

REDES WIRELESS NA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE LEITURA AUTOMÁTICA DE CONSUMO RESIDENCIAL

CARLOS A. V. CARDOSO, ADOLFO L. DE CARVALHO, LUANA F. OLIVEIRA.

Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Sergipe
E-mails: cvcardoso@ufs.br,
adolfo_rodrigues@hotmail.com).fariaslua@gmail.com

Abstract— In this study is analyzed the used of ZigBee wireless networks in the implementation of systems for automatic meter reading systems of electrical residential consumers that allow to give up of a manual reading process that are typically used by energy, gas and water companies. The methodology to analyze the feasibility of the proposal is based on a set of experiments performed in various scenarios commonly encountered in the urban landscape. Based on these experiments, it is possible to configure the network that will possible the automation of the reading process and the of monitoring the primary network.

Keywords— AMR, Wireless, Mesh, Energy Reader Automation

Resumo— No presente trabalho é analisada a utilização de redes wireless ZigBee na implementação de sistemas de leitura automática de consumo residencial numa arquitetura que permitirá dispensar o processo de leitura manual que normalmente utilizam as concessionárias de energia, gás e água. A metodologia para analisar a aplicabilidade das redes wireless neste tipo de sistemas se baseia num conjunto de experimentos realizados em cenários normalmente encontrados na paisagem urbana. Com base nesses experimentos é possível definir as configurações de rede que viabilizaram a automatização do processo de leitura de consumo.

Palavras-chave— Sistema de Leitura Automática de Consumo, Redes Mesh, Leitura Automática de Energia

1 Introdução

O presente trabalho pesquisa a viabilidade da utilização da tecnologia *wireless* na implementação de sistemas de leitura automática de consumo residencial, o qual poderá ser utilizado como base para a supervisão do consumo de energia elétrica bem como de água e gás.

No que diz respeito à maioria das concessionárias brasileiras de água, gás e energia elétrica a leitura do consumo por residência é realizada de forma manual, isto decorre da utilização de mão de obra numa atividade de pouco valor agregado. Além dos custos com mão de obra e transporte, a leitura manual é um processo sujeito a erros. Por outro lado, existem problemas adicionais como a segurança, uma vez que os “leitores” terão que transitar por lugares de difícil acesso e em alguns casos com altos índices de criminalidade.

Particularmente, no caso da leitura de energia elétrica os atuais medidores são apenas indicadores passivos do consumo residencial não oferecendo nenhuma possibilidade de interação entre a concessionária e o consumidor ou suas instalações.

No setor elétrico os primeiros sistemas de leitura automática (AMR - Automatic Meter Reading) foram desenvolvidos nos anos 1960's geralmente utilizando como meio de comunicação as linhas telefônicas. Subseqüentemente, foram desenvolvidos sistemas baseados na comunicação *wireless* (frequência de rádio), no *power-line-carrier* (PLC), ou seja, aproveitando a linha elétrica ou algumas combinações destes sistemas [1,2,3].

Recentemente, com o intuito de aumentar a efici-

ência bem como estimular a geração distribuída através de fontes alternativas de energia estão surgindo novos conceitos como, por exemplo, a SmartGrid que visualiza a rede elétrica como uma rede inteligente, com capacidade de suportar a geração distribuída de energia bem como de melhorar o gerenciamento e controle energético [4]. A implementação deste tipo de conceito traz consigo a necessidade por sistemas de automação que permitam uma interação maior entre a concessionária e as instalações dos consumidores.

Por outro lado, independentemente da implementação de conceitos como o SmartGrid, constata-se a tendência natural dos sistemas de automação em disponibilizar uma quantidade maior de informações do processo. Neste contexto, um sistema de leitura automática permitirá acompanhar com maior exatidão e precisão o comportamento dos consumidores ao longo do tempo, permitindo entre outras coisas a detecção de roubos de energia, fugas, gerenciamento de carga, etc [5, 6].

Considerando o desenvolvimento das tecnologias de comunicação wireless, no presente trabalho é analisada, desde um ponto de vista experimental, sua aplicabilidade na implementação de sistemas automáticos de leitura de consumo, seja de energia, gás ou água.

