

# **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ENLACE E DA CONECTIVIDADE ENTRE OS NÓS DE UMA REDE DE SENSORES SEM FIO DENTRO DE UM VINHEDO CULTIVADO SOB COBERTURA PLÁSTICA**

JUAN CARLOS CONGONA BENAVENTE<sup>1</sup>  
CARLOS EDUARDO CUGNASCA<sup>2</sup>  
HENRIQUE PESSOA DOS SANTOS<sup>3</sup>

**RESUMO:** Apresenta-se, neste trabalho, um estudo realizado sobre a qualidade de enlace e alcance de conectividade entre os nós de uma rede de sensores sem fio, a partir de dois indicadores: o de intensidade de sinal recebido e o de qualidade de enlace. O ambiente agrícola considerado foi um vinhedo cultivado sob cobertura plástica, cujas variáveis ambientais de importância foram monitoradas, por influenciarem no desenvolvimento fisiológico das videiras, afetando o rendimento e a qualidade das uvas produzidas. A incorporação de tecnologias que permitam um melhor gerenciamento dessa variabilidade microclimática é importante para a viticultura brasileira, bem como a realização de levantamentos experimentais para aperfeiçoar o uso das redes de sensores sem fio em ambientes agrícolas. Dos resultados obtidos, quantificou-se a interferência que os vegetais exercem sobre a comunicação, principalmente perto do dossel das videiras, sendo discutidos no trabalho.

**PALAVRAS-CHAVE:** conectividade, redes de sensores sem fio, qualidade de enlace, viticultura.

## **QUALITY EVALUATION OF LINK AND CONNECTIVITY BETWEEN NODES OF A WIRELESS SENSOR NETWORK IN A VINEYARD CULTIVATED UNDER PLASTIC OVERHEAD COVER**

**ABSTRACT:** This paper presents a study on the quality and range of link connectivity between the nodes of a wireless sensor network, based on two variables: received signal strength and link quality. A vineyard planted under plastic covering was evaluated in which the monitoring of environmental variables is important, because any change in these variables can influence the physiological development of grapevines, affecting the yield and quality of grapes produced. The incorporation of technology to enable better management of microclimatic variability is important for the Brazilian viticulture, as well as practical studies to optimize the use of wireless sensor networks in agricultural. From results, discussed in the paper, it was quantified the interference that plants exert on communication, mainly near the canopy of vines.

**KEYWORDS:** connectivity, wireless sensor network, link quality, viticulture.

### **1. Introdução**

A Agricultura de Precisão (AP) é uma filosofia de trabalho que difere da agricultura tradicional no sentido de dividir os talhões em pedaços menores para tratá-los diferenciadamente, proporcionando vantagens econômicas para o agricultor e benefícios ao meio ambiente (ZHANG; WANG; WANG, 2002). A sua aplicação é possível, principalmente, pelo uso de três tecnologias: o Sistema de Posicionamento Global (GPS), os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), e as tecnologias de sensoriamento. O advento de uma nova tecnologia, conhecida como Rede de Sensores sem Fio (RSSF) (AKYILDIZ et al., 2002), modificou os conceitos de

---

<sup>1</sup> Bacharel em Enga. de Sistemas, Mestre em Engenharia, Escola Politécnica da USP, jcongonab@gmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro Eletricista, Professor Associado, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, carlos.cugnasca@poli.usp.br

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor, Embrapa Uva e Vinho/Bento Gonçalves – RS, henrique@cnpuv.embrapa.br

monitoramento, em especial na agricultura (WANG; ZHANG; WANG, 2006) e na área ambiental (PORTER et al., 2005). Uma RSSF pode ser definida como um conjunto de dispositivos de pequenas dimensões e de baixo consumo, denominados nós sensores, com capacidade de sensoriamento, processamento e comunicação, que os tornam particularmente interessantes no monitoramento em larga escala (YICK; MUKHERJEE; GHOSAL, 2008). O clima influencia decisivamente no desenvolvimento fenológico das culturas (PROTAS, 2003), e em videiras cultivadas sob cobertura plástica, o microclima experimenta diferentes alterações, que influenciam na fisiologia da planta (CHAVARRIA et al., 2009). A variabilidade espacial devido ao clima, ao solo e às plantas (MOLIN, 1997; ZHANG; WANG; WANG, 2002) requer novas tecnologias que permitam o seu melhor gerenciamento, no contexto da AP. A vantagem de se aplicar as RSSFs na agricultura está na sua capacidade monitorar muitos pontos das culturas, possibilitando o mapeamento da variabilidade espaço-temporal existente (WANG; ZHANG; WANG, 2006). A pouca disponibilidade de trabalhos relacionados levaram a realizar um estudo do alcance de conectividade e da qualidade do enlace de uma RSSF para monitoramento de microclimas, selecionando-se para estudo um vinhedo cultivado sob cobertura plástica.

