

# Aplicação de um Sistema de Comunicação Sem Fio com Espalhamento Espectral na Correção do Fator de Potência em Plantas Industriais com Cargas Não Lineares

Ivan S. Gaspar, Jocélio S. de Sá, Rômulo M. Volpato e Dayani A. Guimarães

Instituto Nacional de Telecomunicações - Santa Rita do Sapucaí - MG - Brasil

**Resumo** — Cargas não lineares geram harmônicos de corrente no sistema elétrico de plantas industriais. Simultaneamente estas cargas geralmente contribuem para redução do fator de potência, tornando sua correção necessária. Como é sabido, neste caso a simples instalação de bancos de capacitores pode resultar em fenômenos do tipo ressonância paralelo, que levam a sobretensões na rede elétrica. O método usual para evitar a ressonância paralelo consiste na instalação de filtros para os harmônicos de corrente responsáveis pela mesma. O presente trabalho descreve uma pesquisa em andamento que, utilizando um equipamento de rádio-freqüência para transmissão de dados, permita que a correção do fator de potência possa ser feita de forma adaptativa apenas com o uso de banco de capacitores, ou seja, dispensando o uso de filtros<sup>1</sup>.

**Palavras-Chave** — Correção de fator de potência, espalhamento espectral, controle de harmônicos, comunicação sem fio.

**Abstract** — Non-linear loads generate current harmonics in the electric power system of industrial plants. These loads also contribute to reduce the power factor. As one knows, if capacitors are installed for power factor correction, parallel resonance may occur and this may cause over-voltages in electric power lines. To avoid resonance, harmonic filters are commonly used. This article describes a research work that is being carried out with the purpose of using a data acquisition and control system and a radio-frequency apparatus for adaptively correct the power factor without the need for harmonic filters.

**Index Terms** — Power Factor Correction; Spread Spectrum, Harmonic Control, Wireless Communication.

## I. INTRODUÇÃO

Fábricas de papel e celulose, indústrias siderúrgicas e outras empresas do gênero têm em seu sistema elétrico uma grande quantidade de cargas não lineares, que geram e injetam harmônicos de corrente

na rede de suprimento de energia. Estas cargas também se caracterizam por contribuir com a redução do fator de potência tanto nos barramentos nos quais estão conectadas quanto na instalação como um todo. A instalação de bancos de capacitores, distribuídos nos diversos barramentos da planta é o método clássico para correção do fator de potência. Porém, como se tratam de cargas não lineares, ou seja, que injetam harmônicos de corrente na rede elétrica, o sistema fica sujeito a ocorrência de ressonância paralelo. Geralmente é feito um pré estudo para verificação deste tipo de ocorrência, a partir da topologia do circuito e do conteúdo harmônico das correntes nos diversos pontos da instalação. Este estudo é conhecido como “fluxo de carga harmônico” e determina a ordem e a amplitude dos harmônicos que provocam a ressonância.

A partir daí são previstas as instalações de indutores de bloqueio em série com o banco de capacitores, formando filtros que eliminam os harmônicos de corrente responsáveis pela ressonância. Este é o método usual.

Este trabalho descreve uma pesquisa em andamento, que visa a correção do fator de potência com o uso exclusivo de bancos de capacitores, sem necessidade de filtros, impedindo a ocorrência de ressonância paralelo a partir da escolha correta dos bancos a serem chaveados. Esta escolha é feita com base na análise da topologia do sistema e da medição dos harmônicos, ambos em tempo real.

## II. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

A Fig. 1 mostra uma planta elétrica bastante simples contendo uma subestação principal

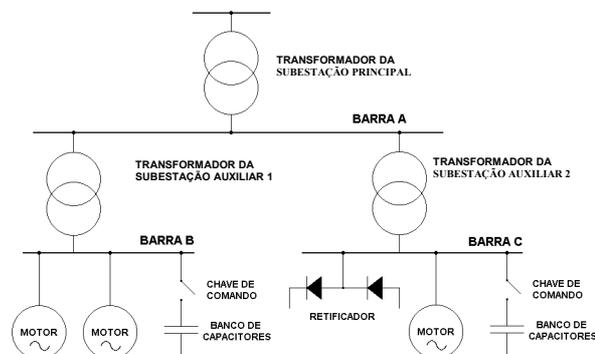


Fig. 1. Planta elétrica composta por uma subestação principal e duas auxiliares.

