



REDE DE SENSORES SEM FIO PARA ESTUDO DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO CAFEEIRO

A. Torre-Neto¹, R. Ghini², A. Dentzien², K. Nechet²

(1) Embrapa Instrumentação, Rua Quinze de novembro, 1452, 13561-206, São Carlos, SP,
andre.torre@embrapa.br

(2) Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP-340, Km 127,5, 13820-000, Jaguariúna, SP,
katia.nechet@embrapa.br, anamaria.dentzien@embrapa.br, raquel.ghini@embrapa.br

Resumo: As consequências do aumento da concentração de CO₂ sobre diversas culturas têm sido abordadas através de instalações conhecidas como Enriquecimento de Dióxido de Carbono a Céu Aberto ou em Inglês, Free Air Carbon-dioxide Enrichment - FACE. Os experimentos em instalações FACE tiveram início nos EUA em 1993 e o exemplo foi seguido pelo Reino Unido, Alemanha, Itália, Japão, Austrália e Dinamarca. O primeiro experimento FACE na América do Sul foi instalado no Brasil por um grupo de cientistas da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) para estudar os impactos fitossanitários do aumento da concentração de CO₂ no café. Em comparação com os projetos similares existentes, a implementação brasileira inovou com a utilização de instrumentação baseada em rede de sensores sem fio. No presente artigo, é descrito o projeto e os aspectos operacionais dessa implementação.

Palavras-chave: sensores sem fio, monitoramento ambiental, doenças de plantas, alterações climáticas, instalações FACE.

WIRELESS SENSOR NETWORK TO STUDY THE IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON COFFEE TREES

Abstract: The consequences of increased CO₂ concentration on several crops have been addressed through facilities known as Free Air Carbon-dioxide Enrichment - FACE. The first experiment in a FACE facility took place in the USA in 1993 and the example was followed by the UK, Germany, Italy, Japan, Australia and Denmark. The first experiment FACE in South America was installed in Brazil by a group of scientists from Embrapa (Brazilian Agricultural Research Corporation) to study the phytosanitary impacts on coffee trees. In comparison with existing similar designs, Brazilian implementation innovated with the use of an instrumentation based on wireless sensor network. In this article, we describe the design and operational aspects of this implementation.

Keywords: wireless sensors, environment monitoring, plant diseases, climate change, FACE facility.

1. Introdução

A concentração do CO₂ atmosférico global está aumentando rapidamente nas últimas décadas e apesar dos esforços internacionais para a redução de emissão do gás, provavelmente continuará a aumentar (IPCC, 2010). O enriquecimento de CO₂ promove alterações no metabolismo da planta, afetando seu crescimento e os processos fisiológicos. Existe um aumento significativo na taxa fotossintética e uma diminuição na taxa de transpiração por unidade de área da folha, enquanto que a transpiração total da planta, por vezes aumenta, devido à maior área foliar. Apesar das evidências de efeitos benéficos do CO₂ na planta, não é bem conhecido se esses efeitos ainda terão lugar na presença de patógenos, pragas e ervas daninhas ou outros fatores limitantes, principalmente nos países tropicais (Ghini; Hamada, 2008). Poucos estudos têm sido realizados e a maioria em condições controladas. Assim, eles podem não refletir a resposta das plantas no campo, onde há variações e interações entre temperatura, precipitação e outros fatores. A busca de condições mais realistas levou à utilização de instalações de enriquecimento de CO₂ a céu aberto (em inglês Free Air Carbon-dioxide Enrichment - FACE) (Hendrey; Miglieta, 2006).

No Brasil, a primeira unidade FACE foi instalada próximo à cidade de Jaguariúna, no estado de São Paulo, em área experimental da Embrapa Meio Ambiente. O projeto intitulado “Impactos das Mudanças Climáticas Globais sobre Problemas Fitossanitários”, com o codinome “Climapest”, foi apoiado pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). O ClimapestFACE foi inaugurado no dia 25 de agosto de 2011 e foi planejado para estudar os efeitos da concentração de CO₂ sobre o cafeeiro. Dentre os possíveis impactos, são avaliados o desenvolvimento das plantas, a severidade de doenças e pragas, a interação com microrganismos, a nutrição das plantas e a produção.

