



**GRUPO XVI  
GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS  
ELÉTRICOS – GTL**

**REDES SEM FIOS(WIRELESS) E PROTOCOLOS PARA COMUNICAÇÃO DE IEDS DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO,  
PROTEÇÃO, COMANDO, CONTROLE E SUPERVISÃO (MPCCS) EM USINAS E SUBESTAÇÕES DE 500/230KV**

**REGINALDO PEREIRA LEAL - CHESF**

**RESUMO**

A comunicação sem fio (wireless communication) tem revolucionado as redes de computadores. Em particular as redes locais sem fio (Local Wireless Networks) permitem a implantação de uma rede de computadores de uma forma rápida e com baixo custo, especialmente em locais onde não existe (ou é inviável) a infra-estrutura de cabeamento de rede. Redes locais sem fio usualmente utilizam uma estação base de controle (base station) que coordena o acesso dos dispositivos sem fio. Este tipo de rede sem fio é denominada rede sem fio com infra-estrutura. O acesso à rede é garantido devido a intervenção da estação base. A segunda forma de redes locais sem fio não exige estações bases e, portanto, os dispositivos devem se coordenar entre si. Este tipo de rede é denominada rede ad hoc sem fio. Os dispositivos também podem ser móveis, tornando os problemas de comunicação em modo ad hoc muito mais complicados do que em uma rede com infra-estrutura. Problemas como o roteamento de pacotes fica mais difícil porque, a princípio, qualquer dispositivo não conhece a localização dos demais dispositivos na rede, sendo necessário algum mecanismo de roteamento sob-demanda ou pró-ativo.

**PALAVRAS-CHAVE**

Comunicação Sem Fio, Wireless, MPCCS, Rede Ad Hoc, IED

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Seja no modo infra-estrutura ou ad hoc, as redes locais sem fio podem ser aplicadas em subestações e usinas, eliminando a necessidade de cabeamento de rede até os pontos de monitoração e instalação de IEDs. No entanto, devido as características do ambiente eletromagnético das subestações, torna-se necessário definir quais os equipamentos e aplicações de comando, controle e proteção que suportam a tecnologia de comunicação sem fio e os protocolos com segurança e confiabilidade adequados. Um exemplo de aplicação que pode suportar a comunicação sem fio é a oscilografia face as suas características. Outras aplicações podem potencialmente se beneficiar da comunicação sem fio, desde que medidas cabíveis (e.g., eliminação de fonte de interferência, aterramento, filtros, e blindagem) sejam tomadas para eliminar ou atenuar a interferência eletromagnética e o emprego de protocolos confiáveis e seguros.

Inicialmente, pretendemos fazer uma análise criteriosa do ambiente onde se pretende aplicar as redes de comunicação sem fio. Levando-se em consideração os fatores de segurança, confiabilidade e proteção, será possível indicar soluções adequadas para o problema. Dado um conjunto de critérios a serem satisfeitos, pode-se propor alternativas (e.g., tecnologias e protocolos) que satisfazem os requisitos. Como justificado anteriormente, mesmo considerando as condições adversas de uma subestação ou usina, existem alternativas tecnológicas que permitem mitigar ou até eliminar fontes de interferência. Quando isto não for possível em termos tecnológicos, existem as alternativas a nível de arquitetura (e.g., protocolos) que permitem desviar de pontos de concentração de interferência (e.g., transformadores) utilizando redes sem fio multi-hop (e.g., modo ad hoc).

A partir dos resultados da análise inicial, pretendemos identificar e caracterizar as soluções para realizar a comunicação sem fio entre os equipamentos IEDs de MPCCS nas cabanas de relés, casa de comando e pátio da subestação. A fim de auxiliar no processo de desenvolvimento de soluções, proporemos um modelo de sistema que reproduza as principais características de uma subestação. Os nós sem fio serão baseados em sistemas do tipo Single Board Computers (SBC - trata-se de um sistema completo implementado em uma única placa, com suporte a comunicação sem fio) que apresentam baixo custo de implantação. Alguns equipamentos SBC incorporam interfaces do tipo Integrated Digital Enhanced Network (iDEN) que permitem o acesso a rede celular.

Desta forma, tem-se um canal alternativo de comunicação em caso de falha de comunicação via WiFi (por exemplo, caso o sistema não consiga enviar uma notificação via a rede WiFi, é possível notificar o responsável via telefonia celular).

