os PG's, a Parte 7 contém a definição de um outro tipo de mensagem denominado *Process Data Message* (Mensagem de Dado de Processo). Este tipo de mensagem é definido para comunicação com um ou mais controladores usados coletivamente para prover um determinado serviço, como por exemplo, fertilização, irrigação, plantio ou colheita. Para este tipo de mensagem é definida uma matriz de 16x16x16 (colunas, linhas e páginas), que contém a identificação (identificador) para cada grupo de dados de processo, para ser transmitido em uma mensagem relacionada com um determinado processo. Esta matriz é definida na Parte 11 (*Mobile Agriculture Data Dictionary*) para diferentes processos. A mensagem de dado de processo tem grande potencial para ser utilizada na comunicação com implemento com muitos elementos endereçados, pois permite a comunicação de dados com diversas ECU's através de uma única mensagem.

Terminal virtual e ECU do trator

Duas ECU's com funções especiais são especificadas pelas Partes 6 e 9 da ISO 11783. A Parte 6 especifica a ECU denominada *Virtual Terminal* VT (Terminal Virtual), que é uma ECU com dispositivo que promove a interface entre a máquina (trator e implemento) e o operador (ser humano). A *Tractor ECU* TE, descrita anteriormente na Seção Camada de Rede, é especificada com detalhes na Parte 9 da norma.

Para o VT são definidos dois tipos de mensagens: um tipo para envio de dados pelo VT para os outros dispositivos conectados na rede e outro tipo para o envio de dados por dispositivos conectados na rede para o VT. Fisicamente o VT é constituído por uma tela (monitor) e teclas, botões ou outros tipos de dispositivos de entrada, que permitem a atuação do operador com telas virtuais (*screens*). As diferentes telas virtuais devem permitir ao operador visualizar diferentes tipos de variáveis de sistemas da máquina e de processos, trocar informações diretamente com ECU's ou grupos de ECU's, receber informações de estados do sistema, ser notificado sobre problemas (alarme), armazenar dados e configurações e permitir a atuação do operador nos diferentes sistemas da máquina e processos em andamento. A atuação pode ser feita através escolha em menus ou por entradas de dados, utilizando dispositivos de entrada físicos, assim como, utilizando botões e teclas virtuais nas telas virtuais.

Para operação do VT são definidos recursos, que são telas virtuais com diferentes campos de visualização ou atuação. Estes recursos estão relacionados com grupos de funções predefinidos para execução de diferentes ações com o terminal, como por exemplo, configuração do VT, transmissão de comandos para ECU's, troca de textos entre o terminal e ECU's, e armazenamento de dados em memórias voláteis e não-voláteis.

A TE, além de possuir funções de um *gateway* como descrito na Seção Camada de Rede, possui outras funções, como o controle de toda potência fornecida aos implementos e pelo controle do sistema de iluminação do trator e de implementos conectados ao trator. Esta ECU possui a capacidade de classificar as mensagens das ECU's conectadas ao barramento do trator e de acordo com classes predefinidas pela norma, informar esta classificação ao operador através do VT. Esta classificação permite identificar o conjunto mínimo de mensagens, em acordo com as Partes 7 e 8, que o barramento do trator pode fornecer. O circuito eletrônico desta ECU é composto basicamente por dois nós CAN, um conectado ao barramento do trator e outro ao barramento de implemento e módulos de controle de potência para os implementos e controle de iluminação geral.

No exemplo da Figura 17 na Seção Camada de Rede pode ser observado as posições do VT e da TE em uma rede segundo a ISO 11783. No exemplo da Figura15, na Seção Visão Geral, pode-se observar o esquema de conexão de uma TE em uma rede.

Controlador de tarefas

A Parte 10 é responsável pela especificação de interface para troca de dados entre uma rede ISO 11783 e um *Task Controller* TC (Controlador de Tarefa). O TC é uma ECU especial, responsável pelo envio, recebimento e armazenamento de dados de processos. Estes dados de processos são os citados na Seção 3.3.2.3 (Mensagens de Implemento e Mensagens Automotivas).

O TC pode conter uma interface proprietária (aberto para ser definida pelo fabricante), como por exemplo, transceptor de rádio ou suporte para cartões de memória, para

comunicação de dados com um Sistema de Administração de Informação ou *Management Information System* (MIS). Um MIS é um sistema onde informações de um ou mais sistemas ou processos podem ser armazenadas e processadas visando orientar a tomada de decisão para atuação nestes sistemas ou processos. Sob o contexto da área de aplicação do padrão, um MIS pode ser, por exemplo, um conjunto composto por um PC e por programas computacionais para agricultura, que permitam através da manipulação de dados de produção, custos e variáveis físico-químicas de áreas de plantio, gerar orientações para tarefas em área de plantio, como pulverização, fertilização e colheita. O computador com esta finalidade é denominado *Management Computer (Computador de Administração)*.

