

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA**

**TSADA - SISTEMA DE TELEMETRIA REDUNDANTE
E TOLERANTE A FALHAS UTILIZANDO
TECNOLOGIA GSM/GPRS E ZIGBEE**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Fernando Beux dos Santos

**Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil
2010**

TSADA - SISTEMA DE TELEMETRIA REDUNDANTE E TOLERANTE A FALHAS UTILIZANDO TECNOLOGIA GSM/GPRS E ZIGBEE

por

Fernando Beux dos Santos

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Computação.**

Orientadora: Profa. Dra. Roseclea Duarte Medina

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação Informática**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**TSADA - SISTEMA DE TELEMETRIA REDUNDANTE E TOLERANTE
A FALHAS UTILIZANDO TECNOLOGIA GSM/GPRS E ZIGBEE**

elaborada por
Fernando Beux dos Santos

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Computação

COMISSÃO EXAMINADORA:

Profa. Dra. Roseclea Duarte Medina - UFSM
(Presidente/Orientador)

Prof. Dr. Raul Ceretta Nunes- UFSM

Prof. Dr. Marco Trentin - UPF

Santa Maria, 22 de setembro de 2010.

© 2010

Todos os direitos autorais reservados a Fernando Beux dos Santos. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Av. Roraima, Campus Universitário – Centro de Tecnologia.
Bairro Camobi, Santa Maria, RS, Brasil, 97119-900.

Fone (0xx)55 81149974; End. Eletr: fbeux@yahoo.com.br

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família. Aos meus pais Jorge Nunes dos Santos e Neiva Beux dos Santos, pelo incentivo e apoio imenso em momentos difíceis. A minha noiva Alexa Comunello, pelo carinho e compreensão. Aos meus irmãos Claudia Beux Roduyt e Maurício Beux dos Santos, que torceram pelo meu sucesso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família que contribuiu de todas as formas para o sucesso de meu estudo. Muito obrigado por todo o carinho e apoio nos momentos difíceis. Agradeço também a minha noiva, pelas palavras de afeto nos momentos difíceis e ao amigo e irmão Benhur Sturmer, que me acolheu com companheirismo e parceria.

Um agradecimento especial a três pessoas que fizeram parte deste trabalho: primeiramente a minha orientadora, Roseclea Duarte Medina, que desde o primeiro momento marcou a recepção com um abraço e em muitos momentos agiu com o coração de mãe e sempre se preocupou com o meu bem estar, dando puxões de orelha merecidos e sempre apoiando-me em momentos de dificuldade. Também foi especial o convívio com a querida professora Oni Reasilvia de Oliveira Sichonani e com o colega e sempre amigo Jaziel Souza Lobo, que, sempre dispostos, ajudaram a resolver os problemas e apoiaram decisões importantes.

Também agradeço ao meu diretor e amigo do Senac de Ijuí, Milton Pereira, pela oportunidade em disponibilizar tempo e recursos para que minhas metas fossem atingidas neste trabalho.

Merecem ser citados também os bolsistas do NEMA, Gustavo, Alexandre Russini, Rodrigo e Ulisses pela dedicação e prestatividade, ajudando em testes e lidas de campo com os equipamentos agrícolas. Também agradeço ao proprietário da Fazenda Buricaci, Senhor Vernei, que nos acolheu com muito luxo e disponibilizou todos os recursos necessários. Merecem também agradecimentos os colegas Fábio Franciscato, Patricia Mozzaquatro, Solange Pertile, Sandra Piovesan, que, de alguma forma, contribuíram com incentivo e ajudas técnicas.

E por fim, agradeço a meus ex alunos e amigos do SENAC de Ijuí, Elisa, Regina, Diego, Renan, Beto, Marcelo, Maurício, Luciano e José, pela força e motivação.

"Para realizar grandes conquistas, devemos não apenas agir, mas também sonhar; não apenas planejar, mas também acreditar."

Anatole France

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Objetivo Geral	23
1.2 Objetivos Específicos:	24
2 REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1 Sensores	25
2.1.1 Tipos de Sensores.....	26
2.1.1.1 Indutivos	26
2.1.1.2 Fluxômetro.....	27
2.1.1.3 Capacitivo.....	27
2.1.1.4 Fotoelétrico.....	28
2.1.1.5 Receptor GPS	28
2.2 Aquisição e Armazenamento de Dados	29
2.3 Telemetria	32
2.3.1 Meios de Transmissão.....	33
2.3.1.1 Infraestrutura dos meios de transmissão.....	34
2.3.1.2 ZigBee	36
2.3.1.3 Telefonia Móvel	43
2.4 Recepção e Validação dos Dados	46
2.4.1 Integridade de Dados.....	46
2.4.2 Tipos de validação.....	48

2.4.2.1	Formato	48
2.4.2.2	Comprimento	48
2.4.2.3	Pesquisa em uma Tabela	48
2.4.2.4	Presença	48
2.4.2.5	Intervalo.....	48
2.5	Tratamentos de Redundância e Tolerância a Falhas em Transmissão de Dados Online	49
2.5.1	Redundância em transmissão de dados.....	49
2.5.2	Tolerância a Falhas em Transmissão de Dados.....	50
2.5.3	Retransmissão.....	50
2.5.4	Encapsulamento	52
2.6	Trabalhos Relacionados	52
3	METODOLOGIA.....	56
4	TSADA (SISTEMA DE TELEMETRIA).....	60
4.1	SADA.....	60
4.2	TSADA	62
4.2.1	PAM (Ponto de Acesso Móvel)	63
4.2.1.1	Instrumentação.....	65
4.2.1.2	Característica e Funcionamento dos Sensores Utilizados	67
4.2.1.3	Forma de Aquisição dos Dados.....	69
4.2.1.4	Encapsulamento do Pacote de Dados	70
4.2.1.5	Transmissão dos Dados.....	70
4.2.1.6	O Fluxo do Software (PAM).....	76
4.2.2	PAF (Ponto de Acesso Fixo).....	79
4.2.2.1	Função de Integração.....	81
4.2.2.2	Função de Validação	82
4.2.2.3	Função de Reenvio	87

4.2.2.4	O Fluxo do Software (PAF).....	88
4.2.2.5	Funcionalidades do Sistema PAF.....	90
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	92
6	CONCLUSÕES.....	98
6.1	Trabalhos Futuros	99
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - PADRONIZAÇÃO IEEE (IMAI, 2007)	34
FIGURA 2 – IEEE 802 WIRELESS SPACE (ZIGBEE,2010).....	36
FIGURA 3 – DEFINIÇÃO DE CAMADAS PROTOCOLO ZIGBEE (ZIGBEE,2010).37	
FIGURA 4 – COMPARATIVO DE CAMADAS PROTOCOLOS (ZIGBEE,2010).....	38
FIGURA 5 – INTERFACE DE CONFIGURAÇÃO RÁDIOS XBEE (DIGI, 2010).	41
FIGURA 6 – ESTRUTURA MONTADA NO TRATOR.....	57
FIGURA 7 – ESQUEMA SADA	61
FIGURA 8 – ESQUEMA TSADA	62
FIGURA 9 – ESQUEMA PAM.....	63
FIGURA 10 – ESQUEMA DE INSTRUMENTAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS NO PAM	66
FIGURA 11 – IDENTIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO PACOTE DE DADOS	70
FIGURA 12 – SISTEMA DE CONEXÃO GSM/GPRS	73
FIGURA 13 – SISTEMA DE CONEXÃO E TRANSMISSÃO ZIGBEE.....	75
FIGURA 14 – DIAGRAMA DE ATIVIDADE (UML) SISTEMA PAM.....	77
FIGURA 15 – ABRANGÊNCIA DO SISTEMA XTEND/ZIGBEE DO PAF. (GOOGLEEARTH,2010).....	80
FIGURA 16 – ESQUEMA PAF	81
FIGURA 17 –CONTEÚDO DO PACOTE DE DADOS	83
FIGURA 18 – PACOTE DE DADOS FALHO.....	84
FIGURA 19 – PACOTE DE DADOS FALHO.....	84
FIGURA 20 – IDENTIFICAÇÃO DE TODOS OS CAMPOS DO PACOTE DE DADOS	85
FIGURA 21 – IDENTIFICAÇÃO DO CORPO DO PACOTE DE DADOS	86

FIGURA 22 – DIAGRAMA DE ATIVIDADES UML DO SISTEMA PAF	89
FIGURA 23 – INTERFACE DO SISTEMA PAF	91
FIGURA 24 – GRÁFICO COMPARATIVO DE TRANSMISSÃO POR TECNOLOGIA E TIPO DE TERRENO	93
FIGURA 25 – GRÁFICO COMPARATIVO DA RECEPÇÃO DOS DADOS PELO SISTEMA	94
FIGURA 26 – GRÁFICO COMPARATIVO DAS SOLICITAÇÕES DE REENVIO	95
FIGURA 27 – GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE AS SOLICITAÇÕES DE REENVIO E O NÚMERO DE REGISTROS SOLICITADOS.....	96
FIGURA 28 – GRÁFICO DEMONSTRATIVO DO INTERVALO DE TEMPO ENTRE A SOLICITAÇÃO E O RETORNO DE REENVIO	97

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PADÕES CONFORME IEEE.....	35
---	-----------

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – QUADRO COMPARATIVO DE TECNOLOGIAS DE TRANSMISSÃO (THIENNE, 2009).	45
QUADRO 2 – QUADRO DE VALIDAÇÃO	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

APN	Acces Point Name
APS	Aplication Support Sublayer
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ATD	AT Commands for Dialup Connection
bps	bits por Segundo
CDMA	Code Division Multiple Access
CSMA-CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DIN	Deutsches Institut für Normung
DSADA	Dinâmico SADA
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
ESADA	Estático SADA
FFD	Full Function Device
GGA	Global Positioning System Fix Data
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSADA	Gerenciamento SADA
GSM	Global System for Mobile Communications
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
ISO	International Organization for Standardization
MSADA	Mobile SADA
NEMA	Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas

NMEA	National Marine Electronics Association
OSI	Open Systems Interconnection
PAF	Ponto de Acesso Fixo
PAM	Ponto de Acesso Móvel
PDOP	Positional Dilution of Precision
RF	Radio Frequency
RFC	Request for Comments
RFD	Reduced Function Device
RS	Rio Grande do Sul
RSSF	Rede de Sensores sem Fio
SADA	Sistema de Apoio a Decisão no Agronegócio
TCP	Transmission Control Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
TSADA	Telemetria SADA
TSIP	Trimble Standard Interface Protocol
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
USFM	Universidade Federal de Santa Maria
VTG	Vector Track on Speed over the Ground
WCDMA	Wide Band Code Division Multiple Access
WDT	Watch Dog Timer
WLAN	Wireless Local Area Network.
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network.
WPAN	Wireless Personal Area Network.
WRAN	Wireless Regional Área Network.
WWAN	Wireless Wide Area Network.

ZC	ZigBee Coordenador
ZDO	ZigBee Device Objects
ZED	ZigBee End Device
ZR	ZigBee Router

LISTA DE ANEXOS E APÊNDICES

ANEXO A – CAC (CIRCUITO ELETRÔNICO DE AQUISIÇÃO E COMUNICAÇÃO)	112
ANEXO B – FOLHETO EXPLICATIVO DO PROJETO SADA.....	115

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Informática
Universidade Federal de Santa Maria

TSADA - SISTEMA DE TELEMETRIA REDUNDANTE E TOLERANTE A FALHAS UTILIZANDO TECNOLOGIA GSM/GPRS E ZIGBEE

AUTOR: FERNANDO BEUX DOS SANTOS
ORIENTADOR: PROFA. DRA. ROSECLEA DUARTE MEDINA
DATA E LOCAL DA DEFESA: SANTA MARIA, 22 DE SETEMBRO DE 2010.

O presente trabalho aborda a pesquisa e o desenvolvimento de um sistema de telemetria para a mecanização agrícola e utiliza tecnologia de transmissão de dados sobre telefonia móvel, GSM/GPRS e Rádio Frequência, através do Zigbee. O sistema como um todo consiste em um mecanismo de coleta e transmissão de dados em um ponto móvel para uma base fixa, com uma forma de integração e validação dos dados. O sistema dá prioridade para a transmissão GSM/GPRS e deixa como alternativa a transmissão por ZigBee, controlado por um mecanismo de detecção de falhas que, em caso de perda da conexão do GSM/GPRS, começa a transmissão alternativa, enquanto o sistema tenta restabelecer uma conexão com a transmissão prioritária e torna o sistema de transmissão redundante. Os resultados alcançados foram satisfatórios pois o sistema garantiu a transmissão dos dados com tolerância a falhas e de forma redundante em locais remotos e de relevos diferenciados.

Palavras-chave: telemetria, transmissão de dados, ZigBee, GSM/GPRS

ABSTRACT

Master Dissertation
Computer Science Graduation Program
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

TSADA - REDUNDANT AND FAULT-TOLERANT TELEMETRY SYSTEM TECHNOLOGIES USING GSM / GPRS AND ZIGBEE

AUTHOR: FERNANDO BEUX DOS SANTOS
ADVISOR: DRA. ROSECLEA DUARTE MEDINA
PLACE AND DATE: SANTA MARIA, SEPTEMBER 22ND, 2010.

This work deals with a telemetry system for agricultural mechanization, using GSM / GPRS and ZigBee Radio Frequency. The whole system is a mechanism for collecting and transmitting data at one point moving to a fixed basis, with a system integration and validation. The system gives priority to transmit GSM / GPRS, permitting as an alternative transmission over ZigBee, controlled common mechanism for failure detection, in case of loss of the GSM / GPRS connection the alternative transmission begins, as the system tries to establish a new connection with the priority transmission , thus making the transmission system redundant. The results were satisfactory as the system ensured the transmission of data with fault tolerance and redundantly in remote locations and different reliefs.

Keywords: telemetry, data transmission, ZigBee, GSM / GPRS

1 INTRODUÇÃO

As pesquisas da computação têm contribuído com um grande avanço em todas as áreas, especialmente na agricultura com a automação em equipamentos agrícolas, o que contribui para uma melhoria das condições de trabalho e do meio ambiente, além de promover um aumento significativo na qualidade, produtividade e competitividade.

Para que uma máquina agrícola seja utilizada de forma otimizada, algumas características como a energia consumida e a capacidade efetiva de trabalho precisam ser conhecidas, mas existem poucos dados sistematizados para utilizá-las como parâmetro no planejamento das atividades agrícolas. A aquisição de dados é um dos principais problemas enfrentados por administradores de propriedades rurais e pesquisadores responsáveis pela realização de testes de máquinas (GARCIA, 2003).

Machado (2007) define a importância dos dados com um sistema de aquisição eletrônico. A fim de qualificar e analisar corretamente a relação máquina agrícola-solo, faz-se necessária a aquisição de dados que sejam ao mesmo tempo precisos, confiáveis e de fácil e rápida obtenção. Tal tarefa é facilitada por meio da utilização de equipamentos eletrônicos, como sensores, meios de armazenamento e transmissão dos dados coletados, os quais devem basear-se em três princípios básicos: precisão adequada, custo acessível e boa robustez.

A pesquisa de Machado (2007) apresenta um sistema eletrônico de aquisição de dados para máquinas agrícolas. Esse sistema utiliza sensores que geram sinais analógicos e digitais controlados por um circuito eletrônico, baseado em um microcontrolador PIC. Os dados adquiridos pelo equipamento são armazenados numa memória RAM, com capacidade para 8 Kbytes. Essa memória possui uma bateria interna de lítio, que mantém os dados gravados mesmo que o equipamento seja desligado. A transferência dos dados adquiridos para um computador portátil é feita através de uma interface RS-232 serial.

Os trabalhos de Russini (2009) e Santos (2010) utilizam um sistema de coleta de dados com sensores instalados em maquinários agrícolas, juntamente com um *datalogger*. Para acompanhar o desempenho do maquinário durante o trabalho de campo, armazena-se dados como consumo de combustível, patinamento de rodas, informações de GPS e outros sensores disponíveis. Os dados coletados e armazenados são de extrema importância para análises posteriores e tomada de decisões sobre planejamentos de operações de campo, para melhorias na operação dos maquinários e maior produtividade.

Os trabalhos citados mostram que os dados armazenados localmente só podem ser transferidos a um computador quando a operação agrícola tiver uma pausa. O processo demanda tempo para conectar o computador à memória no maquinário e ainda habilitar uma comunicação para transmissão dos dados. Além de ser incômodo por ser realizado no meio da lavoura no caso de coleta em campo, também ocasiona inconvenientes na produção, pois causa paradas inesperadas. Essa forma de coleta só permite a análise e o processamento dos dados depois que a operação agrícola estiver terminada.

A comunicação de áreas remotas com uma central de captação de informações é o princípio básico de funcionamento da transmissão via telemetria. Telemetria é a transferência e utilização de dados provindos de uma ou mais máquinas remotas, para o seu monitoramento, medição e controle, permitindo uma comunicação instantânea, via rede de computadores fixa ou sem fio (*wireless*) (BONDE, 2009).

Com o avanço tecnológico, um número cada vez maior de equipamentos eletrônicos é utilizado em máquinas agrícolas e com eles nasce a necessidade de se obter a análise dos dados de forma on-line. Para isso, é preciso que haja o desenvolvimento de sistemas de transmissão de dados próprios para ambientes como operações de campo (SOUSA et al., 2001).

Nos trabalhos mostrados, a tarefa de transferência e processamento dos dados poderia ser facilitada se fosse feita de forma automática com os dados analisados on-line, ou seja, na hora da coleta, tornando-se um sistema mais eficaz com relação a tomadas de decisões.

Este trabalho faz parte de um projeto maior, chamado SADA (Sistema de Apoio à Decisão para utilização no Agronegócio) e é uma ação conjunta do

Departamento de Engenharia Rural, através do seu Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e do Curso de Ciência da Computação e do Pós-Graduação em Informática, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

O SADA é um projeto em desenvolvimento criado para auxiliar gerentes do agronegócio nas tomadas de decisões relativas ao controle e ao bom desempenho operacional da maquinaria agrícola.

O objeto deste trabalho, TSADA é parte integrante do SADA, que propõe a criação de um sistema de telemetria para a transmissão de dados a campo, obtidos através de sensores instrumentados em máquinas agrícolas. Os dados coletados serão transferidos, sem a utilização de cabos ou fios, para um computador servidor de forma online e transparente ao operador, definindo um sistema de comunicação que mantenha um sincronismo entre a base de dados e a coleta de informações na máquina agrícola, que se encontra em movimento constante.

Para que o sistema garanta a entrega da informação de forma íntegra e com a correção de problemas enfrentados na transmissão e/ou falhas no meio de transmissão, o sistema de telemetria terá redundância de transmissão e será tolerante a falhas. Para alcançar este objetivo, duas tecnologias de transmissão, que são estrutura de celular e rádio-freqüência, serão utilizadas de forma a realizar uma transmissão bem sucedida.

1.1 Objetivo Geral

Como objetivo geral, este trabalho é pesquisar, definir e implantar um sistema de Telemetria com redundância de transmissão, ou seja, disponibilizar tecnologias independentes de infraestruturas entre elas, a fim de garantir a entrega de toda coleta dos dados com controle de falhas e pedidos de reenvio de dados.

1.2 Objetivos Específicos:

Os objetivos específicos deste projeto são:

- desenvolver sistema de coleta de dados no dispositivo de armazenamento (datalogger) para sincronizar e interpretar os sensores instalados no equipamento agrícola;
- modelar e implantar sistema de transmissão com configuração do modem e definir o scripts de conexão, comunicação para transmissão e reconexão no caso de queda;
- modelar e implantar sistema de transmissão com configuração de rádios móvel e fixo e definir o script de transmissão e recepção de dados;
- comparar desempenho entre as tecnologias de transmissão GSM/GPRS e Xtend/ZigBee e seus pontos de acesso;
- simular situações de campo com equipamentos para definição da redundância, realizadas no laboratório de testes no NEMA (Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas) para o desenvolvimento do sistema de telemetria.
- modelar e implantar o sistema de integração de dados e definir as entradas dos meios de transmissão de forma aleatória para uma base única;
- modelar e implantar no sistema de integração o reconhecimento de dados falhos de transmissão para recusar e registrar falha;
- modelar e implantar no sistema de integração o controle de registros falhos, que devem ser retransmitidos em tempo de coleta junto com transmissão online para análise;
- projetar e desenvolver um protótipo para substituição do datalogger por placa eletrônica, equivalente às atribuições exigidas neste projeto;
- validar o sistema de telemetria em contexto real em uma fazenda no interior do Rio Grande do Sul, com características geográficas variadas, em culturas de plantio diferentes e com possibilidade de criação de infraestrutura de transmissão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Todo sistema de telemetria é como uma engrenagem de tecnologias onde a falha em qualquer parte pode acarretar uma sequência de falhas, e comprometer todo o sistema. Para que um sistema seja bem-sucedido, o sincronismo entre as tecnologias deve ser muito bem ajustado, conforme as particularidades de cada equipamento especificado pelo fabricante, destacando seu melhor desempenho.

Serão apresentadas as partes integrantes do sistema de telemetria, justificadas nesta pesquisa, desde sensores, sistema de coleta de dados, sistema de transmissão e sistema de armazenamento.

2.1 Sensores

Um sensor é como um dispositivo que recebe e responde a um estímulo ou a um sinal. Um transdutor, por sua vez, é um dispositivo que converte um tipo de energia em outra, não necessariamente em um sinal elétrico (OGATA, 2003). O sensor pode ser composto de um transdutor e de uma parte que converte a energia resultante em um sinal elétrico.

Um instrumento de medida pode ser um sensor/transdutor com indicação direta, como um termômetro de mercúrio ou um medidor elétrico ou um sensor/transdutor em conjunto com um indicador, de modo que o valor detectado se torne legível pelo homem, como um conversor de analógico para digital, um computador, um display. (SOUZA, 2006)

Segundo WENDLING (2006), o sensoriamento é uma terminologia generalista que reflete a distância relativa do sensor ao elemento sob observação. Pode-se dizer também que sensoriamento é a operação de obtenção de informações da superfície e subsuperfície de um objeto a partir de sensores.

2.1.1 Tipos de Sensores

Existem vários tipos e modelos de sensores que variam conforme o objeto alvo de sensoriamento em determinadas aplicações e expectativa de resultados. Destacam alguns dos tipos mais utilizados (WENDLING, 2006):

2.1.1.1 Indutivos

Esses sensores são considerados como componentes eletrônicos capazes de detectar a aproximação de um objeto sem a necessidade de contato físico entre sensor e o acionador, e aumentam a vida útil do sensor por não possuir peças móveis sujeitas a desgastes mecânicos.

Um sensor de proximidade indutivo tem sua saída ativada quando um metal entra em sua área sensora. Baseia-se no princípio da variação da frequência de um oscilador eletrônico em função da variação do fluxo magnético no interior de um indutor com a aproximação de um metal. Como os metais apresentam alta permeabilidade magnética, a aproximação de um metal faz com que o fluxo magnético ao redor do indutor seja concentrado no metal, mudando assim o valor da indutância e conseqüentemente a frequência do circuito oscilador. Um circuito eletrônico conversor frequência-tensão e um detector de nível de tensão de disparo são empregados para ligar e desligar a saída nos valores de tensão convenientes.

As características principais dos sensores indutivos são:

- distância sensora – distância nominal em que um objeto metálico é detectado;
- resposta de frequência – a frequência máxima com que objetos metálicos podem ser detectados;
- tensão de alimentação – tensão nominal de alimentação para funcionamento;
- tipo de saída – saída a relé, a transistor NPN ou a transistor PNP;
- estado da(s) saída(s) – normalmente aberta, normalmente fechada, em tensão ou em corrente elétrica;
- formato - de acordo com a aplicação;
- ambiente de trabalho - ambientes agressivos requerem sensores herméticos, com grau de proteção elevado;

- número de fios de ligação – um sensor pode ter 3, 4, 5 ou mais fios de ligação. O total de fios depende do número e do tipo de saídas.

2.1.1.2 Fluxômetro

Um fluxômetro é um medidor de fluxo ou vazão de líquidos e gases. Existem vários tipos de fluxômetros, os mais comuns usam engrenagens dispostas no caminho do fluxo a ser medido (OVAL CORPORATION, 2010).

Quanto maior for o fluxo, maior é a rotação das engrenagens. No caso de um fluxômetro eletromecânico, a rotação de uma engrenagem é convertida em tensão com a saída proporcional ou em pulsos por unidade de fluxo onde a saída ocorre por pulsos.

De acordo com Sparling (2010) as características principais dos fluxômetros são:

- faixa de fluxo – valor mínimo e máximo de fluxo medido;
- fluido de trabalho – fluido para qual o fluxômetro foi projetado. Conforme o fluido de trabalho, são feitas proteções nos mecanismos em contato com o fluido para evitar corrosões e incrustações indesejadas;
- máxima pressão de trabalho – valor máximo de pressão que o fluxômetro suporta em regime permanente;
- tensão de alimentação – tensão nominal de alimentação para funcionamento;
- tipo de saída – saída a relé, a transistor NPN ou a transistor PNP;
- estado da(s) saída(s) – normalmente aberta, normalmente fechada, em tensão ou em corrente elétrica;
- ambiente de trabalho – ambientes agressivos requerem fluxômetros herméticos, com grau de proteção elevado;
- conexões – tipo e diâmetro das conexões para fluxo de fluido.

2.1.1.3 Capacitivo

Os sensores capacitivos são capazes de detectar a aproximação de objetos sem a necessidade de contato físico, tal qual os sensores indutivos, porém com princípio de funcionamento baseado na variação da capacitância.

Os sensores capacitivos geram um campo eletrostático e detectam mudanças causadas nesse campo quando um alvo se aproxima da face ativa.

As partes internas do sensor consistem em uma ponta capacitiva, um oscilador, um retificador de sinal, um circuito de filtragem e um circuito de saída.

Na ausência de um alvo, o oscilador fica inativo, a capacitância do circuito com a ponta de compensação é determinada pelo tamanho do alvo, sua constante dielétrica e distância até a ponta. Quanto maior o tamanho e a constante dielétrica de um alvo, mais aumenta a capacitância. Quanto menor a distância entre a ponta e o alvo, maior a capacitância.

2.1.1.4 Fotoelétrico

São sensores remotos que podem ter alcance de vários metros, aplicados em ambientes que necessitam de uma resposta rápida de detecção.

O sensor detecta a mudança da quantidade de luz que é refletida ou bloqueada pelo objeto a ser detectado. A composição básica do sensor fotoelétrico é fonte de luz, sensor de luz, lentes e saída.

Além dos sensores definidos, podemos ainda destacar os Magnético ou "Reed-Switch", os de Pressão ou toque e também Encoders.

2.1.1.5 Receptor GPS

Um aparelho GPS (GPS - Sistema de Posicionamento Global ou do inglês *Global Positioning System*) é um receptor de um sistema de posicionamento por satélites. São utilizados para determinação da posição, velocidade e direção do receptor na superfície da Terra (MONICO, 2000).

Estações terrestres de controle, localizadas na Zona Equatorial, mantêm os dados dos satélites constantemente atualizados e sincronizados. Dessa maneira, os satélites possuem relógios atômicos de bordo altamente precisos, razão pela qual no trabalho desenvolvido registra-se a data e hora diretamente do GPS.