<sup>1</sup> Uma versão modificada desse artigo, em Inglês, está sendo publicada no Proceedings da VII International Conference on Engineering and Technology Education (INTERTECH 2002).

alimentando duas subestações auxiliares, que por sua vez alimentam cargas lineares e não lineares.

Na Subestação Principal é prevista a instalação de uma central de processamento contendo:

1. A configuração do sistema com todas informações técnicas das barras A, B e C (dados dos transformadores e cabos) e das cargas alimentadas pelas barras B e C.
2. Um programa digital que a partir dos dados mencionados no item anterior e das medições de tensão e corrente das barras e de alimentação das cargas obtenha o circuito equivalente da subestação.
3. Um programa digital, que a partir das medições das correntes que circulam nas barras A, B e C permita a determinação do conteúdo harmônico das mesmas (ordem, fase e amplitude) em tempo real.
4. Um programa digital, que a partir das medições do fator de potência nas barras A, B e C e com base no valor de referência do fator de potência válido para toda instalação, calcule a quantidade de potência reativa a ser injetada no sistema para que o valor de referência seja mantido.
5. Um programa digital que, a partir das informações dos itens anteriores, simule a ligação de bancos de capacitores nas barras B e C para que o valor de referência seja mantido. A partir da topologia atual do circuito, das ordens e valores dos harmônicos de corrente medidos e dos dados dos bancos de capacitores a serem ligados, verifica-se a ocorrência ou não da ressonância paralelo. A simulação é feita até que sejam determinadas as quantidades de bancos de capacitores e respectivos locais, que se ligados não provoquem a ressonância paralelo, corrigindo o fator de potência. Neste instante são fornecidos os comandos de ligação aos bancos escolhidos.

O modelamento através de circuitos equivalentes em cada ponto da planta será baseado em procedimentos já conhecidos [3] - [9].

É muito importante observar que o chaveamento de bancos de capacitores é uma operação eletricamente difícil, pois provoca solicitações severas nos dispositivos de manobras. Desta forma, o programa de comando leva em consideração que o valor de referência do fator de potência refere-se basicamente a uma média horária.

### III. A SITUAÇÃO ATUAL DOS PROGRAMAS DIGITAIS

Conforme pode-se observar e concluir da descrição anterior, a simulação das cargas pelos respectivos circuitos equivalentes, a determinação do conteúdo harmônico da corrente e a definição do banco de capacitores e correspondente representação elétrica equivalente do mesmo, tem por objetivo a verificação da ocorrência ou não de ressonância paralelo.

A seguir descreve-se este processo de verificação. A Fig. 2 mostra uma barra típica, na qual a ligação de

banco de capacitores pode provocar a ressonância paralelo.

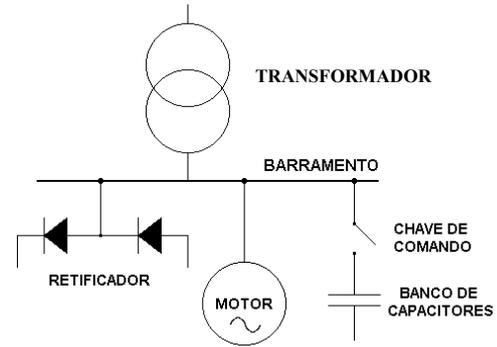


Fig. 2. Barramento de uma planta industrial.

O circuito equivalente ao sistema indicado válido para o harmônico de ordem “n” de corrente está mostrado na Fig. 3.

Este circuito permite a verificação da ocorrência ou não da ressonância paralelo para o harmônico de corrente de ordem n.

No circuito o conversor é simulado por uma fonte de corrente.