## 2. Objetivos

O objetivo deste trabalho foi a avaliação da qualidade do enlace e ao alcance de conectividade entre os nós e a estação base de uma RSSF, incorporados a um parreiral, considerando a interferência produzida pelos fatores existentes no ambiente estudado. Esses aspectos avaliados possibilitaram orientar a melhor distribuição dos nós sensores dentro do vinhedo.

## 3. Materiais e Métodos

Foi utilizada uma RSSF comercializada pela MEMSIC (MEMSIC, 2011), constituída por 10 nós sensores, baseados no padrão MICAz, com placa sensora MTS400, que operam na banda de comunicação de 2,4 GHz, possuem um módulo de rádio da Chipcom (CC2420) com um transceptor de radiofrequência integrado, baseado no padrão IEEE 802.15.4. Cada nó possui um microcontrolador Atmega128L e é alimentado por duas pilhas AA. A placa MTS400 permite medir cinco tipos de grandezas: umidade relativa, temperatura, pressão atmosférica, luminosidade e aceleração em dois eixos. A estação-base, responsável por se comunicar com os nós sensores, interligando-os a um computador por meio de uma interface USB é a MIB520. Por meio dela, os dados coletados pela rede podem ser armazenados em um banco de dados e visualizados na tela de um computador, possibilitando também, a comunicação e a reprogramação dos nós sensores. Para o gerenciamento dos dados foi utilizado o software MoteView 2.0F, fornecido também pela MEMSIC. Este software permite o armazenamento e visualização dos dados no computador. O protocolo de rede utilizado foi o XMesh, e o *firmware* instalado nos nós sensores foi um aplicativo desenvolvido em nesC, uma extensão da linguagem C que permite desenvolver aplicações para o sistema operacional TinyOS (utilizado pelos nós sensores). O transceptor CC2420 disponibiliza duas variáveis métricas para avaliar a qualidade do enlace entre os nós sensores de uma RSSF: o indicador de intensidade de sinal recebida (RSSI), que varia aproximadamente entre -100 dBm e 0 dBm, e o indicador de qualidade de enlace de sinal (LQI), que se correlaciona com a qualidade dos pacotes recebidos, sendo gerado pelo módulo de rádio um valor de correlação no intervalo entre 50 e 110. Um valor de 110 indica uma qualidade máxima, enquanto, um valor de 50 é normalmente a qualidade mais baixa detectável pelo módulo de rádio (CC2420, 2011). A coleta de dados dessas variáveis métricas foi realizada utilizando o aplicativo Pong. Foram planejados e realizados testes em um vinhedo cultivado sob cobertura plástica, de propriedade do Sr. José Milan, localizado no Vale dos Vinhedos, município de Bento Gonçalves, RS, (latitude 29°12'S, longitude 51°32'W e altitude média de 603 m). A idade do vinhedo era de seis anos, com plantas de *Vitis vinifera* L., cultivar Itália, enxertadas sobre o porta-enxerto 'SO4'. As mudas foram plantadas com espaçamento de 1,8 m entre plantas e 3 m entre linhas. A área experimental foi de 0,125 ha,

com 6 linhas de plantas de aproximadamente 67,30 m cada, dispostas na direção norte-sul. A inclinação do terreno é de cerca de 15°, com sistema de condução em latada, sendo que a altura média do dossel em relação ao solo é de 2,10 m. Os experimentos para avaliar o funcionamento da rede em campo foram realizados durante o período de maturação das uvas, na safra 2009/2010. Considerou-se o alcance de conectividade entre um nó sensor e a estação-base, e utilizando-se o aplicativo Pong, avaliou-se a comunicação. Foram realizados testes com os nós posicionados em diferentes alturas das videiras: no tronco, no cacho e no dossel.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Alcance de conectividade do sinal