## 2.0 - REDES SEM FIO PARA COMANDO, CONTROLE E PROTEÇÃO

A tecnologia de redes sem fios teve, tem e terá um profundo impacto nas arquiteturas de comunicação industrial. Em primeiro lugar, é bastante atrativo conectar IEDs a uma rede sem utilizar cabos e fios, sejam metálicos ou ópticos, e toda a infra-estrutura necessária para a proteção eletromecânica desses cabos e fios. Empregar redes sem fios significa que a instalação de novos IEDs em uma rede sem fio existente pode ser feita de modo muito mais eficiente e com menor custo. Porém, não é somente em reduzir custos e aumentar a flexibilidade que redes sem fio são importantes. Algumas aplicações necessitam de conexões sem fio por natureza. Por exemplo, quando são exigidos mobilidade para algum dispositivo. Além de custos menores, as redes sem fio possibilitam uma auto-reconfiguração de um sistema sem qualquer re-cabeamento.

### 2.1 Redes Sem Fio - Limitações em Tempo Real

Embora apresente vantagens econômicas e estruturais, algumas limitações da tecnologia de redes sem fio precisam ser resolvidas para aplicações em subestações e usinas, especialmente em tempo real. Comunicações sem fio são muito mais sujeitas a perdas. O sinal diminui exponencialmente com a distância. Comunicação sem fio não aceita comunicações 'full-duplex', desde que um dispositivo que está transmitindo, não é capaz de receber nos mesmos canais. A probabilidade de erros no canal é maior uma vez que as ondas de comunicação sem fio podem ser refletidas ou refratadas e chegarem no receptor por diferentes caminhos e diferentes sinais que interferem uns com os outros. Os 'overheads' da camada física são maiores do que as redes com fio devido as seqüências extras de treinamento necessárias para estabelecer uma comunicação.

Também existem os problemas de segurança, porque as redes sem fio podem ser congestionadas por outros equipamentos ou por ações criminosas intencionais. O problema real é que as comunicações sem fio (ao contrário das comunicações com fio) não estão confinadas em um meio condutivo que pode ser visto e facilmente controlado. Os sinais de uma rede sem fio podem ser interceptados em lugares não tão óbvios.

### 2.2 Redes Sem Fio - Tecnologias

Vários dos protocolos empregados nas arquiteturas de redes locais com fio são baseados no controle de acesso ao meio por esquemas de detecção de colisões, como é o caso de Ethernet, empregado nas arquiteturas de MPCC. Quando empregando redes sem fio em barramentos de campo, outra questão deve ser considerada: as mensagens de barramentos de campo são geralmente curtas. Como redes sem fio precisam de mais redundância e preâmbulos para seqüências de treinamento, então as redes sem fio são mais propensas a enviar mensagens mais longas e sem restrições de duração. Assim, a eficiência da largura de banda diminui quando se trata com tráfego 'barramentos de campo típico.

Atualmente estão disponíveis ou em desenvolvimento várias soluções tecnológicas de redes sem fio para redes locais(Loacal Area Networks-LAN), redes pessoais(Personal Area Networks-PAN) e redes metropolitanas(Wide Area Networks-WAN). PAN alcança tipicamente menos de alguns metros, LAN alcança de dezenas a centenas de metros e o alcance de WAN é da ordem de quilômetros. As tecnologias mais importantes e que apresentam potencial para atender aos requisitos de aplicações em medição, comando, controle e supervisão de subestações e usinas são apresentadas a seguir.

#### 2.2.1 WiMax

WiMAX é a WAN sem fio que está sendo padronizada pelo Grupo IEEE 801.16. WiMAX emprega microondas que podem fazer transmissões ponto para multiponto. WiMAX tem um grande alcance de transmissão, até 50Km, mas pode ser usada também para a última milha em comunicações de banda larga. Combinando múltiplos canais IEEE 802.16 para uma transmissão simples poderia se obter largura de banda até 350Mbps. Originalmente, a faixa de 10 a 66 GHz é utilizada mas o padrão IEEE 801.16<sup>a</sup> estabelece que se pode operar na faixa licenciada e não licenciada de 2 até 11 GHz. O interesse por estas bandas é que o sinal pode penetrar paredes e a maioria dos obstáculos não-metálicos e não precisam de linha de visada. WiMAX parece ser atrativos para os serviços de telecomunicações que podem empregar enlaces WiMAX para acessar locais distantes com redes de sensores sem fio e que usam uma distribuição de sinal em WiFi.

Para medição, proteção e controle, WiMAX pode não ter um impacto forte nas instalações e aplicações locais mas podem ser bastante interessante sua aplicação para acessar dados em estações de aquisição de dados remotas com difícil acesso por outros meios físicos. WiMAX pode ser uma tecnologia sem fio habilitada para aplicações remotas como telemedição, telesupervisão e teleoperação

### 2.2.2 Wi-Fi

Os padrões Wi-Fi são baseados nas especificações IEEE 802.11. As implementações mais comuns suportam 11Mbps(802.11b) ou 54Mbps(802.11g) com alcance típicos de 30m em interiores, e 90m em exteriores.