Segundo PETILIO (2007), a popularização do GPS é um dos grandes responsáveis pelo crescimento da agricultura de precisão, que busca a melhor forma de explorar a agricultura.

Protocolo NMEA

Um dos modos mais usados pelos receptores de GPS para recepção de dados é através do protocolo NMEA (*National Marine Electronics Association*), mais especificamente o NMEA-0183. Nesse protocolo, enviam-se os dados em formato ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), e que cada linha constitui-se por um cifrão (\$), o código do tipo de receptor (“GP” no caso dos receptores de GPS), o código que identifica o tipo de dados enviados (3 dígitos), os dados separados por vírgulas, um campo de checksum opcional (constituído por um “*” e dois caracteres hexadecimais) e acaba com “carriage return linefeed” (“\r\n”, representados pelos caracteres “\r\n” em várias linguagens de programação) (ANTUNES, 2007).

Abaixo é apresentado um exemplo deste protocolo:

```
$GPGGA,143519,4907.038,N,01211.324,E,1,08,0.9,455.4,M,46.9,M, , *42
```

2.2 Aquisição e Armazenamento de Dados

Como visto, os sensores apresentados como primeiro equipamento ou tecnologia que faz parte do sistema de transmissão são mecanismos que detectam alterações físicas no contexto de sensoriamento e geram informações das mais diversas formas, como pulsos, dados em série de forma digital, analógica, ou outras formas definidas pelos fabricantes dos sensores.

Toda saída de informação do sensor gera dados com importância para a aplicação, portanto é imprescindível que os dados gerados sejam capturados e armazenados de forma temporária ou até permanente, para que possam ser utilizados com as mais diversas funcionalidades.

Um *datalogger* (registrador de dados), equipamento utilizado neste projeto (TSADA), é como um gravador de dados eletrônicos, que armazena os dados de sensores em um intervalo de tempo pré-definido, conforme uma lógica de programação interna ou ainda conforme um comando externo (RUSSINI,2009).

Esse registrador de dados diferencia-se de um sistema de aquisição de dados por ser um equipamento único, que possui baixa taxa de amostragem e alta capacidade de armazenamento de dados, que tem uma autonomia equivalente a 35 horas em uma memória de 4 Mbytes considerando os dados armazenados em um ciclo de 4 segundos, com uma média de 130 bytes por ciclo como no trabalho de Russini (2009) e Santos (2010).

De maneira geral, o *datalogger* utiliza um circuito eletrônico, baseado em um microprocessador para controle e memórias de armazenamento não voláteis para armazenamento de dados.

Geralmente esses equipamentos são pequenos e alimentados por baterias. Através de portas de comunicação, é possível fazer a aquisição dos dados armazenados para um computador, por exemplo, onde os dados podem ser analisados e tratados convenientemente. Alguns *dataloggers* possuem ainda uma interface com LCD (Display de Cristal Líquido) e um teclado para facilitar a programação, alteração de parâmetros e visualização dos dados armazenados (MACHADO, 2010).

Esses equipamentos são ligados aos sensores diretamente por cabos ou substituídos por equipamentos sem fios apropriados e adaptados a cada sensor, e mantêm a originalidade dos resultados apresentados na saída dos sensores e na entrada dos equipamentos de armazenamento, que ficam constantemente à disposição das leituras dos sensores e podem também ser definidos na programação desse equipamento.

O CR1000 é um *datalogger* que pode medir praticamente qualquer sensor com uma resposta elétrica. Cada medição é armazenada na memória do CR 1000, equivalente a 4 Mbytes, e aguarda a transferência para um computador pessoal (PC) através de dispositivos de armazenamento externo ou de telecomunicações, com a possibilidade de adicionar novos equipamentos de transmissão (CAMPBELL, 2010).

Esse datalogger é um instrumento destinado à medição de aplicações de baixa potência, que ocupa pouca capacidade de processamento. Com entradas analógicas e digitais, saídas analógicas e digitais e memória, é controlado pelo sistema operacional em conjunto com o sistema criado e compilado por um programador, definido como programa de usuário.

As principais características de um *datalogger* são definidas por suas interfaces, memória física e alguns outros detalhes, como:

- entradas e saídas – determinam a quantidade e o tipo de entradas elétricas para sinais de sensores e chaves de controle e a quantidade e tipo de saídas elétricas para controle de atuadores, sinalizadores e outros equipamentos. Podem ser entradas ou saídas digitais, analógicas ou específicas para determinadas aplicações. Os níveis de tensão e corrente dessas entradas e saídas devem ser bem observadas para evitar danos ao *datalogger*;
- memória de armazenamento – capacidade e tipo de memória utilizados para armazenamento do programa principal (quando o *datalogger* for programável) e dos dados dos sensores;
- taxa de amostragem – intervalo de tempo em que os dados são digitalizados. Esse tempo determina o intervalo de tempo mínimo em que podem ser coletados os dados;
- precisão – todas as precisões dos dados das entradas e saídas, especificadas individualmente;
- interfaces de comunicação – canais de comunicação com outros equipamentos elétricos;
- alimentação – tensão e corrente nominal de alimentação dos circuitos eletrônicos, com ou sem alimentação dos sensores e atuadores ligados ao *datalogger*;
- grau de proteção – ambientes agressivos requerem *dataloggers* herméticos, com grau de proteção elevado.

Alguns equipamentos equivalentes à tecnologia de um *datalogger* oferecem uma forma de transmitir os dados por rádio frequência, sendo que o sistema e os equipamentos proprietários e com restrições a documentação e implementação dos seus recursos.

No trabalho de MACHADO (2007), observa-se um caso específico de criação de um equipamento eletrônico que substitui a função do *datalogger*. Esse dispositivo eletrônico faz aquisição de dados em sensores e tem armazenamento local para ser coletado posteriormente por um computador conectado a uma porta serial. Os

equipamentos oferecem funções específicas para o objetivo da aplicação para a qual foi criado e apresentam uma limitação muito maior de processamento e capacidade de gerenciamento de conexões que um datalogger do tipo CR1000 da Cambell.

Os recursos de hardware são moldados em placas eletrônicas com Microcontroladores conhecidos como PIC (MICROCHIP, 2010) e projetados conforme a exigência da aplicação sobre uma maior capacidade de processamento e gerenciamento desses recursos. O equipamento pode ser alterado para atender algum objetivo próximo ao objetivo inicial, faz a substituição de alguns componentes importantes e realiza um melhoramento (upgrade) no equipamento, mas muito limitado a seu estado original.

Existem alguns equipamentos genéricos que servem para funções equivalentes, como apresentadas as características de coleta e armazenamento, e também possibilitam a transmissão dos dados. Um modelo de equipamento que se encaixa como genérico é o R-CONTROL 30 (ROGERCOM, 2010), que pode ser utilizado para elaborar projetos de automação residencial, robótica, telemetria e alguns outros e mantém as características fundamentais de um *datalogger* de controle de ligações analógicas e digitais propícias para comunicação com sensores.

2.3 Telemetria

A palavra telemetria é de origem grega, onde *tele* significa longe, remoto e *metron*, medida (DIAS, 1992).

Pela origem do termo, telemetria significa medição a distância, ou seja, é uma técnica de obtenção e transmissão de dados a distância. É a transferência e a utilização de dados provindos de múltiplas máquinas remotas, distribuídas em uma área geográfica de forma predeterminada, para o seu monitoramento, medição e controle (VISSOTTO, 2010).

Considerando que os dados gerados por um sensoriamento tem uma quantidade considerada pequena até mesmo para transmissões com baixas taxas de transferência de dados, a telemetria permite a coleta de dados em tempo real, e em locais de difícil acesso, agiliza assim o processo de aquisição das informações.

Permite, ainda, a possibilidade de fornecer conectividade entre vários tipos de subsistemas, pois visa não somente a uma forma de ofertar serviços ao usuário, mas também a melhoria na maneira de fazer o gerenciamento das informações com segurança.

Os dados gerados pelo sensoriamento mantêm uma característica de poucas informações considerando uma facilidade para sua transmissão

2.3.1 Meios de Transmissão

Santos (2004) define que existem diversos meios de comunicação os quais tem sido utilizados para suportar as aplicações de telemetria, incluindo micro-ondas, rádio privado, linhas telefônicas, rede elétrica, satélite e sistemas de rede proprietárias.

A escolha por uma rede de comunicação específica é, principalmente, em função da área de cobertura, do preço da solução e do equipamento, da confiabilidade da solução e da facilidade de integração. A importância dada a cada um dos fatores depende da necessidade da indústria e do cliente em questão.

As transmissões, definidas como via rádio, são chamadas de transmissões *Radio frequency (RF)*, e dependem de uma infraestrutura para conduzir de forma efetiva uma conexão, na qual os pontos comunicam-se através de uma antena para enviar e receber dados. Nessa infraestrutura, considera-se a chamada visada, que é definida por pontos de transmissão e recepção, com emissão de ondas de rádio, onde os dois pontos estejam sem obstáculos entre eles em linha reta, para que garantam a propagação da radiofrequência de um ponto a outro dentro das leis físicas do universo.

Através das ondas de rádio, é possível alcançar grandes distâncias e também transmitir os dados mesmo sem a chamada visada, mas pode haver diminuição da potência de transmissão conforme o número e tipo de obstáculos entre os pontos.

As antenas e os equipamentos que utilizam as faixas de frequências livres devem estar sujeitos às regras definidas pela FCC (Federal Communications Commission), para que então possam ser aprovadas e utilizadas. A exploração de transmissão também sofre a definição de licenças de operações por instituições governamentais de cada País, no caso do Brasil é a Anatel, controla a exploração de sinal com transmissão de dados. (FCC,2010)

2.3.1.1 Infraestrutura dos meios de transmissão

Define-se algumas categorias para redes Wireless, conforme a descrição e padronização da IEEE (2010):

- WPAN - Redes Pessoais sem Fio: Wireless Personal Area Network.
- WLAN - Redes Locais sem Fio: Wireless Local Area Network.
- WMAN - Redes Metropolitanas sem Fio: Wireless Metropolitan Area Network.
- WRAN - Redes de Areas Regionais sem Fio: Wireless Regional Área Network.
- WWAN - Redes Geograficamente Distribuidas sem Fio: Wireless Wide Area Network.

Na Figura 1 observa-se a definição dos padrões relacionados a tecnologia de transmissão, onde leva-se em consideração as características da área abrangência definida pela frequência, velocidade e alcance de cada rede.

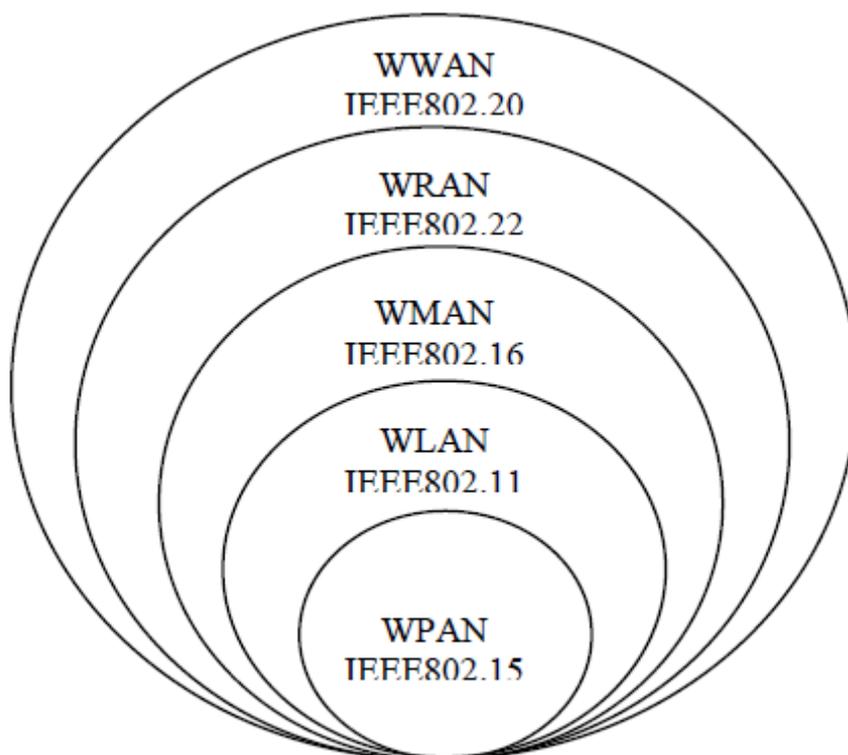


Figura 1 - Padronização IEEE (IMAI, 2007)

Na Tabela 1 apresenta-se as tecnologias que destacam-se para as aplicações de telemetria.

Tabela 1 – Padrões conforme IEEE

Padrao IEEE	Area de utilização	Nome como e conhecido
802.11	Wireless Local Area Network	(WLAN) Wi-Fi
802.15	Wireless Personal Area Network	(WPAN) Bluetooth / ZigBee
802.16	Broadband Wireless Access	(BBWA) Wireless Metropolitan Area Network / (WMAN) / WiMax
802.20	Mobile Wireless Access / Wireless Wide Area Network	(WWAN) / Mobile-Fi / GSM
802.22	Wireless Regional Area Network	(WRAN)

Fonte:Tabela Adaptada de (IEEE,2010) (IMAI,2007)

Os padrões Wireless, que inclui o Wi-Fi, Bluetooth, e ZigBee, surgiram para fornecer maior flexibilidade do que os sistemas cabeados e para reduzir o risco de integrar comunicações wireless proprietárias.

Todas as tecnologias que envolvem rádio frequência seguem o mesmo princípio de transmissão, mas têm características diferentes umas das outras por serem desenvolvidas com objetivos diferentes. As características estão relacionadas aos protocolos de comunicação que organizam a comunicação entre os pontos, bem como às frequências que definem tipos de licença e potências de transmissão com equipamentos específicos para essa tecnologia.

Observa-se na Figura 2 a abrangência das tecnologias comparadas conforme taxa de transmissão e categorias de infraestrutura.

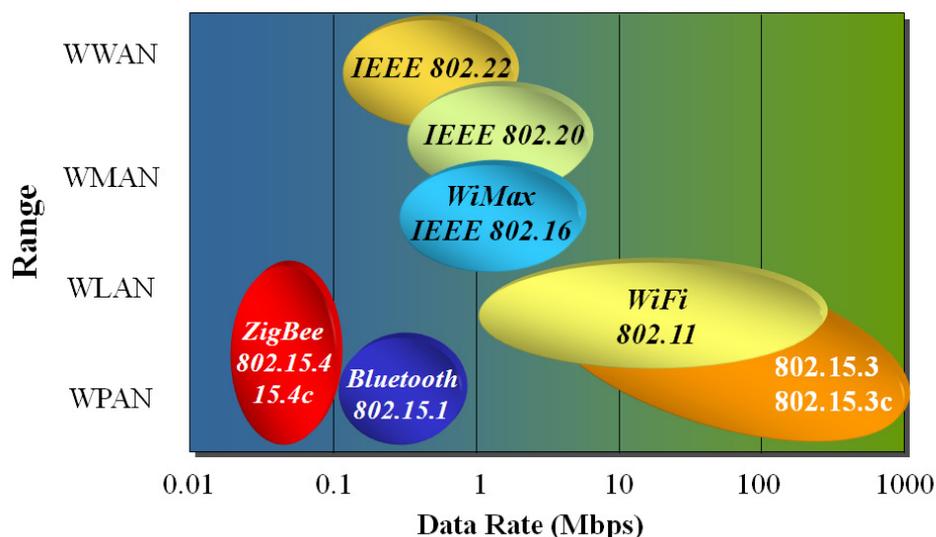


Figura 2 – IEEE 802 Wireless Space (Zigbee,2010)

A figura mostra que a tecnologia Zigbee avança para uma área de cobertura maior e passa por infraestruturas de WLAN, considera-se a potência de rádios como Xtend da Digi¹ (2010), que chega a cobrir até 60 km e mantém a taxa de transmissão. Essa tecnologia é indicada para a utilização em aplicações de telemetria por apresentar grande área de abrangência e uma taxa de transmissão baixa, mas equivalente com os pequenos pacotes de dados gerados a ser transmitidos.

2.3.1.2 ZigBee

O Padrão ZigBee é um conjunto de especificações para uma rede WPAN (Wireless Personal Area Network). O padrão fornece especificações para dispositivos que têm baixa taxa de transmissão, consumo de energia muito baixo e portanto são caracterizados por possuírem bateria de longa duração (ERGEN,2004).

A arquitetura da pilha de protocolos do ZigBee divide-se em camadas, cada uma delas fornece um específico conjunto de serviços para a camada acima. Uma entidade de dados provê um serviço de transmissão de dados e uma entidade de gerenciamento provê todos os outros serviços. Cada entidade de serviço expõe uma interface para a camada superior, através de um SAP (Service Access Point) e cada

¹ <http://www.digi.com>

SAP dá suporte a um conjunto de primitivas de serviço para alcançar a funcionalidade requerida (KHANH, 2005). Como mostra na Figura 3.

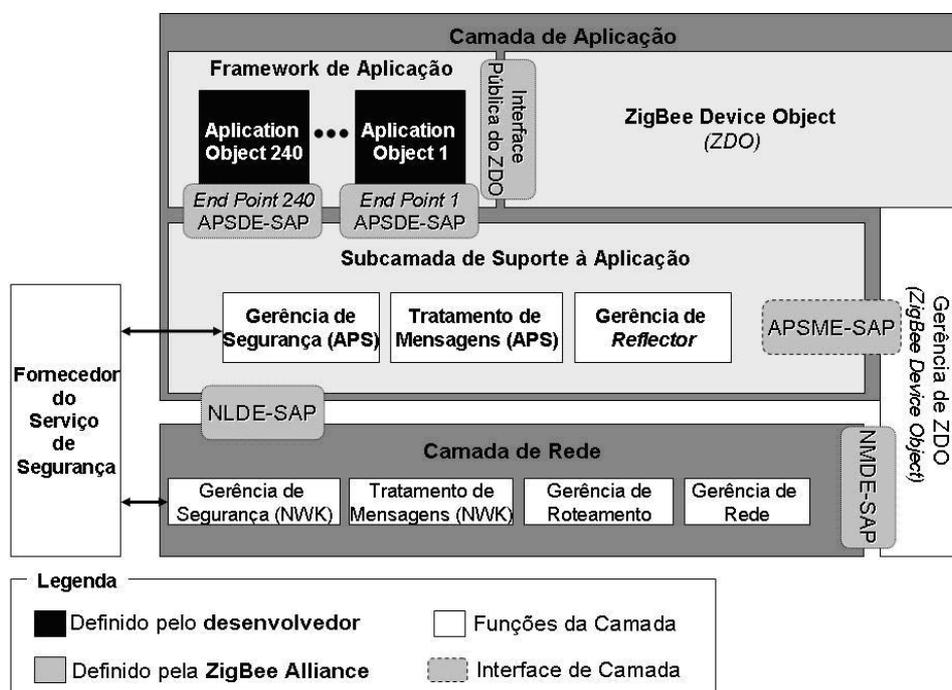


Figura 3 – Definição de Camadas Protocolo ZigBee (ZIGBEE,2010)

O padrão IEEE 802.15.4 define as duas camadas inferiores: a camada física e a subcamada de acesso ao meio (MAC). A Aliança ZigBee construiu a camada de rede (NWK - network) e a estrutura básica (framework) para a camada de aplicação. A estrutura da camada de aplicação consiste da subcamada de apoio à aplicação (APS – application support sub-layer) e aos objetos de dispositivo ZigBee (ZDO – ZigBee device objects). Objetos da aplicação definidos pelo fabricante usam a estrutura e compartilham APS e serviço de segurança com o ZDO (SANTOS,2007).

A subcamada MAC definida pelo IEEE802.15.4 controla o acesso ao canal de rádio e usa um mecanismo CSMA-CA. As responsabilidades dessa sub-camada também incluem a transmissão de “quadros de anúncio” (beacon frames), a sincronização e podem prover um mecanismo de transmissão confiável.

A Figura 4 apresenta uma comparação do protocolo TCP e modelo OSI com o ZigBee e suas definições de camadas.

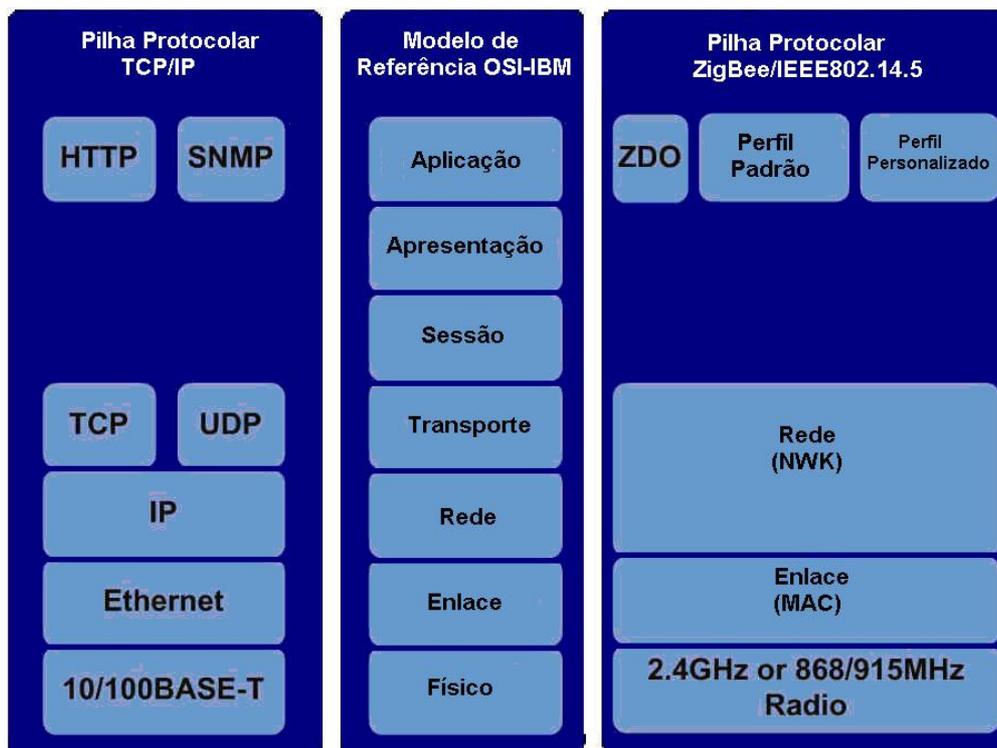


Figura 4 – Comparativo de Camadas protocolos (ZIGBEE,2010)

Em redes ZigBee, identifica-se dois tipos de dispositivos, os FFD *Full Function Device* (Dispositivos de Funções Completas) e os RFD *Reduced Function Device* (Dispositivos de Funções Reduzidas) (ZigBee,2010).

Os FFDs são dispositivos mais complexos e precisam de um hardware mais potente para a implantação da pilha de protocolos, pois consomem mais energia. Numa topologia de Rede ZigBee, podem assumir o papel de Coordenador, Roteador ou mesmo de um dispositivo final (End Device). Dispositivos FFDs podem se comunicar com quaisquer membros da rede. São implementados em microcontroladores com no mínimo 32KB de memória de programa e podem ter uma certa quantidade de memória RAM para implementações de tabelas de rotas e configurações de parâmetros.

Já os dispositivos RFDs são mais simples, pois sua pilha de protocolo pode ser implementada usando os mínimos recursos possíveis de hardware, como por exemplo, em microcontroladores de 8 bits com memória de programa próxima a 6KB, mas só podem se comunicar com dispositivos FFDs (Coordenador ou Roteador). Numa topologia de Rede ZigBee, assumem o papel de End Device

(dispositivo final), como interruptores de iluminação, dimmers, controle de relês, sensores.

No padrão ZigBee, existem três classes de dispositivos lógicos (Coordenador, Roteador e Dispositivo final) que definem o funcionamento da rede (Kinney,2003):

- **ZigBee End Device (Dispositivo final ZigBee) ou ZED** é onde os atuadores ou sensores serão hospedados. Pode-se implementá-lo através de um dos dispositivos FFD ou RFD. Assim ele é o nó que consome menos energia, pois na maioria das vezes fica dormindo (conhecido como Sleep).
- **ZigBee Router (Roteador ZigBee) ou ZR** também é implementado através de um dispositivo FFD. Tem as características de um nó normal na rede, mas com poderes extras de também exercer a função de roteador intermediário entre nós, sem precisar do Coordenador. Por intermédio de um roteador, uma rede ZigBee poder se expandir, e assim ter mais alcance.
- **ZigBee Coordinator (Coordenador ZigBee) ou ZC** é implementado através de um dispositivo FFD. O coordenador é responsável pela inicialização, distribuição de endereços, ou seja, a manutenção da rede, reconhecimento de todos os nós, entre outras funções e pode servir como ponte entre várias outras redes ZigBee.

Além da classe Coordenador, os nodos da rede ZigBee podem funcionar no modo de operação **Non-Beaconing**, onde os nós dispositivos da rede permanecem sempre com seus receptores ativos (Kinney,2003).

Com todo o benefício de transmissão e sincronismo rápido para pequenos pacotes de dados o ZigBee, destaca-se a finalidade sobre Telemetria perante os outros grupos definidos na IEEE 802x pois chega, a capacidade de transmissão de até 60 km em alguns equipamentos e opera na potência de 1W, como o exemplo da empresa Digi como modelo XTend-PKG-R (DIGI,2010).

2.3.1.2.1 Transmissores ZigBee

Algumas considerações podem ser colocadas para definir a escolha de transmissores que utilizam o padrão ZigBee. Para um alcance de 100 metros,

ZigBee consegue taxas de 250 kbps. Esse valor é relativamente baixo quando comparado com os 54 Mbps do 802.11g. A tecnologia é definida para aplicações com transmissões de informações em menor escala, portanto a velocidade não é o parâmetro. Uma característica importante do ZigBee é o baixo consumo de corrente e o baixo custo de implementação.

Módulos XBee

A MaxStream, atual Digi, fabrica componentes para comunicações sem fio e tem uma linha chamada XBee. O XBee é um pequeno, mas completo transmissor/receptor ZigBee. Há duas versões disponíveis pelas fabricantes: o XBee e o XBee PRO. São versões parecidas e perfeitamente compatíveis entre si. A única diferença é sobre a potência de transmissão: 1 mW para o módulo XBee e 63 mW para o módulo XBee PRO. O alcance do produto final depende da potência de transmissão, porém não é o único fator a ser levado em consideração.

Deve-se pensar no consumo de corrente. 1 mW consome cerca de 45 mA, enquanto 63 mW engole 270 mA. Portanto, em algumas aplicações, com o uso de baterias de pequeno porte deve ser levado em consideração o consumo que implica direto no tempo de vida do rádio.

Os rádios XBee apresentam três opções de antenas:

- 1) Integrada no chip. Nesse caso, a energia radiada não é direcional.
- 2) Com um conector para antena externa;
- 3) Com uma antena vertical integrada (chicote). Basicamente, isso permite direcionar o feixe.

O módulo de transmissão XBee apresenta uma forma de operação amigável, trata-se de um sistema inteligente, ou seja, o módulo possui lógica de controle que pode aceitar comandos do desenvolvedor. Os comandos são especificados pelo fabricante.