Foram avaliadas as diferentes potências de transmissão disponíveis para programar o rádio da plataforma MICAz (0, -1, -3, -5, -7, -10, -15 e -25 dBm). Consideraram-se como valores referenciais o alcance conseguido em campo livre (sem interferências físicas entre o nó e a estação-base, além das ambientais) para estabelecer uma relação com o alcance obtido no parreiral. Na Figura 1 pode-se constatar que, para as potências de transmissão avaliadas, o menor alcance conseguido foi na altura do dossel das videiras, devido à maior presença de objetos no percurso do sinal de rádio (folhas, galhos, gavinhas etc.).

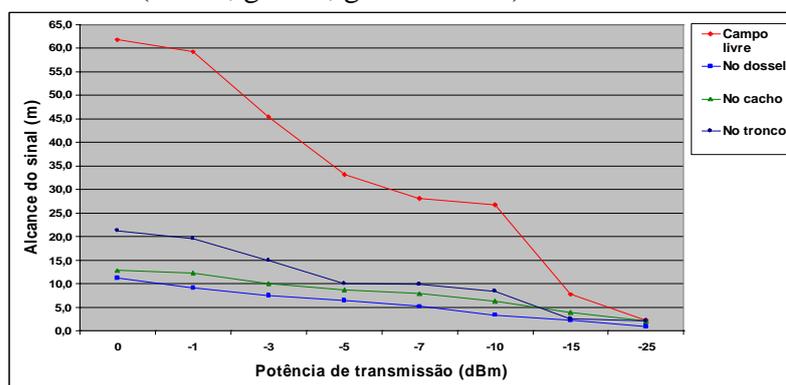


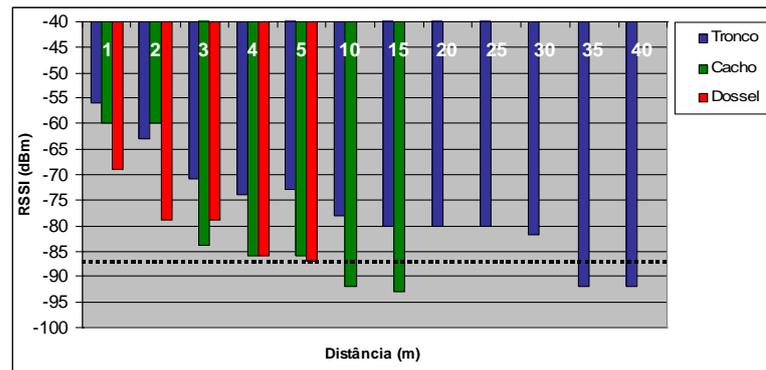
Figura 1 - Alcance de conectividade do sinal (m) entre os nós e a estação base para as diferentes potências de transmissão avaliadas (plataforma MICAz).

Comparando-se o alcance de conectividade no parreiral em diferentes alturas nas plantas, em relação ao obtido em campo livre, tem-se que ela é cerca de 67% menor no tronco, 76% no cacho e 83% no dossel, devido à presença dos vegetais. Do ponto de vista agrícola, é de interesse monitorar as condições ambientais perto do dossel das videiras, porque o processo fotossintético é realizado nessa área. Uma solução que permite um maior alcance na comunicação entre os nós já é adotada pela MEMSIC no seu produto eko Pro Series System, que recomenda o posicionamento do transceptor de rádio acima da vegetação, local de menor interferência, ligando-o aos seus sensores por meio de cabos.

