

MicroAgroSim: Simulador de Microestação Agrometeorológica¹

Bruno Yukio Tanoue², Rubens Kenji Yamasaki, Paulo Henrique Sabo, Ronaldo Augusto de Lara Gonçalves, João Angelo Martini

UEM – Universidade Estadual de Maringá
Laboratório de Sistemas Embarcados
Avenida Colombo, 5790. Jardim Universitário.
CEP 87020-900 Maringá, PR

brunotanoue@hotmail.com, {rkyamasaki,phsabo}@gmail.com, {ronaldo,jangelo}@din.uem.br

Resumo. *A evolução da tecnologia tem tido grande importância no setor agrícola, pois o uso de métodos e equipamentos mais eficientes tem proporcionado uma melhora quantitativa e qualitativa na produtividade. Com base em um novo tipo de agricultura chamada de agricultura de precisão, os agricultores podem analisar dados agrometeorológicos fornecidos por sistemas embarcados que automatizam a coleta de dados e requerem o mínimo de intervenção humana. Microestações espalhadas pelo campo se comunicam e enviam os dados coletados até um servidor de forma rápida, precisa e automática, os quais podem ser visualizados pelo agricultor. Neste trabalho é introduzido o projeto SAV, que objetiva projetar rede de sensores sem fios e microestações agrometeorológicas para monitoramento vitícola. No contexto deste projeto, testes preliminares de comunicação foram realizados em sensores sem fio e um simulador de microestação meteorológica é proposto como uma ferramenta de apoio ao projeto de sistemas embarcados de apoio à agricultura de precisão.*

1. Introdução

Atualmente tem se observado uma crescente evolução tecnológica. As pessoas estão procurando modos de facilitar suas atividades e as empresas buscam reduzir custos e produzir cada vez mais em menor tempo. Neste contexto, as empresas investem em automação de todas as áreas e no monitoramento de suas atividades. Na maioria das empresas a automação já está acontecendo, mas existe um emaranhado de fios que dificulta o entendimento de algum problema e até algum tipo de atualização ou correção do sistema de automação.

A solução imediata para isso seria utilizar dispositivos sensores sem fios [1] que além de ocuparem menos espaço possuem melhor rendimento e mais fácil manutenção. As redes de sensores sem fios já são utilizadas há algum tempo. A principal característica deste tipo de rede é a mobilidade, em que o usuário pode modificar o local do seu dispositivo facilmente em um determinado espaço (que depende do tipo de protocolo), sem perda de conexão.

A tecnologia está se expandindo para todas as áreas, beneficiando desde o homem da cidade até o homem do campo. A agricultura está sendo modificada com

¹Projeto apoiado pela Fundação Araucária (SAV - Sistema de Automação de Vinícola)

²Bolsista PIBIC/CNPq/Fundação Araucária-UEM

recursos tecnológicos de última geração para melhorar a qualidade do produto cultivado. O agricultor além de produzir para seu próprio consumo para sua sobrevivência, também pode destinar sua produção para o mercado local e até para exportação, por causa da qualidade superior (produtos mais saudáveis) gerada por estes recursos. Com os dados gerados sobre informações meteorológicas, o agricultor pode dosar o mais eficientemente possível tanto água como agrotóxicos, melhorando a qualidade de vida e o meio ambiente. O governo incentiva este tipo de modernização [2].

A viticultura é o quinto maior cultivo do Paraná [3]. Destaque da região Noroeste na produção de uvas, Marialva é conhecida como “Capital da Uva Fina”, por sua economia e sua fonte de renda voltada principalmente para esta cultura. Para o desenvolvimento e o fortalecimento da viticultura foi criada uma cooperativa de 25 agricultores chamada Cooperativa Agroindustrial dos Viticultores (COAVITI). Esta cooperativa, além de vinhos, produz também derivados da uva.

Nesse contexto, a viticultura do Paraná é um bom exemplo de cultura em que a agricultura de precisão pode ser aplicada de forma a permitir o manejo mais adequado da uva por meio do uso de microestações agrometeorológicas espalhadas pela plantação. Dessa forma, dados agrometeorológicos tais como temperatura, pluviosidade, direção e velocidade do vento, radiação solar e outros, poderão ser obtidos de forma automatizada e fornecidos com confiabilidade ao agricultor, por meio de dispositivos sensores. A partir dessa base de dados, o viticultor poderá tomar decisões corretas sobre quantidade de agrotóxicos ou irrigação, por exemplo.