A quantidade de circuitos a serem analisados simultaneamente é igual ao número de harmônicos presentes no circuito naquele instante. Por exemplo, se os harmônicos mais importantes são de ordem 5, 7, 11 e 13, devem ser “montados” 4 circuitos, um para cada harmônico.

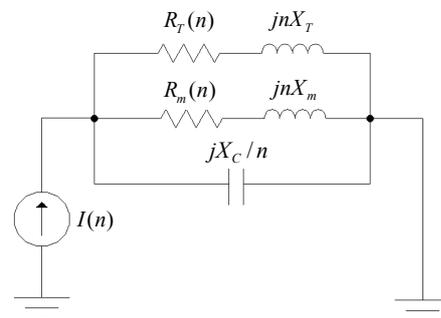


Fig. 3. Circuito equivalente ao barramento.

onde:

$I(n)$ : Valor do harmônico de ordem n.

n: Ordem do harmônico.

$R_T(n)$ : Resistência do circuito equivalente ao transformador calculada na frequência fundamental ( $n=1$ ).

$R_m(n)$ : Resistência do circuito equivalente ao motor corrigida para o harmônico de ordem n.

$X_m$ : Reatância do circuito equivalente ao motor, calculada na frequência fundamental.

$X_C$ : Reatância do circuito equivalente ao capacitor, calculada na frequência fundamental.

Atualmente tem-se:

1. As equações que permitem a obtenção do circuito equivalente em tempo real de cargas mais importantes.

2. O programa digital que permite a obtenção do conteúdo harmônico da corrente em tempo real.

Em fase de elaboração tem-se:

1. O programa digital para obtenção da topologia do circuito e respectivos parâmetros dos circuitos equivalentes.
2. O programa digital para determinação da ressonância paralelo.

**IV – O SISTEMA DE CONTROLE VIA RF**

As medições de tensão e corrente nas barras do sistema de energia e nos pontos de alimentação das cargas serão realizadas por um sistema de aquisição de dados e transmitidas à unidade de processamento via sinais de rádio frequência (RF). O comando de atuação dos bancos de capacitores também será efetuado via RF. A Fig. 4 ilustra a topologia do sistema proposto.

Na estação principal será instalado um computador (PC industrial, por exemplo), onde estarão armazenadas e serão executadas todas as rotinas de controle previstas. Essas rotinas serão responsáveis por controlar os dispositivos de hardware, processar os sinais coletados nos pontos de medida e comandar a atuação dos bancos de capacitores para a correção do fator de potência. A linguagem de programação que está sendo utilizada é o LabVIEW, da National Instruments®. Todos os itens de hardware relacionados com aquisição e transmissão de dados também são de fabricação National Instruments®.

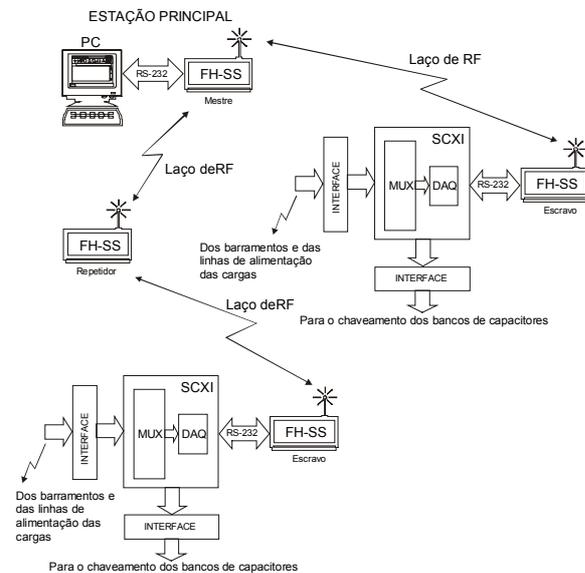


Fig. 4. Topologia do sistema de controle proposto.

