

Rede de sensores sem fio para monitoramento frutícola*

**Paulo Henrique Sabo¹, João Angelo Martini², Ronaldo Augusto de Lara
Gonçalves³**

UEM - Universidade Estadual de Maringá
DIN – Departamento de Informática
Av. Colombo, 5790.
CEP 87020-900 Maringá, PR

¹phsabo@gmail.com

²joaomartini@gmail.com

³ronaldo@din.uem.br

***Resumo.** Este artigo descreve o desenvolvimento e construção de um sistema meteorológico para fins agrícolas. O sistema inclui microestações meteorológicas, colocadas no campo e usadas, com seus sensores, para coletar dados meteorológicos relevantes. Utilizando tecnologia sem fio baseada no padrão ZigBee as microestações formam uma rede de sensores sem fio, coordenadas por um nó responsável pela gestão do sistema em geral, para receber e armazenar os dados e inclusive para manter as ligações wireless conectando às estações meteorológicas. Em meio à pesquisa, um protótipo do sistema já está disponível para testes.*

1. Informações Gerais

A fruticultura representa um potencial econômico de grande importância para os agricultores familiares, já que propicia boa rentabilidade em áreas de terra consideradas pequenas, em torno de quatro hectares.

O estado do Paraná apresenta predomínio de pequenas e médias propriedades rurais enquadradas como unidades produtivas familiares. A região noroeste do estado apresenta características de solo e clima com condições favoráveis à fruticultura, tendo potencial para viabilizar economicamente propriedades familiares.

Iniciativas do governo do Paraná têm fortalecido o desenvolvimento da agricultura familiar paranaense no contexto do cultivo da uva para produção do vinho, como exemplo pode-se citar a implantação da Escola da Uva e do Vinho. A expectativa é que o Paraná se torne um forte polo vinícola na região sul fortalecendo mais sua economia [10] [12].

A intenção da Secretaria do Meio Ambiente e Agricultura é transformar a região num polo de fruticultura. Apesar destes fatores positivos, nota-se ainda que há carência

* Vinculado ao projeto SAV (Sistema de Automação de Vinícola). Financiada pela Fundação Araucária

de informações e tecnologias para que seja possível oferecer e aprimorar o suporte à produção e comercialização nessa área. Esse fato gera demanda pelo desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a produção econômica de frutas saudáveis [4] [5] e seguras para a alimentação humana, e que favoreçam o desenvolvimento da agricultura familiar na região.

Para atender a essa crescente demanda por informações e tecnologias na área de fruticultura foi proposto um projeto, com apoio da Fundação Araucária, que visa desenvolver uma rede de sensores sem fio para monitoramento que de apoio à agricultura familiar, focado inicialmente na fruticultura. Por meio desse sistema pretende-se efetuar a coleta de dados meteorológicos em campo e tratar as informações coletadas, de maneira a oferecer uma base de dados ao agricultor, que a partir das informações oferecidas pelo sistema, possa elaborar o planejamento adequado do manejo de sua cultura, e colhendo todos os benefícios advindos do uso dessa tecnologia de apoio.

O projeto tem três frentes de trabalho: a) estação de coleta de dados, b) comunicação entre estações e c) receptor base.

2 ZigBee

A *ZigBee* é uma nova tecnologia voltada para aplicações nas mais variadas áreas. Destinada a baixas taxas de transmissão de dados nos campos industrial, científico e médico [6]. O Padrão *IEEE 802.15.4* trata das operações em tecnologias de redes wireless objetivando baixa taxa transmissão de dados em redes pessoais sem fio, conhecida como *Wireless Personal Area Network* (WPAN). Assim, o padrão WPAN especifica um sistema de transmissão sem fio com as seguintes características: muito baixo consumo de energia para sistemas em que o tempo de vida da bateria é extremamente importante, baixa taxa de transmissão de dados e pequena complexidade no funcionamento.