2 Tecnologia Wireless

No decorrer da última década, houve um desenvolvimento expressivo das tecnologias sem fio (*wireless*), inicialmente as tecnologias *wireless* básica-

mente focavam-se nos serviços de voz (telefonia celular), Internet (IEEE 802.11x) e na transferência de dados através de redes locais. Por outro lado, áreas como a industrial, a médica (monitoramento de pacientes) e a residencial, necessitavam de uma tecnologia que capaz de implementar conectividade com características como baixo consumo de energia, baixo custo, simplicidade do protocolo e padronização [7].

De acordo com o alcance e a taxa de transferência empregada nas tecnologias sem fio, pode-se destacar a existência de quatro grandes grupos [7, 8]:

WPAN - Wireless Personal Area Network - Neste grupo estão as tecnologias *wireless* de pequeno alcance (entre 10 e 100 metros) e baixa taxa de transmissão. É um padrão criado para atender redes que interligam dispositivos pessoais ou redes de sensores sem fio. As WPAN são definidas pelo IEEE 802.15, destacando-se os padrões IEEE 802.15.1 (Bluetooth), IEEE 802.15.3 (UWB) e o IEEE 802.15.4.

WLAN - Wireless Local Area Network - Neste grupo estão as tecnologias sem fio destinadas à interligação de redes locais com alcance entre 100 e 300 metros também conhecidas como Wi-Fi (*Wireless Fidelity*). Trata-se de padrão existente como extensão ou alternativa para as redes com cabeamento convencional Ethernet (par metálico ou fibra ótica), definido pelo IEEE 802.11x (onde o x equivale ao tipo de rede: a, b, g, i ou n).

WMAN - Wireless Metropolitan Area Network - Neste grupo estão incluídas as tecnologias que tratam dos acessos de banda larga para última milha em redes metropolitanas, com alcance de 6 km. Estas redes são definidas pelo padrão IEEE 802.16 (Wi-max).

WWAN - Wireless Wide Area Network - Neste grupo estão as tecnologias voltadas para redes de longa distância em telecomunicações, atendendo aos serviços de voz e alguns serviços de dados, definidas pelo padrão IEEE 802.20 (MBWA).

A aplicação de redes *wireless* em sistemas de leitura automática de consumidores residenciais apresenta-se como uma solução vantajosa, uma vez que não será necessária a instalação de meios físicos adicionais para a transmissão de dados, para o qual seriam necessários investimentos muito fortes considerando o número de usuários e as dificuldades de adicionar novas estruturas de comunicação a estrutura urbana já existente. Por outro lado, embora tenham diminuído os custos dos módulos de comunicação *wireless* e por consequência o custo adicional necessário para a fabricação de medidores digitais, ainda será necessária a substituição dos medidores convencionais por aqueles com comunicação *wireless*.

No que diz respeito a transmissão dados é importante resaltar que a tecnologia *wireless* permitirá acessar mais informações relevantes do consumidor (potência, energia, tensão, corrente, qualidade do fornecimento), sendo possível fazer amostragens do

sistema em tempo real.

Com base nestas considerações optou-se por analisar a aplicação das denominadas LR-WPAN (*Low Rate Wireless Personal Area Network*). Pertencentes ao grupo das WPAN, as LR-WPAN são implementadas por módulos de comunicação de baixo custo sendo adequadas para comunicar-se com uma baixa taxa de transmissão bem como para interligar ou concentrar as informações de um grande número de pontos relativamente próximos e espalhados geograficamente.

Dentro das alternativas de redes LR-WPAN existentes no mercado há o padrão ZigBee que tem como características a capacidade de auto configurar-se e trabalhar em topologias de redes como as denominadas mesh, tree ou cluster tree.

Esta análise é corroborada por trabalhos nos quais também se propõe a utilização do ZigBee em sistemas de leitura automática de consumidores [8, 9, 10, 11]. Porém, diferentemente destas referências o presente trabalho, através de um conjunto de experimentos, define uma série de critérios e configurações de rede apropriados para a aplicação da tecnologia *wireless* em ambientes urbanos.

3 Redes ZigBee

O protocolo ZigBee é um padrão de comunicação orientado a atender aplicações nas áreas de automação industrial. Ele caracteriza-se por módulos de comunicação de baixo custo, baixo consumo de energia e baixa taxa de transmissão.

A ZigBee Alliance é uma associação de companhias que trabalham em conjunto para desenvolver padrões e produtos com a tecnologia ZigBee [12].