### 4.2 Qualidade de enlace entre o nó e a estação base

Constatou-se experimentalmente que para uma maior distância entre o nó e a estação base, os valores do RSSI e do LQI diminuem, devido à presença de objetos ou barreiras físicas entre o dispositivo transmissor e receptor, ocasionando uma atenuação das ondas eletromagnéticas. Mesmo em ambientes sem interferência, a intensidade do sinal recebida decresce quadraticamente com relação à distância. Posicionaram-se o nó e a estação-base na mesma altura para as medições realizadas na linha das videiras. Inicialmente o nó foi posicionado a uma distância de 1 m da estação base, afastando-o até ocorrer a perda da comunicação. As distâncias avaliadas foram: 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 m, sendo as medições realizadas nas alturas: no tronco, a 1,30 m do solo; no cacho, a 1,85 m do solo; e no dossel, a 2,10 m do solo. Nas Figuras 2 e 3 são apresentados os valores de RSSI e LQI obtidos nos experimentos. Pro-

gramou-se o rádio dos nós sensores a uma potência de transmissão de 0 dBm, com o objetivo de conseguir um maior alcance de transmissão.



**Figura 2 - Representação gráfica dos valores de RSSI obtidos a diferentes alturas da videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base. Valores de RSSI superiores a -87 dBm (linha tracejada) apresentam uma taxa de recepção de pacotes de 85%.**

Srinivasan e Levis (2006) avaliaram o transceptor CC2420 (disponível plataforma MICAz utilizada), determinando que quando o valor de RSSI é maior que -87 dBm, a taxa de recepção de pacotes é superior a 85%, sendo esta considerada uma porcentagem aceitável. Analisando-se as Figuras 2 e 3 observa-se uma correspondência entre os valores de RSSI e LQI; tanto no cacho como no dossel das videiras. Até 5 m de distância entre a estação-base e o nó, o valor de RSSI é maior que -87 dBm, com nível de LQI alto ( $LQI \geq 104$ ). A partir desta distância, na altura do cacho conseguiu-se um enlace entre o nó e a estação-base até os 15 m, porém o nível de LQI registrado foi médio ( $80 \leq LQI < 104$ ), resultando em uma recepção de pacotes menor que 85%. No tronco das videiras observou-se um valor de RSSI maior que -87 dBm até 30 m (com nível de LQI alto); entre 30 e 40 m ainda existiu comunicação entre o nó e a estação-base, porém com um RSSI menor que -87 dBm (com nível de LQI médio).

Constatou-se na literatura carência de trabalhos que avaliam em profundidade a qualidade de enlace em ambientes agrícolas baseados no RSSI e LQI. Giacomini e Vasconcelos (2006) apresentam uma avaliação dos módulos CC1000 e CC2420 utilizando o RSSI como indicador, em experimentos em uma área livre de um milharal. Observou-se para o módulo CC2420 que, para uma distância de 10 m, o valor de RSSI é de -92 dBm, próximo ao conseguido na altura do cacho das videiras durante o experimento realizado. Em concordância com os resultados do primeiro experimento, no qual foi avaliado o alcance de conectividade entre o nó sensor e a estação-base, observou-se grande perda do sinal na área próxima ao dossel e ao cacho das videiras, uma vez que a frequência de operação dos rádios utilizados, 2,4 GHz, é a frequência de absorção das moléculas de água (ZHANG, 2004). Assim, os valores de RSSI e LQI obtidos são menores na altura do dossel das videiras em relação às outras alturas avaliadas.

## 5. Conclusões

As métricas definidas para avaliar a qualidade do enlace entre os nós e a estação-base de uma RSSF, o RSSI e o LQI, puderam ser avaliadas experimentalmente com rádios do padrão IEEE 802.15.4. Em um parreiral, observou-se a correlação entre elas: valores do LQI (nível alto) e do RSSI (quando  $> -87$  dBm) indicam perda de pacotes  $< 85\%$ . O alcance do sinal quando o nó obtido no parreiral com a estação-base reduziu-se consideravelmente na presença de vegetais, devido à água neles presente. Os experimentos realizados podem ser estendidos à comunicação entre qualquer nó sensor com o mesmo tipo de rádio e a estação-base.