Segundo Fuhr e Kagan [7] *ZigBee/IEEE 802.15.4* é uma tecnologia wireless de grande flexibilidade e baixo consumo de energia, ideal para aplicações que fazem uso de pouco volume e baixa velocidade de transmissão de dados. A Figura 1 ilustra uma comparação entre *IEEE 802.15.4* e outras tecnologias Wireless.

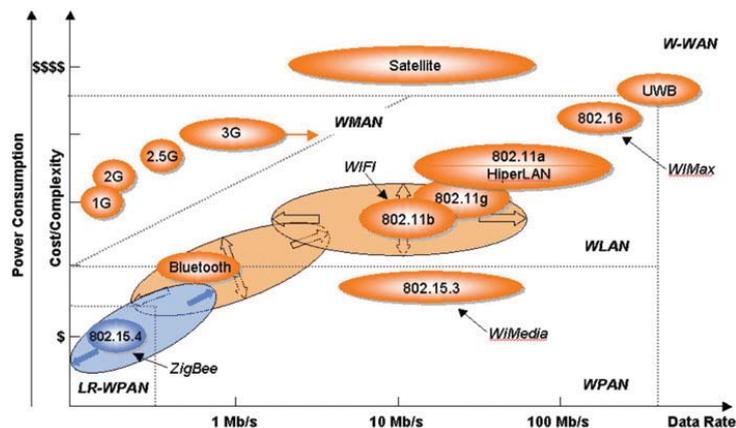


Figura 1. Uma visão geral dos padrões IEEE 802.xx. Fonte: [7].

A *ZigBee Alliance*, fundada em 2002 é uma associação sem fins lucrativos, de empresas que trabalham em conjunto para desenvolver padrões de monitoramento confiável, eficaz e de baixo consumo de energia em rede sem fio com base no padrão *IEEE 802.15.4* [15]. Seu papel principal é padronizar o *ZigBee*, permitindo a inúmeros fornecedores OEM (*Original Equipment Manufacturer*) desenvolverem produtos compatíveis.

2.1. Camadas e Protocolos

O grupo de trabalho *IEEE 802.15.4* define as duas primeiras camadas da pilha de protocolo: a camada física (PHY) e a camada de controle de acesso ao meio (MAC). A *ZigBee Alliance* define as camadas superiores da pilha de protocolos, a partir de rede para aplicativos, incluindo perfis de aplicação.

A camada PHY define a capacidade de operação do sistema em três frequências abertas: 2,4 GHz, 915 MHz (Américas) e 868 MHz (Europa). Em 2,4 GHz há 16 canais disponíveis com taxa máxima de transferência de 250 kb/s, para 915 MHz há 10 canais de frequência com taxa máxima de 40 kb/s e em 868 MHz apenas um canal com taxa de 20 kb/s [8]. Responsável pela transmissão e recepção de dados através do canal de comunicação radiofrequência (RF) a camada PHY inclui outras características como: detecção de energia (*receiver energy detection*), indicação da qualidade do enlace (*link quality indication*) e detecção do canal vazio (*clear channel assessment*) para o protocolo CSMA-CA² da camada MAC. O tamanho máximo do pacote é de 128 bytes. *IEEE 802.15.4* emprega endereços de 64 e 16 bits suportando mais de 65.000 nós por rede [8].

A camada MAC também permite associação e dissociação de rede, possui uma estrutura de *beacons*³ para a sincronização de tempo e um mecanismo de intervalo de tempo garantido (GTS - *Guaranteed Time Slot*) para comunicações de prioridade [8]. A camada MAC foi projetada para permitir múltiplas topologias com baixa complexidade e baixo consumo de energia, também permite que um dispositivo de função reduzida opere na rede sem a necessidade de grande quantidade de memória disponível [8].