O protocolo ZigBee é aplicável a muitas áreas, tais como agricultura [13, 14, 15], irrigação [16], indústria [17, 18] e sensoriamento remoto [19].

No padrão ZigBee identificam-se três tipos de dispositivos: Full Function Device (FFD). O FFD é um dispositivo com elevada capacidade de processamento que desempenha a função de coordenador da rede e consequentemente tem acesso a todos os outros dispositivos.

Reduced Function Device (RFD). O RFD é um tipo de dispositivo de construção mais simples e com capacidade de processamento limitada. O RFD não pode atuar como um coordenador da rede e poderá comunicar-se apenas com um coordenador de rede (FFD) [12].

Router ZigBee. O Router ZigBee ou roteador ZigBee é na verdade um dispositivo do tipo FFD com capacidade de fazer o roteamento intermediário entre nós, sem precisar do coordenador.

Com base nestes elementos é possível implementar as seguintes topologias de redes ZigBee:

Star (Estrela): Na topologia estrela a comunicação é estabelecida entre os dispositivos e um nó coordena-

nador. Um exemplo deste tipo de rede seria um conjunto de elementos RFD que se comunica com um nó coordenador do tipo FFD. Este tipo de Rede deve ser instalado em locais com poucos obstáculos à transmissão e recepção dos sinais, como por exemplo, em uma sala sem muitas paredes ou locais abertos.

Mesh (Malha): A rede mesh utiliza a comunicação *peer to peer*, definida no IEEE 802.15.4, segundo a qual nós podem se comunicar diretamente uns com os outros sem a participação do nó coordenador. Isto permite à rede mesh a capacidade de estabelecer vários caminhos para a comunicação entre nós. Por exemplo, se um nó A deseja enviar uma mensagem para o nó B e este está fora de seu rádio de ação a mensagem poderá ser transmitida através de nós *routers*. Graças a esta capacidade a rede mesh poderá abranger em extensão uma longa área geográfica.

Cluster Tree (Árvore): A topologia Cluster Tree, também faz uso do tipo de comunicação *peer to peer* e, basicamente é formada por sub-redes que se comunicam entre elas através de *routers*. Nesta rede existe um nó coordenador da rede que gerencia troca de informação.

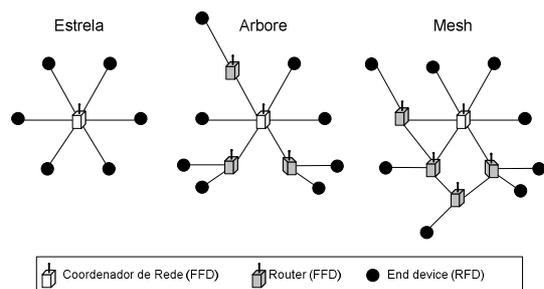


Fig. 1. Topologias de rede do protocolo ZigBee [11].

4 Arquitetura Proposta

A proposta do presente projeto é atender a automação do processo de coleta de leituras de consumo utilizando a tecnologia *wireless*. O sistema poderá ser dividido em áreas de cobertura onde as informações serão coletadas por nós concentradores, os quais poderão enviá-las ao centro de controle da concessionária utilizando conexões de baixo custo como por exemplo: GPRS (General Packet Radio Service) ou via conexões de internet, etc. Na figura 2 observa-se um exemplo de combinação da rede *wireless* com enlaces GPRS. Na medida em que mais dados sejam coletados pelos nós haverá um melhor aproveitamento e economia na transmissão de dados.

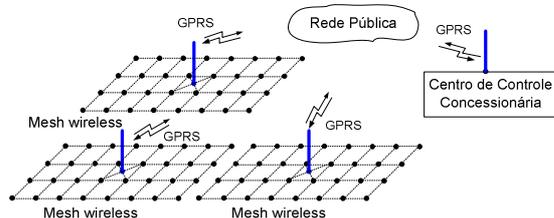


Fig. 2. Arquitetura proposta para implementação do Sistema de leitura automática.