As instalações FACE consistem de áreas circulares (Anéis), medindo entre 10 a 30 metros de diâmetro, delimitadas por uma câmara de admissão em formato toroidal, através da qual se promove a fumigação do CO₂. A liberação do gás pode acontecer através de injeção direta ou pré-diluída (Lewin et al., 2009). Nos dois casos, o principal problema operacional é o de se manter a flutuação e o gradiente de concentração do CO₂ em valores aceitáveis no interior dos anéis, características que são afetadas principalmente pelo regime de ventos. Assim, a instrumentação básica de uma instalação FACE consiste de um sensor de CO₂ e um anemômetro montados no centro do anel. A câmara de admissão é segmentada e a fumigação é liberada em cada segmento por válvulas liga/desliga ou proporcionais. Sensores de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar global e fotossinteticamente ativa (PAR), além de precipitação pluviométrica, completam a instalação. A inovação adotada no ClimapestFACE foi a instrumentação baseada na emergente tecnologia de rede de sensores sem fio, particularmente a especificação ZigBee (ZigBee Alliance, 2008) que provê as camadas de rede e estrutura da aplicação para o padrão IEEE 802.15.4 (IEEE, 2006), que define apenas as camadas física e de controle de acesso ao meio físico. Por ter características de baixo consumo de energia e conectividade ao nível de dispositivos, aliadas a custos baixos, o ZigBee está cada vez mais presente nas áreas agrícola e de monitoramento ambiental (Wang et al., 2006). Sua utilização no FACE brasileiro tem a importância não somente de atender as necessidades desse projeto, mas também, de criar competência para outras aplicações da tecnologia sem fio na agricultura brasileira.

2. Materiais e Métodos

A área total do ClimapestFACE é de 7 ha e está localizada nas coordenadas 22°41'S e 47°W, altitude de 570m. A instalação completa do ClimapestFACE tem um total de doze anéis, agrupados em seis blocos, cada um possuindo um anel com injeção e outro de controle. Foi escolhido o sistema de fumigação por injeção direta e um arranjo octogonal da câmara de admissão, uma geometria usual como alternativa à circular, encontrada em instalações como a descrita por Miglieta, et al., 2001.

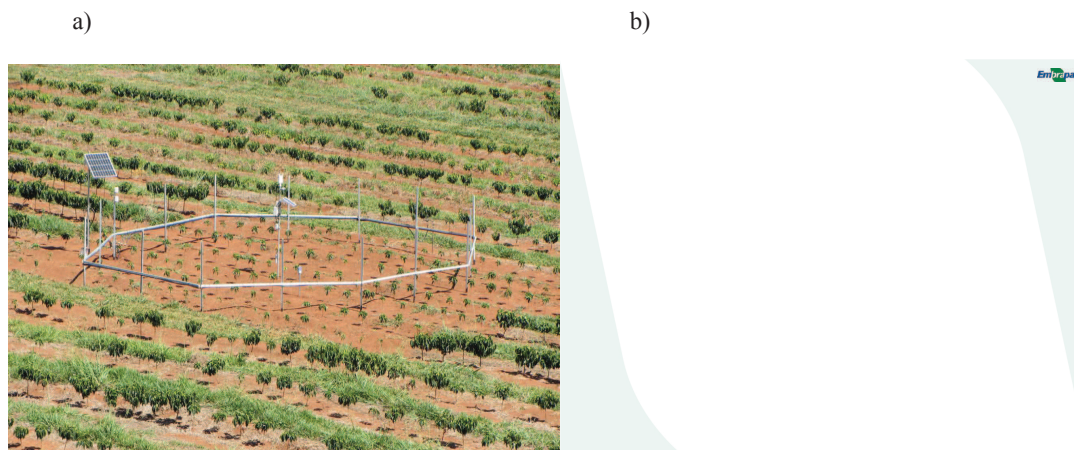


Figura 1. a) Vista geral de um “Anel” instrumentado e b) disposição e dimensionamento do octógono nas linhas da cultura.