2.2. Topologias

A rede *ZigBee* é formada por diferentes componentes. Segundo especificações do IEEE há dois tipos de dispositivos em uma rede *ZigBee*: FFD (*Full Function Device*) e RFD (*Reduced Function Device*). Dispositivos FFD funcionam em toda a topologia do padrão, podendo assumir três modos de operação: *coordinator*, *router* e *end device*. Podem se comunicar com qualquer outro dispositivo (FFDs ou RFDs). Trata-se de dispositivos de construção mais complexa, cujos custos são maiores quando comparados aos RFD [15].

² Protocolo de acesso múltiplo com detecção da portadora anticolisão.

³ *Beacons* são pacotes de controle que delimitam quadros utilizados pelo coordenador para sincronizar com os demais dispositivos da rede.

Dispositivos RFD são limitados à topologia em estrela, não podendo atuar como *coordinator*. Podem comunicar-se apenas com dispositivos FFDs. São dispositivos de construção mais simples e de menor custo. Qualquer rede *ZigBee* deve ter ao menos um dispositivo coordenador.

Há três tipos de topologia que podem ser utilizadas no *ZigBee* (Figura 2). Na topologia em estrela a comunicação ocorre diretamente entre o coordenador e qualquer outro dispositivo da rede. No início da comunicação o coordenador escolhe uma identificação única que não será usada por outro membro da rede que estiver dentro da mesma área de cobertura de rádio. Na topologia malha ou *mesh* existe também um coordenador, mas qualquer dispositivo dentro do alcance da rede pode comunicar-se com outro. A rede pode se auto-organizar. A topologia árvore é um caso especial da malha em que a maior parte dos dispositivos é do tipo FFD, e os do tipo RFD são as folhas.

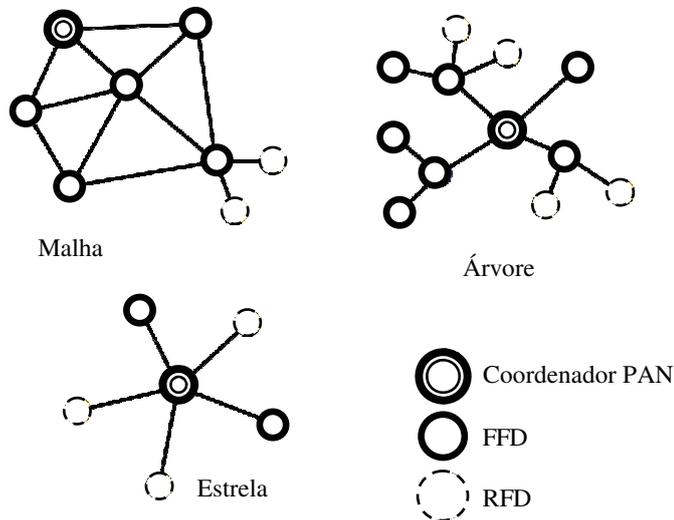


Figura 2. Topologias do *ZigBee*

2.3. Redes de Sensores Sem Fio (RSSF)

“Redes de sensores sem fio têm sido viabilizadas pela rápida convergência de três tecnologias: microprocessadores, comunicação sem fio e micro sistemas eletromecânicos (MEMS - *Micro Electro-Mechanical Systems*)” [9]. Uma RSSF é formada por dispositivos autônomos chamados de nós sensores, que podem ser usados, por exemplo, para monitorar e controlar um ambiente. Os principais componentes de um nó sensor são: transceptor para comunicação sem fio, fonte de energia, unidade de sensoriamento, memória e processador. Cada nó possui pouca capacidade de processamento e de energia, mas que juntos formam uma poderosa rede, podendo realizar tarefas complexas.

Conforme Ruiz [13], as RSSFs podem ser classificadas segundo a configuração, o sensoriamento e segundo o tipo de comunicação. Uma RSSF também pode ser diferente segundo o tipo de processamento que executa.