5 Resultados Experimentais

Como apenas se propõe a substituição dos medidores convencionais por medidores com comunicação wireless foi implementada uma rede ZigBee, com nós portáteis, os quais permitiram recriar as situações normalmente encontradas nos sistemas de leitura convencional [20]. A seguir um resumo dos nós implementados:

Um coordenador da rede baseado no microcontrolador PIC18F452 o qual tinha como interface com o usuário um display de LCD, três botões para navegação no menu, botões de reset tanto para o tranceptor ZigBee utilizado (XBeePro 2) bem como para o microcontrolador (ver figura 3).

Os denominados nós remotos, utilizados para simular os medidores seja de água, gás ou energia, se basearam no microcontrolador PIC16F846A com um conjunto de leds que simulavam 5 saídas digitais bem como um potenciômetro que simulava uma leitura analógica. Além disso cada módulo remoto possui um sensor de temperatura.

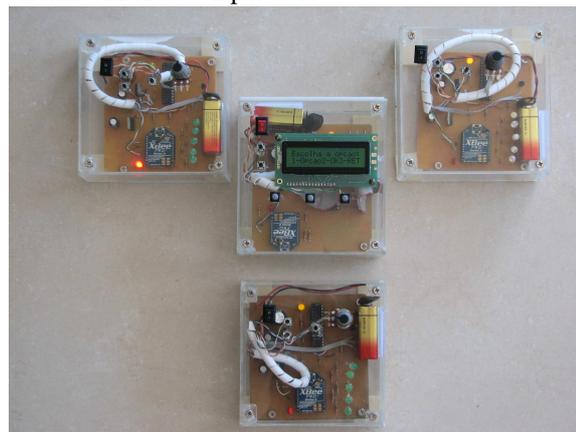


Fig. 3. Nós de comunicação utilizados nos experimentos, sendo o do centro o nó Coordenador da rede.

Para a implementação tanto do nó coordenador e dos nós remotos de comunicação foram utilizados transmissores integrados modelo XBeePro series 2, fabricado pela Digi Internacional, na tabela I são adicionadas as características técnicas dos mesmos.

Tabela I. Características técnicas dos transmissores XBeePro 2,0 [21].

Característica	Unidades
Rendimento da Potência de saída:	60 mW (18 dBm), 100 mW EIRP
Alcance em ambientes internos/zonas urbanas:	100m
Alcance de RF em linha visível para ambientes externos:	1,6Km
Sensibilidade do receptor: -	102 dBm (1% PER)
Frequência de operação:	ISM 2.4 GHz
Taxa de dados de RF:	250.000 bps

Para fazermos uma melhor análise da aplicabilidade

de das redes *wireless* na implementação de sistemas AMR, a paisagem urbana foi dividida em três tipos de cenários:

- ❖ Blocos de casas;
- ❖ Condomínios prediais e ou estabelecimentos comerciais;
- ❖ Rede de distribuição primária.

Blocos de Casas

Nos quarteirões de casas observa-se que geralmente os medidores de energia ou água se encontram na rua ou próximos dela o que facilita, no sistema convencional, a tarefa dos “leitores”. Uma representação desta situação é esquematizada na figura 4.



Fig. 4. Representação esquemática da disposição usual em casas vizinhas.

Experimento 1

Para testar a comunicação *wireless* numa situação semelhante a verificada numa rua, foi realizado um experimento em campo aberto nas dependências da Universidade Federal de Sergipe. Neste experimento foi testada a rede mesh longitudinalmente. Para tanto, o coordenador foi alocado no ponto 1, o segundo nó foi alocado no ponto dois, um metro antes da comunicação ser perdida, coisa similar foi realizada com os nós remotos colocados nos pontos 2, 3 e 4. A comunicação entre o ponto 1 e 4 só é possível uma vez que os nós dos pontos 2 e 3 atuam como roteadores das mensagens.

Neste experimento a distância média obtida entre os nós foi de 140m e a distância máxima, entre 1 e 4, foi de aproximadamente 422,00m.

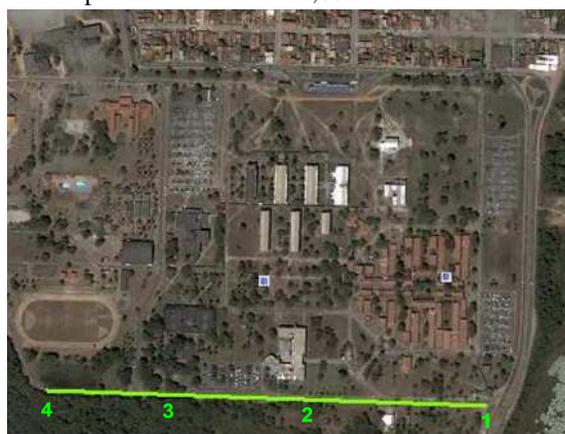


Fig. 5. Vista área da Universidade Federal de Sergipe – Experimento 1.