Os sinais coletados nos pontos de medida são multiplexados (caso o número de sinais seja maior que o número de entradas de uma placa de aquisição de dados) de forma a compartilhar um único canal das placas de aquisição. Cada par equipamento multiplex e placa de aquisição são montados em um dispositivo chamado SCXI (*Signal Conditioning eXtensions for Instrumentation*). Os dispositivos SCXI são conectados, via interface RS-232, a rádio-modems com espalhamento espectral por saltos em frequência (FH-SS, *Frequency Hopping Spread Spectrum*). A técnica de espalhamento espectral por saltos em

frequência apresenta grande imunidade a interferências [1] e certamente irá viabilizar uma comunicação confiável no ruidoso ambiente da planta industrial. Essa implementação trás ainda consigo uma redução relativa do tempo e dos problemas de instalação decorrentes da implantação de sistemas similares de controle, porém via cabos. Os rádios transmitirão as medidas realizadas na planta para o rádio localizado na estação principal e receberão deste último as informações de atuação para ligamento e desligamento de bancos de capacitores. Em casos onde a distância ou outras condições de propagação do sinal de RF impedirem a comunicação direta do rádio mestre (*master*) com o(s) escravo(s) (*slave*), um repetidor (*repeater*) poderá ser inserido de forma a viabilizar o link.

Em relação à rotina de análise do conteúdo harmônico no sistema de energia da planta industrial, merece destaque em nossa iniciativa o uso de Análise Conjunta nos Domínios do Tempo e da Frequência (*JTFA, Joint Time-Frequency Analysis*) [2], análise esta que permitirá a monitoração precisa da variação do comportamento harmônico da planta. Nosso ponto de partida utilizará uma versão adaptada de um aplicativo de análise desenvolvido pela National Instruments, cujos recursos podem ser visualizados na Fig. 5. O gráfico da parte inferior da Fig. 5 mostra um sinal de 60Hz que, entre os instantes 1 e 4 segundos foi contaminado por harmônicos de primeira, segunda e terceira ordens. No domínio do tempo não é possível perceber essa contaminação e uma análise única no domínio da frequência não permite identificar exatamente as variações espectrais ao longo do tempo. Contudo, essas variações podem ser observadas no gráfico superior da Fig. 5, o espectrograma do sinal analisado. A intensidade das várias componentes espectrais podem ser obtidas do gráfico à direita do espectrograma, a cada instante.

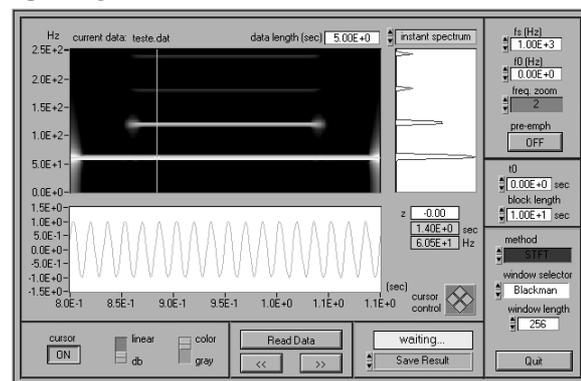


Fig. 5. Ilustração da interface com o usuário do aplicativo de JTFA da National Instruments.

**IV.1 – SINAIS COM ESPALHAMENTO ESPECTRAL**

A técnica de espalhamento espectral há muito tempo tem encontrado aplicações em sistemas de comunicação. Sua primeira utilização se deu em sistemas militares e, posteriormente, em sistemas públicos (como a telefonia celular CDMA, por exemplo). Um sinal com espalhamento espectral (*SS, Spread Spectrum*) é aquele que ocupa uma largura de

faixa muitas vezes superior à necessária, independentemente da largura de faixa do sinal original [1]. Um sinal que ocupa uma largura de faixa muito maior que a taxa de transmissão de informação não configura, necessariamente, um SS, caso este que acontece com algumas modulações com baixa eficiência espectral.