Diferindo das redes de computadores tradicionais em vários aspectos, em geral, as RSSFs possuem um grande número de elementos distribuídos, operam sem intervenção humana direta, têm restrições severas de energia, e devem possuir mecanismos para autogerenciamento, devido à deposição em áreas remotas, à pouca capacidade individual dos nós e à topologia dinâmica.

Fatores como tolerância a falhas, escalabilidade, custo de produção, ambiente operacional, topologia, restrições de hardware, meio de transmissão e consumo de energia, influenciam o projeto de uma RSSF, exigindo requisitos específicos na concepção e projeto dos nós.

Uma RSSF pode ser caracterizada em função de seu objetivo e área de aplicação. A aplicação influenciará nas tarefas desempenhadas pelos nós da rede, assim como na arquitetura desses nós (processador, memória, dispositivos sensores, fonte de energia, transceptor), no número de nós que compõem a rede, na distribuição inicialmente planejada para a rede, no tipo de topologia dos nós no espaço, na escolha dos protocolos da pilha de comunicação, no tipo de dado que será processado, no tipo de serviço que será fornecido e no tempo de vida dessa rede.

Qualquer utilização das RSSFs deve levar em consideração os requisitos da aplicação que será desenvolvida, as características e restrições dos componentes dos nós sensores, assim como as características do ambiente onde tais redes serão aplicadas. Existem nós sensores que, dadas as suas dimensões, taxa de transmissão e alcance, por exemplo, são ideais para uma aplicação e totalmente inapropriados para outras. Em outros casos, nós que parecem adequados a um tipo de aplicação no que diz respeito ao hardware apresentam limitações quanto ao software que se quer utilizar.

Com base nas investigações sobre *ZigBee/IEEE 802.15.4* e redes de sensores sem fio, é possível determinar a tecnologia utilizada para a comunicação entre as microestações meteorológicas, que juntas formam uma RSSF para o monitoramento e coleta de informações meteorológicas.

3. Arduino

O projeto *Arduino* [2] iniciou-se na cidade de Ivrea, Itália, em 2005, objetivando a interação de computação física em projetos escolares, tendo um custo menor que outros sistemas de prototipagem disponíveis naquela época.

Arduino é uma ferramenta capaz de proporcionar a interação entre o mundo físico e o virtual. É um computador baseado numa plataforma simples de hardware livre, projetado com um microcontrolador e uma placa única, com suporte de entrada/saída embutido e um ambiente de desenvolvimento para escrever software para a placa com uma linguagem de programação padrão C++. Segundo Mellis et al. [11], o objetivo do projeto *Arduino* é criar ferramentas que sejam acessíveis, com baixo custo, flexíveis e fáceis de serem usadas.

A placa *Arduino* contém um microcontrolador Atmel AVR de 8 bits com componentes auxiliares para a programação e inclusão de outros circuitos. A disposição dos conectores é padronizada em todas as versões da placa, permitindo expandir a placa

com outros módulos (*Shields*). A placa *Arduino* utiliza a série de chips megaAVR [3], os mais utilizados são: ATmega8, ATmega168, ATmega328 e ATmega1280.

O microcontrolador utilizado pode ser previamente programado com *bootloader*, um programa que simplifica o carregamento de programas para a memória flash. Comparado com outros microcontroladores que necessitam de um programador externo, o *bootloader* o envio do código compilado ao microcontrolador.

O *Arduino* é uma plataforma de hardware livre que possui licença da *Creative Commons*⁴. Sob a licença *Creative Commons*, todos estão autorizados a fabricar cópias da placa, redesenhá-la, ou mesmo vendê-la copiando seu projeto sem a necessidade do pagamento de licença ou solicitação de permissão à equipe *Arduino*. Entretanto, se for publicado o projeto de referência, deve-se dar crédito ao grupo *Arduino* original. Se alterar o esquema da placa o novo projeto deve usar a mesma licença *Creative Commons* ou similar, para garantir que as novas versões da placa *Arduino* serão livres e abertas.