O projeto SAV (Sistema de Automação de Vinícola) liderado pelo grupo GSE da UEM e com o apoio da Fundação Araucária, tem sido desenvolvido com o objetivo de fornecer um sistema integrado de apoio à produção vitícola [4].

No contexto deste projeto, o presente trabalho apresenta testes preliminares de comunicação em sensores sem fio e propõe o desenvolvimento do simulador de microestação agrometeorológica MicroAgroSim. Tal simulador permite analisar o funcionamento do sistema de controle de uma microestação agrometeorológica antes de sua real implementação em campo. O simulador permite simular os sensores espalhados pela plantação, a coleta e armazenamento de dados, recepção de dados provenientes de outras microestações, roteamento e envio de dados para o servidor central.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta uma descrição sucinta sobre agricultura de precisão. A seção 3 apresenta alguns trabalhos relacionados nessa temática. A seção 4 apresenta os testes de comunicação realizados em sensores sem fio. A seção 5 apresenta o desenvolvimento do simulador de microestação agrometeorológica MicroAgroSim. A seção 6 apresenta as conclusões e por fim as referências bibliográficas.

2. Agricultura de Precisão

Atualmente, a informatização pode ser encontrada até em máquinas agrícolas, como computadores de bordo em colheitadeiras de última geração que auxiliam o operador a fazer um refinado conjunto de corte, alimentação, trilha, separação e limpeza da

plantação [5]. Todos esses fatores estão caminhando para um novo tipo de agricultura, chamada de agricultura de precisão. Este tipo de agricultura é baseado principalmente em sistemas informatizados, que têm a função de fornecer dados confiáveis e em tempo real para o agricultor, denominados sistemas embarcados.

Sistemas embarcados funcionam como computadores dedicados a uma função específica, os quais possuem um processador mais adequado a cada aplicação e sensores para captação de informações do ambiente. Geralmente esse processador é um microcontrolador, que executa funções específicas para quais é pré-programado [6]. Essas funções podem ser abrangentes, podendo ser utilizadas para tarefas como controle de máquinas de lavar e celulares, manipulação de efeitos sonoros ou até em robótica [7].

Para fins agropecuários, existem dois elementos importantes: os aplicativos e os sistemas de informação. Aplicativos são utilizados para resolução de problemas e para automação de processos bem específicos das propriedades rurais (escala local). Como exemplo, podemos citar planilhas de controle de produção e estoque. Sistemas de informação têm a função de tomar decisões importantes no processo produtivo e na definição de políticas para o setor agrícola. Utilizam as mais variadas e modernas técnicas de informação e são utilizados em uma escala maior (produtores, cooperativas, prefeituras) em que todos os interessados podem consultar a informação coletada [8].

A agricultura de precisão além de automatizar e informatizar o setor agrícola visa outros dois objetivos secundários: a redução do impacto do homem na natureza e o aumento dos lucros do agricultor [9]. A redução do impacto na natureza se deve ao fato de que o agricultor, tendo dados precisos e confiáveis, pode utilizar o mínimo possível de agrotóxicos, além de fazer a irrigação de maneira correta, sem abusar do consumo de água. O aumento de lucros é alcançado a partir da melhoria da qualidade de sua produção, por meio da utilização correta de produtos agrícolas em suas propriedades.

A partir dos dados obtidos, o agricultor terá uma base de dados detalhada para fazer um mapeamento sobre possíveis ataques de pragas e doenças, além de detectar falta de água em certos locais da plantação. Assim, ele poderá prever e resolver os problemas antecipadamente, reduzindo custos e conseqüentemente aumentando a qualidade e o valor final da produção.

3. Trabalhos Relacionados

Várias pesquisas têm sido desenvolvidas sobre sistemas embarcados aplicados na agricultura. Lima *et al.* [10] desenvolveram um sistema baseado na agricultura de precisão que possuía várias características viáveis para um sistema agropecuário: compacto, simples, robusto e funciona com baixo consumo de energia. Inicialmente foi utilizado para um sistema de irrigação para citricultura e não possuía características *wireless*. A alimentação do circuito foi feita utilizando baterias de Níquel-Cádmio associadas com células fotovoltaicas. Os resultados do consumo mostraram que cada bateria duraria 72 horas com coleta de informações no sistema a cada 10 minutos.