A Parte 10 define um formato para os dados trocados entre o computador de administração e o TC baseado na Parte 11 e na definição de um formato de arquivo de dados pelo documento *Data Interchange Syntax (ADIS Agricultural Data Interchange Syntax)* da ISO 11787 *Tractors and machinery for agriculture and forestry Data interchange between management computer and process computer*. Também é definido pela ISO 11783 o formato para mensagens enviadas para as ECU's pelo TC.

A Parte 12 especifica a camada de aplicação referentes ao sistema de diagnóstico. Define conector de diagnóstico e referencia outras normas: ISO 14229, ISO 14230-3, ISO 15765, SAE J1939-73 (Application Layer Diagnostics).

A Parte 13 contém especificações para uma ECU de armazenamento de dados (File Server). Define formato de dados e especifica mensagens para leitura, escrita, criação de diretórios e formatações.

A Parte 14 contém especificações para Controle Seqüencial de todas as funções que tem como objetivo a automatização, como a seqüência de funções envolvida em manobra e em pilotagem automática.

Conclusões

Atualmente, o protocolo CAN figura como um dos mais importantes protocolos que compõem padrões de barramentos de campo e de barramentos de para sistemas eletrônicos embarcados. A robustez, a confiabilidade e a flexibilidade conferida aos padrões desenvolvidos com este protocolo são reconhecidos e têm sido responsáveis pelo crescente número de aplicações deste protocolo. Com isto a disponibilidade de circuitos integrados e de nós CAN é crescente e os custos de implementação têm decrescido.

Observa-se uma diversidade grande de circuitos integrados controladores, transceptores e microcontroladores no mercado, com capacidades e periféricos que potencializam o desenvolvimento de circuitos simples, mas com recursos que permitem implementação de redes sofisticadas. O fato da maioria dos componentes, assim como os padrões desenvolvidos com o CAN, obedecerem as especificações das normas ISO 11898 e ISO 11519, tornam estas normas referências para o desenvolvimento de nós CAN.

As características do CAN e a variedade de circuitos integrados fornecem um excelente suporte ao desenvolvimento de aplicações em automação e controle na área agrícola.

O desenvolvimento de sistemas baseados no CAN, com características próprias, para as necessidades da agricultura e do agricultor brasileiro, assim como o desenvolvimento de circuitos e programas que permitam integrar dispositivos de controle e automação às

máquinas agrícolas com os padrões sistematizados ainda constitui um desafio para as indústrias nacionais de máquinas e implementos. O potencial tecnológico destes padrões é claro, assim como os benefícios do emprego destes padrões.

Fica claro que os esforços advindos da união entre empresas e grupos de pesquisa deram origem ao protocolo CAN e aos padrões para a área agrícola, sendo assim, espera-se que esta documentação possa orientar não só empresas, como grupos de pesquisa no desenvolvimento e implementação destas tecnologias, contribuindo para que se tornem realidade na Agricultura do Brasil.

Referências

BOSCH. **Controller Area Network Specification Version 2.0**. Robert Bosch GmbH. Disponível em: <<http://www.bosch.can.com>>. Acesso em: nov. 2007.

BRAZ, D. C.; SOUSA, R. V.; INAMASU, R. Y.; PORTO, A. J. V. **Desenvolvimento de uma interface CAN para integração de dispositivos embarcados em máquinas agrícolas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro, SP. **Anais...** [S. l.: s. n., 2004].

GODOY, E. P. **Desenvolvimento de uma Ferramenta de Análise de Desempenho de Redes CAN (Controller Area Network) para Aplicações em Sistemas Agrícolas**. 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

GUIMARÃES, A. A. **Análise da norma ISO11783 e sua implementação no barramento do implemento de um monitor de semeadora**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11783**: Tractors, machinery for agriculture and forestry: Serial control and communications data network. [200-]. Disponível em: <<http://www.iso.org>>. Acesso em: nov. 2007.

LANDTECHNIK-VEREINIGUNG. **LBS: The Mobile Agricultural BUS**. Frankfurt, Alemanha, 1998. 365 p. Disponível em: <<http://isotc.iso.ch>>. Acesso em: jun. 2002. (LBS Documentation, v.2.0-08.1998. Landtechnik-Vereinigung, 1998).