Dentre as principais características da tecnologia Spread Spectrum podem ser citadas:

1. Grande rejeição a interferências propositais ou não;
2. Possibilidade de implementação de múltiplo acesso;
3. Robustez em ambientes com multipercursos de propagação;
4. Baixa probabilidade de interceptação;
5. Sigilo na comunicação;

Existem duas formas básicas de se gerar um sinal SS: o espalhamento por seqüência direta e o espalhamento por saltos em freqüência. O espalhamento espectral por seqüência direta, DS-SS (*Direct Sequence Spread Spectrum*), é uma técnica na qual a seqüência de símbolos de informação bipolar  $\{\pm 1\}$  é multiplicada por uma seqüência pseudo aleatória (PN), também bipolar  $\{\pm 1\}$  ou, equivalentemente, a seqüência de símbolos de informação unipolar  $\{0,1\}$  é somada (módulo 2) a uma seqüência PN também unipolar  $\{0,1\}$ . O resultado de uma das operações anteriores modula uma portadora senoidal, normalmente em fase (PSK) [10]. A seqüência PN possui taxa muitas vezes superior à taxa de bits originais, de tal forma que o espectro resultante possua uma largura de faixa correspondentemente elevada. A Fig. 6 ilustra uma possível implementação do processo.

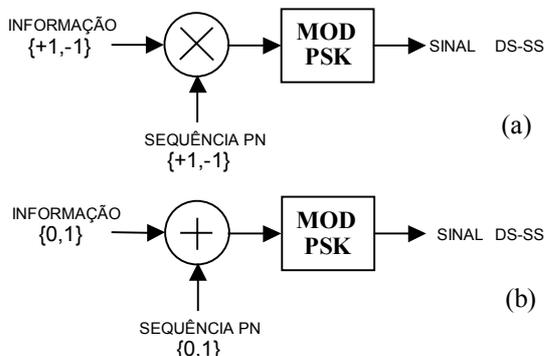


Fig. 6. Ilustração do processo de geração de um sinal DS-SS (a) por multiplicação e (b) por soma módulo 2.

O espalhamento espectral por saltos em freqüência, FH-SS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) é uma técnica na qual a seqüência de símbolos de informação bipolar modula, normalmente em freqüência (FSK) [10], uma portadora que possui sua freqüência variável em função de uma seqüência pseudo aleatória. Se a seqüência PN possui taxa muitas vezes superior à taxa de bits de informação, tem-se a implementação de um sistema FH-SS Rápido (*Fast Frequency Hopping Spread Spectrum*). Se, ao contrário, a seqüência PN possui taxa inferior à taxa de bits originais, tem-se a implementação do sistema FH-SS Lento (*Slow Frequency Hopping Spread*

*Spectrum*). A Fig. 7 ilustra uma possível implementação do processo.

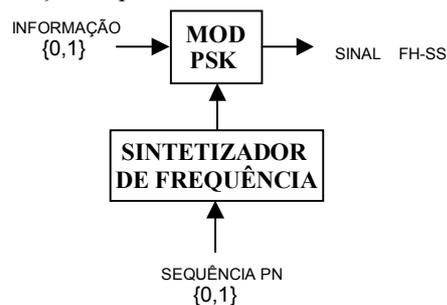


Fig. 7. Ilustração do processo de geração de um sinal FH-SS.

## IV.2 – DESEMPENHO DOS RÁDIO-MODEMS FH-SS

O Capítulo 6 de [1] apresenta uma extensa abordagem sobre o desempenho de sistemas com espalhamento espectral DS-SS e FH-SS em ambientes com interferência. Os principais tipos de sinais interferentes analisados na citada referência são:

1. Ruído interferente de bloqueio (*barrage noise jammer*);
2. Ruído interferente em banda parcial (*partial-band noise jammer*);
3. Interferente com tom único (*tone jammer*);
4. Interferente com múltiplos tons (*multiple tone jammer*);
5. Interferente com ruído pulsante (*pulsed noise jammer*);
6. Interferente seguidor ou repetidor (*follower or repeater jammer*); e
7. Interferente inteligente (*smart jammer*).