A fabricante Maxstrem disponibiliza também um programa chamado X-CTU, representado na Figura 5 sua interface. Esse pode ser obtido gratuitamente no site do fabricante. O X-CTU é usado para configurar todos os parâmetros do módulo XBee. Usa-se também para realizar atualizações de firmware.

Para comunicar o software com o módulo é necessário ligar o módulo XBee na porta COM de um computador. Segue na figura 5 um modelo de interface do software X-CTU com as definições de configuração do módulo conectado:

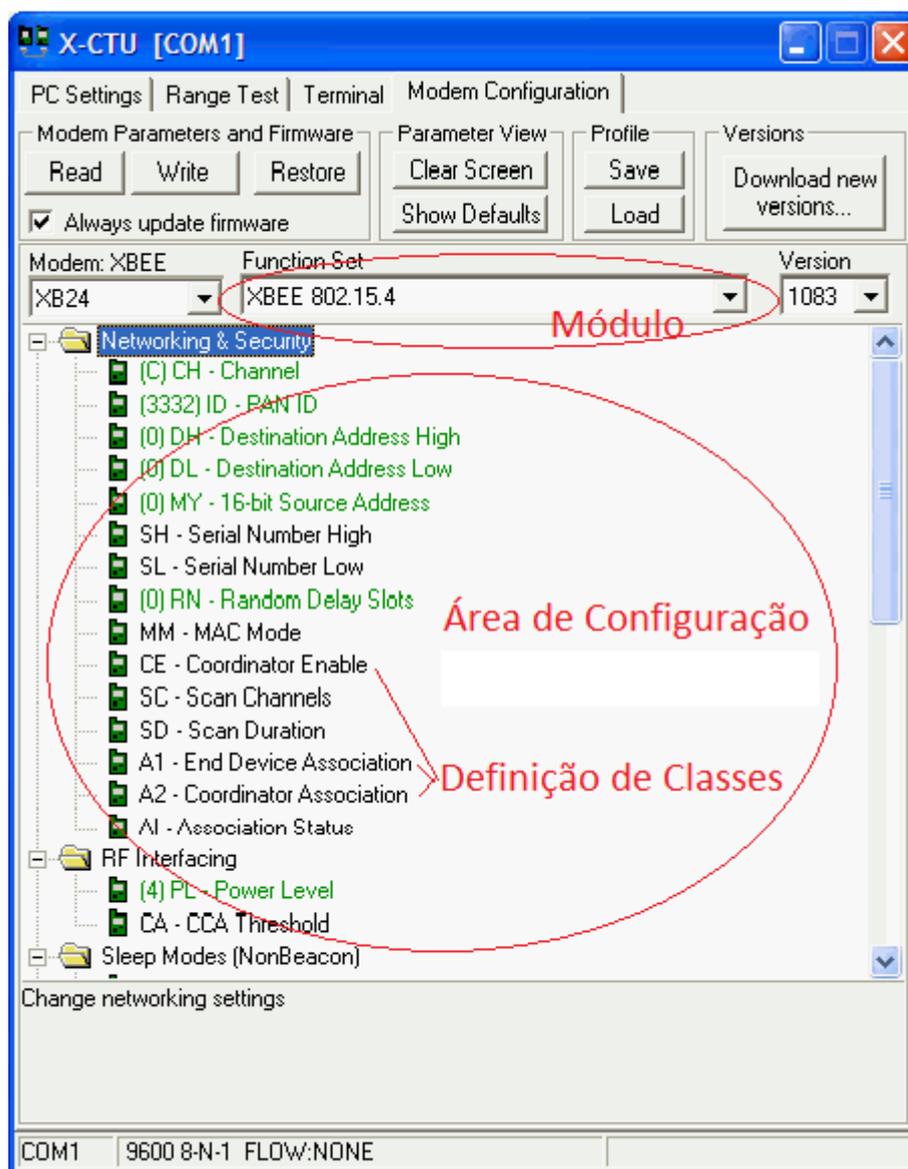


Figura 5 – Interface de Configuração Rádios XBee (DIGI, 2010).

Alguns pinos do XBee estão atualmente reservados para funções que estão indisponíveis no software de dispositivo, criados para projetos futuros, e utilizam a mesma versão dos rádios, necessitando somente a atualização do firmware.

O módulo XBee-PRO XSC

O XBee-Pro XSC é um módulo que se destaca entre os equipamentos encontrados de RF, capaz de conseguir uma conectividade da rede da distância sem fio acima de 15 milhas, cerca de 24 quilômetros em campo aberto, de raio sob a circunstância da presença de visada.

O módulo apresenta características semelhantes ao original Xbee, como configurações correspondentes ao protocolo ZigBee e tamanho pequeno, apropriado para aplicações que exigem adaptação em lugares de difícil acesso. Projetado com frequências de 900 megahertz, oferece a potência de saída de 100mW, capaz de alcançar até 15 milhas, cerca de 24 quilômetros, com a antena outdoor sem nenhum bloqueio sob o ambiente da linha de visada.

Apesar de apresentar a vantagem de abranger uma maior distância comparada outros equipamentos equivalentes. Também apresenta uma baixa taxa de transmissão de dados, cerca de 9.6 kbps para modo de conexão assíncrono. Suporta as topologias point-to-multipoint que utilizam tecnologias de FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), também tem uma interface de configuração amigável.

Tem dentre suas características, grande mobilidade e baixa taxa de transferência de dados, mas um considerável ganho na abrangência de sinal, e é um equipamento adequado para transmissão de telemetria, equivalente a redes celulares.

O módulo XTEND

O XTEND-PDK da Digi apresenta as mesmas características básicas do original XBee da fabricante e ressalta a grande vantagem do módulo XBee PRO-XSC, que apresenta uma abrangência maior no sinal. O módulo chega a 64 quilômetros de extensão com sua cobertura outdoor, sem obstáculos em sua linha de visada. Essa grande vantagem é bem vinda para soluções de telemetria, que apresentam a mesma característica de baixa taxa de transmissão de dados e grande mobilidade, utilizando o protocolo ZigBee.

Performance

O módulo atinge capacidades de transmissões equivalentes ao local onde se encontra, no caso de utilização interna, definida também como *indoor*, ou em cidades utiliza uma antena com capacidade de 2.1 dB, na qual o alcance do sinal chega a 900 metros de distância. Com o equipamento de forma externa, definido como *outdoor*, sem obstáculos na linha de visada e com uma antena com boa capacidade do sinal, chega a atingir 64 quilômetros.

A potência de transmissão selecionada na configuração do módulo varia de 1mW até 1 W, com ganho entre 0 e 30 dBm. A taxa de transferência de dados varia de 10 a 230,400 bps e inclui a perda na taxa de transmissão serial, *baud rates*. Sua sensibilidade de recepção é de -110 dBm com 9,600 bps de throughput data rate, e -100 dBm com 115,200 bps) O Throughput data rate é selecionado na configuração do módulo e pode variar de 9,600 a 115,200 bps.

Requisitos de Alimentação de Energia

Todos os modelos tem voltagem de 7 a 28 volts e corrente que varia dependendo do estado, entre estar em espera ou ativo. As medidas variam de 17 mA a 39 mA e na ocorrência da transmissão dependem da potência, que varia de 1 mW a 1 W e consomem de 110 a 900 mA.

Rede e Segurança

O equipamento opera nas frequências de 902 a 928 MHz, com a tecnologia de FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) e modulação FSK (Frequency Shift Keying). Suporta topologias como ponto a ponto, multiponto e multidrop. Trata criptografia com 256-bit AES Encryption.

2.3.1.3 Telefonia Móvel

A nova geração de tecnologias de transmissão de dados apresenta como grande vantagem em relação aos sistemas de transmissão de dados, que as precederam o fato de não ser mais preciso fazer uma chamada telefônica para transmitir dados. Dessa forma, a cobrança passa a ser feita por pacote de dados trafegados na rede e não mais por tempo de conexão. Outra vantagem é como a conexão não é mais discada, não ocupa a linha, mantendo-a ela livre para efetuar e receber ligações normalmente (CARAM,2008).

O protocolo GPRS é uma tecnologia de dados disponível em redes GSM, cuja taxa de transmissão de dados típica é de 26 a 40 kbit/s. Seu sucessor o EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution) é a evolução imediata do GSM/GPRS, que possui uma taxa de transmissão três vezes maior, pois a mesma quantidade de dados que ocuparia 3 espaços de tempo na rede GPRS, ocupa apenas um na rede

EDGE, com a taxa de transmissão de dados típica de 100 a 130 kbit/s (CARAM,2008).

O WCDMA - Wideband CDMA, também conhecido como CDMA DS (Direct Sequence) é uma das tecnologias de acesso (ULTRA FDD) do UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) é um serviço de pacotes de dados, baseado no WCDMA, que otimiza a transmissão de dados na direção do telefone celular, chamada de enlace de descida. Já está em desenvolvimento o High-Speed Uplink Packet Access (HSUPA), que fará o mesmo para o enlace de subida.

O UMTS é o padrão de terceira geração aceito para as operadoras GSM, a evolução GSM para os serviços de dados sem fio de alta velocidade da Terceira Geração (3G), adotada no mundo inteiro como principal padrão sem fio. Portanto, apresenta uma evolução das redes móveis GSM de Segunda Geração (2G), em termos de capacidade, velocidade e serviços novos. Dentre suas principais características, apresenta a velocidade de até 2 Mbps e velocidade média de 220-320 kbps para UMTS (CARAM,2008).

O CDMA 1xRTT (Code Division Multiple Access) mantém a compatibilidade com os sistemas CDMA (IS-95) e sua estrutura de canais de RF de 1,25 MHz, presentes na rede CDMA padrão. A taxa de transmissão de dados típica é de 40 a 70 kbit/s. O CDMA 1xEV-DO é a tecnologia 3G do CDMA, a taxa de transmissão de dados típica é de 300 a 500 kbit/s.

A rede GPRS permite a funcionalidade completa dos principais recursos de redes TCP/IP no que se refere à conexão com a Internet de forma móvel. Isso se dá por disponibilizar interoperabilidade entre a Internet existente e as novas redes GPRS. Qualquer serviço atualizado na Internet, tais como FTP, navegação na Web, chat, e-mail, telnet, conexões TCP e UDP estão disponíveis nesse modelo de rede móvel, tornando assim a tecnologia uma provedora de soluções para internet (LOPES, 2008).

Uma forma simples para envio de informação por um sistema de telemetria é o SMS, que possibilita o envio de mensagens curtas de forma rápida.

Na região sul do Brasil, as operadoras de telefonia móvel que mantêm a concessão dos serviços sobre a tecnologia GSM dispõem de pacotes de transmissão de dados com custo baixo. Contam com o grande número de

informações geradas pela coleta em um equipamento durante o processo no campo agrícola, e pode-se considerar que a técnica de envio de dados por SMS ficaria com o custo elevado em função de a cada dois segundos gerar-se uma nova mensagem.

Conforme as operadoras oferecem, pode-se destacar um serviço de conexão com a internet ilimitada, e pode-se trafegar a quantidade de informação que for necessária sem ter uma limitação, o que mantém o mesmo custo independente da quantidade de mensagens enviadas pelo sistema.

No quadro 1 é apresentada uma tabela comparativa com algumas características das tecnologias de transmissão:

Select the Best Wireless Standard for Your Application				
	ZigBee 802.15.4	Bluetooth 802.15.1	Wi-Fi 802.11b	GPRS/GSM 1XRTT/CDMA
System resource	4-32 KB	250 KB+	1 MB ±	16 MB+
Battery life (days)	100-1,000+	1-7	0.1-5	1-7
Nodes per network	255/65,000+	7	30	1-1000
Bandwidth (KBps)	20-250	720	11,000+	64-128
Range (meters)	1-75+	1-10+	1-100	1000+
Application Focus	Monitoring and control	Cable replacement	Web, email, and video	Wireless voice and data
Success Metrics	Reliable, secure networking Protocol simplicity Low power consumption	Low incremental cost Ease of use/convenience Moderate data rate	High data throughput Flexibility (work and home) Hot Spot connectivity	Broad geographic coverage Datacentric pricing plans Network build-out

Quadro 1 – Quadro Comparativo de Tecnologias de Transmissão (Thienne, 2009).

2.3.1.3.1 Transmissores GSM

Encontram-se alguns equipamentos relacionados a acessos à rede GSM para utilização de computadores, onde é necessário a utilização de um software para realizar a conexão e utilização do equipamento na Internet. Alguns modems comercializados apresentam a disponibilidade de interagir com comandos em sua comunicação serial.

O modem GSM/GPRS da Urmet Daruma (DARUMA,2010) é um equipamento para transmissão de dados, que usa tecnologia celular GSM. Recomendado para uso em ambientes industriais e afins, pode ser conectado a um CLP (Controlador

Lógico Programável), circuitos de controle microprocessados, computadores, microcontroladores PIC e outros equipamentos por comunicação serial V24/RS232.

Uma empresa Australiana chamada *SIM Technology Group Ltd* (SIMCOM,2010) especializada em circuitos digitais de comunicação, desenvolve uma solução de módulos sem fio para diferentes plataformas de tecnologia, como a GSM / GPRS / EDGE, WCDMA / HSPA e TD-SCDMA. No Brasil, a empresa TATO Componentes Eletrônicos(TATO,2010), utiliza o módulo de comunicação SIM340 da SIMCOM para desenvolver um modem de conexão GSM, disponibiliza uma pilha TCP/IP interna e executa suas operações através de comandos AT em uma porta de comunicação Serial RS232.

Vários outros modelos que seguem as mesmas características são encontrados como o SAM 3G (SAM, 2010) e o MTCMR-H da TROPICAL (2010). O que deve ser levado em consideração é o acesso à documentação e ao firmware, programa nativo de controle e hardware do produto.

2.4 Recepção e Validação dos Dados

2.4.1 Integridade de Dados

Segundo Wu e Song (2009) a integridade da informação em redes está prevista completamente mantendo-se a arquitetura original do fluxo de informações, transmitidas entre as entidades em redes sem ser alterado. Essa integridade pode ser rompida devido a alguns fatores como interferências, incluindo auto-interferência ou interferências externas; mudanças repentinas na função de transmissão de canal, a partir da variação das condições de canal; e ataques de intrusão intencionais em redes.

A integridade de dados é definida como a garantia de que os dados possuem o tipo e que estão dentro de um intervalo válido com base na especificação de um projeto.

A falta de integridade pode resultar em muitos problemas, pois as consequências do uso de informações imprecisas podem ser desastrosas. Pois os controles de integridade devem ser implementados para garantir que as informações

não são alteradas de qualquer forma inesperada por redes inseguras (Wu, Song, 2009).

A proteção da integridade garante que os dados recebidos em uma entidade é a mesma que foi originada pelo remetente. Garante que os dados não foram adulterados no meio do caminho (Wu, Song, 2009).

Garantir a integridade dos dados reflete na qualidade dos mesmos. A validação dos dados é uma das mais importantes partes de qualquer aplicação, pois faz com que os dados respeitem determinadas regras. Por exemplo, um campo deve conter apenas valores numéricos; o valor recebido está dentro de um intervalo permitido.

Tudo isso torna-se mais crítico quando o trabalho inclui informações em um banco de dados, pois a validação e a análise dos dados, antes de sua efetiva gravação, tornarão mais confiáveis os dados armazenados no sistema.

A validação geralmente consiste de vários passos, que devem realizar verificações, avaliando se os valores estão razoavelmente exatos, completos e logicamente consistentes (SALDANHA, 2005).

A validação, depois de sua transmissão, é importante mesmo que o próprio sistema de transmissão com seus protocolos ZigBee ou TCP/IP já tenham garantido a integridade dos dados na sua transmissão.

Os dados podem sofrer alterações antes de serem enviados, em seus processos e caminhos percorridos pelos dados, passando desde sua coleta nos sensores por cabos ligados a portas seriais e paralelas do *datalogger*, até o seu processamento e repasse através de portas seriais para os módulos de transmissão. Pode-se ocorrer ruídos ou lixos acumulados em buffer no *datalogger* ou nos módulos, que em uma transmissão garantem a integridade da entrega dos dados, os quais são considerados inválidos para a aplicação do SADA, por não terem mantido sua integridade desde a sua coleta.

A alteração dos dados mais comum em todo processo de telemetria é entre a comunicação do *datalogger* e os módulos, especialmente o modem GSM, que mantém alguns lixos em seu buffer causando uma mistura desses lixos com os dados correntes, na hora de ser transmitido.

2.4.2 Tipos de validação

Algumas formas comuns de verificação de dados são colocados como prioridade para validar informações para essa aplicação. Dentre elas, destacam-se algumas, de acordo com Bitesize (2010).

2.4.2.1 Formato

Verifica se os dados estão em um formato predefinido. Por exemplo, um programa recebe como dados de entrada placas de automóveis. No Brasil, as placas possuem uma sequência alfanumérica específica do tipo “LLL-DDDD”, onde L é uma letra e D é um dígito, que são separados por um hífen. O programa deve verificar se o dado de entrada está de acordo com o formato especificado.

2.4.2.2 Comprimento

Avalia se os dados não são demasiadamente curtos ou longos. Frequentemente utilizado em programas verificadores de senhas. Uma senha é aceita se possui um número específico de caracteres; um número mínimo de caracteres; um número máximo de caracteres e se o número de caracteres está dentro de um intervalo.

2.4.2.3 Pesquisa em uma Tabela

A validação se dá através da pesquisa dos valores aceitáveis em uma tabela. Por exemplo, para um programa que precise do dia da semana, há somente sete dias possíveis.

2.4.2.4 Presença

Verifica se um dado está presente. Um campo, que é uma chave, não pode ser nulo em um banco de dados.

2.4.2.5 Intervalo

Verifica se o valor de entrada está dentro do intervalo especificado. Um dado que represente a hora deve estar entre zero e vinte e três, ou doze e depende do sistema adotado.

2.5 Tratamentos de Redundância e Tolerância a Falhas em Transmissão de Dados Online

Segundo o autor Lai (2008), a redundância em rede pode ser definida de duas formas estratégicas. A primeira significa que uma parte da rede é mantida de forma inativa, até que a parte ativa da rede falhe, e ative a parcela da rede definida como redundante o que até o momento estava inativa para manter o fluxo de dados. A segunda definição mantém uma grande parcela de estrutura de rede ou até mesmo de toda a rede, repete-se em tempo real e torna o fluxo de dados de forma robusta e redundante.

2.5.1 Redundância em transmissão de dados

Define-se uma estratégia de redundância e também leva-se em consideração a sua aplicação quanto infra-estrutura. Definem-se três características importantes (Lai ,2008).

a) Redes Redundantes Simples

Essa redundância de rede usa uma única ligação física da rede como caminho e também como backup. Um software identifica uma provável queda na ligação da rede principal causado por algum distúrbio, que pode considerado como um ataque ao serviço ou a endereço lógico da ligação de rede. Assim, um novo caminho lógico como um link redundante é definido para estabelecer a comunicação.

Outra função é evitar tempestades de broadcast, onde os dados são bloqueados no link definido como prioritário e transmitidos através do link redundante durante o período normal da operação.

b) Redes Redundantes Duplas/Múltiplas

A redundância de rede dupla, envolve a criação de um backup completo à rede prioritária. Em geral, com rede de dupla redundância, os servidores e hosts utilizados na rede não são duplicados. A nova estrutura de rede pode apresentar a mesma configuração ou até mesmo tecnologias convergentes.

c) Redundância Multi-Hosts

Com redundância multi-host, uma ou mais vias do host multiplicam-se em um ou mais hosts iguais, ou seja, hosts configurados para fornecer cópias de segurança como definido em sistemas distribuídos, pois caso a conexão com o host principal falhe, possa ser ativado uma ligação com um novo host de backup.

Para obter uma maior redundância, aplicam-se as características de Redes Redundantes Duplas/Múltiplas com a Redundância de Multi-Hosts.

2.5.2 Tolerância a Falhas em Transmissão de Dados

Para Lee (2004) a função de tolerância a falhas realiza-se por aplicação de redundância do módulo de comunicação.

Já o autor Attia (2007) define a tolerância a falhas como uma das principais questões sobre RSSFs, uma vez que se torna crítica em ambientes reais de implantação onde a confiabilidade e o tempo de inaccessibilidade reduzidos são importantes e trata a importância da recuperação de alguns dados perdidos, de forma a retransmitir e recuperar a perda em tempo hábil para aproveitamento na aplicação.

Os protocolos de redes já utilizam alguns mecanismos para identificar casos falhos e trata-los durante a sua transmissão. Attia (2007) ainda aponta formas de aplicar a tolerância a falhas em redes de sensores como reativo a modo de identificar um novo caminho para falha de rota em tempo de transmissão real e um mecanismo pró-ativo, que reage a tempo de identificar uma nova rota para recuperar a transmissão perdida.

2.5.3 Retransmissão

Os protocolos de redes como o TCP/IP seguem um modelo de retransmissão definido na camada de enlace com PAR (Positive Acknowledgement with Retransmission).

A retransmissão é a técnica básica que os protocolos empregam para obter entrega confiável. O protocolo receptor retorna um acknowledgement quando chega um pacote. Depois da transmissão de um pacote, o remetente começa um

temporizador, se o acknowledgement não chega antes do temporizador expirar, o remetente retransmite o pacote (COMER, 2007).

A ocorrência de retransmissão se dá normalmente pela falta de um pacote definido como perdido, falho ou danificado, geralmente identificados por um time-out (pode ser definido pelo limite de tempo de espera por um pacote dentro do contexto da transmissão), e checksums, para prever a integridade, de forma a manter a confiabilidade .

A identificação do receptor pode ser definido como, *reconhecimento positivo*, quando explicitamente avisa o remetente que os pacotes, as mensagens, ou os segmentos foram recebidos corretamente, ou implicitamente que os pacotes não foram recebidos, mesmo que foram enviados e, portanto, podem precisar ser retransmitidos. Positive Acknowledgment with Re-Transmission o (PAR) é um método utilizado pelo TCP (RFC 793) para verificar o recebimento dos dados transmitidos. O *PAR* funciona mediante a retransmissão de dados em um período determinado de tempo, até que o host receptor reconheça a recepção dos dados.

A retransmissão pode ser definida de uma forma muito simples: sempre que uma parte envia alguma coisa para a outra, mantém uma cópia dos dados, que é enviada até que o destinatário tenha reconhecido que a recebeu, e pode manter a informação mesmo depois de se certificar de seu envio. Segundo a RFC 793, uma série de circunstâncias podem determinar uma retransmissão, como:

- se nenhuma confirmação for recebida dentro de um prazo razoável de espera por uma resposta da transmissão, definida como time-out;
- o remetente descobre através de alguma interferência de banda que a transmissão foi vencida;
- se o receptor sabe que os dados esperados não chegaram, então notifica o remetente sobre a falha;
- se o receptor sabe que os dados já chegaram mas com uma alteração e assim indica a falha para o remetente,
- o remetente simplesmente retransmite automaticamente os dados (que ainda tem uma cópia).

Para a tecnologia IEEE 802.15.4, é possível citar o padrão **6Lowpan**, que possibilita a utilização de protocolos TCP/IP sobre o IEEE 802.15.4, e o Wireless

Hart, que usa o mesmo padrão como base para aplicações industriais, conforme a **RFC4944** (Poderoso et al., 2009).

O protocolo definido para RSSF, baseado na tecnologia IEEE 802.15.4, é configurado através de ferramentas administrativas de hardwares, de forma a estabelecer quantas vezes for necessário, dentro de um período, para ser realizadas tentativas de reenvio dos pacotes de dados. Essa configuração é diferenciada para várias aplicações de RSSF's, oferecendo a melhor forma de adaptação a casos críticos de transmissão, em áreas remotas, identificando a importância dos procedimento de transmissões.

2.5.4 Encapsulamento

Cada protocolo define em suas particularidades a forma de encapsulamento dos dados para definir sua transmissão por completo. É definido como PDU (Protocol Data Unit), ou Unidade de Dados de Protocolo em Telecomunicação e descreve um bloco de dados que é transmitido entre duas instâncias da mesma camada.

Cada camada recebe a PDU da camada superior como um bloco de dados, adiciona seus controles, que são definidos como cabeçalhos também em alguns casos, rodapés, criando a sua própria PDU, num processo chamado de encapsulamento.

As informações a serem enviadas são colocadas dentro da área de dados de um pacote ou quadro. Um pacote de um protocolo pode ser encapsulado em outro (como o ICMP pode ser encapsulado em IP) (Comer,2007).

São definidos novos protocolos de controle em transmissões de redes para atingir com maior ênfase onde o propósito é o encapsulamento de protocolos padrões existentes em novos protocolos de controle.

2.6 Trabalhos Relacionados

Os autores TSENG,C. et al (2006) propõem um método de transmissão de dados de campo que usa a tecnologia GSM-SMS (Global System for Mobile Communications - Short Message Service) para a obtenção de parâmetros

ambientais de medidas de eficiência de campo para a agricultura de precisão. O estudo é baseado em um protótipo de sistema, que coleta dados de campo e monitora áreas de uma fazenda na Tailândia.

O sistema é composto por duas plataformas de monitoramento e uma central de controle. Os dados coletados a campo e transmitidos são temperatura, umidade, velocidade do vento e número capturado de pragas/insetos, armazenados em uma base de dados e usados para monitoramento e análise estatística que produzem um conjunto de referência para melhoramento da fazenda no futuro.

Alertas são gerados quando alguma anomalia é detectada, por exemplo, se a distribuição de pragas, que pode ser estimada pela análise de tendência de pragas, está acima do limite.

Esses alertas serão enviados para o fazendeiro, supervisor ou qualquer pessoa interessada que deva ser informada do evento. Baseado nos dados de teste dos ensaios realizados, o GSM-SMS mostrou-se capaz de enviar e receber dados de campo no limite de distância entre 2 e 83 km dentro do intervalo de tempo de 23 e 52 s. A tecnologia GSM-SMS na Tailândia é um serviço que pode alcançar igualmente áreas com população esparsa, inclui partes montanhosas ou áreas rurais e retransmite dados dentro de 24 horas para reduzir a possibilidade de perda de dados.

Munack (2001) apresenta uma rede de informações, planejada para máquinas agrícolas móveis e suas normas, DIN 9684 e ISO 11783. Sua função principal é a troca de informações necessárias para o controle de dados técnicos do operador e a comunicação com computadores de mesa da propriedade. A rede faz o intercâmbio entre os processos de produção, tais como distribuição de fertilizantes, aplicação de inseticidas e irrigação e adicionalmente inclui a possibilidade do operador monitorar e controlar a combinação de máquinas.

Filho (2007) expõe um projeto que pretende tornar o setor sucroalcooleiro da região sudeste do Brasil mais eficiente, sobretudo no que diz respeito ao seu gerenciamento. O sistema permitirá o monitoramento em tempo real das atividades ligadas ao corte, colheita e transporte da cana-de-açúcar. Exemplos de informações transmitidas pela rede são o local onde a máquina está, quanto está colhendo, quanto tempo leva para desempenhar essa tarefa e que volume foi efetivamente depositado nos caminhões. De posse dessas informações, os responsáveis pelo

gerenciamento da usina saberão instantaneamente, por exemplo, se há carência de caminhões para realizar o transporte do produto. O objetivo é aprimorar os procedimentos e reduzir conseqüentemente perdas e custos.