Considerando o fato de que a distância entre os medidores de casas vizinhas, dentro de uma cidade, na maioria dos casos não excede 50 metros, podemos afirmar que em circunstâncias normais em bairros com predominância de casas haverá uma cobertura maciça da rede *wireless*.

Condomínios Prediais

Nos condomínios prediais a realidade mais frequente é a concentração, para cada prédio, dos medidores de energia em salas geralmente alocadas no nível térreo. Esta disposição é favorável a implementação do sistema AMR baseado em redes *wireless* uma vez que tanto uma rede, seja na topologia cluster tree ou mesh, poderá atender a coleta de dados em todo um condomínio como apresentado na figura 6.

Experimento 2

Para verificar a viabilidade da rede *wireless* na situação acima descrita, foi realizado um segundo experimento com um nó de comunicação alocado dentro de um prédio numa posição extrema com relação a um nó alocado na parte externa. Os resultados deste experimento são apresentados na tabela seguinte.

Tabela II. Resultados do experimento 2.

	Configuração 1	Configuração 2
Potência (dBm)	-36	-49
Distância (m)	25	35
Tipo	Com linha de visada através do corredor do prédio.	Comunicação com obstáculos sem linha de visada.

Experimento 3

Neste experimento foi simulada a estrutura de comunicação que atenderia um condomínio. Desta forma, dentro de cada prédio foram alocados nós que simularam os medidores dentro das salas de leitura. Também para cada prédio foi necessário colocar um nó externo que fecharia a comunicação com um nó coordenador como é apresentado na figura 6.

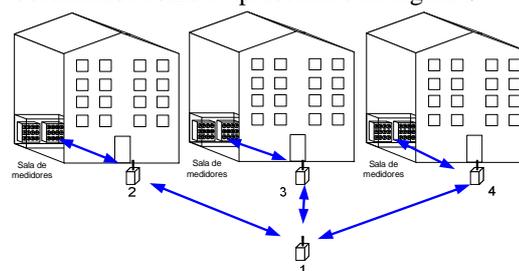


Fig. 6. Representação esquemática da disposição usual dos medidores nos condomínios prediais

Tabela III. Resultados do experimento 3.

	Entre 1 e 2	Entre 1 e 3	Entre 1 e 4
Potência (dBm)	-44	-34	-46
Distância (m)	55	15	55

Em situações desfavoráveis, como a concentração dos medidores por andar, talvez seja necessário adicionar alguns nós roteadores que permitam a cobertura total do prédio.

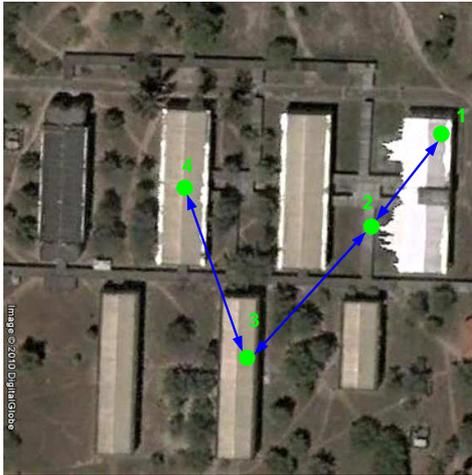


Fig. 7. Representação esquemática da disposição usual dos medidores nos condomínios prediais

Experimento 4

Com o intuito de verificar o funcionamento do mesh através de um conjunto de prédios foi realizado o experimento 4, onde se acessou os dados analógicos do nó 4 desde o nó coordenador 1, uma vez que ambos nós estavam dentro de prédios diferentes o sinal conseguiu chegar do nó 4 até o nó 1 e viceversa através dos nós 2 e 3, isto foi verificado uma vez que ao desligar qualquer destes nós era impossível estabelecer a comunicação entre 1 e 4 (figura 7).