Em se tratando de sistemas FH-SS, as duas últimas formas de interferência, apesar de não serem reproduzidas no ambiente industrial, são consideradas as mais eficazes em degradar a comunicação. Na primeira delas um sinal interferente de faixa estreita utiliza a mesma seqüência de saltos utilizada pelo sistema de comunicação FH-SS. Na segunda o sinal interferente se adapta às características do sinal transmitido pelo sistema de comunicação de forma a maximizar a degradação na comunicação.

Dentre os quatro primeiros tipos de sinais interferentes anteriormente citados, o ruído interferente em banda parcial é considerado o mais nocivo a sistemas FH-SS [1].

O ruído interferente em banda parcial é implementado filtrando-se uma fonte de ruído branco. O formato retangular do espectro interferente (não realizável) leva, teoricamente, ao mesmo desempenho do sistema de comunicação analisado que uma densidade espectral de potência com formato Gaussiano (realizável) [1]. Existe ainda uma relação ótima entre a largura de banda do sinal interferente e a largura de banda total do sinal FH-SS, que maximiza a degradação do sistema de comunicação. Esta relação é função da relação entre a potência do sinal e a potência interferente médias.

A Fig. 8 ilustra o espectro do sinal FH-SS do rádio-modem utilizado (um único salto), contaminado

por um ruído interferente com espectro Gaussiano. Esse ruído interferente foi gerado com o software WinIQSim™ desenvolvido pela ROHDE & SCHWARZ, sintetizado pelo equipamento SMIQ 04B de fabricação ROHDE & SCHWARZ, e injetado entre dois rádio-modems, em um dos links. O eixo horizontal do gráfico mostrado na Fig. 8 abrange aproximadamente todo o espectro disponível do sinal FH-SS utilizado.

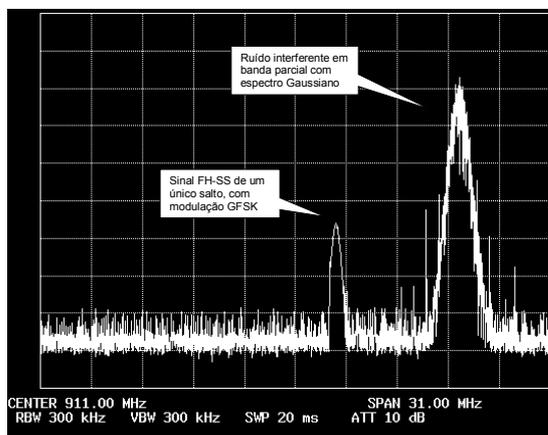


Fig. 8. Espectro do sinal FH-SS contaminado com ruído de banda parcial.

Uma medida de taxa de erro de bit foi efetuada e demonstrou desempenho superior àquele teoricamente estabelecido em [1] para este tipo de interferência. Esta melhoria deve-se à utilização de um processo de detecção de erros no receptor, via CRC (*Cyclic Redundancy Check*) e a um algoritmo de repetição. Em caso de existência de forte interferência em uma determinada faixa de frequências, o pacote de bits transmitido nessa faixa é repetido no próximo salto. Isto certamente reduz o *throughput*, mas também reduz a taxa de erro de bit. Essa característica do rádio-modem utilizado na proposta desse artigo aumenta em muito as chances de sucesso na comunicação do ambiente industrial, não sofrendo significativa perda de eficiência por redução do *throughput*, pois a taxa de atualização do *status* do sistema de controle é relativamente lenta (praticamente de hora em hora).

## V – CONCLUSÃO

O baixo fator de potência em plantas industriais pode acarretar sobrecarga em transformadores, níveis inadmissíveis de quedas de tensão, penalização por parte da concessionária de energia elétrica, dentre outros problemas. O método usual de correção de fator de potência utiliza bancos de capacitores em pontos estratégicos da instalação. Com o crescimento de cargas não lineares na planta, a simples instalação dos bancos pode resultar em problemas mais sérios, como por exemplo sobretensões provocadas por ressonância paralela. O trabalho de pesquisa apresentado nesse artigo tem por objetivo desenvolver um software adequado a instalações onde existam cargas não lineares e portanto a possibilidade de ocorrência de ressonância paralela. Atualmente, se existe a possibilidade de ressonância paralela em um ponto de