SILVA, K. M. R. **Agrican**: simulador de redes baseadas no protocolo ISO 11783 para ambiente WEB. 2003. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SOUSA, R. V. **CAN (Controller Area Network): uma abordagem para automação e controle na área agrícola**. 2002. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

STRAUSS, C. **Implementação e avaliação de uma rede experimental baseada em CAN para aplicações agrícolas**. 2001. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

Literatura Recomendada

AUERNHAMMER, H.; SPECKMANN, H. Dedicated Communication Systems and Standards for Agricultural Applications. In: CIGR. **Handbook of Agricultural Engineering**. St Joseph: ASABE, 2006. Chap. 7. p. 435-452. (Communication Issues and Internet Use, v. 7).

BENNEWEIS, R. K.. Status of the ISO11783 Serial control and communications data network standard. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2005, Tampa, Florida. [Proceedings... S. l.: s.n.], 2005. ASAE paper No. 051167.

MIETTINEN, M.; OKSANEN, T.; OHMAN, M.; VISALA, A. Implementation of ISO 11783 compatible task controller. In: CIGR WORLD CONGRESS, 16, 2006, Bonn, Germany. **Proceedings...** [S. l.: s.n.], 2006. 1 CD-ROM.

OKSANEN, T.; OHMAN, M.; MIETTINEN, M.; VISALA, A. ISO 11783 Standard and its implementation. In: IFAC WORLD CONGRESS, 16, 2005, Prague. **Proceedings...** [S. l.: s. n.], 2005.

SUVINEN, A.; SAARILAHTI, M. Measuring the mobility parameters of forwarders using GPS and CAN bus techniques. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 43, p. 237-252, 2006.

Homepages Recomendadas

CIA CAN IN AUTOMATION. **Informações sobre o protocolo CAN e aplicações.** Disponível em: <<http://www.can-cia.org>>. Acesso em: nov. 2007.

MICROCHIP TECHNOLOGY INC. **Microchip Technology Inc.** Disponível em: <<http://www.microchip.com>>. Acesso em: nov. 2007.

MICROCHIP. **MCP2551 Transceiver Data Sheet.** Informações sobre o transceptor MCP2551. 2006. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21667d.pdf>>. Acesso em: jul. 2006.

MICROCHIP. **PIC18F258 Data Sheet.** Informações sobre o microcontrolador PIC18F258. 2006^a. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41159d.pdf>>. Acesso em: jul. 2006.

MOTOROLA INC. **Motorola inc.** Disponível em: <<http://www.freescale.com>>. Acesso em: nov. 2007.

NATIONAL INSTRUMENTS CORP. **National Instruments Corp.** Disponível em: <<http://www.ni.com.br>>. Acesso em: nov. 2007.

NATIONAL MARINE ELECTRONIC ASSOCIATION. **NMEA - National Marine Electronics Association.** Disponível em: <<http://www.nmea.org>>. Acesso em: nov. 2007.

OPEN DEVICENET VENDOR ASSOCIATION. **Open Devicenet Vendor Association: ODVA** Disponível em: <<http://www.odva.org>>. Acesso em: nov. 2007.

PHILIPS SEMICONDUCTORS. **NXP Semiconductors.** Disponível em: <<http://www.nxp.com>>. Acesso em: nov. 2007.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. **SAE: Society of Automotive Engineers.** Disponível em: <<http://www.sae.org>>. Acesso em: nov. 2007.

TEXAS INSTRUMENTS INC. **Texas Instruments Inc.** Disponível em: <<http://www.ti.com>>. Acesso em: nov. 2007.

TRIMBLE NAVIGATION. **Trimble navigation ltd.** Disponível em: <<http://www.trimble.com>>. Acesso em: nov. 2007.