Johnson e Margalho [11] desenvolveram um sistema baseado em uma rede de sensores sem fios para monitoramento de dados agroclimatológicos na floresta

Amazônica. As principais dificuldades encontradas foram a densa vegetação e as altas influências do clima equatorial (alta quantidade de chuvas e de incidência solar) que prejudicavam a transmissão via rádio. Esse projeto foi denominado INFOCLIMA e teve como principal fator a pouca ação do homem na coleta dos dados climáticos, já que se houvesse grande ação do homem em curtos espaços de tempo, poderia influenciar o funcionamento do ecossistema e prejudicar os resultados de pesquisa.

Neto [9] desenvolveu o sistema i-Farm (empresa agrícola inteligente) que foi proposto para a produção de uvas (viticultura), baseado em sensores de última geração. Além do monitoramento de condições climáticas esse tipo de agricultura também necessita de monitoramento de produtividade e qualidade do produto através de um sistema com fito-sensores na própria planta. Tudo isso baseado em uma rede de sensores sem fio. Além de retirar informações sobre o ambiente e da planta, possui câmeras e filmadoras sem fios para recolhimento de imagens e visitas virtuais à plantação e um avião não tripulado para produção de cartografias para que possam ser analisados problemas como *stress* hídrico.

Perez *et al.* [12] realizaram estudos sobre redes de sensores sem fios para monitoramento do gado. Foram feitos testes a céu aberto com um aparelho comercial fabricado pela Freescale, produzido para tamanhos de antenas e ambientes diferentes. Foram desenhadas também novas placas em parceria com a UFRGS para reduzir o custo dos equipamentos e atender as variáveis principais propostas pelo projeto: movimento e posicionamento do gado, além do estado fisiológico do animal e condições ambientais.

4. Testes Preliminares de Comunicação

Para o desenvolvimento deste projeto foi necessário realizar alguns experimentos práticos de comunicação para entender com clareza aquilo que se deseja simular, os quais são descritos nesta seção. Antes, apresentamos uma breve descrição dos principais recursos tecnológicos do sistema de comunicação da microestação.

4.1. Recursos Tecnológicos

Dentre os protocolos estudados, o escolhido foi o ZigBee (IEEE 802.15.4), por seu baixo custo e baixo consumo de energia. O hardware escolhido que atendia a esse tipo de protocolo, foi o XBee Pro da Maxstream. Para auxílio da simulação em laboratório, foi utilizado o software X-CTU [13]. Esses recursos são brevemente descritos a seguir.

- **Protocolo ZigBee**

O protocolo ZigBee oferece baixo consumo de energia, baixa latência e é utilizado em controles remotos, sensores e dispositivos alimentados por bateria. Funciona a uma frequência de 868 MHz na Europa, 915 MHz nos Estados Unidos e em outras partes do mundo não é necessária a licença para funcionamento. Possui uma taxa de consumo aproximadamente 100 vezes inferior à do Bluetooth, suporte para dispositivos de funções reduzidas, capacidade de permanecer longos períodos de tempo sem comunicação e utilização de até 65000 nós em uma rede [14].

Um dispositivo que segue o protocolo ZigBee pode funcionar em dois tipos de operação: *Beaconing* e *Non-Beaconing*. No primeiro o nó roteador transmite de tempos em tempos para confirmar outros roteadores na rede. Já os outros nós só precisam estar ativos no momento da sinalização e no restante do tempo permanecem dormindo. Nesse modo o consumo de energia é muito pequeno, praticamente o mínimo possível. No segundo modo a maioria dos dispositivos fica com os receptores sempre ativos, o que consome mais energia.

- **Dispositivo XBee Pro**

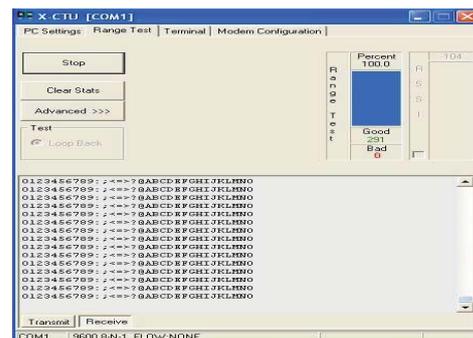
A Figura 1(a) mostra um dispositivo XBee Pro. Este hardware tem o alcance de 100 metros em área urbana e 1600 metros em campo aberto. O envio de pacotes de um dispositivo até outro é feito de maneira que o receptor envia confirmações de recebimentos de pacotes ao transmissor para certificação de que o envio ocorreu de forma correta. Ele possui dois *buffers* para a troca de pacotes. O primeiro *buffer* é utilizado para armazenar os pacotes que serão enviados. O segundo armazena os pacotes que são recebidos e que aguardam processamento pelo dispositivo. Existem dois pinos, CTS e RTS, que emitem uma voltagem para avisar sobre a falta de armazenamento nos referidos *buffers* [13].