correção do fator de potência, são instalados indutores de bloqueio em série com o banco de capacitores. O software a ser desenvolvido deverá ser instalado em uma unidade central de processamento que em tempo real receberá de cada ponto do sistema informações tais como: fator de potência; conteúdo harmônico da corrente; topologia do circuito equivalente; quantidade de capacitores ligados ou desligados. Caso ocorra a necessidade de correção do fator de potência da instalação, o software decidirá qual o ponto mais conveniente e que não leve à condição de ressonância paralela. Desta forma a instalação de indutores torna-se desnecessária. O projeto utilizará módulos de aquisição de dados e geração de sinais que serão instalados em pontos estratégicos da planta para realizar a coleta de dados e comandos de atuação para ligamento e desligamento de bancos de capacitores. Esses módulos transmitirão as informações coletadas e receberão as informações de atuação através de sinais de rádio com técnica de espalhamento espectral. Essa técnica apresenta grande imunidade a interferências e poderá viabilizar a comunicação confiável no ruidoso ambiente da planta industrial. Os sinais de campo recebidos pela estação serão processados e como resultado teremos a execução de simulações do comportamento da rede com a inserção/retirada de bancos de capacitores segundo o processo de otimização anteriormente descrito, antes que o comando de inserção e/ou retirada desses bancos seja realmente efetuado. Essa implementação trás ainda consigo uma redução relativa do tempo e dos problemas de instalação decorrentes da implantação de sistemas similares de controle centralizados, porém via cabos.

Nossa iniciativa começou como um projeto de iniciação científica, mas já está tomando vulto de forma a ser objeto de estudo de um trabalho de mestrado e, posteriormente, de doutorado. E felizmente as implementações iniciais, os testes do sistema de aquisição remota de dados, a transmissão desses dados via RF e os testes dos rádio-modems têm nos motivado e nos dado a certeza de estarmos a cada dia mais próximos do sucesso de nossa empreitada. Destacamos também a grande importância desse trabalho em mostrar uma promissora junção de técnicas de comunicação sem fio a aplicações industriais, formando um par que por muitos é considerado promissor.

## REFERÊNCIAS

- [1] R. L. Peterson, R. E. Ziemer and D. E. Borth, "Introduction to Spread Spectrum Communications", Prentice Hall: New Jersey, 1995.
- [2] S. Qian and C. Dapang, "Joint Time-Frequency Analysis - Methods and Applications", Prentice Hall: New Jersey, 1996.
- [3] C. K. Duffey and R. P. Stratford, "Update of harmonic standard IEEE-519: IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electric power systems",

- IEEE Transactions on Industry Applications*: Nov.-Dec. 1989, Vol. 25 6, pp. 1025 -1034.
- [4] IEEE Std 519, “*IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems*”, Published: 12 April 1993.
- [5] M. K. Nalbant, “Power Factor Calculations and Measurements”, *Applied Power Electronics Conference and Exposition*, 1990. APEC '90, *Fifth Annual Conference Proceedings 1990.*, 1990, pp. 543 -552.
- [6] R. G. Ellis, “Harmonic Analysis of Industrial Power Systems”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 32, No. 2, March/April 1996.
- [7] N. D. Rao, S. I. Sporea and A. Sawma, “Analysis of Resonance Problems and Harmonic Filter Design in Power Factor Corrections Capacitor Applications”, *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Vol. 1, pp. 293-296, 1998.
- [8] J. H. C. Pretorius, J. D. van Wyk and P.H. Swart, “An evaluation of some alternative methods of power resolution in a large industrial plant”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 15 3, pp. 1052-1059, July 2000.
- [9] J. R. Ramos, A. Marani, A. Cavallini and M. Loggini, “A simplified harmonic simulation procedure”, *IEEE Conference Record of the Industry Applications Society Annual Meeting*, Vol. 2, pp. 1594-1600, 1993.
- [10] J. G. Proakis, “*Digital Communications*”, 3rd edition: McGraw Hill. New York, 1995.