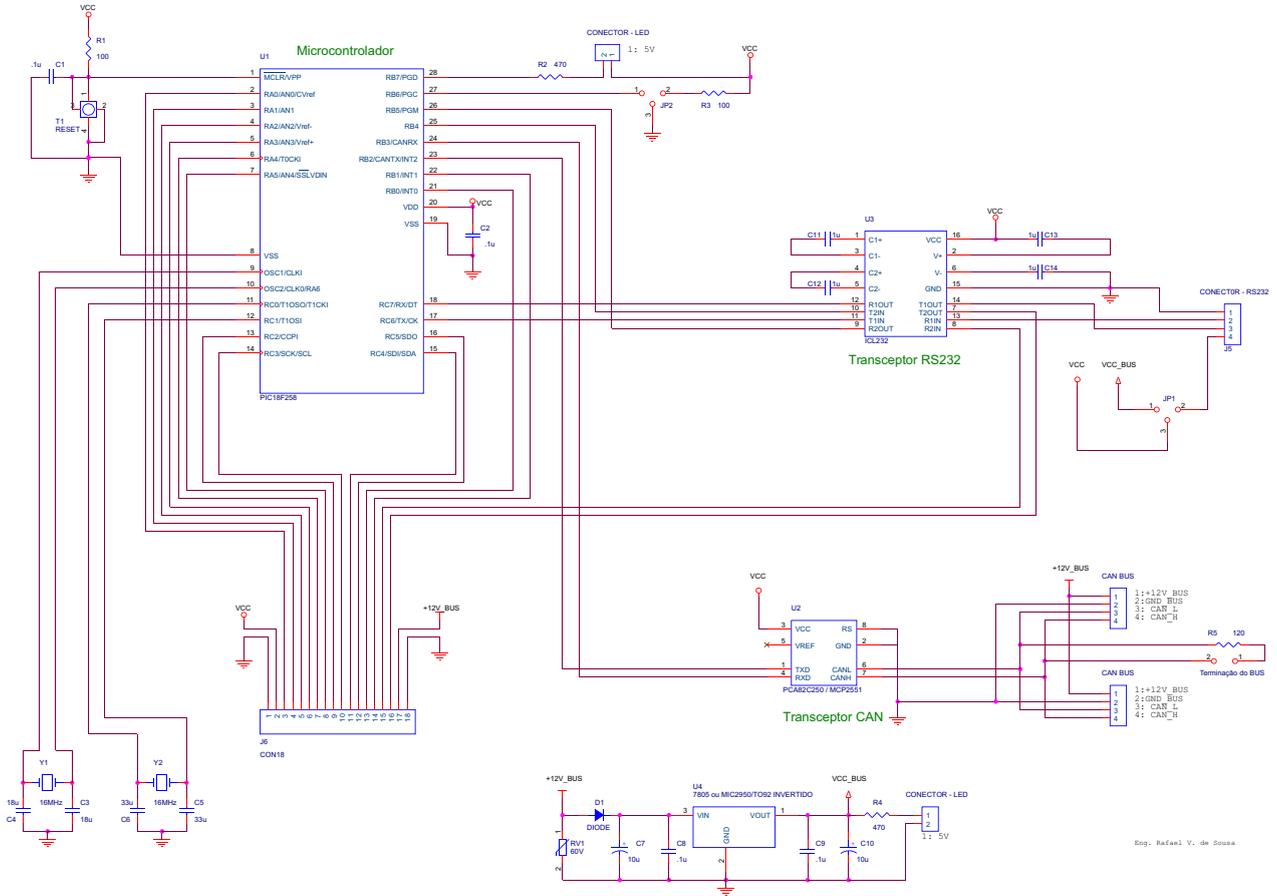
VECTOR INFORMATIK GMBH. **Vector Informatik GmbH.** Disponível em: <<http://www.vector-informatik.de>>. Acesso em: nov. 2007.

Anexos

Lista de Abreviaturas e Siglas

ADIS	- Agricultural Data Interchange Syntax
ASAE	- The American Society of Agricultural Engineers
CAN	- Controller Area Network
CLP	- Controlador Lógico Programável
CI	- Circuito Integrado Semicondutor
CIA	- CAN in Automation
CSMA	- Carrier Sense Multiple Access
DIN	- Deutsches Institut für Normung
ECU	- Electronic Control Unit
EIA	- Electronic Industries Alliance
GPS	- Global Positioning System
I2C	- Inter-Integrated Circuit
ISO	- International Organization for Standardization
LBS	- Landwirtschaftliches BUS System
MIS	- Management Information System
NDBA	- Non-Destructive Bitwise Arbitration
NIU	- Network Interconnection Unit
NMEA	- National Marine Electronic Association
NRZ	- Non Return to Zero
ODVA	- Open DeviceNet Vendor Association
OSI	- Open Systems Interconnection
PC	- Personal Computer
PDU	- Protocol Data Unit
PG	- Parameter Group
PGN	- Parameter Group Number
REC	- Receiver Error Counter
RP	- Redes de Petri
SAE	- Society of Automotive Engineers
SPI	- Serial Peripheral Interface
TBC	- Terminating Bias Circuit
TC	- Task Controller
TDI	- Transdutor Digital Inteligente
TE	- Tractor ECU - TE
TEC	- Transmit Error Counter
UT	- User Terminal
USART	- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter
USB	- Universal Serial Bus
VT	- Terminal Virtual

Esquemático do Circuito da Interface ICAN descrita na seção II.2



Eng. Rafael V. de Sousa



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Embrapa Instrumentação Agropecuária

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Rua XV de Novembro, 1452 - Caixa Postal 741 - CEP 13560-970 - São Carlos - SP

Telefone: (16) 3374 2477 - Fax: (16) 3372 5958

www.cnpdia.embrapa.br - sac@cnpdia.embrapa.br

Parceiro:

**Laboratório
de Simulação
e Controle**



EESC - USP

**Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