- **Programa X-CTU**

O programa X-CTU tem como funcionalidade principal a configuração de parâmetros essenciais para uma rede ZigBee, como, por exemplo, o tipo de função que ele deverá assumir na rede: coordenador, roteador ou dispositivo final. Além disso, é possível visualizar testes de transferências de pacotes entre dois ou mais dispositivos. Sua interface durante uma transferência de pacotes é mostrada na Figura 1(b).



(a) Dispositivo XBee Pro



(b) Software X-CTU

Figura 1. Xbee Pro e X-CTU.

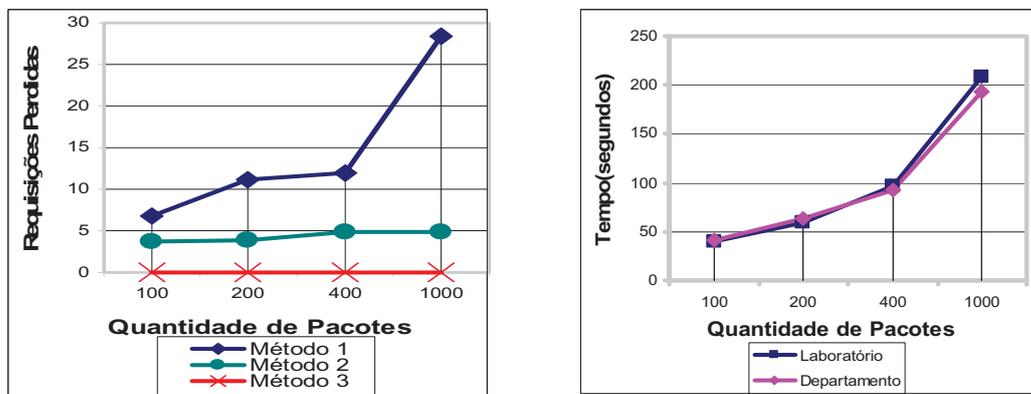
4.2 Experimentos Práticos

Foram realizados experimentos com quatro quantidades de pacotes diferentes, em três tipos de métodos distintos de modo que a requisição de dados é feita do terminal para a microestação e a transmissão das coletas é feita da microestação para o terminal. Os

testes foram realizados dez vezes para cada método e quantidade de pacotes enviados da microestação para o terminal, resultando em uma média de requisições perdidas mostrada na Figura 2(a). Foram utilizados dois dispositivos XBee Pro, um para a microestação e um para o terminal.

O Método 1 corresponde ao tipo *broadcast*, no qual pacotes de dados são enviados de um dispositivo para vários dispositivos simultaneamente durante todo o processo de comunicação. O Método 2 corresponde ao envio ponto-a-ponto, no qual pacotes de dados são enviados de apenas um dispositivo para outro dispositivo. Entretanto, fez-se necessário primeiramente identificar o destinatário e isto foi feito usando *broadcast* de pacotes de controle. O Método 3 utiliza um comando denominado “ATND” que obtém todos os endereços dos dispositivos da rede e seus respectivos nomes, escaneando a rede, para depois selecionar o destinatário e enviar os pacotes de dados, fazendo com que a comunicação toda utilize apenas o método ponto-a-ponto.

O método que se mostrou mais confiável foi o Método 3, por não ter nenhuma requisição perdida, tornando visível a eficiência superior da transmissão ponto-a-ponto sobre a *broadcast* (utilizada no Método 1 e no início da comunicação no Método 2). A partir da escolha do Método 3, também foram realizados testes de tempo em que cada quantidade de pacotes deveria chegar até o terminal e a transmissão de dados fosse concluída, reproduzidos também dez vezes para cada quantidade de pacotes e distância, resultando em uma média de tempo de transferência final dos pacotes em segundos mostrada na Figura 2(b). Foram utilizados dois tipos de distância: de laboratório (1 metro) e de departamento (20 metros).