Visando ainda mais a redução de custos em projetos com *Arduino*, Adilson Akashi [1], remodelou a placa *Arduino* deixando-a com face única (isto é, todas as trilhas da placa estão em apenas um lado) e deu à placa o nome *Arduino Severino*.

O projeto *Arduino Severino* tem como objetivo a rapidez no processo de confecção da placa e ao mesmo tempo o baixo custo da mesma. A placa de face única pode ser facilmente confeccionada de modo artesanal, imprimindo as trilhas em uma placa de fenolite e corroendo a superfície com percloroeto de ferro. Seus componentes são simples, baratos e de fácil acesso no mercado nacional, ou seja, além da facilidade de montagem a placa final agrega um baixo custo de produção, tornando-a ideal em projetos nos quais se objetiva um produto final com valor reduzido.

Outra vantagem é a localização dos componentes na placa, as portas de E/S, as entradas analógicas e os pinos para ICSP (*In-Circuit Serial Programming*) estão dispostos com o mesmo padrão da placa *Arduino*, permitindo que a placa *Arduino Severino* seja compatível com os *Shields* desenvolvidos para *Arduino*.

3. Desenvolvimento

O sistema consiste no conjunto de microestações que fazem a leitura de sensores que monitoram a plantação. Estas microestações são dotadas de dispositivos de comunicação sem fio e juntas formam uma rede de sensores sem fio, que continua funcionando e se adapta a situações de maneira dinâmica, como, por exemplo, caso uma microestação seja excluída ou inserida na rede.

Os dados coletados são previamente armazenados em um cartão SD contido na microestação e em tempos periódicos pré-determinados são enviados a outro dispositivo denominado gerenciador da rede (Figura 3). O gerenciador da rede, também dotado do mesmo dispositivo de comunicação sem fio, é responsável por fazer a gerência da rede, receber os dados meteorológicos de todas as microestações de sua rede e através de

⁴ <http://creativecommons.org/>

acesso à Internet, é responsável pela transferência das informações para o banco de dados do sistema onde estarão armazenados os dados de todas as redes de microestações.

Através de um sistema Web integrado ao banco de dados, os produtores poderão consultar, por meio de tabelas e gráficos, os dados meteorológicos de suas propriedades como também compará-los com os dados de outras propriedades da região.

O sistema de monitoramento deve funcionar de maneira semiautônoma, ou seja, ter pouca ou nenhuma interferência humana durante a coleta dos dados meteorológicos, assim como ter baixo custo de produção, e pouca manutenção, viabilizando ao pequeno produtor que não tem conhecimento na área de tecnologia de informação e comunicação, um sistema barato e de fácil manejo e que possa agregar valor ao produto final.

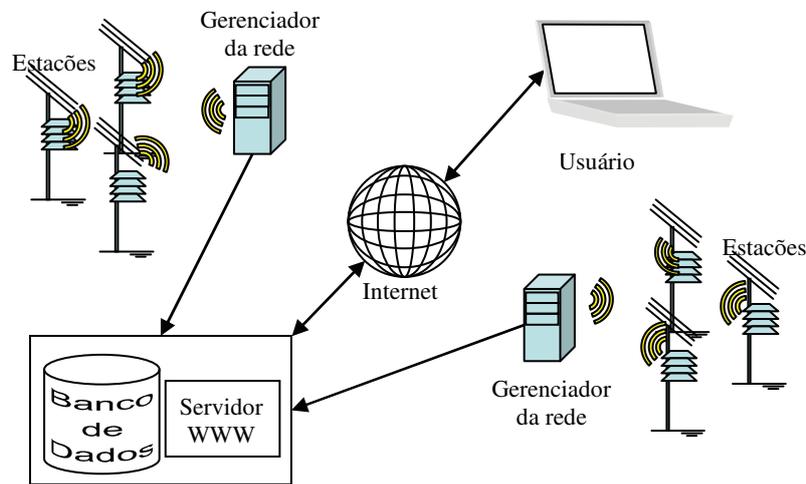


Figura 3. Visão geral do sistema.