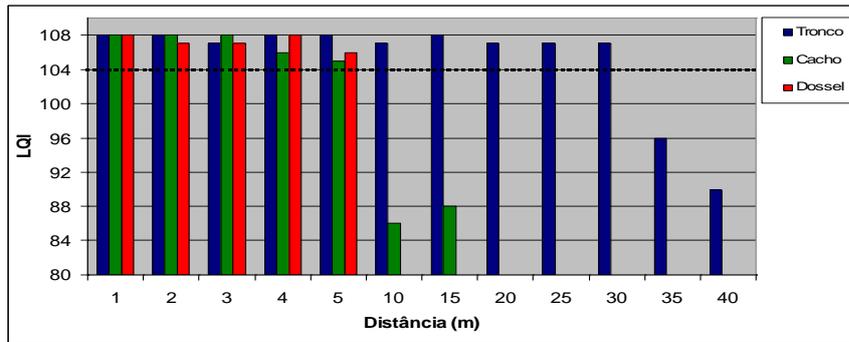


Figura 3 - Representação gráfica dos valores de LQI obtidos a diferentes alturas da videira, dependendo da distância entre o nó e a estação base (medições realizadas no sentido da linha das videiras).

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem pelo apoio: ao CNPq, projeto 484125/2006-0 e à FAPESP, projetos 03/08134-4 e nº 04/15801-0, pelos recursos concedidos à pesquisa; ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia/Sistemas Embarcados Críticos, projetos 573963/2008-8 (CNPq) e 08/57870-9 (FAPESP); ao Sr. José Milani e família e à como à Embrapa Uva e Vinho, que forneceram o local de experimentação e o apoio para a realização dos testes em campo.

## 7. Referências

- AKYILDIZ I.F.; SU, W.; SANKARASUBRAMANIAM, Y.; CAYIRCI, E. Wireless sensor networks: a survey. **Computer Networks**, EUA, v. 38, n. 4, p. 393-422, 2002.
- CC2420. EUA. 2.4 GHz IEEE 802.15.4/ZigBee-ready RF Transceiver. Disponível em: <<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2420.pdf>>. Acesso: 5 jun. 2011.
- CHAVARRIA, G.; CARDOSO, L.S.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, H.P.; MANDELLI, F.; MARODIN, G.A.B. Microclima de vinhedos sob cultivo protegido. **Ciência Rural**, Brasil, v. 39, n. 7, p. 2029-2034, 2009.
- GIACOMIN, J.C.; VASCONCELOS F.H. Qualidade da Medição de Intensidade de Sinal nas Comunicações de uma Rede de Sensores Sem Fios: uma Abordagem da Camada Física. **Infocomp** (UFLA), Brasil, v. 5, n. 2, p. 83-92, 2006.
- MEMSIC. EUA. Site. Disponível em: <<http://www.memsic.com/>>. Acesso: 7 jun. 2011.
- MOLIN, J.P. Agricultura de precisão. Parte 1: O que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, Brasil, v. 17, n. 2, p. 97-107, 1997.
- PORTER, J.; ARZBERGER, P.; BRAUN, H.; BRYANT, P.; GAGE, S.; HANSEN, T.; HANSON, P.; LIN, CH.; LIN, F.; KRATZ, T.; MICHENER, W.; SHAPIRO, S.; WILLIAMS, T. Wireless Sensor Networks for Ecology. **BioScience**, EUA, v. 55, n. 7, p. 561-572, 2005.
- PROTAS, J. F. S. **Uvas Viníferas para Processamento em Regiões de Clima Temperado**. Sistema de Produção, 4. Brasil: 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/UvasViniferasRegioesClimaTemperado/index.htm>>. Acesso: 9 jun. 2011.
- SRINIVASAN, K.; LEVIS, P. RSSI is under appreciated. In: ACM WORKSHOP ON EMBEDDED NETWORKED SENSORS (EmNets 2006), 3., 2006, Cambridge, EUA. **Proceedings ...** EUA: ACM, 2006. 5 p.
- WANG, N.; ZHANG, N.; WANG, M. Wireless sensors in agriculture and food industry-Recent development and future perspective. **Computers and Electronics in Agriculture**, EUA, v. 50, n. 1, p. 1-14, 2006.
- YICK, J.; MUKHERJEE, B.; GHOSAL, D. Wireless sensor network survey. **Computer Networks**, EUA, v. 52, n. 12, p. 2292-2330, 2008.
- ZHANG, N.; WANG, M.; WANG, N. Precision agriculture—a worldwide overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, EUA, v. 36, n. 2-3, p. 113-132, 2002.
- ZHANG, Z. Investigation of wireless sensor networks for precision agriculture. In: ASAE/CSAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2004, Ottawa, Canadá. **Proceedings ...** [S.l.]: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2004. p. 31-35.