(a) Requisições Perdidas

(b) Tempo de Transferência

Figura 2. Resultado dos Testes Preliminares de Comunicação.

Até a transferência de 200 pacotes foi observado, como esperado, que a transferência à longa distância demorou mais que a transferência dentro de um laboratório. Mas entre 400 e 1000 pacotes o resultado inverso foi observado. Isso pode ocorrer pelo fato de que com quantidades maiores de pacotes e distância, aumentam-se também os dados corrompidos que também podem ser compostos por pacotes subdivididos. Eles podem ser parcialmente enviados e uma parte pode ficar armazenada no *buffer* do dispositivo transmissor para um posterior envio.

Quando o terminal faz uma requisição para o próximo pacote, imediatamente recebe como resposta o restante do pacote parcialmente enviado e logo em seguida o próximo pacote também é enviado da microestação para o terminal, utilizando toda largura de banda com eficiência, poupando certa quantidade de tempo. Outro ponto a ser notado é que o tempo de transferência de dados cresce de forma linear, conforme vai aumentando a quantidade de pacotes a serem enviados em cada distância. Assim pode ser comprovada a regularidade da taxa de transmissão do dispositivo.

5. Simulador MicroAgroSim

O projeto SAV (Sistema de Automação de Vinícola) prevê o desenvolvimento de um sistema de automação de vinícola estruturado em outros sistemas menores, a saber: a microestação agrometeorológica (sistema físico), o software de controle da microestação, um PDA (*Personal Digital Assistant*) para a coleta manual, opcional, de dados das microestações, um sistema web para consulta via Internet e um simulador de microestação para ferramenta de apoio no desenvolvimento global do projeto e a futuras manutenções. O presente artigo apresenta o desenvolvimento de tal simulador, denominado MicroAgroSim.

O simulador poderá ser configurado com o método de comunicação e a topologia que se deseje, permitindo a realização de testes com variações nos tempos de envio e recepção, já que não há essa opção no software utilizado para os experimentos anteriores (X-CTU). O simulador também permitirá analisar a eficiência com que uma determinada quantidade de pacotes chega a seu destino e quanto cada nó poderá se sobrecarregar.

O simulador foi construído de forma a usar dispositivos XBee reais. Todo o processo de coleta de dados e armazenamento em memória é simulado por estruturas de dados da linguagem Java. Como a simulação é um passo relevante para a integração correta do sistema de comunicação sem fio com a microestação, esta deve representar fielmente a coleta de dados em campo por cada microestação e a transmissão de dados até um servidor. A biblioteca escolhida para o desenvolvimento do projeto foi a XBee api 0.9.

O código principal utilizado para escrita em memória e para o envio para um determinado dispositivo XBee dentro da rede é mostrado pelo Algoritmo 1. A simulação ocorre dentro de um laço finito controlado por um número de pacotes que serão enviados, configurados inicialmente na interface do simulador e por um intervalo de tempo responsável por produzir dados randômicos e gravá-los em uma estrutura de coleta.

A coleta, por sua vez, é gravada em um *Array* (lista), sendo que cada linha representa um endereço de memória e, portanto, possui uma coleta gravada. As linhas podem ser divididas em dados que são gerados localmente ou que estão sendo repassados através desse dispositivo XBee em questão. Existe uma variável denominada “Limite de Ativação” que é o limite máximo de dados que podem ser gerados pela microestação (dados gerados localmente). Quando este limite é atingido, a microestação

deve repassar seus dados para o seu destino e novos dados podem ser gerados e armazenados desde o início da memória novamente. O restante da memória (endereços de memória acima do Limite de Ativação) serve para armazenar dados provenientes de outras microestações para serem repassados para outra microestação destino ou serem processados localmente. A recepção dos pacotes é feita por um evento da XBee api 0.9 automaticamente conforme mostrado no Algoritmo 2. Este evento faz com que o dispositivo XBee fique esperando continuamente a chegada de algum dado (através de uma *thread*). Quando ocorre a chegada de algum pacote, é criada uma nova *thread* para tratar o dado recebido e a *thread* anterior continua esperando novos pacotes.