Na Figura 1 é mostrado um anel do ClimapestFACE e detalhes do dimensionamento do conjunto octógono e plantas. As seções do octógono estão associadas à um conjunto de válvulas de gás, que são acionadas individualmente pelo programa de controle, de maneira que a fumigação ocorra sempre na seção que está perpendicular à direção do vento. Duas seções adjacentes a essa também são abertas alternadamente em intervalos regulares para complementar a fumigação. Foram utilizadas válvulas Latching, fabricadas pela Jefferson Solenóides. A fumigação de CO₂ está programada para ocorrer entre 7:00 e 17:00 horas, período de atividade fotossintética mais intensa, e com velocidades de vento entre 0.2 e 4 m/s, faixa na qual é possível atingir o valor alvo de 550 ppm de concentração. No centro do anel encontram-se a estação climatológica modelo WXT520 e o sensor de CO₂ GMM343, ambos fornecidos pela corporação finlandesa Vaisala Co.. A estação foi escolhida por medir a velocidade e direção do vento através de transdutores de ultrassom, não possuindo, portanto, partes móveis. A precipitação pluviométrica também é medida de forma não convencional, por efeito piezométrico. A estação mede ainda a temperatura e umidade relativa do ar, além da pressão barométrica. O princípio de funcionamento do medidor de concentração de CO₂ é por interação da luz com o gás na região do infravermelho, em inglês, Infrared Gas Analyser - IRGA. Os sensores de radiação solar Global Li200 e PAR Li190, da Licor Environmental, completam o conjunto de medição ambiental no centro do anel. Deslocados da posição central, encontram-se ainda sondas combinadas de temperatura e umidade no solo, uma na metade irrigada do anel e a segunda na outra metade. Trata-se de um instrumento desenvolvido em projeto de irrigação de precisão na Embrapa Instrumentação (Torre-Neto et al., 2005). O conjunto de automação tem ainda outra válvula Latching que controla a irrigação.

Os sensores, instrumentos e válvulas descritos foram adaptados para operar como Nós de rede sem fio através de diferentes interfaces com o módulo padrão ZigBee modelo ETRX3, fabricado pela empresa Telegesis Inc.. A Estação Climatológica WXT520 e o IRGA GMM 343 foram adaptados via interface serial RS232. Os sensores de radiação solar global e PAR e também as sondas de solo são monitorados através de portas de entrada

analógica com resolução de 12 bits. Uma interface em ponte H, acionada por portas de I/O digital, foi desenvolvida para fornecer os pulsos de corrente direta e reversa necessários para as válvulas Latching. O circuito multi-interfaze obtido é alimentado com 12Vdc e, opcionalmente, com 4.2Vdc ou 6Vdc (Li-Ion e pilhas comuns).

Como fonte de 12 Vdc foi utilizada uma associação de bateria estacionária chumbo-ácido de 45Ah e um painel fotovoltaico de 65 Watts. O conjunto de alimentação possui ainda um controlador de carga de 5 Amperes, que é ajustado para desligar a saída e, portanto, o próprio *Nó* sensor/atuador, quando a voltagem da bateria atinge menos de 11.2 Volts. Tal situação pode ocorrer após três dias de operação com baixa insolação e objetiva prolongar a vida útil da bateria. Após recarga plena, com a voltagem da bateria atingindo 12.7 Volts, a operação do *Nó* é restabelecida automaticamente.