Rede de distribuição primária

Na paisagem urbana também é possível observar a rede primária formada basicamente por transformadores de distribuição encarregados de transformar a tensão de 13,2kV para tensões normalmente encontradas nas residências e estabelecimentos comerciais, como 110V e 220V. Particularmente os transformadores de poste são observados com um espaçamento menor entre condomínios.

Experimento 5

Neste experimento os nós de comunicação foram alocados em distâncias equivalentes aos transformadores de distribuição com os resultados apresentados a seguir.

Tabela IV. Resultados do experimento 5.

	Entre 1 e 2	Entre 2 e 3	Entre 2 e 4	Entre 4 e 6
Potência (dBm)	-52	-46	-42	-45
Distância (m)	80	110	180	100

Este experimento serviu para verificar a possibilidade não unicamente de utilizar os nós de energia para supervisionar o consumo residencial, mas também para supervisionar o *status* da rede primária e seus transformadores de distribuição.

6 Estudo de Caso

Partindo-se do pressuposto de que cada medidor, no caso de uma residência, ou cada conjunto de me-

didores, no caso de um prédio de apartamentos, pode ser concentrado por um nó coordenador de sub-rede ZigBee e tomando por base os resultados experimentais, onde se constatou o funcionamento real da rede Mesh, foi analisada sua possível aplicação numa região urbana da cidade de Aracaju onde o local selecionado foi o bairro Jardins, o qual abrange prédios de apartamentos, casas e estabelecimentos comerciais.

Observamos que, com uma rede Cluster Tree, aproximadamente 58 sub-redes poderiam atender a cobertura do bairro, levando em consideração que será um dispositivo para cada medidor ou conjunto de medidores. Na figura 8 são representados os nós concentradores das sub-redes ZigBee, sendo que para cada prédio foi optado a utilização de um único nó e outro nó para um conjunto de residências.

Uma possível arquitetura da rede é representada na figura 10 onde o nó coordenador da rede, alocado na Sub-Estação, concentrará as informações de consumo de toda a região e as enviará ao centro de controle da distribuidora local através de um canal de banda larga (GPRS, Conexão de Internet, etc).



Fig. 8. Representação esquemática da disposição usual dos medidores nos condomínios prediais.

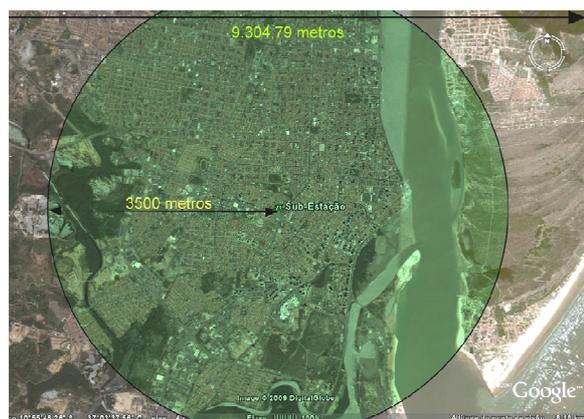


Fig. 10. Círculo de ação de uma rede ZigBee para a cidade de Aracaju.

7 Conclusões

O presente estudo permitiu verificar a viabilidade da utilização da tecnologia de redes de sensores wireless em aplicações urbanas, com possibilidade de ser aplicados na medição automática de variáveis como

energia, água ou gás. Isto justificaria um estudo mais aprofundado de forma a testar o comportamento da rede em diferentes condições climáticas, por exemplo.

Este estudo também permitiu verificar a potencialidade de transformar o atual sistema de medição de energia elétrica num sistema de leitura automática capaz de ser atualizado em tempo real através da comunicação *wireless*, com a possibilidade de servir de meio de comunicação, além do consumo de energia elétrica, por exemplo, para a transmissão das leituras do consumo de água e gás. Para tanto foi implementada uma rede *wireless* do tipo ZigBee a qual permitiu realizar experimentos nas diferentes situações encontradas na paisagem urbana. Com base nestas experiências constatou-se que na maioria dos casos a atual disposição dos medidores favorece a implementação de um sistema *wireless* não somente porque a instalação dos medidores de energia já possui a alimentação de energia necessária, senão porque a alocação dos medidores facilita a transmissão do sinal *wireless*, no entanto existirão casos onde será necessária a instalação de nós adicionais para roteamento do sinal.