#### SOBRE OS AUTORES

**Ivan Simões Gaspar** nasceu em Itajubá, MG, em 22 de novembro de 1979. Em 1998 formou-se como Técnico Eletrônico pela ETE “FMC”. É estudante do Inatel e monitor do laboratório de comunicações digitais.

**Jocélio Souza de Sá** nasceu em Itajubá MG, em março de 1947. Formou-se em Engenheiro Eletricista pela EFEI - Escola Federal de Engenharia de Itajubá em 1969; tornou-se Mestre em Engenharia Elétrica em 1982 também pela EFEI; em 1989 obteve o Título de Doutor em Engenharia Elétrica na área de automação pela UNICAMP - Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade de Campinas. Possui vários cursos de especialização entre eles o de especialização de maio/1970 a novembro/1972 na Siemens Aktiengesellschaft na Alemanha abordando os seguintes assuntos (Eletrotécnica para Engenharia Naval, Ferrovias, Equipamentos de Baixa Tensão e Alta Tensão, Retificadores, Motores de Tração, Grupos Diesel de emergência, Equipamentos didáticos, Grupos No-break, Comando e controle de

sistemas de ventilação, Controle e regulação de motores de CC e Pontes rolantes). Prestou serviços de consultoria para várias empresas, dentre as quais a Companhia Vale do Rio Doce em Vitória, Centrais Elétricas de Minas Gerais - CEMIG, Eletropaulo e Siemens. Entre as experiências profissionais tem-se: Engenheiro da Siemens e Diretor Técnico da GSI - Engenharia e Comércio Ltda. Serviços realizados como docente: Professor Titular da Escola de Engenharia de Itajubá - EFEI de 1968 a 1991; Professor Titular do Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL desde de 1977, atualmente é Coordenador do Convênio Instituto de Pesquisas Eldorado IPE.

**E-mail:** [jocelio@inatel.br](mailto:jocelio@inatel.br)

**Rômulo Mota Volpato** nasceu em Santa Rita do Sapucaí, MG, em Janeiro de 1963. Em 1982 e 1990, obteve, respectivamente os títulos de Técnico em Eletrônica pela Escola Técnica Eletrônica - ETE “FMC” de Santa Rita do Sapucaí, MG, Engenheiro Eletricista pelo Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL. Atuou como Técnico em eletrônica de 1881 a 1984 na Companhia Vale do Rio Doce em Comutação telefônica e Transmissão. Atuou como Engenheiro Responsável pela manutenção Eletroeletrônica da Escola Técnica de Eletrônica – ETE “FMC” de 1990 ate 1997. De 1997 até os dias atuais é responsável pelo Laboratório de Calibração e Ensaio do INATEL, atuando em testes de aparelhos telefônicos, Radiocomunicações e Calibração de equipamentos. Encontra-se em fase de elaboração de tese de Mestrado na EFEI.

**E-mail:** [romulo@inatel.br](mailto:romulo@inatel.br)

**Dayani Adionel Guimarães** nasceu em Carrancas, MG, em março de 1969. Em 1987, 1994, 1998 obteve os títulos de Técnico em Eletrônica, Engenheiro Eletricista, Especialista em Administração com ênfase em Gerência de RH e Mestre em Engenharia Elétrica, pela ETE “FMC”, INATEL, FAI e UNICAMP, respectivamente. Em sua formação profissional desenvolveu sensores e equipamentos para instrumentação industrial e controle e também foi Supervisor de Produção e Supervisor de Engenharia de Produtos na SENSE Sensores e Instrumentos, de 1988 a 1993. Desde de janeiro de 1995, é Professor do INATEL, onde também é responsável pela estrutura que dá suporte às atividades de ensino prático dos departamentos de telecomunicações e eletrônica. Encontra-se em fase de elaboração de tese de Doutorado na UNICAMP. Suas pesquisas incluem aspectos gerais das comunicações móveis, especificamente sistemas CDMA Multiportadoras e esquemas de codificação para canais com desvanecimento.

**E-mail:** [dayani@inatel.br](mailto:dayani@inatel.br)