3.1. Microestação

A microestação é construída sob a plataforma *Arduino*, nela estão conectados: relógio, dispositivo de armazenamento, dispositivo de comunicação sem fio e os sensores, que fazem o monitoramento do microclima (Figura 4).



Figura 4. Componentes da microestação

4. Resultados

Atualmente o primeiro protótipo da microestação está operacional, um *shield* (Figura 5) foi desenvolvido para a placa *Arduino* na qual são conectados os componentes como relógio, cartão SD, sensores e XBee .

XBee é um módulo de comunicação sem fio baseado em *ZigBee*, que é uma nova tecnologia voltada para aplicações nas mais variadas áreas. Destinado a baixas taxas de transmissão de dados e longas distâncias, consome pouca energia e é utilizada nos campos industrial, científico e médico. A tecnologia, padronizada pelo *IEEE 802.15.4*, tem se mostrado promissora para rede de sensores, monitoramento e controle [6]. O módulo XBee também age como repetidor, estendendo a distância entre o gerenciador e a microestação.

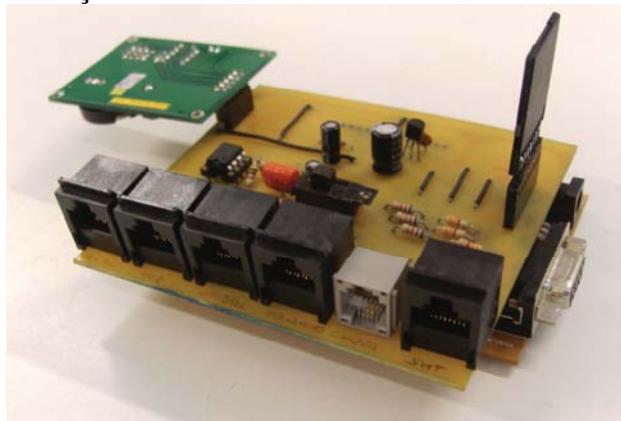


Figura 5. Shield conectado à placa Arduino - Protótipo da microestação.

O software gerenciador da rede foi implementado e também está operacional. Para seu funcionamento e integração com as microestações meteorológicas é necessário um módulo XBee conectado à interface serial do computador.

No sistema Web que esta disponível pela URL [HTTP://www.din.uem.br/sav](http://www.din.uem.br/sav) é possível consultar os dados por meio de tabelas e gráficos, salvar gráficos relevantes, renomear microestações e calibrar sensores.

Todos os elementos do sistema foram implementados, desenvolvidos e testados, em laboratório, o que comprova o funcionamento do mesmo e valida a proposta deste artigo.

5. Conclusões

A rede é projetada de forma a favorecer baixo custo, extensibilidade e usabilidade, utiliza a plataforma *Arduino* como base para desenvolvimento. Utiliza *ZigBee* para a comunicação sem fio, já que o sistema não exige altas taxas de transferência porém é restrito quanto ao consumo de baterias. Forma uma rede de sensores sem fio que pode ser classificada como, segundo configuração: homogênea, plana, estacionária, balanceada e regular, segundo sensoriamento: reativa, segundo a comunicação: sob demanda, assimétrica, *half-duplex*, dinâmica e *unicast*, e segundo processamento: localizada [13].