Os módulos ETRX3 operam na frequência de 2,4 GHz, com até 8DBm de potência de transmissão e -105 dBm de sensibilidade na recepção. Foram adquiridos com antenas miniatura (chip) incorporadas na própria placa. Instalados a 1,5 metros de altura do solo, apresentam alcance de comunicação no campo de até 150 metros entre duas unidades, com linha de visada. Considerando-se que é possível até 32 níveis de retransmissão entre eles, as distâncias máximas entre os pontos de monitoramento na área do FACE foram facilmente cobertas ao configurar-se todos os módulos no modo FFD (Full Featured Device), em que eles funcionam como dispositivos sensores e roteadores simultaneamente.

O monitoramento e controle do sistema são realizados por um computador PC miniaturizado com arquitetura de baixo consumo (Atom da Intel Co.), que tem a CPU resfriada por dutos de calor e dissipadores amplos o suficiente para dispensar a necessidade de ventoinhas (Fanless miniPCs). A ausência de partes móveis confere maior confiabilidade ao sistema, e a arquitetura Atom, que consome sete vezes menos em comparação com uma arquitetura convencional, aumenta na mesma proporção o tempo de atuação do dispositivo de alimentação auxiliar (No-Break).

O monitoramento e controle do sistema são realizados de forma centralizada por esse miniPC em uma configuração mestre-escravo. Um dispositivo USB ZigBee apresenta-se para o sistema operacional como uma porta de comunicação serial, através da qual ocorre a comunicação com *Nós* da rede ZigBee. O firmware dos módulos ETRX3 responde a comandos AT proprietário, que permitem configurar a rede ZigBee, acessar portas de I/O, acessar memória e registradores internos, abrir canal direto de comunicação serial, além de um elenco de funcionalidades temporizadas. O sistema operacional adotado é o Windows XP SP3. O software de gerenciamento foi desenvolvido em linguagem de programação visual LabView na versão 8.2 e opera em conjunto com uma base de dados implementada em Postgres, na versão 9.2. Todas as entidades físicas, bem como dados institucionais e pessoais foram contemplados na modelagem e implementação dessa base. A coleta dos dados ocorre a cada cinco minutos. Porém, os dados de concentração de CO₂ e das condições do vento são adquiridos e fornecidos ao algoritmo de controle da fumigação a cada 30 segundos.

3. Resultados e Discussão

Na Figura 2 são mostrados os valores médios mensais de concentração de CO₂ e da velocidade do vento entre janeiro de 2012 e abril de 2014, em quatro dos 12 anéis, sendo que nos anéis 1 e 8 há fumigação e os anéis 2 e 7 são controles. Nos demais anéis com e sem fumigação os valores são semelhantes e não foram plotados para maior clareza dos gráficos. Observa-se que nos anéis com fumigação a concentração manteve-se elevada, porém, com flutuações significativas e com valor médio abaixo do valor alvo. Tais observações indicam a necessidade de otimização do algoritmo de controle. Em instalações FACE similares, em que se utilizam válvulas proporcionais para compensação da velocidade do vento, 75% do total das medidas de concentração estão em torno de 10% do valor alvo. No ClimapestFACE, em que não foi implementada a compensação linear por motivos econômicos, mediu-se 44% de incidência na mesma faixa alvo.

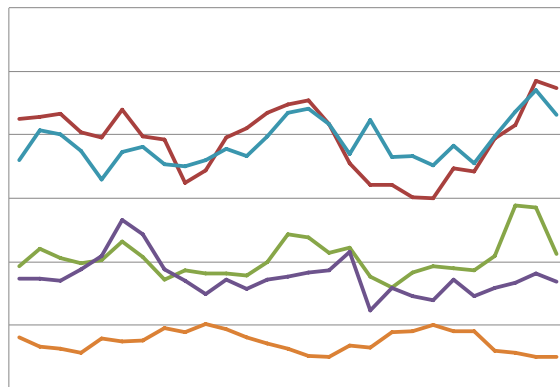


Figura 2. Gráficos comparativos da concentração de CO₂ em anéis com e sem fumigação e a velocidade do vento no período de 52 meses.