Referências Bibliográficas

- [1] Al-Qatari, S. A; Al-Ali, A. R. Microcontroller-Based Automated Billing System.
- [2] Costa, J; Moreira, F; Relvas, P; Loureiro, C. Control and Monitoring of Electrical Distribution Grid Using Automatic Reader System. In: IEEE Porto Power Tech Conference, Porto, setembro 2001.
- [3] Hoffman, T. Industry Focus: Wireless in utilities. Mobile Computing & Wireless Networking Case Studies. Disponível em : <<http://www.techworld.com/mobility/features/index.cfm?featureid=1470>>. Acesso em 2 de set. 2009.
- [4] Sinard, G. Chartrand, D. Distribution Automation: Application to move from today's distribution system to tomorrow's Smartgrid. In: Power & Energy Society General Meeting PES-General Meeting, Calgary, Julio 2009. IEEE, 2009, p1-5.
- [5] Fischer, R. A.; Laakonen, A. S; Schulz, N. N. A General Polling Algorithm Using a Wireless AMR System for Restoration Confirmation. IEEE Transaction on Power System, vol 16, no 2, Maio 2001.
- [6] Sridharan, K; Schulz, N. Outage management through AMR systems using an intelligent data filter, IEEE Transaction on Power Delivery, 1999.
- [7] Gutierrez, Jose A.; Naeve, Marco; Callaway, Ed; Bourgeois, Monique; Milter, Vinay; Heile, Bob. IEEE 802.15.4: A developing standard for low-power low-cost wireless personal area networks. IEEE Networking 15(5), p. 12–19, 2001.
- [8] IEEE 802 Standards. Disponível em <http://standards.ieee.org/getieee802/portfolio.html>. Acessado em junho de 2009.
- [9] Cao, L; Tian, J; Liu, Y. Remote Wireless Automatic Meter Reading System Based on Wireless Mesh Networks and Embedded Technology. Fifth IEEE International Symposium on Embedded Computing, SEC'08. Beijing. Proceedings. Beijing. IEEE, 2008, p192-197.
- [10] Cao, L; Jiang, W; Zhang, Z. Networked Wireless Meter Reading System Based on ZigBee Technology. In: Chinese Control and Decision Conference, 2008. CCDC 2008. Yantai. Proceedings. Yantai, 2008, p3455-3460.
- [11] Shen, H; Jin, X; Hu, H; Tang, J. AMR System Adopting Routing Algorithm of Wireless Sensor Networks. In: International Conference on Wireless Communication, Networking and Mobile Computing, 2008. WiCOM '08. Dalian, 2008. Proceedings. Dalian, IEEE, p1-4.
- [12] Baronti, P; Pillai, Prashant; Chook, V. W. C; Chessa, S; Gotta, A; Hu, Y. F. Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee Standards. Computer Communications, vol 30, 2007, p1655-1695.
- [13] Mariño P., Fontán F.P., Domínguez M.A., Otero S. Deployment and implementation of an agricultural sensor network. The Second International Conference on Sensor Technologies and Applications, 2008.
- [14] Wang, N; Zhang, N; Wang, M. Wireless sensors in agriculture and food industry –Recent development and future perspective. Computer and Electronics in Agriculture, vol 5. 2006, P1-14.
- [15] Poderoso F., Sobral V., Lima R., Oliveira A. Rede ZigBee Aplicada à Medição em Agricultura. VIII Semetro, 2009.
- [16] Vellidis G., Tucker M., Perry C., Kvien C., Bednarz C. A real-time wireless smart sensor array for scheduling irrigation, 2007.
- [17] Zheng, L. ZigBee Wireless Sensor Network in Industrial Application. In: International Joint Conference SICE-ICASE, Busan 2006, IEEE, 2006, p1067-1070.
- [18] Lin, S; Liu, J; Fang, Y. ZigBee Based Wireless Sensor Networks and its Application in Industrial. In: International Conference on Automation and Logistic. Jinan, 2007, IEEE, 2007, p1979-1983.
- [19] Mariño P., Fontán F.P., Domínguez M.A., Otero S. Networked Biological System by Wireless Sensors. Intl. Conf. on Control, Automation, Robotics and Vision, 2008.
- [20] Carvalho R, A. L. Estudo da Viabilidade das Redes ZigBee visando sua aplicação na Coleta de Variáveis Residenciais. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Elétrica- Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2009.