O autor Piroti (2009) aponta a tecnologia GSM/GPRS por conexão com servidor de dados como um serviço de boa qualidade, “o uso dessa rede é uma alternativa viável para aplicações que não utilizem grande volume de dados e suportem um tempo relativamente alto entre a solicitação da informação e o recebimento da mesma”. Tal característica definida pelo autor se encaixa em aplicações de telemetria que não utilizam grande volume de dados.

No projeto de BOBSIN (2004), utiliza-se, em seu sistema de transmissão, a tecnologia GSM/GPRS com a forma de conexão com servidor, que estabelece um sincronismo onde é possível que a conexão entre um equipamento e sua central de controle esteja sempre aberta e permita que uma informação enviada seja recebida pelo destinatário em menos de um segundo e vice-versa (em outros sistemas, o tempo de espera nunca é inferior a 20 segundos e pode chegar a até 30 minutos). Também permite uma redução de custos acima de 90%, comparada a uma solução com outras tecnologias.

O projeto de CARVALHO (2005) trata os problemas de conexões em seu protótipo e define como tolerante a falhas com a técnica de implementação de um Watch Dog Timer (WDT), que através de um registrador ligado a um temporizador de 16 bits é ativado para funcionar antes que determinada operação se complete, até que o sistema seja resetado. Então o microcontrolador é reinicializado e estabelece nova transmissão, se tiver sucesso na conexão.

Com a transmissão GSM em projetos como de INDUNIL (2007), utiliza-se a transmissão dos dados por SMS e não por conexão em servidor. O envio de SMS deixa mais independente de conexão e somente estabelece a conexão quando surgir a mensagem a ser enviada.

Algumas técnicas de redundância são abordadas no trabalho de Mesquita (2009) e Aikebaie (2008) onde os autores empregam a forma de replicação da mesma informação, enviada em tempos diferenciados. Isso comprova um ganho significativo com base na sua pesquisa nas perdas recuperadas pela redundância empregada em um sistema de comunicação Wireless para sensores.

Já Lee (2004) aplica os conceitos de redundância sobre a replicação dos módulos de transmissão baseados no padrão IEEE 1451, definido para RSSF.

No trabalho de Attia (2007), introduziram-se duas abordagens diferentes de tolerância a falhas, uma chamada de reativo, que age na correção de indicação da rota original falha para um novo caminho de rota e um mecanismo pró-ativo, que após a detecção de que o nó pai (responsável pela sequência da rota) atual tem qualidade degradada em um determinado limite, define um novo pai. Esses métodos tolerantes a falhas apresentam algumas execuções, diretrizes para a integração ao protocolo padrão existente Zigbee.

Poderoso (2009) apresenta uma avaliação do Zigbee como um candidato potencial para formar uma rede de sensores sem fio aplicada à agricultura de precisão. Essa avaliação é realizada por meio de desenvolvimento e experimentação com um sistema criado em ambiente de RSSF, com uma rede de 6 nós, com mecanismo de descoberta de rotas e multisaltos. Uma vez dispostos no campo, os nós Zigbee encontram seus vizinhos de maneira autônoma e criam assim as rotas iniciais para comunicação dos seus dados ao coordenador. Caso essas rotas sejam prejudicadas por falhas de dispositivos ou de enlaces, o mecanismo de descoberta de rotas estudado permitirá manter a funcionalidade da rede. O mecanismo de múltiplos saltos permite que a rede se estenda até alguns quilômetros. Neste trabalho o autor conclui que o desempenho Zigbee é um padrão de promessa para constituir uma rede sem fio de sensores apropriada para aplicações agrícolas.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho e pesquisa foi desenvolvido em quatro etapas distintas.

Na primeira etapa, fez-se um levantamento bibliográfico e um estudo sobre aplicações desenvolvidas para telemetria e tecnologias utilizadas. Ainda definiram-se alguns equipamentos que utilizam as formas de comunicações apontadas como apropriadas.

Como resultado foi determinada a utilização de dois meios de transmissão de dados. Uma é a estrutura de telefonia móvel, através da tecnologia GSM/GPRS, e a outra por rádio-frequência, com a tecnologia ZigBee. Os módulos de transmissão usados foram, no primeiro caso, um modem GSM/GPRS, da marca SIMCOM, e modelo SIM340 e no segundo, rádios transmissores receptores Xtend ZigBee, da marca Digi e modelo Xtend/DPK.

Algumas características importantes que impactaram na escolha dos módulos Xtend neste projeto foram sua frequência de operação: (ISM 90 MHz), alcance em ambientes internos/zonas urbanas: (900 m), alcance em linha visível para ambientes externos/zonas rurais: (até 60 Km), taxa de transmissão de dados, que varia de (10 a 230,400 bps) e faixa de frequência: (902 a 928 MHz).

A segunda etapa envolveu a implementação do maquinário agrícola com a adaptação do contexto inicial, relacionada aos trabalhos de RUSSINI (2009) E SANTOS (2010), que têm uma ligação cabeada dos sensores ao *datalogger*, e identifica portas de comunicação e configuração do *datalogger* e GPS. A definição de ligações dos sensores no *datalogger* influenciam diretamente na programação do sistema para definição de monitoramento e processamento de coleta de dados realizadas, pois a sequência lógica das ligações dos sensores na portas de comunicação correspondentes do *datalogger* são definidas com tratamento diferenciado no código de programação definido para interpretação dos sensores.

Para este projeto, utilizaram-se os sensores do tipo indutor nas rodas do trator para determinar o patinamento, GPS da marca Trimble para definir posicionamento

geográfico e velocidade, um fluxômetro da marca OVAL modelo M-III para definir o consumo de combustível e ainda um potenciômetro fabricado pela mesma indústria de implementos da Massey Ferguson, para definição da altura da plataforma de corte na colheitadeira MF5650.

Na Figura 6, observa-se uma imagem que representa os equipamentos instalados no trator para testes de transmissão.

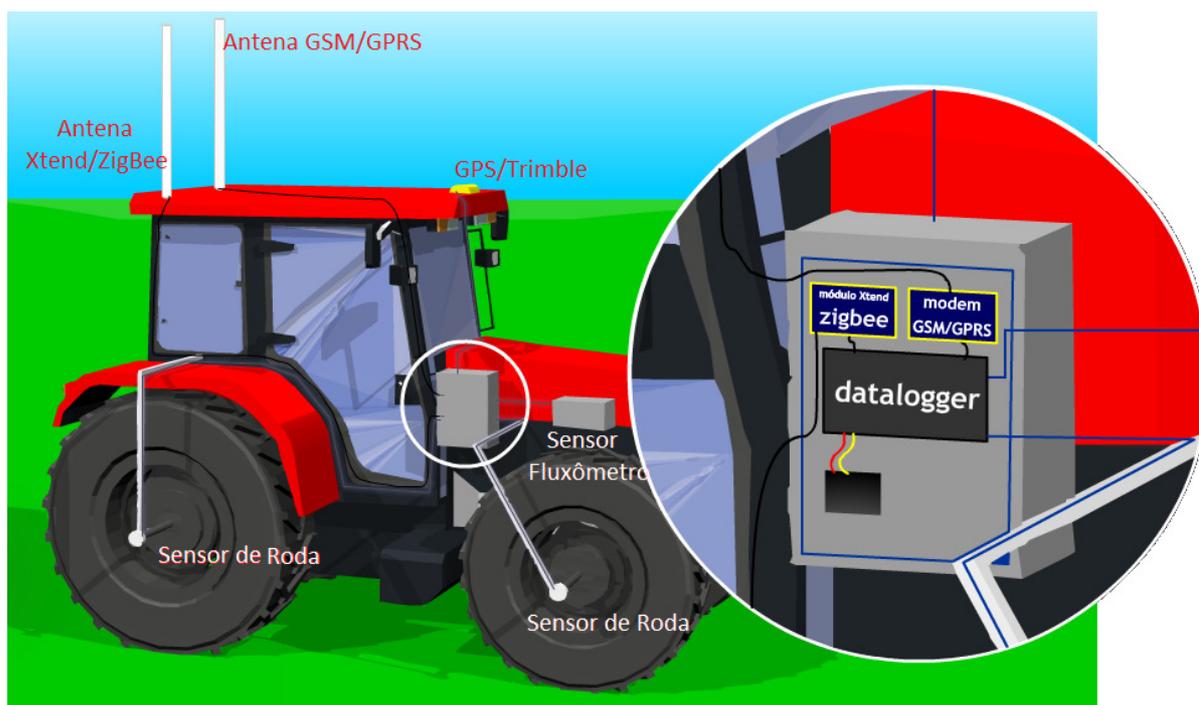


Figura 6 – Estrutura Montada no Trator

A figura 6 mostra a ligação dos equipamentos, como o *datalogger* nos rádios transmissores, Xtend/ZigBee e GSM/GPRS e a distribuição e localização dos sensores e antenas de transmissão no trator.

Ainda na segunda etapa, desenvolveu-se um sistema para o *datalogger* CR1000 da empresa Campbell com uma linguagem proprietária definida como CRBASIC, baseada nos padrões da linguagem de programação estruturada BASIC. Esse sistema tem a finalidade de gerenciar a coleta de dados dentro de um tempo definido como ciclo de coleta e também armazenar os dados coletados em uma memória interna em forma de tabela, e ainda realizar a transmissão dos dados para um servidor.

O ciclo de coleta é um tempo definido em segundos conforme especificações técnicas dos componentes eletrônicos e o tempo necessário para uma comunicação

completa entre sensor e *datalogger* aconteça. A leitura de um sensor demora um certo período, que é definido conforme a resposta dos componentes de sensoriamento. Como exemplo, no caso de um sensor de roda, ele demora em média 400 milissegundos para completar uma comunicação com o *datalogger*, acumulando assim com 4 sensores 1,6 segundos em um ciclo de coleta. Considerando os demais sensores o tempo mínimo de resposta para este projeto foi definido entre três a quatro segundos, podendo variar dependendo da utilização de mais ou menos sensores.

O ciclo definido para esta aplicação foi de 4 segundos. Este tempo foi definido por estar dentro de um tempo de resposta hábil para os equipamentos e sensores utilizados e também considerando as aplicações de Russini (2009) e Paula (2010).

Toda estrutura de equipamento e software que envolve o maquinário agrícola foi chamado de PAM (Ponto de Acesso Móvel) e caracteriza um objeto em movimento constante, realiza o sensoriamento da operação e se comunica com um ponto externo.

A terceira etapa consiste na infraestrutura do segundo ponto. Definido como PAF (Ponto de Acesso Fixo), caracteriza-se por estar posicionado em um local estratégico dentro da área de operação agrícola. O PAF é definido com uma infraestrutura de equipamentos equivalentes às tecnologias de transmissão do PAM. Para que haja comunicação entre os pontos, define-se uma topologia de ponto a ponto.

Nesse Ponto de Acesso Fixo, desenvolveu-se um sistema de interação com o sistema do Ponto de Acesso Móvel, que é parte integrante do contexto maior, o SADA, abordado na próxima seção, fazendo sua função de coletar os dados que estão no objeto em movimento em campo para um servidor.

O sistema do PAF foi desenvolvido na linguagem C++ e utiliza como Banco de Dados o *Postgres* (POSTGRESQL, 2010), com função de integrar os dados recebidos por duas formas diferentes. A primeira é a validação da informação de modo a garantir a integridade dos dados coletados, e a segunda é corrigir falhas de transmissões ocorridas a tempo de recuperar os dados perdidos sem, maior atraso na entrega dos dados para ser processado e analisado.

Tanto na segunda como na terceira etapa, fizeram-se testes de simulação de campo para realizar ajustes nos sistemas, até chegar a uma comunicação estável e

satisfatória dos meios de transmissão e também a definição de parâmetros para validação dos dados. Ainda nas duas primeiras etapas, implementou-se um trator agrícola, modelo MF 290RA/8x8 *Shuttle Advanced* da marca *Massey Ferguson*, com sensores, datalogger e rádios transmissores para realizar experimentos em áreas rurais internas a UFSM.

A quarta etapa envolve a validação do sistema de telemetria, o TSADA, em uma operação de colheita de grãos real realizada em uma área agrícola, chamada de Fazenda Buricaci. A Fazenda pertence ao município de São Francisco de Assis, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, com a localização geográfica, latitude 29.65261S e longitude 54.88383W. Nesse experimento, utilizou-se uma colhedora agrícola modelo MF 5650, da marca *Massey Ferguson* em diferentes dias e culturas (colheita de arroz e soja), que são executadas em terrenos planos e com depressão.

No PAM, que nessa fase é a MF5650, implementaram-se os sensores e um *datalogger*, modelo CR1000, da marca Campbell. Para a transmissão dos dados, ligou-se diretamente ao *datalogger* um modem GSM/GPRS da marca SIMCOM, modelo SIM340 e um rádio transmissor Xtend/ZigBee da marca Digi modelo Xtend/DPK.

A estrutura do PAF compõe-se de um sistema de transmissão Xtend/ZigBee. Instalou-se em um ponto estratégico, dentro da Fazenda Buricaci, a antena ficou em um cilo no centro da propriedade, exatamente no ponto geográfico com latitude 29.65349S e longitude 5488382W, com uma altura equivalente a 25 metros do solo. Ligado a essa antena, instalou-se um rádio Xtend equivalente ao do PAM.

O PAF compõe-se por um computador notebook da marca Sony Vaio, com 2 GB de memória e processador Intel Centrino, que possui uma ligação por uma conexão serial com o Xtend para sincronizar conexões ZigBee e também mantém uma conexão com a Internet por um modem da marca Zte, amplificado com uma antena Direcional para melhor estabilidade de conexão, que é crítica nessa localidade.

4 TSADA (Sistema de Telemetria)

Este capítulo apresenta o sistema TSADA, que é uma proposta de um sistema de telemetria implantado em maquinário agrícola. A proposta viabilizou a coleta de informações e o respectivo envio e tratamento destas em tempo real, ou seja, no momento em que o equipamento está em operação. O TSADA é um sistema específico, criado para transmitir os dados coletados para o GSADA, de forma transparente, que garante integridade e fidelidade dos mesmos. Ambos os sistemas, TSADA E GSADA, fazem parte do sistema SADA.

4.1 SADA

O SADA (Sistema de Apoio à Decisão para utilização no Agronegócio) tem como objetivo maior monitorar o desempenho da máquina agrícola em trabalho e alertar as operações errôneas realizadas, para melhorar a eficiência e reduzir os custos operacionais.

O sistema SADA permite ao gerente do agronegócio fazer o controle operacional da máquina agrícola através do acompanhamento do seu desempenho durante o trabalho a campo. E está estruturado em dois módulos principais, o TSADA e o GSADA, como mostra a Figura 7.

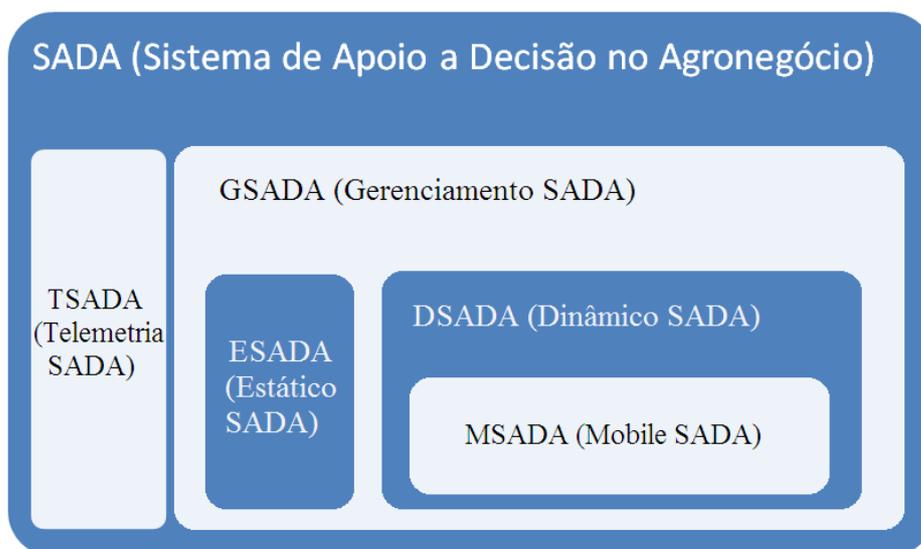


Figura 7 – Esquema SADA

O TSADA, a que se refere a proposta deste trabalho é o sistema de telemetria que faz a transmissão e o tratamento dos dados enviados do repositório da máquina (datalogger CR1000), para o servidor de banco de dados, através de rede sem fio.

O GSADA é o sistema computacional de gerenciamento formado por dois subsistemas, o ESADA e o DSADA.

O ESADA é a parte estática, que possibilita a administração de dados cadastrais e disponibiliza diferentes funções ao gerente usadas em controles tais como fazendas, talhões, culturas, operações, máquinas agrícolas, operadores e tipos de alertas enviados.

O DSADA é a parte dinâmica, que permite o monitoramento da máquina em operação no campo a partir dos dados coletados pelos sensores. Esta parte do GSADA liga-se diretamente ao TSADA, pois depende das informações passadas pela rede sem fio para processar e disponibilizar as informações aos usuários. As funções do DSADA enfatizam principalmente consumo de combustível, eficiência operacional, nível de patinamento, altura da plataforma de corte (no caso da colhedora) e velocidade de deslocamento da máquina em trabalho.

O MSADA é parte integrante do DSADA e demonstra a mobilidade do sistema. Os usuários, o operador da máquina agrícola ou os administradores da propriedade, que utilizam dispositivos portáteis como telefones celulares, smartphones e notebooks, podem ter acesso a uma infraestrutura de serviços mantê-la durante o seu deslocamento.

4.2 TSADA

O TSADA é um sistema de telemetria composto por duas partes definidas como PAM (Ponto de Acesso Móvel) e PAF (Ponto de Acesso Físico).

Cada uma das estruturas tem um sistema desenvolvido com uma finalidade específica. A finalidade do PAM é leitura dos sensores, armazenamento dos dados coletados em uma memória interna para garantir a recuperação de dados já coletados e ainda a transmissão dos dados para um servidor. O PAF (Ponto de Acesso Fixo) é responsável por processar as informações recebidas, de forma a garantir a integridade dos dados coletados nos sensores, administrar e armazenar os dados na sequência correta em um banco de dados vinculado ao SADA, e também solicitar ao PAM o reenvio de dados falhos, que estão faltando na sequência do conjunto de dados no banco no servidor podendo ser resgatados na tabela do *datallogger*.

Os dois sistemas, o PAF e o PAM, mantêm um sincronismo através de dois meios de comunicação, ou seja, como um sistema de transmissão redundante a fim de tolerar algumas falhas.

Na Figura 8, observa-se as funções atribuídas ao PAM e ao PAF.

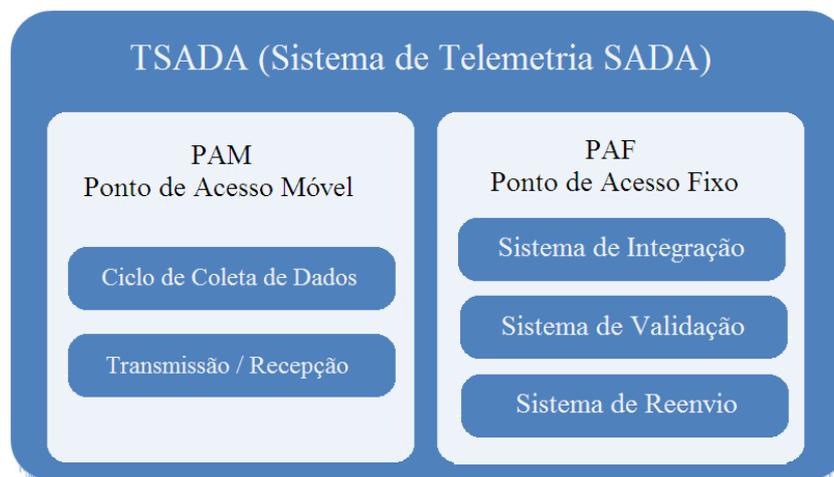


Figura 8 – Esquema TSADA

A Figura 8 demonstra de forma separada funções independentes desenvolvidas no mesmo sistema. O PAM é um sistema que executa uma comunicação com os sensores e armazena os resultados em uma tabela interagindo com os módulos de comunicação, o Xtend e o Modem GSM. Tudo é realizado em

um ciclo de coleta, identificado como um *looping* do programa do *datalogger* com um tempo fixo definido em segundos.

Já o PAF, é o sistema que espera constantemente a chegada de alguma informação, seja pela transmissão GSM ou ZigBee. Assim definido esse controle de espera onde os dados podem chegar por qualquer um dos meios de transmissão, a primeira ação definida como função de integração faz o repasse da informação de um pacote, ainda não tratado pela validação, para o passo seguinte e garante a integridade do pacote e das informações contidas para serem vinculadas ao SADA. Esse sistema localizado no servidor (PAF) ainda tem um controle da sequência de registros das informações enviadas com sucesso, onde identifica se faltam dentre todos os registros que chegaram alguns provenientes de falhas. Essa tarefa denomina-se função de reenvio.

O reenvio controla pedidos e respostas entre PAF e PAM para corrigir e adicionar na sequência correta os registros que faltavam.

4.2.1 PAM (Ponto de Acesso Móvel)

O PAM consiste em duas partes: uma é a parte física, que são os equipamentos instrumentados no maquinário agrícola, e a outra é a lógica representada na figura 9, que é um software desenvolvido no *datalogger* para processar e enviar os dados coletados de forma online para o PAF.

A figura 9 destaca duas funcionalidades principais, a definição de Ciclo de Coleta de Dados e a Transmissão / Recepção.

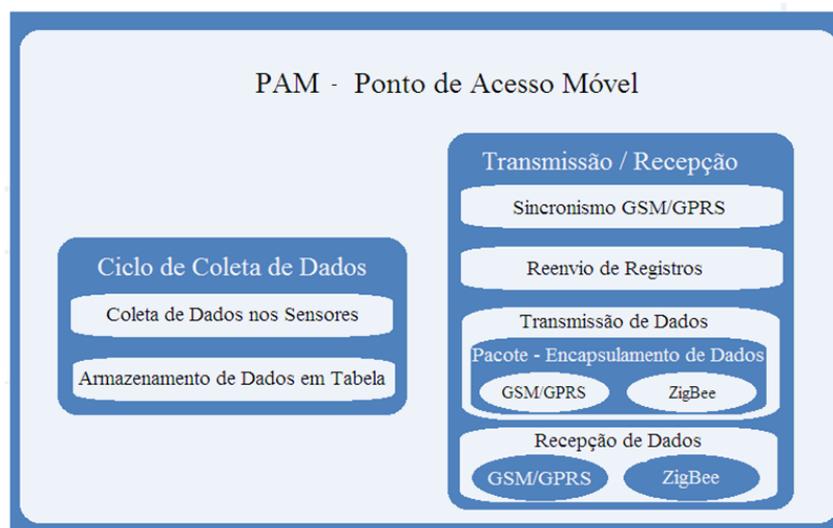


Figura 9 – Esquema PAM

O sistema desenvolvido no *datalogger* tem como função organizar as coletas em ciclos pré-determinados de quatro segundos, relacionados ao tempo necessário para a aquisição dos dados nos sensores. A cada ciclo, o sistema se encarrega de armazená-los na memória local, organizá-los em uma tabela e separar os dados coletados em seus respectivos campos. Na seqüência o sistema sincroniza com os módulos transmissores, ligados nas portas seriais, transmite-se os dados para o servidor (PAF), respeitando o critério de conexão dos meios de transmissão existentes, sendo prioritário para o GSM e deixando como reserva o ZigBee. A transmissão quando acionada funciona de forma independente da seqüência do ciclo, deixa os equipamentos de transmissão encarregados pelo processo de transmissão, seguindo assim com os procedimentos seguintes.

O critério de preferência da forma de transmissão é definida com prioridade para o sistema GSM, por apresentar uma boa capacidade de transmissão, com uma taxa em média de 10,5 Kbits/s, relacionada à pequena quantidade de dados a serem enviados nessa aplicação de telemetria. Esses valores estão de acordo com a pesquisa de STUCKMANN (2002), que estudou o desempenho da conexão GPRS em sistemas GSM com conexões à internet.

Outra razão importante para a definição dessa prioridade é o fato de o sistema GSM apresentar um tempo longo de reconexão junto à operadora e o tempo de sincronismo com o servidor do sistema de telemetria, que pode chegar até 30 segundos. Em relação ao tempo de reconexão e ao ciclo de coleta, constata-se a inviabilidade de deixar esse meio de comunicação como alternativo (aceitando-o de forma emergencial, para atender a falha ou falta de transmissão do outro meio), visto que demoraria pelo menos 5 ciclos sem enviar os dados, o que deixaria o sistema nesse período sem o recurso de envio dos dados, e perderia a característica principal de transmissão online.

Dessa forma, define-se o sistema correspondente à tecnologia ZigBee como conexão alternativa, usado como recurso de redundância de transmissão, ou seja, quando o sistema GSM não está ativo, o módulo Xtend estabelece uma conexão e transmite os dados. O sistema é adequado para ser deixado “em espera”, por apresentar um tempo de conexão muito baixo dentro da sua área de cobertura, cerca de 30 ms. Assim, quando acionado de forma emergencial pelo sistema de

transmissão, envia rapidamente os dados com uma taxa de transmissão de 20 a 40 Kbits/s na frequência utilizada neste projeto. Essa taxa está de acordo com o trabalho de SHUAIB et AL (2002).

O sistema ainda recebe através de um controle de entrada de informação pelo sistema de transmissão ativo um pedido de reenvio de registros falhos em uma transmissão anterior, tratando assim de forma paralela a seu ciclo de funcionamento a retransmissão de uma requisição feita pelo PAF.

4.2.1.1 Instrumentação

Para realizar as transmissões de dados, foi necessário instrumentar o maquinário agrícola com sensores com as funções de medida de consumo de combustível (fluxômetro), altura da plataforma de corte (potenciômetro analógico), definição de posicionamento geográfico e velocidade através de um GPS (Global Positioning System), bem como um *datalogger* modelo CR1000 da Campbell.

A imagem da Figura 10 representa os equipamentos instrumentados na colhedora, nas respectivas entradas/saídas do *datalogger*.

A alimentação de energia representada na figura por uma linha vermelha para positivo e preta para negativo, é uma bateria selada de 12 volts (item c), ligada a todos os equipamentos menos o potenciômetro que é alimentado pelo *datalogger*, e mantém uma carga controlada para definir o retorno em volts da medida da altura da plataforma. Todos os outros equipamentos mantêm uma ligação com a alimentação direto da bateria.

O sensor Fluxômetro (item b) mantém uma ligação cabeada na entrada digital de pulsos do *datalogger* (item d) e faz a contagem de quantos pulsos ocorreram no período de quatro segundos.

O GPS (item f) mantém uma ligação serial exclusiva de saída com a entrada do *datalogger*, pois somente adquire informação do GPS e realiza a configuração previamente do equipamento com as definições de posicionamento referida pelo protocolo NMEA (National Marine Electronics Association) como GGA (Global Positioning System Fix Data) e velocidade como VTG (Vector track an Speed over the Ground).