4. Conclusões

A principal inovação do ClimapestFACE foi a instrumentação baseada em rede de sensores sem fio. O alcance dos módulos ZigBee ETRX3, em configuração de roteamento “multi-hop”, foi adequado para cobrir toda a área da instalação. As taxas de comunicação são suficientes para o monitoramento e controle do sistema de injeção, permitindo compensar as mudanças de vento em intervalos apropriados. O principal desafio futuro é o aperfeiçoamento do algoritmo de controle para se elevar o percentual de incidência na faixa da concentração alvo. Entre as propostas está a utilização de controle PWM sobre as válvulas de gás, resultando em uma solução intermediária entre o controle linear e o atual liga/desliga, ou ainda a introdução de controladores de fluxo de massa nas linhas de distribuição do CO₂.

Agradecimentos

Institucionais:

- À Embrapa, pelo suporte aos projetos: “Impactos das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários”: <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/climapest>; e

“Impacto do aumento da concentração de dióxido de carbono atmosférico e disponibilidade de água sobre a cultura do café em experimento FACE (“Free Air CO₂ Enrichment”): <http://www.climapestface.cnptia.embrapa.br/projeto>;

- Ao “Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED)” pelo apoio ao projeto “Redes de sensores y microsistemas para el control del impacto de la producción agrícola y la minería en los acuíferos (REDSSENSA)”;

- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq e à FAPESP pelo financiamento do INCT NAMITEC: <http://namitec.cti.gov.br/>

Pessoais: Aos técnicos da Embrapa em geral e especialmente ao Sr. Gilmar Victorino e ao Sr. Luis Aparicio de Godoy.

Referências

- GHINI, R.; HAMADA, E. “Mudanças Climáticas: Impacto sobre Doenças e Plantas no Brasil”, Embrapa, 1a. ed., Jaguariúna, SP, Brasil, 2008.
- HENDREY, G.R.; MIGLIETA, F. “FACE Technology: past, present and Future” in: Nosberger J, Long SP, Norby RJ, Stitt M, Hendrey GR, Blum H (eds) “Managed ecosystem and CO₂”, Springer, Germany, v.187, 2006.
- IEEE, “Wireless MAC and PHY specifications for low rate WPAN,” IEEE, New York, NY: IEEE Std 802.15.4-2006 (Revision of IEEE Std 802.15.4-2003), 2006.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change Web Page: <<http://www.ipcc.ch/index.htm>> Acesso em: out. 2010.
- LEWIN, K.F.; NAGY, J.; NETTLES, W. R.; COOLEY, D.M.; ROGERS, A. “Comparison of gas use efficiency and treatment uniformity in a forest ecosystem exposed to elevated [CO₂] using pure and prediluted free-air CO₂ enrichment technology” in *Global Change Biology*, n.15, 2009. p.388-395.
- MIGLIETA, F.; PERESSOTTI, A.; VACCARI, F.P.; ZALDI, A.; ANGELIS, P. de; SCARASCIA-MUGNOZZA, G. “Free-air CO₂ enrichment (FACE) of a poplar plantation: the POPFACE fumigation system” in *New Phytologist*, n.150, 2001., p. 465-476.
- TORRE-NETO, A.; FERRAREZI, R.; RAZERA, D.; SPERANZA, E.; LOPES, W.C; LIMA, T.P.; RABELLO, L. M.; VAZ, C.M.P. “Wireless sensor network for variable rate irrigation in Citrus.” *Proc. 7th Information & Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production*, Montpellier, France, v. 1, 2005. p.18-118.
- WANG, N.W.; ZHANG, N.; WANG, M. “Wireless sensors in agriculture and food industry-Recent development and future perspective” in *Computer and Electronics in Agriculture*, n.50, 2006., p.1-14.
- ZIGBEE Alliance, “ZigBee specification,” ZigBee Alliance, San Ramon, CA, ZigBee Document 053474r17, Version 17, Jan. 2008. 573p.