Algoritmo 1 Algoritmo de Escrita em Memória e Envio para Destino

```
String coleta;
String mem[];
Int i=0, PacketsSent, QuantPackets, LimAt;
Int EnderecoDest[];
Int TempoSetado;
Protocolo NovoEnvio = new Protocolo("enviar", mem, LimAt);
Inicio;
for (PacketsSent=0; PacketsSent<QuantPackets; PacketsSents++) {
    coleta = gera_dados_ran();
    grava_coleta(mem, coleta, i);
    i++;
    if (i==LimAt) {
        NovoEnvio.Monta_Pacote(EnderecoDest, mem);
        Thread tEnvio=new Thread(NovoEnvio);
        tEnvio.start();
        i=0;
    }
    Thread_sleep(TempoSetado);
}
Fim;
```

Algoritmo 2 Algoritmo de Recebimento de Dados

```
Protocolo NovoEnvio = new Protocolo("receber", mem, LimAt);
Inicio;
xbce.addPacketListener(new PacketListener() {
    public void processResponse(XBeeResponse xbr)
        {NovoRecebimento.localresponse=((ZNetRxResponse)xbr);
        NovoRecebimento.print_response();
        Thread tRecebimento=new Thread(NovoRecebimento);
        tRecebimento.start()}});
Fim;
```

A interface do simulador, ainda em desenvolvimento, é apresentada na Figura 3. Para o início da transferência dos dados, é necessário inicialmente fazer a abertura de conexão do XBee com o computador através do botão “ABRIR CONEXÃO”. Quando este botão é ativado, o XBee estará ativo no modo de recebimento e poderá receber todos os pacotes destinados a ele durante a simulação. Para o início do envio de dados, é necessária a configuração de quatro parâmetros principais que são: tamanho do *buffer* (memória), limite de ativação, intervalo de coleta de dados (ms) e quantidade de pacotes enviados. Feito isso, a simulação pode ser feita através do botão “INICIAR

SIMULAÇÃO” gerando uma saída de dados recebidos e enviados. O botão “FECHAR CONEXÃO” é utilizado para fechar a conexão do XBee com o computador.

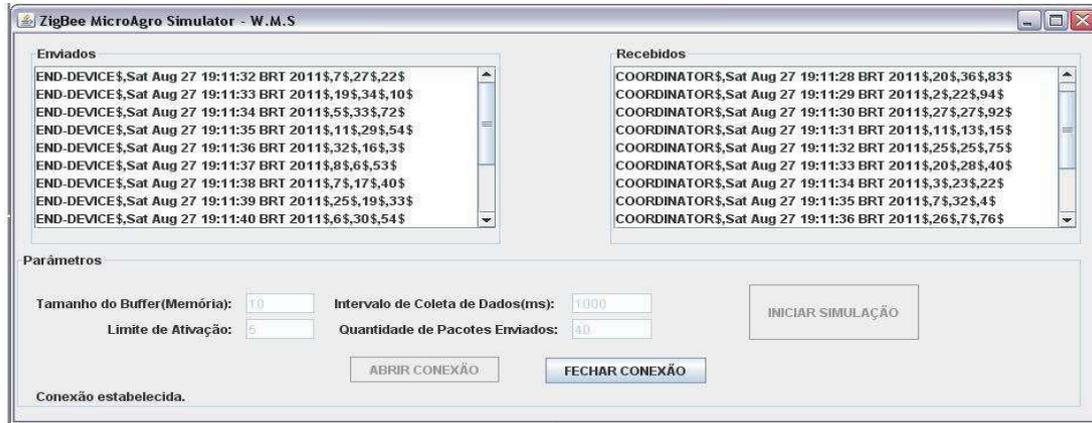


Figura 3. Interface do MicroAgroSim.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

A agricultura familiar tem papel relevante para a economia do Paraná e está concentrada entre várias áreas do estado. Está ganhando de maneira substancial programas e créditos do governo para investimentos em tecnologia, migrando para a agricultura de precisão. Este avanço de tecnologia só vem a melhorar a produção agrícola e conseqüentemente a economia do estado. Apesar disso, o custo de máquinas e equipamentos de última geração ainda é muito alto.

A utilização de redes de comunicação sem fio, neste contexto, tem potencial para viabilizar o alcance do objetivo do projeto, pois torna mais prático o tráfego de informações até o banco de dados do sistema. Quanto menor a intervenção humana no processo, menor a susceptibilidade do sistema a falhas. Dessa forma, poderá ser obtido menor consumo de água e menor utilização de agrotóxicos, melhorando o impacto ambiental e a condição de vida dos agricultores.