Os rádios comunicadores (item e, item g) mantêm uma ligação com o *datalogger* com entrada e saída serial (RS232) para estabelecer comunicação completa entre os equipamentos.

Os sensores e as antenas de transmissão foram devidamente calibrados, ajustados especificamente para a função escolhida para esta aplicação por suporte técnico, contratado e especializado em eletrônica analógica e digital. Em alguns casos, adicionaram-se alguns filtros e resistores para melhor funcionamento dos equipamentos.

4.2.1.2 Característica e Funcionamento dos Sensores Utilizados

Através dos sensores, obtêm-se dados de requisições do *datalogger* no ciclo de 4 segundos, e destacam-se os tipos de sensores analisados:

Determinação do Consumo de Combustível (Fluxômetro)

O fluxômetro Sparling/OVAL LSF 41 é um fluxômetro de deslocamento positivo, designado para a medida de taxas de fluxo muito pequenas em aplicações que requerem elevada acurácia. Dispositivo de medida ideal para vários combustíveis como querosene, diesel, óleo combustível, etc, desde que os mesmos sejam isentos de impurezas sólidas.

Princípio de Operação do Fluxômetro

Cada medidor é equipado com duas engrenagens ovais, que giram quando o fluído passa pela câmara de medição fixa.

A rotação das engrenagens ovais desloca um volume fixo de fluído (1mL, para este modelo). Em uma das engrenagens é fixo um ímã que, a cada volta, aciona uma chave magnética.

O medidor é projetado para minimizar o “vazamento” entre as engrenagens e o corpo da câmara de medição. Em consequência, o medidor de engrenagens ovais é menos afetado devido à viscosidade e à lubrificação do que qualquer outro medidor de fluxo projetado.

Possui alimentação de 12 a 24 Volts, com 12Volts nessa aplicação. Para essas condições, o pulso de saída é da ordem de 7,5 Volts. A resolução da saída é de 1mL/pulso.

Para determinar o consumo em L/h, toma-se a frequência dos pulsos em Hz e multiplica-se por 3,6. Para isso, considera-se o intervalo de scan utilizado.

Altura da Plataforma (Sensor Potenciométrico)

O potenciômetro é definido como um divisor de tensão variável. É composto por uma faixa de material resistivo (geralmente grafite), ligada entre seus dois terminais externos. Nesse material, desliza um cursor, ligado diretamente ao terminal central do potenciômetro. Esse cursor pode ser movimentado através de um eixo rotativo ou um pino de plástico ou metal. Quando se altera a posição do cursor, altera-se a resistência entre o terminal central e os dois terminais externos do potenciômetro.

O valor da resistência total do potenciômetro (medida entre seus terminais externos) será sempre constante, ou seja, o potenciômetro funciona como dois resistores em série, e pode-se alterar simultaneamente os seus valores, desde que a soma das resistências seja constante.

A variação da resistência entre o terminal central e os terminais externos, conforme a altura da plataforma, é dada de forma linear com a variação do ângulo do cursor central. Os potenciômetros angulares são os mais comuns: o cursor está liga-se a um eixo, de modo que acompanha o seu movimento. No caso da colheitadeira, o eixo está ligado a uma barra que, por sua vez, fixa-se à plataforma. O seu giro (chamado de curso) é restrito em 45°.

Para utilizar um potenciômetro como um sensor de posição da altura da plataforma é necessário ligar um dos terminais da extremidade com uma tensão positiva e o outro com uma tensão negativa. A tensão do terminal central varia entre esses dois valores de tensão. No caso da colheitadeira, aplicou-se uma tensão de 5Volts em um dos terminais da extremidade, 0 Volts à outra extremidade e retirou-se o sinal correspondente à altura da plataforma do terminal central.

Medida de Velocidade e Posicionamento (GPS Trimble Guidance)

O receptor AgGPS 114 utilizado neste projeto possui saída de dados em tempo real com precisão de posição inferior a 1 metro, e velocidade de 0,16 km/h sobre mensagens NMEA (National Marine Electronics Association) e TSIP (Trimble Standard Interface Protocol), e recebe os sinais provenientes de ao menos 5 satélites, com perda inferior a 4 (PDOP). Possui 12 canais de busca, com filtragem de fase da portadora.

Usou-se o protocolo TSIP para a parametrização do GPS, com o software AgRemote para configuração e visualização das propriedades do sistema.

A porta serial, que envia dados NMEA, foi utilizada para a coleta de dados com o *datalogger*, em 1 Hz com string formada por posição (GGA) e velocidade (VTG). Para comunicação com o *datalogger*, utiliza-se a mesma porta, e o receptor detecta automaticamente a troca de função da porta e muda o protocolo de comunicação para TSIP.

4.2.1.3 Forma de Aquisição dos Dados

Armazenam-se todas as informações coletadas no formato de tabela em uma memória interna do *datalogger*. Essas informações podem ser acessadas pelas portas de comunicação do equipamento, com cabo serial e pode-se manipular a memória e também permitir a recompilação de um novo sistema aplicativo. O acesso à porta serial é realizado através de cabo com padrão RS232, conectando o computador ao equipamento para coletar as informações através de um software proprietário, o PC200 (CAMPBELL,2009). Quando os dados são resgatados pelo sistema tradicional, conectando com o cabo serial diretamente em um computador, o sistema de coleta de dados e transmissão que está rodando no *datalogger* pára de rodar, assim que o PC200 estabelece uma conexão. Causando-se uma parada forçada no sistema de coleta, que é realizada somente ao final de uma operação de campo.

4.2.1.4 Encapsulamento do Pacote de Dados

Antes da transmissão pelo PAM, independente da forma utilizada, os dados são encapsulados e formam um pacote de dados com um cabeçalho e rodapé de controle, para garantir a fidelidade de suas informações, originadas nos sensores a serem entregues no servidor (PAF). Esse encapsulamento adapta técnicas utilizadas no protocolo TCP de acordo com a RFC 793.

A figura 11 apresenta as partes propostas para o encapsulamento das informações.

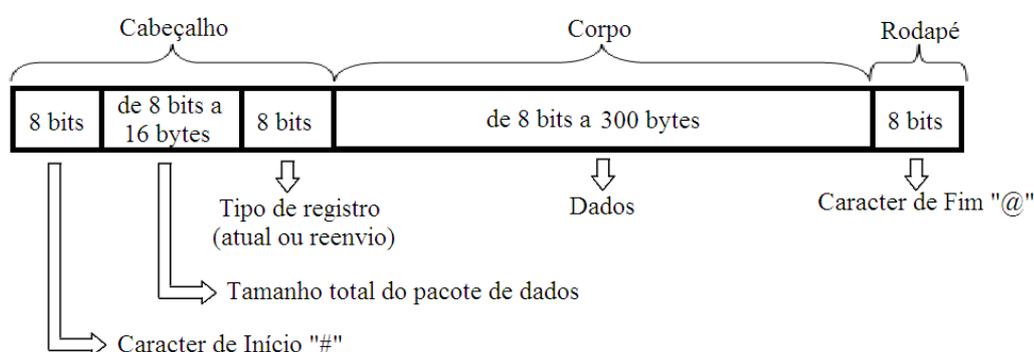


Figura 11 – Identificação das Propriedades do Pacote de Dados

A figura anterior mostra em cada um dos campos os tamanhos reservados para a informação presente nos mesmos. Os caracteres de início, fim e tipo de registro só podem ser representados por um único caracter, e o tamanho total do pacote pode ser de 8 bits a 16 bytes, representando o tamanho total da String original, definida como pacote de dados, desde o caracter de início até o caracter de fim.

O tamanho destinado para os dados é definido por no mínimo um caracter até 300 caracteres da String original, podendo variar em cada transmissão.

4.2.1.5 Transmissão dos Dados

Há possibilidade de ocorrer queda de conexão com o sistema GSM por vários fatores, como falta de sinal ou falhas decorrentes na conexão com o servidor, por isso é proposto um sistema de novo sincronismo para restabelecer a conexão com o servidor para tornar o sistema habilitado novamente e transmitir os dados pelo sistema prioritário. Enquanto o sistema de conexão GSM tenta se restabelecer,

imediatamente (quando ocorre a queda de sincronismo) o sistema de transmissão ZigBee começa a transmitir e torna o sistema com transmissão redundante em tempo real.

Se ocorrerem falhas nos dois sistemas ao mesmo tempo, o ciclo de coleta continua funcionando e armazena no *datalogger* as informações. Os dados não transmitidos por falta de comunicação em algum momento devem ser recuperados. Quando uma conexão é restabelecida por um dos meios de comunicação, os registros falhos são requisitados pelo servidor (PAF) a tempo de receber as transmissões considerando uma recuperação em tempo real. Isso torna o sistema mais robusto, e garante a entrega completa de dados importantes para aplicação.

A informações disponíveis no servidor de forma instantânea a sua coleta torna a aplicação como um sistema mais eficiente, com maior disponibilidade sobre as informações coletadas. Dessa forma o sistema de telemetria permite transmitir os dados de forma online, que possibilita o acesso às informações e à tomada de decisão sobre ações no equipamento agrícola, de forma a corrigir erros e evitar problemas com intervenção em tempo real.

4.2.1.5.1 Sistema de Transmissão GSM

Um modem GSM/GPRS ligado a porta serial do *datalogger* disponibiliza a leitura dos dados dispostos e viabiliza sua transmissão.

a) A Conexão GSM

O sistema de transmissão sobre serviço de uma operadora de telefonia que utiliza a tecnologia GSM/GPRS é definida como sistema de comunicação orientado a conexão. Em locais de presença de sinal satisfatório, ou seja, com mais de 3 pontos nos equipamentos testados, a conexão com a operadora é definida em três etapas.

A primeira etapa destina-se à configuração do modem com a identificação de APN (Ponto de Acesso), e identifica o servidor pelo domínio registrado, um usuário e senha, que no caso das operadoras nacionais, seguem um padrão divulgado publicamente, em suas páginas comerciais.

A segunda etapa define a modulação do sinal entre operadora e modem, onde é realizada uma discagem para um número referente à operadora para realizar a autenticação e o sincronismo das partes. O comando padrão AT para modems GPRS é definido como ATD (número da operadora).

A terceira etapa estabelece uma conexão TCP/IP com um servidor com um número IP válido, já identificado ou com domínio registrado na Internet, e porta lógica de comunicação de um serviço de Socket.

b) A Queda de Conexão

A conexão GSM, quando perdida por alguma falha ou perda de sinal, é restabelecida no momento em que o sinal volta à normalidade e o servidor esteja ativo.

Para restabelecer a conexão, requisita-se para o modem o seu estado, que pode ser identificado com 5 situações diferentes. São elas:

- a) Conexão OK – representa que a conexão com o servidor por TCP e o sincronismo com a operadora se mantém estável;
- b) IP CLOSE – significa que o modem perdeu sua identidade de IP;
- c) IP INITIAL – situação inicial sem sincronismo;
- d) TCP CONECTING – processo de conexão TCP em andamento;
- e) PDP DEACT – erro identificado pela perda de modulação.

No estado (a), a medida a ser tomada corresponde à confirmação de estabilidade do sistema prioritário e faz então o envio por GSM/GPRS.

Os estados (b) e (c) mostram que não tem sincronismo com o servidor, portanto deve ser repetido o processo de conexão referente à terceira etapa de conexão citada anteriormente.

O estado (d) deve ser considerado para manter a espera repassando a transmissão pelo sistema alternativo para este ciclo.

Já o estado (e) identifica um erro na modulação definida na segunda etapa de conexão. Para o sistema retornar à atividade, o equipamento deve ser reiniciado e deve voltar a executar a partir da primeira etapa de conexão para ser restabelecido um novo sincronismo com a operadora e com o servidor.

Segue na figura 12 um modelo de como ocorre a conexão do sistema GSM/GPRS com o servidor.

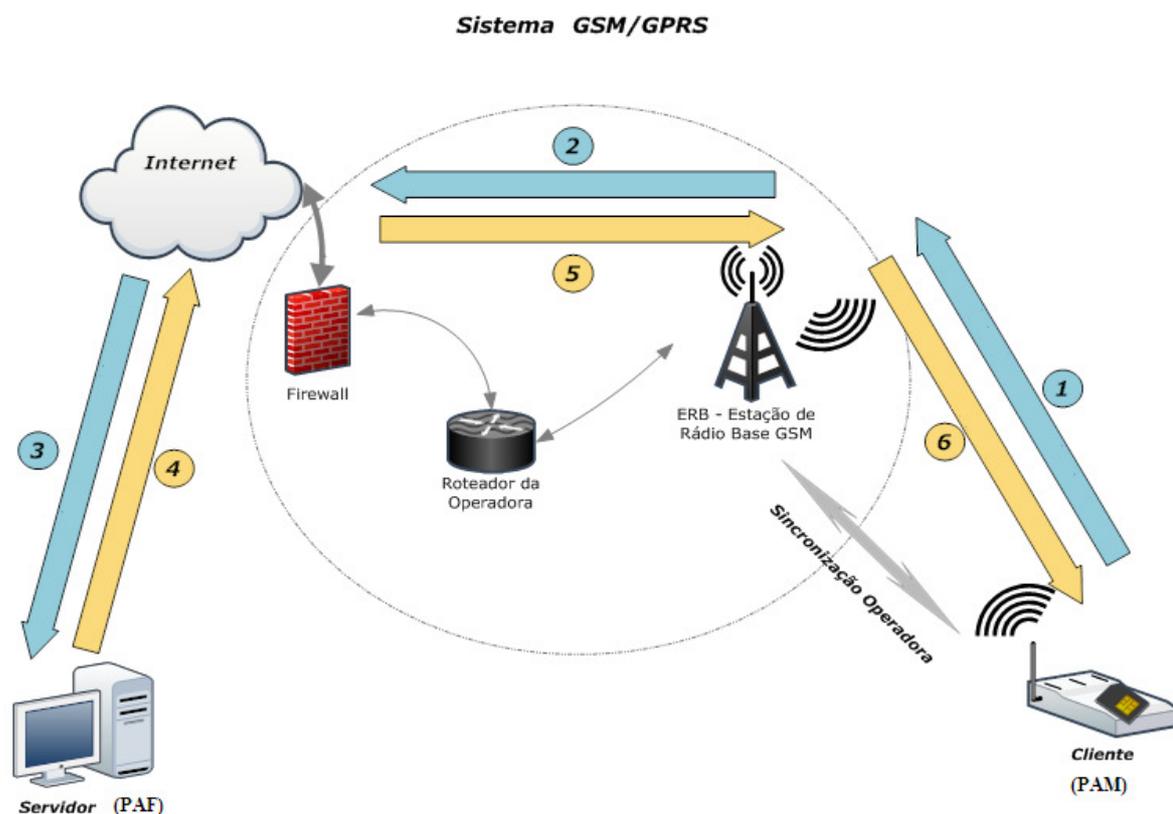


Figura 12 – Sistema de Conexão GSM/GPRS

Na figura 12, pode-se observar os passos para estabelecer uma conexão com o servidor (PAF) e o Cliente (PAM), representados pelas razões no lugar dos códigos de transmissão.

- ① Pedido de conexão com o servidor
- ② Repassa Pedido de Conexão com Servidor
- ③ Requisição de Conexão TCP/IP
- ④ Conexão estabelecida
- ⑤ Repassa confirmação de conexão com o Servidor
- ⑥ Conexão OK

Esses passos seguem uma sequência de transmissão entre o PAM e o PAF e passam por uma zona indiferente referente a roteadores da operadora. Para o sucesso da conexão, é imprescindível que todos os passos se completem.

c) A Transmissão de Dados GSM/GPRS

Com a conexão estabelecida, representada pelo estado (a), o sistema de transmissão prioritário entra em atividade para transmissão dos dados. Após a conexão, esse sistema é extremamente rápido, considerando à quantidade de informação a ser enviada que é pequena (em média 200 bytes), mantendo uma média de velocidade de 30 a 40 kbps.

Na Figura 12, também pode-se observar a comunicação onde a sequência de transmissão entre o PAM e o PAF, que mostra o envio dos dados do PAM e o pedido de reenvio sobre falhas apresentadas pelo PAF.

- ① Envio Pacote de Dados
- ② Repassa Pacote de Dados
- ③ Entrega Pacote de Dados no PAF
- ④ Pedido de Reenvio de Dados Falhos
- ⑤ Repassa Pedido de Reenvio de Dados Falhos
- ⑥ Requisição de Reenvio de Dados

A transmissão dos dados ocorre com as características do protocolo TCP, utilizado pelo meio de transmissão GSM, que se encarrega de garantir a entrega dos dados com tratamento de retransmissões e traz mais confiabilidade para esse tipo de tecnologia como prioritário.

Todo processo de transmissão apresenta uma confirmação de entrega da mensagem, originada tanto no sistema do PAM como no PAF, e recebe uma confirmação do sucesso do recebimento da mesma.

4.2.1.5.2 Sistema de Transmissão ZigBee

Dentro do tempo definido como ciclo, o sistema de transmissão verifica se existe conexão GSM estabilizada, correspondente ao estado (a) de conexão GSM. Caso apresentar falhas, o sistema ZigBee é acionado para enviar os dados correntes do ciclo já armazenado na tabela de dados do *datalogger*.

O módulo Xtend do PAM estabelece uma conexão ponto a ponto com o módulo fixo no PAF e considera o espaço de comunicação dentro da sua área de cobertura. A conexão do sistema ZigBee é executada no tempo de 30 ms,

considerado rápido, comparado com o sistema GSM, que é de 10 à 30 segundos. Após a conexão do sistema ZigBee, retorna-se a transmissão dos dados coletados no ciclo corrente.

O sistema ZigBee foi configurado no módulo Xtend para enviar os dados com 5 tentativas de conexões, intercaladas em tempos aleatórios. No caso de a transmissão não conseguir enviar os dados nessas tentativas, o sistema falha e não envia os dados.

A figura 13 mostra de uma forma simples a comunicação entre o PAM e PAF com o envio dos dados pelo sistema ZigBee. A estrutura de comunicação representa ser mais simples que a GSM, por ser uma infraestrutura própria, direta, sem a utilização de replicadores ou roteadores. Outros equipamentos correspondentes a essa tecnologia podem-se agregar à estrutura e oferecer uma área de abrangência maior, com conceitos de RSSF ou até mesmo disponibilizar o servidor em localidades fora da propriedade rural.

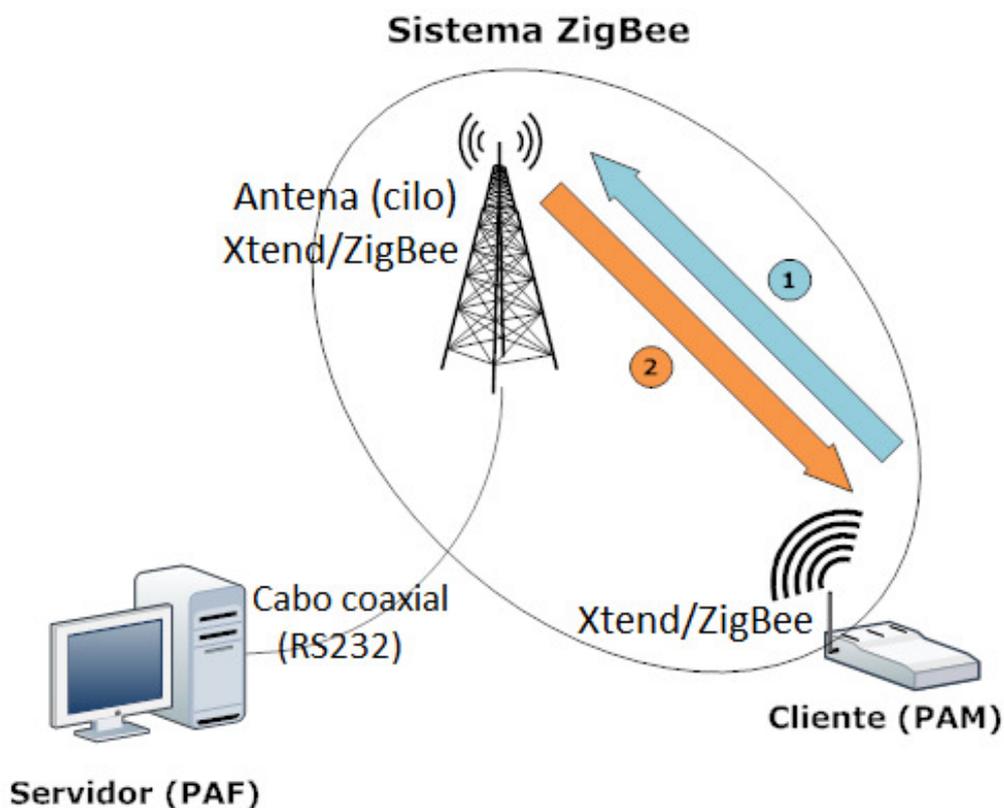


Figura 13 – Sistema de Conexão e Transmissão ZigBee

A Figura 13 apresenta as duas operações destinadas à comunicação entre seus módulos comunicadores. Essas operações são definidas como:

- ① estabelecer conexão e envio do pacote de dados ;
- ② receber uma requisição de reenvio de pacote.

O equipamento também dá um retorno sobre o recebimento da mensagem. O sistema de transmissão ZigBee no PAM, além de estabelecer conexão, envia o pacote de dados e recebe solicitações de reenvio.

4.2.1.6 O Fluxo do Software (PAM)

O sistema do *datalogger* inicia seu processamento pelo reconhecimento das portas seriais conectadas no GPS, Modem GSM e Módulo Xtend e outra disponível e segue com a inicialização do modem GSM/GPRS com as configurações da operadora, como APN (Acces Point Name) e identificação de usuário e senha.

Em seguida, verifica o sinal para sincronização com a operadora e tenta sincronizar. Depois de pronto o sincronismo com a operadora, o sistema conecta a o servidor do PAF.

O diagrama de atividades representado na figura 14 mostra os passos correspondentes à funcionalidade do sistema PAM.

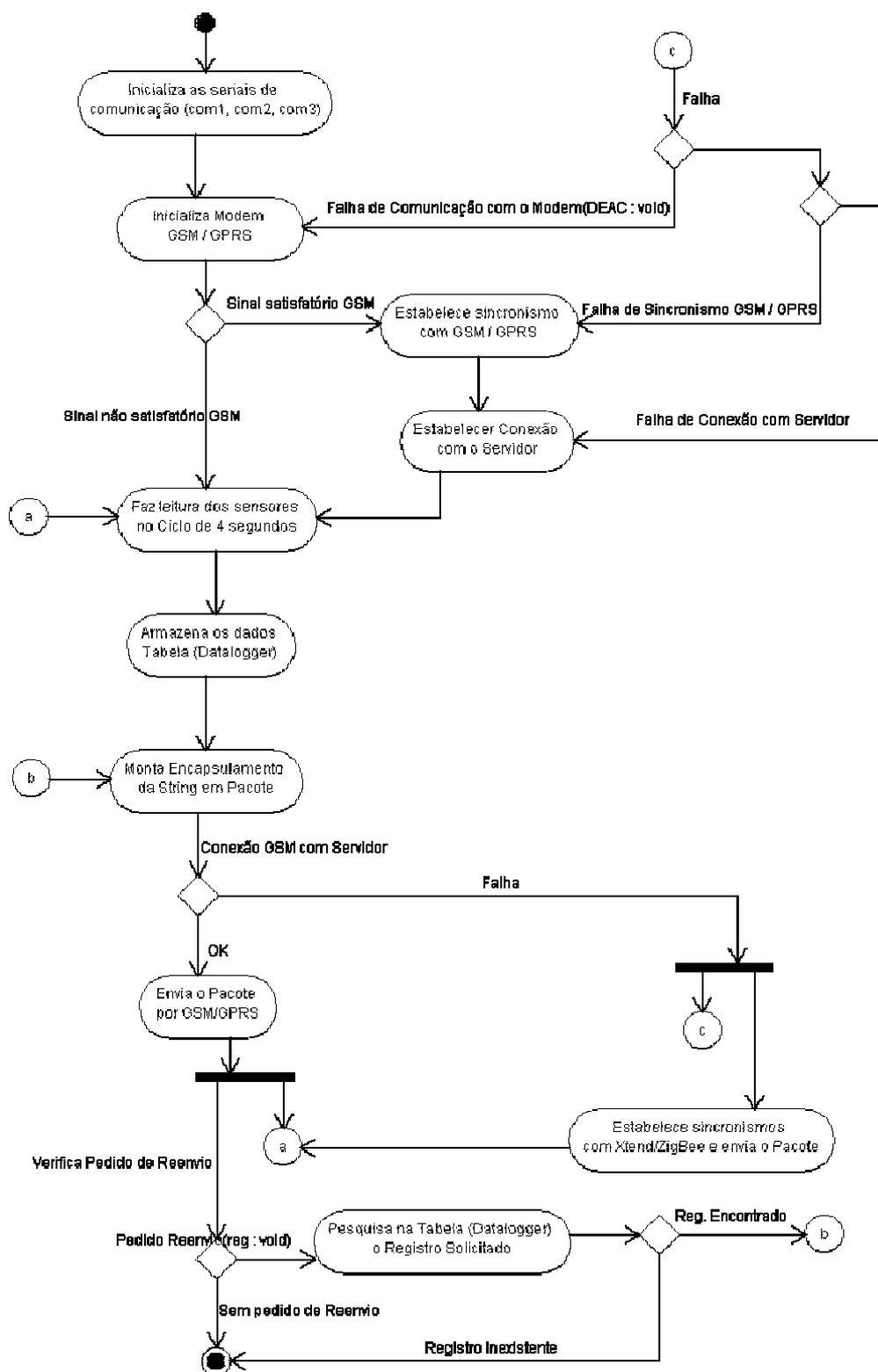


Figura 14 – Diagrama de Atividade (UML) Sistema PAM

Após essa etapa inicial, o sistema entra em um ciclo de coleta e mantém sempre a prioridade do processamento, para a comunicação entre o *datalogger* e os sensores, armazena os dados em uma tabela local e inicia no mesmo ciclo o envio dos dados pelo sistema de conexão. Ainda no ciclo, o sistema verifica se existe algum pedido recebido pelo sistema de telemetria no modem para retransmissão dos dados perdidos ou falhos, recebidos no servidor e descartados, e faz uma retransmissão de um registro armazenado na tabela do *datalogger*.

O ciclo é repetido a cada 4 segundos (definido como tempo mínimo para realizar todas as operações do ciclo), podendo-se ajustar o tempo dependendo da necessidade da aplicação de campo em questão. Em caso de falha, desconexão com o servidor ou falta do sincronismo com a operadora, o sistema retoma os processos iniciais para garantir a reativação da transmissão sem parar a coleta dos dados.