Uma síntese das principais contribuições deste trabalho é discutida a seguir:

- No aspecto científico: o projeto pode fornecer informações precisas sobre as condições favoráveis ao ataque de pragas e doenças, viabilizando o desenvolvimento de técnicas mais apuradas de combate a agentes nocivos. Além disso, o sistema de coleta viabiliza a implementação futura de redes de coletores de dados em campo para diversas culturas, bastando apenas efetuar as adaptações necessárias no software e nos sensores para atender as necessidades de cada cultura a ser investigada. Não apenas para atender o monitoramento agrícola, o modelo proposto pode ser aplicado a qualquer tipo de monitoramento ambiental e fornecer dados precisos da região monitorada.
- No aspecto socioeconômico: com a viabilização do controle eficiente de produção da fruta será possível elevar a qualidade e a produtividade das propriedades, o que contribuirá para uma melhor classificação do produto e futuramente a implementação da rastreabilidade e certificação da produção. Como consequência das contribuições advindas da redução de custos de produção em função do melhor planejamento de produção, da melhoria de renda, e da geração de postos de trabalho espera-se uma melhoria na qualidade de vida dos agricultores. Os dados coletados podem ser enviados ao Instituto Nacional de Meteorologia contribuindo para o monitoramento meteorológico do país.
- No aspecto ambiental: os resultados do projeto certamente podem fornecer contribuições significativas em termos de planejamento estratégico de produção das culturas propiciando redução do uso de defensivos agrícolas, água e minerais.

Referências

- [1]ADILSON AKASHI. Arduino Severino. 2007. Disponível em: <<http://Arduinotutorial.blogspot.com/>>. Acesso em: 06 de junho de 2010.
- [2]ARDUINO. Arduino. 2005. Disponível em: <<http://Arduino.cc/>>. Acesso em: 06 de junho de 2010.
- [3]ATMEL CORPORATION. Datasheet ATMEGA328p. 2010. Disponível em: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/8025s.pdf>. Acesso em: 06 de junho de 2010.
- [4]BRUCKNER, C. H.; PICANÇO, M. C. Maracujá: tecnologia de produção, pós-colheita, agroindústria, mercado. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2001. 472p.
- [5]BURRELL, J.; BROOKE, T.; BECKWITH, R. Vineyard Computing: Sensor Networks in Agricultural Production. IEEE PERSASIVE computing. v. 3, n. 1, p. 38-45, jan./mar. 2004.
- [6]ERGEN, S. C. IEEE 802.15.4 Summary. Relatório Técnico. Advanced Technology Lab of National Semiconductor, Ago. 2004. Disponível em: <<http://www.sinemergen.com/ZigBee.pdf>>. Acesso em: 06 de junho de 2010.
- [7]FUHR, P.; KAGAN, H., Can Wireless Standards Work Together? Sensors Magazine Abr. 2006. Disponível em: < <http://www.sensormag.com/networking-communications/standards-protocols/can-wireless-standards-work-together-868>>. Acesso em: 06 de junho de 2010.
- [8]IEEE COMPUTER SOCIETY. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPAN). Nova York (NY): IEEE, 2003. 323p.
- [9]LOUREIRO, A.; RUIZ, L.; NOGUEIRA, J.; MINI, R. Rede de Sensores Sem Fio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO. Jornada de Atualização de Informática, p. 193-234, 2002.
- [10]MAZIA, J. O. Diagnóstico da fruticultura no município de Marialva-PR. EMATER: Marialva, 1998. 28p.
- [11]MELLIS, D.; BANZI, M.; CUARTIELLES, D.; IGOE, T. *Arduino*: An open electronics prototyping platform. In: CHI 2007 CONFERENCE. alt.chi. 2007. San Jose (CA - EUA). 2007. PIANI, A. Noroeste do Paraná em redes: referências para a agricultura familiar. Londrina: IAPAR/EMATER, 2001. 48p.
- [12]RUIZ, L. B. MANÁ: Uma Arquitetura para o Gerenciamento de Redes de Sensores Sem Fio. 2003. 214 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais. 2003.
- [13]WARK, T. et al. Transforming Agriculture through Pervasive Wireless Sensor Networks. IEEE PERSASIVE computing. Vol. 6, N. 2, pp. 50-57, April-June 2007.
- [14]ZIGBEE ALLIANCE. *ZigBee Alliance*. 2007. Disponível em: <<http://www.ZigBee.org/>>. Acesso em: 06 de junho de 2010.