Dentro do contexto do projeto SAV, tipos de topologias e formas de transmissões foram analisados em testes preliminares e são contribuições deste trabalho. Constatou-se que a melhor forma de transferência notada foi do tipo ponto-a-ponto que possui melhor desempenho e alta taxa de transferência completa dos pacotes, dificilmente sobrecarregando certo ponto da rede.

Um simulador foi proposto e tem se mostrado muito útil como ferramenta de projeto de sistemas embarcados voltados para sensoriamento agrometeorológico. O simulador objetiva permitir configurar *buffers*, tempos de transferência e espera, capacidades de armazenamento, técnicas de gerenciamento local, métodos de diálogo (*broadcast*, ponto-a-ponto) entre microestações, topologias e rotas de pacotes, entre outras funcionalidades. Muitas destas funcionalidades já estão operacionais.

Esforços também serão direcionados à construção de uma interface amigável para o simulador com informações sobre chegada e envio de pacotes de um dispositivo e

um gerador de gráfico com a quantidade de pacotes que foram enviados e chegaram a um determinado dispositivo, podendo fazer uma análise mais detalhada sobre a eficiência dos envios em determinados intervalos de tempos distintos.

Referências

- [1] MONTEIRO, Tiago H. W. *et al.* Controle Sem Fio de Uma Esteira Transportadora Através de Computador. II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba. João Pessoa, 2007.
- [2] MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. Sobre o Programa: Mais Alimentos. Disponível no site www.mda.gov.br/portal/saf/programas/maisalimentos em: 14/02/2011.
- [3] PARANÁ ONLINE. Viticultura ganha incentivo para crescer no estado. 2009. Disponível no site <http://www.parana-online.com.br/editoria/pais/news/351849/> em: 14/02/2011.
- [4] SABO, Paulo H.; Martini, João A. Modelo de estação agrometeorológica para monitoramento vitícola. Universidade Estadual de Maringá. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. Agosto de 2011.
- [5] COCAMAR. Elas só faltam fazer chover. 2008. Disponível no site <http://www.jornalcocamar.com.br/noticias.aspx?id=noticias&c=108&e=14&n=351> em: 07/02/2011.
- [6] HAMRITA, T.K., POTTER W. D., BISHOP B. Robotics, Microcontroller and Embedded Systems Education Initiatives: An Interdisciplinary Approach. International Journal of Engineering Education. 2005. Vol. 21, No. 3, pp. 541-550.
- [7] HENNESSY, John L. e PATTERSON, David A. Arquitetura de Computadores: Uma Abordagem Quantitativa. Editora: Campus, Tradução da 3ª Edição Americana, 2003.
- [8] MEIRA, Carlos Alberto Alves. *et al.* Agroinformática: Qualidade e Produtividade na Agricultura. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v.13, n.2, p.175-194, 1996.
- [9] NETO, Miguel de Castro. I-Farm: A Empresa Agrícola Inteligente. Jornadas Técnicas "A importância da Meteorologia na Agricultura". Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio, Beja, 28 de Março de 2008.
- [10] LIMA, Tiago P. F. S.; LOPES, Wellington C.; TORRE NETO, André. Desenvolvimento de Dispositivos Sem Fio Para Rede de Instrumentação Inteligente Em Aplicações Na Agricultura de Precisão In: IV Congresso Brasileiro da Sociedade Brasileira de Informática Aplicada à Agropecuária, São Carlos - SP: Livraria e Editora Agropecuária, 2003.
- [11] JOHNSON, Thienne M.; MARGALHO, Mauro. Redes de Sensores Sem Fio para Monitoramento Agro-Climatológico na Amazônia. Universidade da Amazônia, 2006.
- [12] PEREZ, Naylor Bastiani. *et al.* Zootecnia de Precisão: Monitoramento do Gado Com Rede de Sensores sem Fio. II Simpósio sobre inovação e Criatividade Científica na Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2010.
- [13] DIGI INTERNATIONAL. XBee™ ZNET 2.5/ XBee-PRO™ ZNET 2.5 OEM RF Modules. Minnetonka: Digi Inc, 2008.
- [14] DA SILVA, André Teixeira. Módulos de Comunicação Wireless para Sensores. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Julho de 2007.