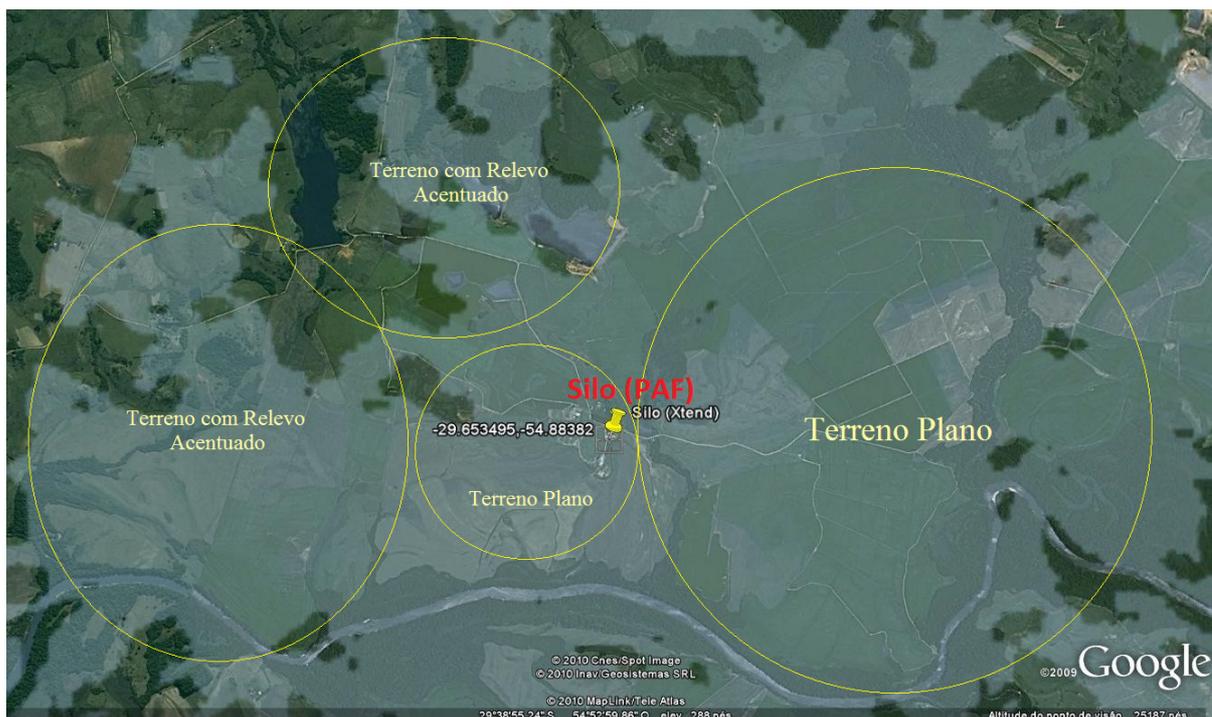
4.2.2 PAF (Ponto de Acesso Fixo)

As características principais deste trabalho direcionam-se a um ambiente rural definido por duas culturas (arroz e soja), com tipos de terrenos diferentes e estas áreas utilizadas estão ligadas diretamente com a infraestrutura das transmissões. Essas considerações são relacionadas à diferença de altura do terreno conforme relevo apresentado e podem interferir em pontos definidos como “cegos” ou sem visada para transmissões de Radio Frequência. Para análise das falhas, observa-se em terreno liso, sem obstáculos e em terreno com alguns pontos sem sinal direto dos transmissores.

O Ponto de Acesso Fixo também consiste em duas partes: uma é a parte física, que são os equipamentos de transmissão instalados no computador servidor, e a outra é a lógica, que é um software desenvolvido no Servidor para funcionalidades do SADA.

A parte física refere-se a uma infraestrutura mínima, com uma antena instalada em uma estrutura metálica (silo de armazenamento de grãos) a 25 metros do solo, localizada em um ponto estratégico, conforme geografia do território analisado na Fazenda Buricaci, observada na Figura 15.

Também faz parte, um dos rádios Xtend/Zigbee, conectado à antena e a sua porta serial ligada a um notebook, que também possui uma conexão com a Internet. Para fazer a configuração e a comunicação do PC com o rádio transmissor Xtend, no PAF, instalou-se o software X-CTU do próprio fabricante do rádio e definiu-se a forma de conexão dos rádios como ponto a ponto, ajustou-se a potência de transmissão para 1W, e alcance de até 60 km em linha reta, em ambientes abertos.



**Figura 15 – Abrangência do Sistema Xtend/ZigBee do PAF.
(GoogleEarth,2010)**

Na Figura 15, observa-se em um raio de 20 km da estrutura dos sistema Xtend/ZigBee instalada no cilo, que possui altura da antena de 25 metros do solo. A área mais clara na imagem representa toda a área de cobertura, com visada livre de obstáculos provenientes de relevo do terreno, que em locais de presença de relevo mais acentuado apresenta alguns pontos cegos (sem visada direta).

A parte lógica do PAF refere-se a o sistema servidor encarregado de receber e armazenar os dados e realiza a validação das informações para garantir a integridade e armazená-las com segurança, ou então, descartá-las.

A falta de informações que foram descartadas ou não foram recebidas dificulta as análises necessárias, e assim inviabiliza todo o processo se a ocorrência de falhas for significativa, e pode ocasionar erros no sistema. Para evitar este problema, o sistema servidor é encarregado de validar e também requisitar o reenvio de informações falhas para o sistema de transmissão do PAM.

As três principais funções do sistema do PAF, são apresentadas na figura 16.



Figura 16 – Esquema PAF

Na figura 16 pode-se identificar que cada sistema é identificado por uma função que compõem um único sistema lógico do PAF. A definição dessas funções são:

4.2.2.1 Função de Integração

O sistema no ponto fixo está habilitado à estabelecer conexões com os dois meios de comunicação presentes no projeto, de forma alternada ou concamitante.

A função de Integração corresponde à organização do recebimento dos dados, que podem chegar tanto pelo sistema GSM quanto pelo sistema ZigBee, considera e trata falhas decorrentes de acúmulo de recebimento de mensagem, como mensagens duplicadas ou quebradas. Quando há um atraso na chegada de uma informação, ocorre um acúmulo dos dados entregues em série e a função de integração identifica e organiza os pacotes para repassar a função de validação.

Todos os registros recebidos são únicos e não podem ser duplicados, em alguns casos por atraso no envio de um sistema pode ser requisitado uma retransmissão e chegar duas informações que correspondem ao mesmo registro. Portanto a função de integração verifica no banco de dados e descarta a informação que já tinha sido validada pelo sistema.

Quando está em uso o sistema de transmissão GSM, a função de integração é responsável por manter o controle de entrada de dados através de uma porta lógica aberta no sistema servidor como um Socket TCP, proveniente da chegada de dados do sistema GSM/GPRS. O sistema é notificado a cada chegada de informação referente a essa porta e repassa automaticamente o pacote de dados para o sistema de validação.

Quando a transmissão é ZigBee, o controle feito pela função de integração corresponde à leitura do buffer da porta serial onde está a conexão com o módulo Xtend. A leitura é feita de segundo em segundo e evita assim sobrecarregar o sistema com leituras em intervalos menores, sem causar processamento excessivo. Automaticamente, os dados recolhidos do buffer da porta serial correspondente são repassados para a função de validação do sistema.

4.2.2.2 Função de Validação

Ao receber a informação repassada pela função de integração, a função de validação confere o pacote de dados conforme critérios definidos na seção de validação de dados (no referencial teórico), com a finalidade de autenticar a integridade da informação original.

Com as várias conversões analógica/digital e digital/analógica, que os dados passam no percurso desde sua origem nos sensores, depois de passar pelos cabos e chegar no *datalogger* e após a comunicação por portas seriais com os meios de transmissão, os dados podem sofrer alguma alteração até a chegada no servidor que podem afetar sua integridade. No caso de falha detectada durante o processo de validação, o dado é descartado e imediatamente o sistema de validação manda um pedido de reenvio de um determinado registro para o PAM.

O sistema de transmissão GSM/GPRS, através de uma conexão cliente-servidor com a tecnologia de socket TCP, garante por sua natureza a entrega dos pacotes e sua integridade não levando em consideração os processos ocorridos antes dos dados chegarem ao modem do PAM. Portanto, a ocorrência de modificações nos dados em etapas anteriores à transmissão pelo modem, com todas as conversões sofridas, podem alterar os dados correntes por interferências ou sujeiras de buffer do *datalogger*, e tornar as informações inválidas para o SADA.

a) Desencapsulamento do Pacote de Dados

O processo de desmontagem e separação das partes com sua identificação é caracterizado neste trabalho como Desencapsulamento.

A primeira etapa desse processo de desencapsulamento é a identificação dos componentes da String com uma função definida como Split, que tem como objetivo cortar as informações e separar cada uma delas conforme sua característica original e função dentro da aplicação.

No cabeçalho, constam algumas verificações sobre a integridade do pacote, como a definição do início do pacote com o caracter “#”, o tamanho completo da String e a identificação do tipo de registro, correspondente a um registro corrente ou a um reenvio solicitado.

No rodapé é identifica-se com um caracter “@” o fim do pacote.

No corpo, são identificadas as informações de forma pura encontradas no registro da tabela do *datalogger*. Na figura 17, identifica-se o modelo gerado pela coleta de informações no PAM.

A estrutura montada no encapsulamento representa uma *String* pura, sem criptografia ou qualquer codificação. A figura 17 mostra os dados encapsulados no pacote de dados definidos por uma transmissão.

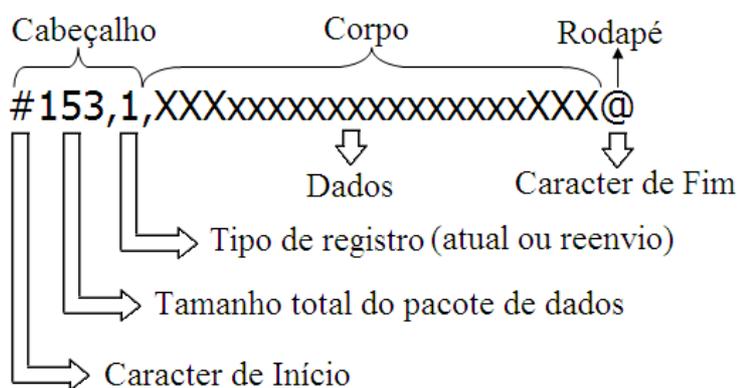


Figura 17 –Conteúdo do Pacote de Dados

O corpo da mensagem ilustrada na figura 17 apresenta caracteres fictícios para identificar de uma forma mais simples as propriedades do Pacote de Dados. Os dados correntes desse pacote devem ser separados e identificados conforme um campo definido, que herda uma característica única de uma determinada função do

SADA. A definição dos detalhes do corpo da mensagem é definida na próxima seção de Validação de Dados.

b) Falhas de Pacotes

As falhas são identificadas nos dados coletados que sofrem alterações no seu percurso. Portanto os erros não podem ser tolerados por sistemas de análises (como o SADA), pois informações não fidedignas não servem como parâmetro para tomada de decisões.

Nos testes de transmissões feitas em laboratório e em campo de teste (na fazenda), observam-se alguns erros decorrentes de falhas de hardware e software no PAM.

A figura 18 mostra um exemplo de uma informação com falha enviada, onde identificam-se caracteres que não fazem parte da coleta.

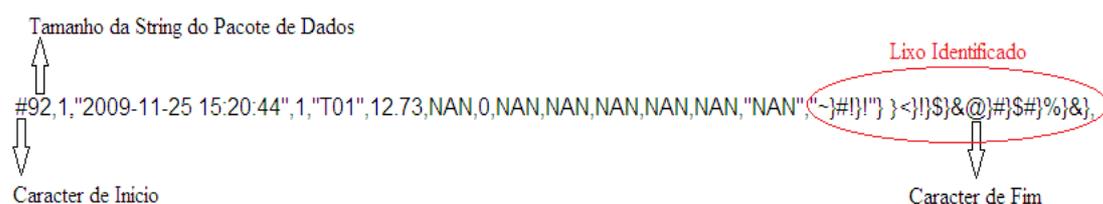


Figura 18 – Pacote de Dados Falho

No exemplo acima observa-se que o pacote falho, preserva os caracteres de início e fim. Também identifica-se o tamanho da String original.

Em outra transmissão, representada na figura 19, identifica-se a falha pela entrega de uma informação com pouca semelhança das características do corpo de um Pacote de Dados normal, ou seja, sem a identificação de caracter de início e tamanha da String no cabeçalho.

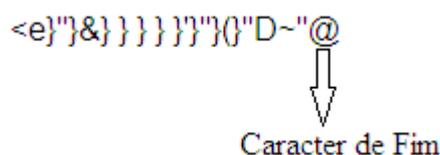


Figura 19 – Pacote de Dados Falho

c) Validação de Dados

A integridade da informação é fundamental para uma análise correta da aplicação, e é imprescindível a autenticidade dos dados relacionados a sua origem, de forma a garantir a utilização da informação coletada e verdadeira.

De acordo com Saldanha (2005), a validação geralmente consistirá de vários passos, que devem realizar checagens, avaliar se os valores estão razoavelmente exatos, completos e logicamente consistentes.

Antes de definir as partes correspondente ao corpo do pacote de dados, e analisa-las conforme as técnicas de validação, o pacote pode ser descartado já na identificação da ausência dos caracteres de início e fim ou da diferença entre o tamanho real da String (pacote), comparado com o campo correspondente ao tamanho do pacote de dados.

O corpo do pacote, que contém os dados encapsulados, é separado em uma função Split já tratada para identificação do cabeçalho e rodapé. Esta função Split confere cada um dos campos conforme sua identificação e faz a validação através da função de validação.

A figura 20 mostra a origem da String ainda encapsulada no corpo do Pacote de Dados.

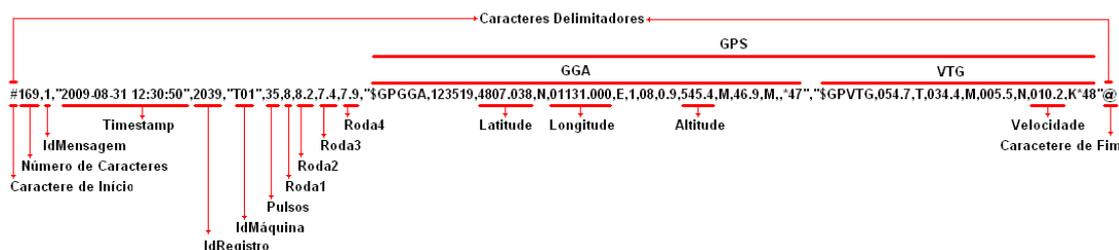


Figura 20 – Identificação de Todos os Campos do Pacote de Dados

Observa-se nessa figura todas as propriedades do Pacote de Dados com as identificações dos campos.

A figura 21 mostra com maior destaque os dados que serão aproveitados pelo GSADA, conforme a identificação de suas propriedades.

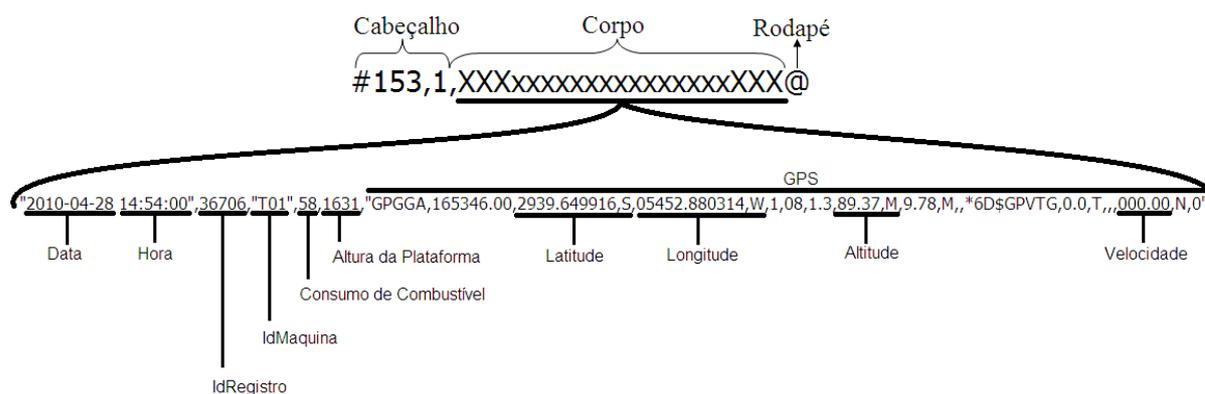


Figura 21 – Identificação do Corpo do Pacote de Dados

A identificação dos campos classificados na Figura 21 é detalhada conforme o tipo de validação aplicada no quadro 2, onde alguns exemplos de validação se destacam para a aplicação em questão, conforme definidas neste sistema:

Tipo de validação	Descrição	Exemplo	OBS
Integridade String	Define o tamanho da String (Pacote)	Tamanho - Length (String)	
Integridade da cadeia recebida	Início da String - # Fim da String - @	#String de dados@	
Integridade de Tipo	Quebra a String em partes para analisar o formato dos dados correspondentes	IDmaquina - String Registro – Inteiro Tensao – Inteiro Data – Data Hora – hora Consumo – Float	
Validação de intervalo	Verifica se cada campo corresponde a um intervalo válido para a aplicação.	IDmaquina – a00 até z99 Data – 01/2009 em diante Registro > 0 Tensao – 0 até 13	NAN – significa ausência de coleta nos sensores, portanto o dado deve ser tratado como ausente e não falho
Validação de formato	Verifica se o formato está de acordo com o especificado pela aplicação	Data – AAAA-MM-DD, AAAA é o ano com quatro dígitos, MM é o mês com dois dígitos e DD é o dia com dois dígitos, são separados por hífen Hora – HH:MM, HH é a hora com dois dígitos, MM são os minutos com dois dígitos, são separados por dois pontos	
Validação Tabela	Verifica se o dado está presente em uma tabela	IDmaquina – se está presente na tabela de máquinas	

Quadro 2 – Quadro de validação

O dado é armazenado no banco de dados se a identificação das propriedades dos dados e suas validações ocorridas com sucesso. Caso o pacote seja reconhecido como tipo de reenvio, é antes repassado para a função de reenvio que está definida na próxima seção.

Os pacotes de dados identificados por qualquer etapa da função de validação como falhos são eliminados, e identificados como falhos pela função de reenvio.

4.2.2.3 Função de Reenvio

Registram-se todas as informações validadas em um banco de dados e em uma lista corrente definida neste projeto como buffer de reenvio, onde são armazenados os dois últimos registros.

O buffer de reenvio é usado para identificar se entre os dois registros há uma diferença maior que um. Isso significa que falta algum registro falho ou que ainda está no percurso de transmissão. Cadastram-se os registros faltantes em uma lista de registros falhos, onde se verifica cada novo registro que está fora da ordem, identificado por ser menos que o último registro corrente, ou um registro de reenvio, identificado no cabeçalho.

Junto à lista dos registros considerados como falhos, adiciona-se à propriedade do registro um controle de quantas vezes e a hora que ele solicitado. Quando a informação chega, esses dados são úteis o sucesso no sistema de retransmissão.

A lista de registros ainda controla com um limitador a quantidade de pedidos feitas a cada segundo, se o registro foi pedido 5 vezes, vai para o final da fila e recebe um carimbo de reincidente. O registro reincidente é identificado dessa forma por ter uma baixa prioridade de pedido de retransmissão, pelo motivo de já ter passado por alguns pedidos de reenvio sem resposta.

A falta de resposta de uma requisição de reenvio pode ser proveniente de falta do registro solicitado na tabela no sistema PAM. Portanto isso não pode comprometer o sistema de reenvio, de forma a ficar insistindo com pedidos de reenvio para um registro sem retorno.

Caso o pacote de reenvio solicitado é recebido e validado automaticamente, sai da lista de reenvios e é inserido no banco de dados.

4.2.2.4 O Fluxo do Software (PAF)

O sistema servidor apresenta a proposta de receber de forma instantânea os dados validá-los em formato de uma String, separá-los e classificá-los para armazená-los de forma correta no banco de dados do SADA. A representação do sistema servidor está no diagrama de atividades, na figura 22, para melhor entendimento.

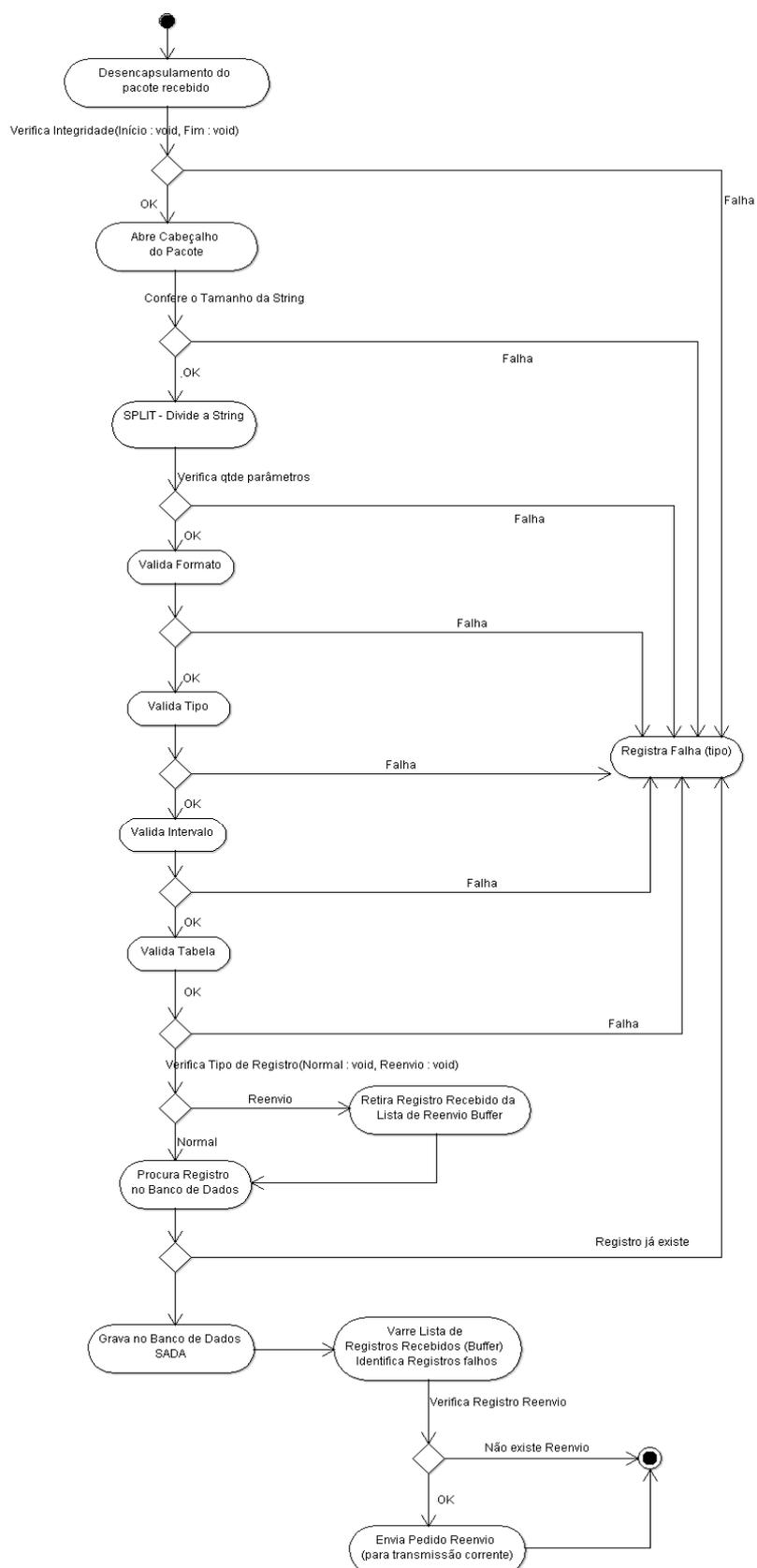


Figura 22 – Diagrama de Atividades UML do Sistema PAF

O diagrama da figura 22 mostra a entrada dos dados, que inicia a verificação da integridade da informação que chega, analisa os caracteres de início, representados por “#”, e fim, por “@”, de forma a identificar uma falha de alteração na String. Se um erro for detectado ocorre o descarte da informação.

A fase seguinte segue com a análise de informações do cabeçalho, que indicam o tamanho da String. Nessa etapa, a informação pode ser descartada por apresentar uma falha característica de alteração conforme o formato original da origem pacote.

Em seguida, realizam-se testes de validação sobre a integridade dos dados conforme descrito neste trabalho, os testes de validação por formato, intervalo, tipo e tabela servem para garantir que não foi alterado nenhum tipo de informação.

Armazenam-se todos os pacotes válidos em um banco de dados e registram-se em uma tabela definida como Buffer para controle de transmissões bem-sucedidas.

O sistema ainda se encarrega de varrer esse Buffer para identificar a falta de alguma informação dentro da sequência de registros na tabela e informar o sistema de telemetria sobre o reenvio de um determinado pacote.

4.2.2.5 Funcionalidades do Sistema PAF

No PAF, é necessário que o software desenvolvido fique sempre ativo, fazendo a leitura constante das portas lógicas sem exigir interação com um operador. Este software pode rodar em segundo plano, ou fazer parte do sistema maior, como uma rotina.

Desenvolveu-se uma interface, ilustrada na figura 23, para acompanhar os teste e processos de transmissões realizadas neste trabalho. A interface oferece uma visão sobre o status da conexão que está em espera, desligada ou ativa. Ainda mostra o pacote puro recebido, as opções de alteração na configuração das formas de aquisição, apresenta um relatório atualizado das atividades ocorridas de todas as funções e por fim a separação, destaque das informações detalhadas pelos campos desejados pela aplicação e também mostra uma visualização dos dados inseridos no Banco do SADA.

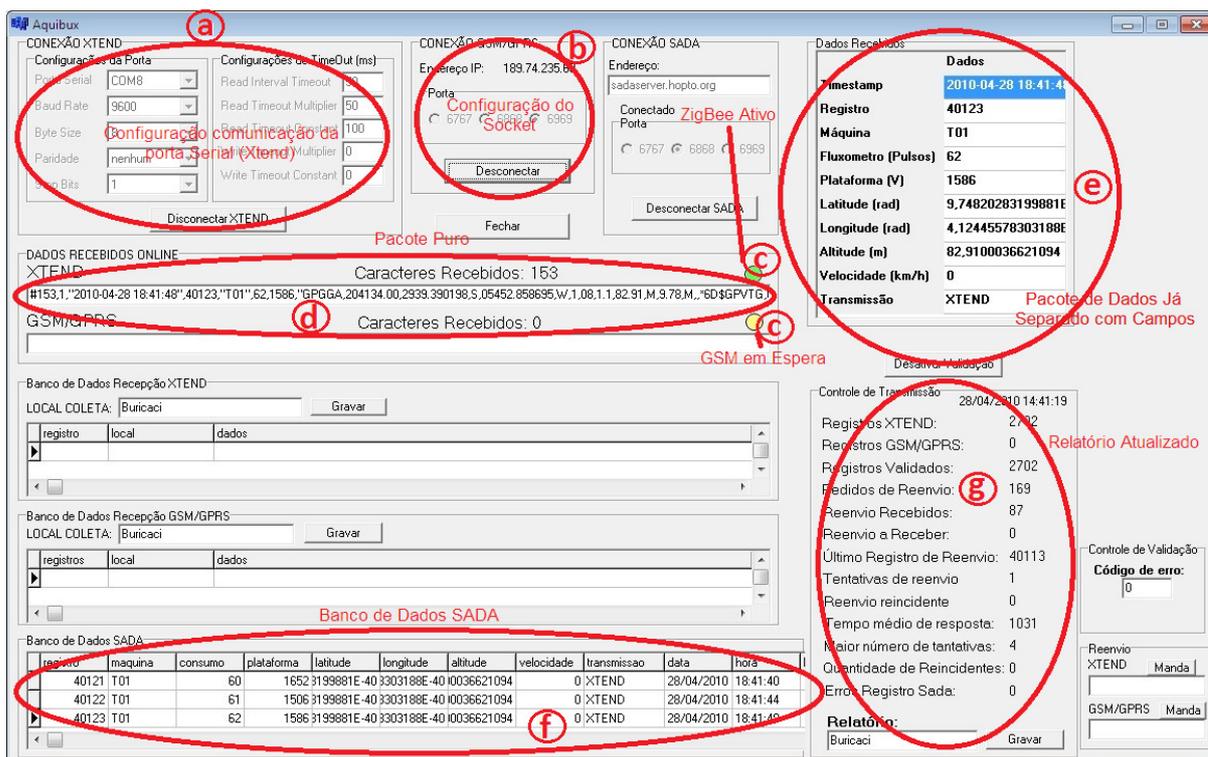


Figura 23 – Interface do Sistema PAF

Conforme a figura acima podemos identificar as propriedades:

- Configurações de conexão Xtend/ZigBee;
- Configurações de conexão GSM/GPRS com definições do Socket;
- Status da conexão, que pode ser identificada nos estados de espera (com a cor amarela), desligada (com a cor vermelha) ou ativa (com a cor verde);
- Pacote de Dados recebido ainda no formato puro (String);
- Dados separados e validados pelo sistema;
- Banco de Dados do SADA;
- Relatório autalizado das atividades ocorridas de todas as funções.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Moreira (2009), para sistemas de comunicação em geral, e para sistemas sem fio, em particular, a experiência mostra que os resultados de simulação nem sempre correspondem aos obtidos em implementações reais. A simulação normalmente baseia-se em modelos simplificados, que não consideram aspectos importantes que surgem quando se implementa a proposta em um ambiente real.

Neste trabalho além dos testes realizados em laboratório, no NEMA (Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas), também realizaram-se os testes em ambiente real, pelo período de seis dias, em dois tipos de terrenos diferentes, com relevo e terreno plano, em diferentes locais dentro da propriedade rural.

Devido a problemas climáticos e de manutenções preventiva e corretiva na máquina agrícola, não existe uma uniformidade no tempo de coleta dos dados, que resultou em números diferentes de registros transmitidos por dia, mas isso não interfere na análise dos resultados.

Em cada terreno diferente, realizaram-se testes com duas operadoras de telefonia celular para a transmissão da tecnologia GSM/GPRS.

A diferença entre terrenos no ponto de vista de transmissão de dados sem fio é a depressão. Na planície, o campo não apresenta obstáculos e possibilita uma visada direta entre as antenas, já o terreno ondulado há obstáculos de morros e coxilhas, que impedem a visada direta.

Os dois primeiros dias de testes deram-se no terreno plano, onde não há obstáculos entre os pontos do sistema ZigBee. No primeiro dia, não se realizou nenhuma transmissão com o sistema GPRS, pois a mesma se encontrava instável, em função da baixa presença de sinal GSM na localidade, identificada através do telefone celular e modem em notebook. No segundo dia, alguns dados foram transmitidos pelo sistema GSM, e devido à instabilidade citada, apenas 9,31% foram recebidos por esse sistema de um total de 2.749 registros recebidos, ou seja, o equivalente a 256 registros.

No terceiro dia, o terreno irregular, que poderia apresentar locais sem comunicação, o comportamento foi similar. Onde no primeiro dia de coleta nesse tipo de terreno, cerca de 39,17% dos registros transmitidos foram recebidos pelo sistema de telefonia móvel, e identificou-se um aumento na quantidade de transmissões GSM, comparados aos dias anteriores.

Já nos demais dias, tanto no terreno irregular como no plano, não houve nenhuma presença de recepção pela tecnologia GSM, considerando todos os registros (2.608) transmitidos pelo sistema Xtend.

A redundância, do sistema garantiu a transmissão dos registros coletados dos sensores e não enviados pelo sistema GSM (prioritário), através da tecnologia Xtend/Zigbee, conforme mostra o gráfico da figura 24.

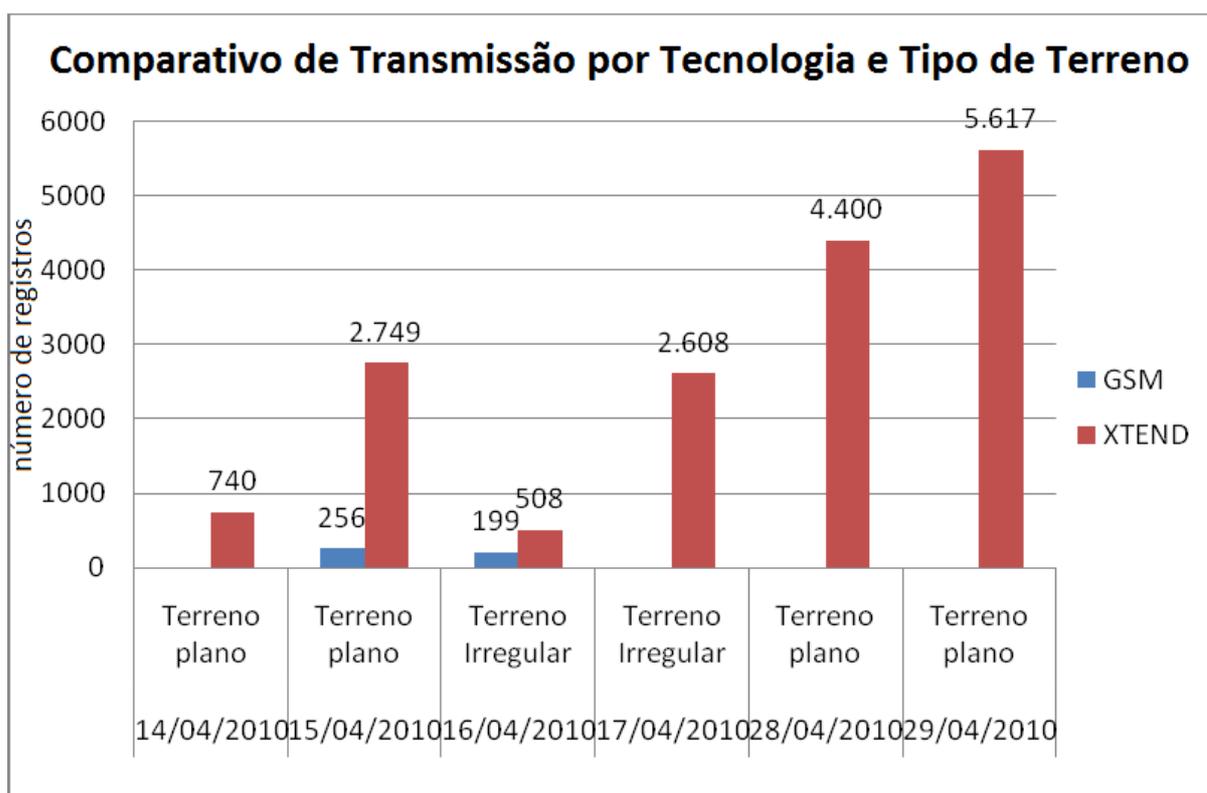


Figura 24 – Gráfico Comparativo de Transmissão por Tecnologia e Tipo de Terreno

Conforme a figura 24, constata-se que somente em dois dias houve presença de transmissão GSM, com 2,66 % do total dos dias, e ainda nesses dias apresentando falhas em mais de 50% das transmissões com a forma de transmissão alternativa.

No dia 15 a diferença está entre (2749) registros enviados por ZigBee e somente (256) registros enviados pelo GSM, representa-se também uma diferença no dia 16 com (508) registros para transmissão ZigBee e (199) para o GSM.

Constatou-se a garantia do recebimento de todos os dados através da técnica de reenvio, conforme gráfico da figura 25, que mostra o comparativo de dados recebidos na primeira transmissão e os recebidos através de reenvio.

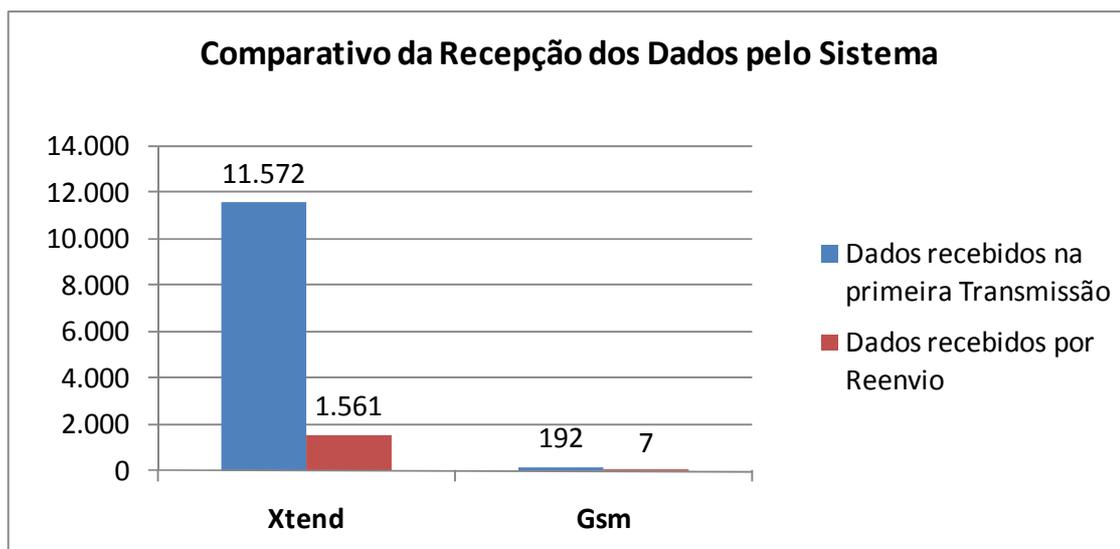


Figura 25 – Gráfico Comparativo da Recepção dos Dados pelo Sistema

A figura 25 mostra que, com a tecnologia Xtend/ZigBee, foram 13,48% transmissões de solicitação de reenvio e na tecnologia GSM os reenvios representaram 3,64%. O índice de reenvios para as duas tecnologias é baixo comparando com os envios de primeira transmissão, mantendo a estabilidade do sistema na grande maioria com transmissão online e com uma grande margem de tempo para recuperação de registros falhos.

Ao analisar o comportamento da técnica de reenvio (Figura 26), pode-se averiguar que quase em sua totalidade, os registros pedidos por reenvio foram recebidos, com exceção de três solicitações que representam 0,19% de todas as solicitações de reenvio que não foram recebidos.

Esse valor é considerado insignificante, levando-se em conta o total de registros enviados com sucesso (17.077), com 0,01% de perda e sem prejuízo para análise das informações.

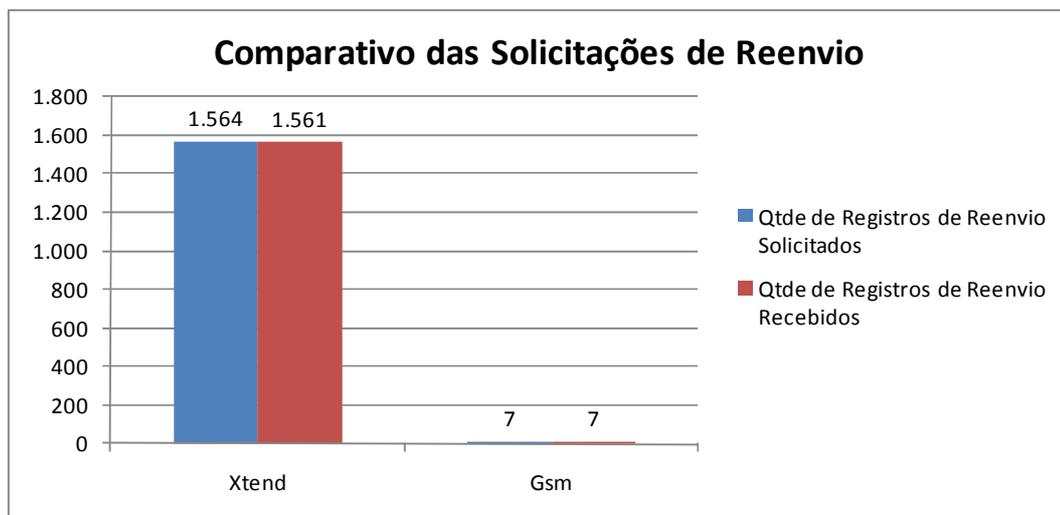


Figura 26 – Gráfico Comparativo das Solicitações de Reenvio

Conforme a figura 26, pode-se identificar que o número de solicitações de reenvio do Xtend representado por 99,55%, é muito maior que o GSM, que representa 0,45%, mas isso não significa que a transmissão via Xtend é instável por apresentar um número alto de retransmissões, e sim que está relacionado diretamente com a quantidade de dados solicitados e que a presença do modo alternativo, o Xtend, é maior que as transmissões do GSM durante o período de testes.

O gráfico da figura 27 apresenta um comparativo entre a quantidade de solicitações realizadas (identificada no primeiro índice), que é a representação de todos os pedidos feitos até que os registros correspondentes fossem recebidos, e a quantidade de registros solicitados (representada pelo segundo índice), que é o número de registros falhos identificados pelo sistema e encaminhados para pedidos de reenvio. Percebe-se que foram realizadas 4.387 solicitações de reenvio para os 1.564 registros identificados como falhos pelo sistema.

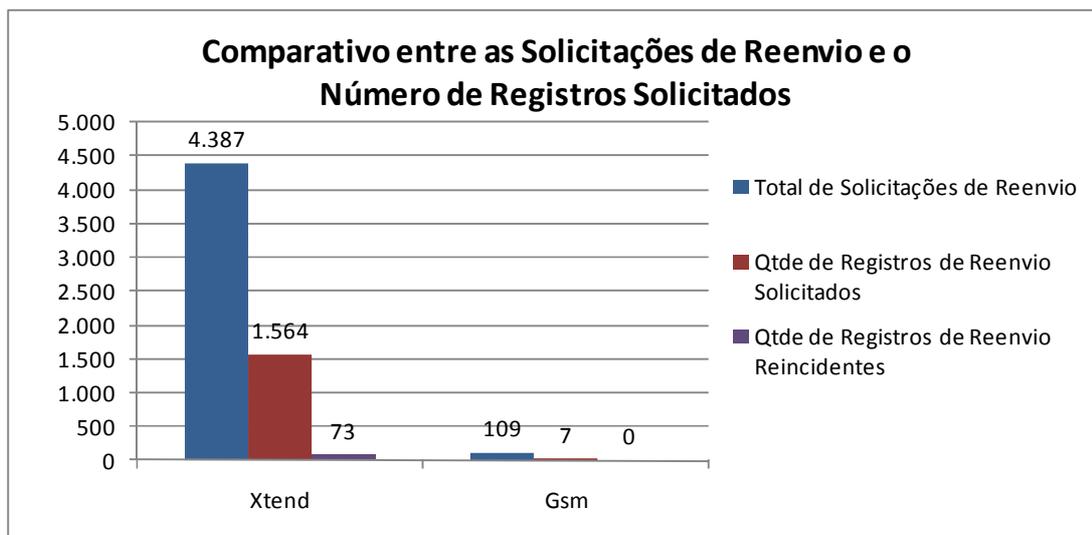


Figura 27 – Gráfico Comparativo entre as Solicitações de Reenvio e o Número de Registros Solicitados

Calculando-se uma média com esses valores, obtém-se o valor de 2,8 solicitações/registro, o que é considerada uma alta taxa. Essa ocorrência deveu-se ao sistema ser temporizado para solicitar novos reenvios de registros, identificados como falhos a cada segundo. Para os casos em o tempo de tráfego é maior que o tempo temporizado, uma nova solicitação é emitida, mesmo que ainda não tenha sido processado pelo PAM e ocasione solicitações desnecessárias. Uma possível solução é o dimensionamento de forma dinâmica desse temporizador, baseado nos tempos de respostas ocorridos nos últimos intervalos.

O tempo de resposta, é observado no gráfico da figura 28 onde as solicitações de reenvio foram respondidas em sua maioria em até cinco segundos, representando 70,91% dos registros.

O ciclo (tempo de coleta de dados nos sensores) é de quatro segundos e o valor correspondente à resposta da grande maioria dos registros tem a diferença de um segundo, então, constata-se que esse tempo é aceitável para um processamento imediato das informações correntes e permite a reação em tempo hábil.

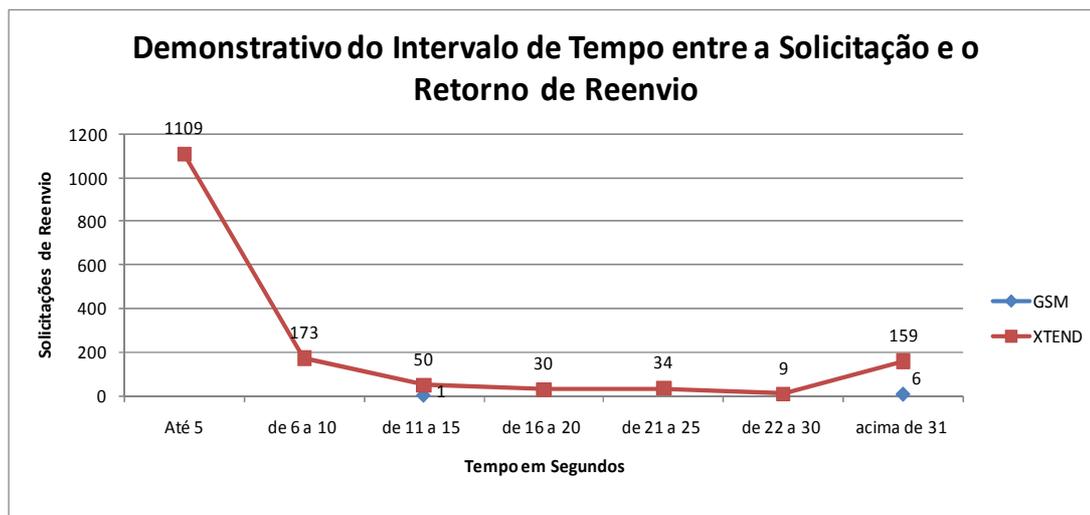


Figura 28 – Gráfico Demonstrativo do Intervalo de Tempo entre a Solicitação e o Retorno de Reenvio

Portanto os resultados obtidos mostram que tanto em terreno irregular ou plano não houve diferença nas transmissões GSM. Esta forma de transmissão teve alguns agravantes, como perda de sinal e instabilidade de conexão mesmo com a presença de sinal, na maioria das transmissões representando somente 2,66 % as bem sucedidas de um total de 17.077 transmissões. Comprometendo assim o sistema GSM para transmissão em localidades com estas características do sistema GSM, como sinal baixo e instabilidade de conexão mesmo com a presença de sinal.

Os resultados também mostram que conforme a perda ocorrida nas transmissões por ausência dos dois meios de transmissão, o GSM/GPRS e o Xtend/ZigBee, o sistema de reenvio foi eficaz, mantendo os dados na fonte original no PAM, e recuperando dentro de uma média de tempo de resposta em 5 segundos, sendo considerado tempo hábil para análise dos dados junto com os registros recebidos de forma online com o ciclo correspondente a 4 segundos.

As falhas ocorridas nos dois meios de transmissões, por diversos motivos citados neste trabalho, e recuperados pelo sistema de reenvio não comprometem o sistema de Telemetria, pois o número de transmissões de reenvios representam menos de 27% do total de transmissões durante todo o período.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma implementação de um sistema de telemetria, que envolve duas tecnologias de transmissão, com técnicas de redundância e tolerância a falhas. Desenvolvida em duas estruturas, consideradas, uma móvel, o PAM, e uma fixa, o PAF, o sistema de telemetria como um todo manteve um sincronismo e um tratamento de falhas favoráveis conforme a proposta inicial.

O PAM, localizado em um maquinário agrícola, foi ajustado com calibrações eletrônicas e instalado de forma a garantir a estabilidade do funcionamento da transmissão de forma online. Instalou-se o PAF em uma infraestrutura estratégica para garantir uma cobertura ideal do local de teste de forma a atender as expectativas da proposta.

Uma vez que o intervalo de tempo entre uma coleta de dados e outra é de 4 segundos, os testes demonstraram que a redundância foi eficaz e garantiu a transmissão com a troca de tecnologia sem degradação do tempo, já que em caso de desconexão do modem GSM, o sistema leva 30 milisegundos para se conectar ao Xtend e enviar os dados. Em paralelo, o sistema tenta restabelecer a conexão do modem, que leva de 10 a 30 segundos e mantém a comunicação e a transmissão dos dados com o sistema alternativo até ter sucesso com a re-conexão GSM.

O sistema de reenvio consegue determinar a transmissão de dados falhos em tempo hábil de até 5 segundos na maioria dos casos, e o ciclo de coleta é de 4 segundos. O reenvio, portanto, possibilita uma análise dos dados de forma on-line, com um tempo considerado pequeno entre o ciclo e o reenvio e permite assim um retorno imediato, com resultados obtidos por análise ou processamento dos dados, que podem diminuir os riscos de perdas maiores na produção agrícola e na operação do maquinário.

Apesar do sinal GSM/GPRS ser precário no local do experimento (Fazenda no município de São Francisco de Assis, estado do RS, Brasil) o Xtend/ZigBee estabeleceu a cobertura da maioria do território avaliado. Mesmo em casos onde não houve a cobertura dos sistemas, foi possível recuperar os dados não

transmitidos através do processo de reenvio no momento de reconexão, com uma perda insignificante de 3 registros do total de 13.332 registros transmitidos.

O sistema TSADA alcançou os objetivos propostos, ou seja, garantiu a transmissão dos dados com tolerância a falhas e de forma redundante em locais remotos e de relevos diferenciados, tais como planície (sem obstáculos) e coxilhas (com alguns obstáculos, morros). O TSADA foi validado em situação real, sem utilização de simulação e permitiu dessa forma que o operador da máquina agrícola recebesse informações em tempo apropriado para administrar e interferir nos resultados finais do seu trabalho.

6.1 Trabalhos Futuros

O presente estudo, através de seus resultados traz expectativas para novas pesquisas e trabalhos relacionados.

A função de reenvio teve um número elevado de pedidos, levando-se em conta o número de registros falhos e o sucesso de seu recebimento em 99%. Apesar do sistema não sofrer com pedidos excessivos no PAF, considera-se que o PAM recebe vários pedidos desnecessários. Isso se dá pelo período de um segundo estimado para realizar um novo pedido de reenvio. Uma possível solução seria controlar o tempo de resposta médio de um pedido de reenvio e sua resposta para poder dimensionar um novo tempo a cada pedido do mesmo registro falho e tornar assim o sistema de controle de reenvio de forma dinâmica e adaptável a atrasos decorridos de tráfego lento da internet ou pontos cegos nos sistemas de transmissão.

Outra proposta a ser estudada é a adaptação de rádios Xbee diretamente nos sensores do PAM, que torna essa ligação com modelo de RSSF (Redes de Sensores Sem Fio) com uma topologia em malha identificando o rádio roteador no *datalogger* e o coordenador no PAF. Podendo expandir a outros equipamentos agrícolas com a mesma estrutura dentro da propriedade sendo organizada pela topologia Mesh.

Um tema de pesquisa a ser identificado é relacionado a otimização do uso de energia pelo equipamento de telemetria. Onde neste trabalho não foi tratado sendo

utilizadas nos testes para ligação dos rádios transmissores ZigBee, baterias ligadas a alternadores dos equipamentos agrícolas para manter a carga. Uma proposta seria regular os equipamentos de transmissão, considerando a distância dos pontos de transmissão e recepção, de forma a aumentar ou diminuir sua potência de transmissão alterando o consumo de energia.

Outra proposta de continuidade desta pesquisa é o desenvolvimento de um circuito eletrônico para substituir o *datalogger* a fim de automatizar a comunicação dos equipamentos transmissores e sensores. Esse hardware, denominado CAC (Circuito Eletrônico de Aquisição e Comunicação), é um circuito eletrônico com microcontrolador da família PIC, especialmente desenvolvido para prover leitura, aquisição, armazenamento e comunicação de dados provenientes de sensores de instrumentação agrícola e/ou de sistemas de telemetria.

O CAC já encontra-se em fase de teste e ajustes na sua estrutura para ser considerado como um equipamento adequado para substituição de forma equivalente a tecnologia do *datalogger* modelo CR1000. A estrutura inicial apresenta uma característica sequencial de processamento com armazenamento local em memória de cartão SD.

A principal dificuldade apresentada no CAC é identificada na sua execução onde os passos, que é sequencial, de forma diferente do *datalogger* que tem a característica de *pipeline* e oferece uma performance superior de processamento e execução de instruções em paralelo. Sua forma sequencial apresenta uma perda muito grande na leitura dos sensores e comunicação com os módulos de transmissão, tornando um passo dependente do término do outro para sua sequência de instruções.

No ANEXO A, estão destacadas as principais características do CAC e a estrutura já desenvolvida.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES FILHO, Manuel. Técnica garante maior produtividade da cana. **Jornal da Unicamp**. 369, 27 ago./ 2 set. 2007. Disponível em: <http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/agosto2007/ju369pag03.html>. Acesso em: dez. 2009.

ANFAVEA. **Anuário estatístico da indústria automobilística brasileira – 2006**. São Paulo. 2006.

ANTUNES, Bruno Miguel Boleta Cavaco. **Sistema de telemetria embarcado com geo-localização – PDA**. 2007. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. Disponível em: <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/147657/1/Dissertacao_162_2006-2007.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2010.

ARANHA, Rafael Jorge Afonso Gonçalves. **Caracterização de uma rede sensorial**. 2005. 25f. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa. Disponível em: <http://web.tagus.ist.utl.pt/~rafael.aranha/WSN/docs/Aranha_Caracterizacao%20de%20uma%20rede%20sensorial.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2009.

ARAUJO, Rodrigo. **Um estudo do impacto do uso de criptografia em Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs)**. Monografia (Trabalho de Conclusão em Ciência da Computação). 2004. 40f. – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2004. Disponível em: <<http://www.cin.ufpe.br/~tg/2004-1/rca4.doc>>. Acesso em: dez. 2009.

ATTIA, Skender Ben et al. **Fault-Tolerance Mechanisms for Zigbee Wireless Sensor Networks**. Saudi Arabia: Computer Science Dept., Al-Imam Muhammad Ibn Saud University, 2007.

BARROSO, Carlos – **Sensores** – Monografia – Departamento de Engenharia de Controle e Automação / Universidade Metodista de Piracicaba 2008 based on IEEE 145 1 in In-Vehicle Network - Proceedings of the 2004 IEEE

BEVENUTO, D. **Era da informação, o impacto profundo abalando e reconstruindo a forma de se comunicar de toda a humanidade**. In: WEBPRISMA. Disponível em: <<http://www.webprisma.com.br/agencia-digital/artigos/2-era-da-informacao>>. Acesso em: jun. 2010.

BITESIZE. **Data validation and verification**. In: BBC GCSE. Disponível em: <<http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/ict/databases/3datavalidationrev1.shtml>>. Acesso em: 10 fev. 2010.

Bluetooth Disponível em: <<http://www.ppgia.pucpr.br/teses/DissertacaoPPGla-OdairFerline-042003.pdf>> Acesso em: dez. 2009

BOBSIN, André Luiz. **Sistema de coleta de dados meteorológicos**. 2004. Monografia (Trabalho de Conclusão em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia – Universidade Luterana do Brasil, Porto Alegre(RS), 2004.

BONDE, Ian. **Telemetria**. Seção: tutoriais telefonia celular. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmtelemetria/default.asp>>. Acesso em: 12 fev. 2009.

CAMPBELL. **Campbell Scientific, Inc.** Disponível em: <<http://www.campbellsci.com>>. Acesso em: 12 fev. 2010.

CAMPBELL. **CR1000**: measurement and control datalogger. Disponível em: <<http://www.campbellsci.com/cr1000>>. Acesso em: 15 mar. 2010.

CARAM, Vinícius Oliveira **.GERENCIAMENTO DO ESPECTRO DE FREQUENCIAS, OTIMIZAÇÃO E COMPARTILHAMENTO DE REDE MÓVEL EM MÚLTIPLAS TECNOLOGIAS**. Brasília/DF: Departamento de Engenharia Elétrica – ENE/FT/UnB, 2008. Dissertação de Mestrado.

CARDEN, Frank; HENRY, Robert; JEDLICKA, Russ. **Telemetry Systems Engineering**. 2.ed. Boston: Artech House Publishers, 2002.

CARVALHO, Marco Antonio Santuci. **Um sistema de monitoramento remoto de pacientes usando Rede sem Fio**. 2005. 180f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

COMER, D. E. **Redes de Computadores e Internet**. 4.ed. São Paulo: Artmed 2007.

DARUMA. **Modem GSM-GPRS (MIN 100)**. Disponível em: <http://www.daruma.com.br/prd_det.php?id_prod=33>. Acesso em: 10 jan. 2010.

Dataloger- disponível em <<http://www.campbellsci.com/cr1000>> - Acesso em: mar. 2010.

DIGI. **XTend RF Modems** - 1 Watt/900 MHz Stand-Alone Radio Modems. Disponível em: <<http://www.digi.com/products/wireless/xtend.jsp#specs>> Acesso em: fev. 2010.

DUTRA, Leôncio Regal. **Solução de Qualidade de Serviço Fim-a-Fim em Redes Metropolitanas Heterogêneas**. 2008. 75f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

ERGEN, Sinem Coleri. **ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary**. sep. 2004. Disponível em: <<http://pages.cs.wisc.edu/~suman/courses/838/papers/zigbee.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2010.

FCC. **Federal Communications Commission**. Disponível em: <<http://www.fcc.gov/>> Acesso em: 3 fev. 2010.

FERLINE, Odair P. **Interconexão de redes Bluetooth**: uma aplicação em telemetria de serviço de distribuição de energia. 2003. 172f. Dissertação (Mestre em Informática Aplicada) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2003. Disponível em: <<http://www.ppgia.pucpr.br/teses/DissertacaoPPGIa-OdairFerline-042003.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2009.

FILHO, M.A. **Técnica garante maior produtividade da cana**. Jornal da Unicamp. UNICAMP. 27 de agosto a 2 de setembro de 2007.

FOLLE, S.; Franz, C. A. B. **Trator agrícola**: características e fundamentos para sua seleção. Planaltina: EMBRAPA, 1990.

FREIBERGER JR., Jaime. **Antenas de receptores GPS**: características gerais. 2004. Disponível em: <http://www.geomatica.ufpr.br/docentes/ckrueger/pessoal/D_antenas.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2010.

GARCIA, R. F. et al. **Programa computacional para aquisição de dados para avaliação de máquinas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.7, n. 2, p 375-381, agost. 2003.

GARMIM. **Especificações técnicas GPS Garmim**. Disponível em: <<https://buy.garmin.com/shop/shop.do?plD=310&ra=true#specsTab>>. Acesso em: 20 fev. 2010.

GUIMARÃES, Vinícius Oliveira Caram. **Gerenciamento do espectro de frequências, otimização e compartilhamento de rede móvel em múltiplas tecnologias**. 2008. 142f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade de Brasília, Brasília (DF), 2008.

GUO, L.S.; Zhang, Q. Wireless Data Fusion System for Agricultural Vehicle Positioning. **Biosystems Engineering**, Urbana, v. 91, n. 3, p. 261-269, 2005.

IEEE. **IEEE – Wireless Standard Zone**. Disponível em: <<http://standards.ieee.org/wireless/>>. Acesso em: 15 fev. 2010.

IEEE. **IEEE 802.15 TG4**. 2010. Disponível em: <<http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>>. Acesso em: 1 fev. 2010.

IEEE. **IEEE 802.15.4** – Standards for Information Technology Part: 15.4, New York: IEEE, oct. 2004.

IEEE. **Institute of Electrical and Electronics Engineers**. Disponível em: <<http://www.ieee.org.br>>. Acesso em: 20 fev. 2010.

IMAI, Romy Yuka. **As redes wireless**. 2007. 70f. Monografia (Especialização em Redes de Computadores) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

INDUNIL, B. A; HETTIARACHCHI, H. A. P. K. Automated Rain Gauge Stations with A GSM Data Transmission Link. In: **Second International Conference on Industrial and Information Systems**, ICIIIS 2007, Penadeniya, p. 387-392, aug. 2007.

INFINIUM. **Manual UTR GSM / GPRS**: Unidade de Telemetria Remota via rede celular GSM sistema via rede celular M2M com Interface USB 2.0. v.2, ago. 2010. Disponível em: <http://www.infiniumautomacao.com.br/sgr/arquivos/manual_utr_gsm.pdf>. Acesso em: fev. 2010.

KHANH Tuan Le, **RFIC system architect**, ChipCon - ZigBee SoCs provide cost-effective solutions – disponível em <<http://www.eetimes.com/showArticle.jhtml?articleID=173600329>> Acesso em: fev. 2010

KINNEY, Patrick et al. **ZigBee Technology**: wireless control that simply works. In: Communications Design Conference, 2003. Disponível em: <http://www.zigbee.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=5162>. Acesso em: 12 fev. 2010.

KULIK, J.; RABINER, W.; BALAKRISHNAN, H. Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks. In: **ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking** – MobiCom, Seattle, WA, 1999.

LAI, Daniel. Redundant Serial-to-Ethernet Data Connections for Mission-critical Devices. Moxa, jul. 2008. Disponível em: <http://www.neteon.net/PDFFiles/Redundant_Serial-to-Ethernet_Data_Connections_2.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2010..

LE, Khanh Tuan. **ZigBee SoCs provide cost-effective solutions**. Disponível em: <<http://www.eetimes.com/showArticle.jhtml?articleID=173600329>>. Acesso em: 8 fev. 2010

LEE, Suk; LEE, Kyung Chang; KIM, Man Ho. Implementation of dual redundant CAN module based on IEEE 1451 in in-vehicle network. In: **IEEE International Conference on Control Applications Taipei**, Taiwan, v. 2, p. 1558-1563, sep. 2004. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1387597&userType=&tag=1>>. Acesso em: 20 abr. 2010.

LINCK, Guilherme; BOUFLEUR, Márcio Parise. Protocolos de comunicação em redes de sensores sem fio. In: **Seminário Disciplina Redes UFSM**, Santa Maria, 2009.

LOPES, Wagner Lima. **Sistema de Telemetria e Automação Remota Utilizando a Rede GSM/GPRS**. 2008. 64f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Ciência da Computação) – Universidade Luterana do Brasil, Gravataí (RS), 2008.

LOUREIRO, A.F. et al. Redes de sensores sem fio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES, 21, 2000, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2000. Disponível em: <http://www.sensornet.dcc.ufmg.br/pdf/179_Loureiro_Nogueira_Ruiz_Mini_Nakamura_Figueiredo.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2009.

LUPPI, Iria. **A era da informação**. jun. 2009. Disponível em: <http://www.oficinadanet.com.br/artigo/1820/a_era_da_informacao>. Acesso em: 7 jun. 2010.

MACHADO, Antônio Lilles Tavares. **Sistema eletrônico para aquisição de dados em máquinas agrícolas.** BioEng. 2007. Disponível em: <http://www.ct.unicamp.br/documentos/bioeng3/6_RENATO26-1.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2010.

MARCOS AUGUSTO M. Vieira, Luiz Filipe M. Vieira, Linnyer Beatrys Ruiz, Antônio Alfredo F. Loureiro, Antônio O. Fernandes, José Marcos S. Nogueira, Diógenes Cecílio da Silva Jr. **Como obter o Mapa de Energia em Rede de Sensores Sem Fio: Uma Abordagem Tolerante a Falhas.** - Disponível em: <<http://www.sensor.net.dcc.ufmg.br/Publicacoes/energyMapWCSF2003.pdf>> - Acesso em: dez. 2009

MARTINCOSKI, Daniel Henrique. **Sistema para telemetria de eletrocardiograma utilizando tecnologia bluetooth.** 2003. 113f. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PEEL0858.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2009.

MENON, João Marcos. **Dimensionamento de Tráfego de Rede de Dados para Sistema Celular 1XEV-DO.** 2006. 135f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) – Pontifícia Universidade Católica, Campinas, 2006.

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificações.** Piracicaba: FEALQ, 1996.

MICROCHIP, Microchip Technology Inc – Datasheet: Definição e Descrição de Microcontroladores PIC. Disponível em: <http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=2551>. Acesso em: 20 jan. 2010.

MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS Descrição, fundamentos e aplicações.** São Paulo: UNESP, 2000. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=n3q4ypMODpEC&oi=fnd&pg=PA13&dq=conceito+GPS&ots=6URnAbNxBO&sig=k2QoYyjHF_7TW6RYJ54lSdJiba8#v=onepage&q=conceito%20GPS&f=false>. Acesso em: 21 jan. 2010.

MOREIRA, M. D. D. et al. Internet do futuro: um novo horizonte. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES-SBRC**, 27, 2009, Recife. **Anais...**, Recife, 2009.

MORIMOTO, Carlos E. **Hardware**, o guia definitivo. São Paulo: GDH Press e Sul Editores, 2007.

MUNACK, A.; SPECKMANN, H. Communication technology is the backbone of precision agriculture. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. v. 3, p. 1-12, may. 2001.

NOGUEIRA, Antonia Diana Braga. **Uma proposta de integração das redes UMTS e IEEE 802.11 com suporte a mobilidade.** 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno.** 4.ed. São Paulo: Prentice-Hall do Brasil, 2003.

OVAL. Corporation K&K do Brasil LTDA. **Divisão TechMeter**. Disponível em: <http://www.oval.com.br/mvl_fom.htm>. Acesso em jan. 2010.

PARIZI, A. R. C. et al. Avaliação de métodos de evapotranspiração de referência para a região de São Borja, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14, 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2006.

PARK, John; MACKAY, Steve; WRIGHT, Edwin. **Practical data communications for instrumentation and control**. Oxford: Elsevier, 2003.

PAZOS, Fernando. **Automação de sistemas & robótica**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2002.

PEREIRA, M. R.; AMORIM, C. I. de; CASTRO, M. C. S. de. Tutorial sobre Redes de Sensores. **Cadernos do IME UERJ**, série Informática, v. 14, jun. 2003. Disponível em: <<http://www.ime.uerj.br/cadernos/cadinf/vol14/>>. Acesso em: 10 dez. 2009.

PETILIO, Alexandre. Um breve estudo da viabilidade de aplicação de técnicas de agricultura de precisão. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. , n. , mês 2007.

PIERCE, F.J.; ELLIOT, T.V. Regional and on-farm wireless sensor networks for agricultural systems in Eastern Washington. **Computers and Electronics in Agriculture**, Washington, v. 61, p. 32-43, apr. 2008.

PIROTTI, Rodolfo Pedó. Transmissão de dados através da telefonia celular: arquitetura de redes GSM e GPRS. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 10, n. 13, p. 81-89, jan./jun. 2009.

PODEROSO, F.; SOBRAL V. A.; LIMA R. N.; OLIVEIRA A. Rede ZigBee Aplicada à Medição em Agricultura. In: SEMETRO, 8, 2009, João Pessoa. **Anais...**, João Pessoa: UFCG, 2009. Disponível em <http://limcserver.dee.ufcg.edu.br/semetro/www/pdf/52381_1.pdf> Acesso em: 21 fev. 2010.

POSTGRESQL – **Site Oficial da Comunidade Brasileira do POSTGRESQL** - Disponível em: <<http://www.vikacontrols.com.br/znet.htm>> Acesso em: 11 Abril de 2010.

Produto XBee / Mesh - Disponível em: <<http://www.vikacontrols.com.br/znet.htm>> Acesso em: 12 dez. 2009.

RFC-EDITOR. **Request For Comments Repository**. abr. 2010. Disponível em: <<http://www.rfc-editor.org>> Acesso em: 20 mar. 2010.

ROCHOL, Juergen. Convergência das Tecnologias 3G, Wi-Fi e WiMax. In: SACT, 24, 2008, Santa Maria, **Anais...**, Santa Maria, 2008.

ROGERCOM. **Automação Comercial e Equipamentos Wireless**. Disponível em: <<http://www.rogercom.com/>> Acesso em: 23 fev. 2010.

ROZAS, Norberto. O que é telemetria. **Revista Gás Brasil**, p. 13, nov. 2004. Disponível em: <http://www.syspro.com.br/area_conhecimento/artigos/art_001_telemetria1.pdf>. Acesso em: 3 dez. 2009.

RUIZ, Linnyer et al. Arquiteturas para redes de sensores sem fio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES – SBRC, 22, 2004, Gramado. **Anais...**, Gramado: UFRGS, 2004. Disponível em <<http://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/publications/04mc-sbrc.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2010.

RUSSINI, Alexandre. **Projeto, construção e teste de instrumentação eletrônica para avaliação dos desempenhos de tratores agrícolas**. 2009. 142f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SALDANHA, Marcus Fabiano Silva. **Validação de dados geográficos espaciais em ambiente orientado a objeto**. 2005. 224f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/8196>>. Acesso em: 10 out. 2009.

SAM. **3G Modem GSM: the 3G stand alone modem**. Disponível em: <<http://www.fixedwireless.com.au/files/CIX42378/SAM3G%20Brochure.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2010.

SANTOS, Antônio Silveira R. **As empresas e a era da informação**. Programa Ambiental . Disponível em <<http://www.ultimaarcadenoe.com/artigo16.htm>>. Acesso em: 5 jun. 2010.

SANTOS, Douglas Soares. **Rastreamento e telemetria de veículos usando a comunicação de dados de alta velocidade disponível na telefonia celular**. 2004. Dissertação (Mestrado Engenharia Eletrônica e Computação) – Departamento de Engenharia Eletrônica e Computação – Instituto Tecnológico da Aeronáutica, 2004.

SANTOS, Paula Machado dos. **Modelagem do desempenho em tração de conjuntos mecanizados visando ao dimensionamento do trator**. 2010. 161f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

SANTOS, Sergio Torres. **Redes de sensores sem fio em monitoramento e controle**. 2007. 71f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SARAIVA, Antonio Mauro. **TI no agronegócio e biodiversidade**. São Paulo: Escola Politécnica de São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.lps.usp.br/lps/arquivos/conteudo/grad/dwnld/TI_Apostila.pdf>. Acesso em: dez. 2009.

SCHABBACH, Tatiana Rotava. **Análise Comparativa de Desempenho de Redes IP e ATM com tráfego Multimídia Interativo**. 2002. 138f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SCHLOSSER, J.F. **Administração de máquinas agrícolas**. Santa Maria: Núcleo de Ensaio de Máquinas Agrícolas, Centro de Ciências Rurais, UFSM, 1998. 100p. (Série Técnica – Módulo 6).

SHUIAB, K. et al. **Co-existence of Zigbee and WLAN, A Performance Study**. In: Wireless Telecommunications Symposium – WTS, v., n., p.1-6, apr. 2006. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4135336&isnumber=4037316>>. Acesso em: 19 mar. 2010.

SILVA, E.S. **Metodologia de cálculo de espectro para suportar a evolução do sistema móvel celular**. 2007. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SILVA, Fabrício Aguiar et al. **Tecnologia de nodos sensores sem fio**. Universidade Federal de Minas Gerais. 2003. Disponível em: <<http://www.sensornet.dcc.ufmg.br/Publicacoes/pesquisanodosRT2003.pdf>>. Acesso em: 10 Mar. 2009.

SILVA, Tiago Trindade. **Proposta de Método de Acesso ao Meio Baseado em QoS para Redes AD-HOC IEEE 802.11**. 2008. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SIMCOM. **SIM300**: questions about handset design. v. 1.02. 2006. Disponível em: <<http://wm.sim.com/Sim/News/photo/2009612100236.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2010.

SKENDER, Ben Attia¹, André Cunha¹, Anis Koubâa^{1,2}, Mário Alves¹ - **Fault-Tolerance Mechanisms for Zigbee Wireless Sensor Networks** - Al-Imam Muhammad Ibn Saud University, Computer Science Dept., 11681 Riyadh, Saudi Arabia. 2007

SOUSA, R.V.; INAMASU, R.Y.; TORRE-NETO, A. Levantamento e sistematização de padrões desenvolvidos para máquinas e implementos agrícolas baseados no protocolo CAN. In: SIMPÓSIO SOBRE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3, 2001, Piracicaba. **Anais...**, Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2001.

SOUZA, Felipe de. **Sensores**. nov. 2006. (material didático). Disponível em: <<http://webx.ubi.pt/~felippe/texts/sensores.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2010.

SPARLING. **Flowmate Flowmeter**: technical specifications. 2002. Disponível em: <http://www.sparlinginstruments.com/pdf/PDS_LSF.PDF>. Acesso em: 15 fev. 2010.

STUCKMANN, P.; EHLERS, N.; WOUTERS, B. GPRS traffic performance measurements. In: Vehicular Technology Conference – VTC, 2002. **Anais...**, v. 2, p. 1289-1293, 2002. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1040813&isnumber=22310>>. Acesso em: 17 abr. 2010.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de Computadores**. 4.ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

TATO. **Documentação do Modem SM340**. 2007. Disponível em: <<http://www.tato.ind.br/detalhesproduto.asp?id=87>>. Acesso em: 11 fev. 2010.

TAUB, Herbert. **Circuitos digitais e microprocessadores**. São Paulo: McGraw-Hill, 1984.

TEIXEIRA, Adunias S.; COELHO, Silvana L. Desenvolvimento e calibração de um tensiômetro eletrônico de leitura automática. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 367-376, 2005.

TELECO TECNOLOGIA. **Descrição do setor de telemetria**. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmtelemetria/pagina_2.asp>. Acesso em: 11 nov. 2009.

THIENNE, M. Johnson. **Redes de Sensores Sem Fio (RSSF)**. Disponível em: <http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/thienne_johnson/rssf-intro.htm> Acesso em: 6 dez. 2009.

TRIMBLE. **Support**. Disponível em: <http://www.trimble.com/support_trl.asp?pt=AgGPS114DGPSReceiver&Nav=Collection-4345>. Acesso em: 19 fev. 2010.

TROPICAL. **Modems para telemetria e uso industrial**. Disponível em: <<http://www.tropinet.com.br/telemetria.html>>. Acesso em: 9 fev. 2010.

TSENG, C.L. et al. Feasibility study on application of GSM-SMS technology to field data acquisition. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Taiwan, v. 53, p. 45-49, 2006.

UTR – Infinium – **Equipamentos Telemetria** - Disponível em: <http://www.infiniu.mautomacao.com.br/sgr/arquivos/manual_utr_gsm.pdf> Acesso em: fev. 2010

VELLIDIS, G., et al. A real-time wireless smart sensor array for acheduling irrigation. **Computers and Eletronics in Agriculture**, Taiwan, v. 61, p. 44-50, 2008.

VIEIRA, Marcos Augusto M. **Como obter o mapa de energia em rede de sensores sem fio: uma abordagem tolerante a falhas**. In: WORKSHOP DE COMUNICAÇÃO SEM FIO E COMPUTAÇÃO MÓVEL – WCSF'2003, São Lourenço (MG), out. 2003 **Anais...** São Lourenço, 2003. Disponível em: <<http://www.sensornet.dcc.ufmg.br/Publicacoes/energyMapWCSF2003.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2009.

VIKA CONTROLS. **ZigBee®/Mesh**. 2009. Disponível em: <<http://www.vikacontrols.com.br/znet.htm>>. Acesso em: 12 dez. 2009.

VISSOTTO, D. J. **Transmissão de dados via telemetria: uma opção de comunicação remota**. nov. 2004. Disponível em: <<http://www.vivaolinux.com.br/artigos/verArtigo.php?codigo=1710>>. Acesso em: jan. 2010.

WAN, C.Y.; CAMPBELL, A. T.; KRISHNAMURTHY, L. PSFQ: a reliable transport protocol for wireless sensor networks. In: **Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications**. ACM, 2002.

WANNER, Lucas Francisco. **Um ambiente de suporte à execução de aplicações em redes de sensores sem fios**. 2006. 120f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

WENDLING, Rafael Fazolin. **Técnicas de Sensoriamento**. 2006. 43 p. Disponível em: <<http://s2i.das.ufsc.br/tikiwiki/apresentacoes/tecnicas-sensoreamento.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2010.

WU, Lei; SONG, Xiao Ting. Information integrity and its protection in networks. In: **Environmental Electromagnetics – CEEM**, 5th, 2009. Asia-Pacific Conference, p. 238-241, 16-20 sep. 2009.

ZHOU, Y.; LYU, M. R. PORT: a price-oriented reliable transport protocol for wireless sensor networks. In: **IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering (ISSRE'05)**, 16th, p. 117–126, 2005.

ZIGBEE. **ZigBee White Papers Download**. Disponível em: <<http://www.zigbee.org/LearnMore/WhitePapers.aspx>>. Acesso em: 23 jan. 2010.

ANEXOS

ANEXO A – CAC (Circuito Eletrônico de Aquisição e Comunicação)

Desenvolvimento de Circuito Eletrônico (CAC)

O CAC (Circuito Eletrônico de Aquisição e Comunicação) é um protótipo de circuito eletrônico com microcontrolador, especialmente desenvolvido para prover leitura, aquisição, armazenamento e comunicação de dados provenientes de sensores de instrumentação agrícola e/ou de sistemas de telemetria.

Por ser programável, o CAC permite a integração de diversos dispositivos eletrônicos e, através de um microcomputador, permite o ensaio de funcionamento e uma visualização básica dos dados transmitidos. Faz a coleta de dados através de um dispositivo de memória removível (cartão SD), disponibilizando os dados em armazenamento local.

Entradas

Existem duas formas de representação dos valores numéricos das quantidades, analógica e digital.

Analogicamente, uma quantidade é representada por outra, que é proporcional à primeira. Quantidades analógicas têm uma característica importante, que variam continuamente dentro de uma faixa de valores.

Na representação digital, as quantidades são representadas por símbolos chamados dígitos e não por valores proporcionais. Em virtude da natureza discreta da representação digital, as leituras nesse sistema não apresentam problemas de ambiguidade, em contraposição ao sistema analógico, em que as leituras deixam margem à interpretação do observador.

Entradas Analógicas

As entradas analógicas podem receber um sinal variando em tensão ou corrente, dentro de toda a faixa, conforme a sua especificação. Para o CAC, as entradas analógicas existentes foram projetadas para leituras de sinais em tensão (Volts).

Entradas Digitais

Neste projeto, as entradas digitais servem para leituras de pulsos de sensores como sensor fluxômetro.

Implantação do Projeto no CAC

Na Figura 1, apresenta-se um esquema de ligação de sensores, conforme definição do SADA. As características dos condutores dependem fundamentalmente do tipo de sensor utilizado, da distância entre a placa e o sensor e do local onde serão instalados os equipamentos.

Os sensores apresentados na Figura 1, são organizados da seguinte forma:

- 1 – sensores indutivos com saída PNP ligados nas entradas digitais;
- 2 – sensor de fluxo volumétrico ligado na última entrada digital;
- 3 – entrada digital 5 desconectada (sem função);
- 4 – entrada analógica ligada a sensor potenciométrico;
- 5 – portas seriais 1, 2 e 3 ligadas, respectivamente, a um modem GSM, um rádio transceptor e a um receptor GPS;
- 6 – Alimentação da placa efetuada por bateria chumbo-ácido 12Volts/7Ah.

Na Figura 1, observam-se os condutores positivos em vermelho, os negativos em preto, e os de sinal em azul ou roxo. Os condutores das portas seriais foram representados em modo unifilar, sendo descritos em anexo a construção detalhada dos pinos e cabos.

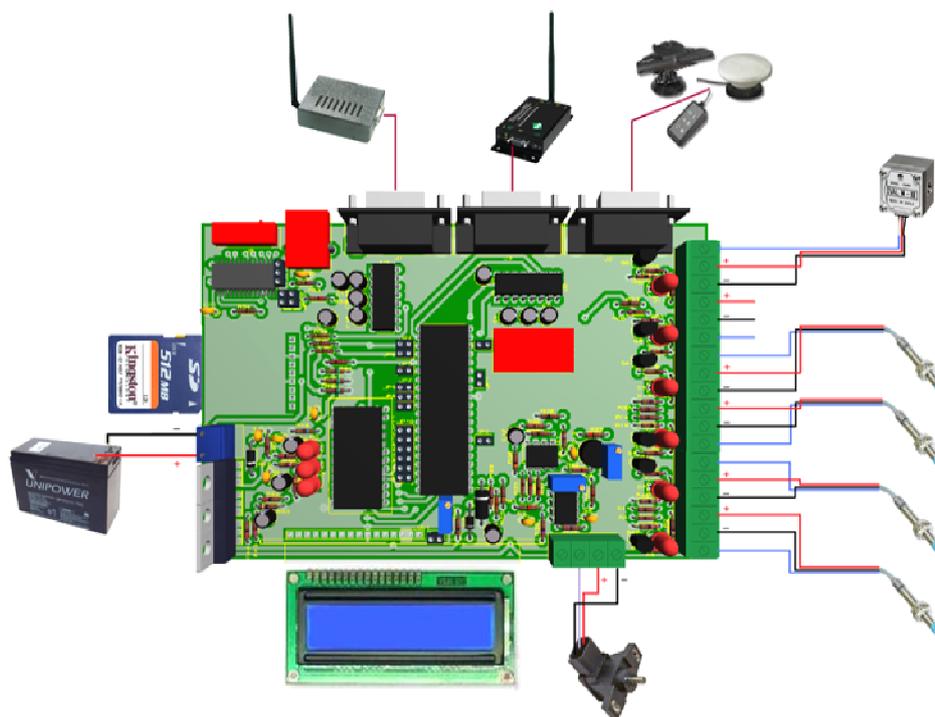


Figura 1 – Esquema de Ligação dos Sensores e Módulos de Transmissão na CAC

ANEXO B – Folheto explicativo do projeto SADA