Wi-Fi usa a faixa de 2,4GHz não-licenciada, então está sujeita a fortes interferências de equipamentos e dispositivos que dividem e usam esta banda, assim como de satélites, fornos de microondas, telefones sem fio. A banda de 5GHz da implementação 802.11a sofre menos interferências porém tem mais dificuldades para se propagar através de paredes. Espera-se que o padrão 802.11n cuja meta é aumentar a taxa de transmissão e o alcance, esteja disponível brevemente. O padrão 802.11e objetiva implementar a funcionalidade de qualidade de serviço e fornece um acesso ao meio determinístico.

Quanto às aplicações em MPCC, os dispositivos Wi-Fi tem um consumo de potência que, em alguns casos, não são adequados para os requisitos de redes de sensores e atuadores. Contudo, Wi-Fi é uma tecnologia madura e promissora para integração vertical nos campos da automação.

### 2.2.3 Bluetooth

Bluetooth é uma rede sem fio PAN. É um conjunto de protocolos com a camada física baseada no padrão IEEE 802.15.1 e opera na banda não-licenciada de 2,4GHz. Bluetooth requer menos potencia que Wi-Fi, mas a área coberta e taxa de dados são também menores. Bluetooth 2.0 suporta taxas de dados de até 2,1Mbps com um alcance que depende da classe de potencia do equipamento. Nas implementações mais comuns, o alcance pode ser igual a 1m ou 10m dependendo da classe do produto.

Para aplicações em sistemas digitais de MPCC, Bluetooth parece ser adequado para substituir cabos seriais para configurações e empregados juntamente com um dispositivo de IHM(Interface Humano Máquina) para monitorar e verificar, e equipamentos de manutenção e diagnóstico. Redes de sensores baseadas em Bluetooth não são aplicáveis devido aos requisitos de potência.

Outras tecnologias, como ZigBee, são disponíveis e fornecem menor custo e soluções de menor potencia(embora em taxas de dados muito menores) que são mais adequadas para redes de sensores.

### 2.2.4 ZigBee

ZigBee é outro PAN sem fio. Ele é um conjunto de protocolos com a camada física baseada no padrão IEEE 802.15.4. Ele opera em frequências severas, incluindo a faixa de 2,4GHz usada pela maioria dos dispositivos Wi-Fi e Bluetooth. ZigBee tem um alcance comparável ou levemente maior, 10 a 100m, mas uma taxa de dados menor, 20 a 250Kbps. As principais vantagens de ZigBee são baixo consumo de potência e auto-reconfiguração da rede.

Os dispositivos ZigBee são capazes de permanecerem inativos a maior parte do tempo. O consumo de potencia é reduzido, fazendo com que um dispositivo opere com uma bateria simples por um longo período. O padrão pode operar com arquiteturas de rede em estrela ou malha. No último caso, ele permite que a área de cobertura seja ampliada quando novos nós são acrescentados.

ZigBee é uma nova tecnologia e não é tão madura quanto Wi-Fi e Bluetooth, mas preenche os requisitos de baixa potencia e baixo custo, sendo uma tecnologia promissora para redes de sensores e atuadores.

### 2.2.5 IrDA

IrDA é uma tecnologia PAN onde todos os dados são transmitidos por modulação de luz infra-vermelha. Este protocolo teve um começo promissor e ganhou alguma popularidade. Atualmente, laptops, palmtops o telefones celulares oferecem comunicação IrDA na configuração básica. As taxa de dados de 1 a 2Mbps são disponíveis em

um alcance de 1m. Contudo, esta solução nunca obteve o suporte necessário e parece em decadência pois requer linha de visada desimpedida e em ângulo específico.

### 2.2.6 UWB

UWB(Ultra-Widwband) é uma promissora solução para PANs. É uma tecnologia onde a comunicação é enviada por curtos pulsos de ondas eletromagnéticas, em lugar da usual modulação de ondas portadoras senoidais. UWB pode obter taxas de até 500Mbps em um alcance de 2m ou 110Mbps em um alcance de 10m, operando na mesma banda que outros sistemas de comunicação sem interferências significativas. A banda ocupada é muito larga (500MHz ou 20% da frequência central) mas o hardware consome alguns mW de potencia. Atualmente, existem dois padrões UWB competindo: Cordless-USB da Freescale e Wireless USB da WiMedia Alliance.

Para automação, parece existir um grande campo de aplicações desta tecnologia. UWB pode ser uma solução para problemas de controle em malha fechada sem fio, desde que atendem os requisitos de pequeno 'jitter' e latência do sinal.

### 2.2.7 RFID

Identificação por Rádio Frequências (Radio Frequency Identification – RFID) é uma tecnologia PAN para transmissão sem fio de identificação de um dispositivo. O principal objetivo é substituir os rótulos de código de barras. Rótulos passivos RFID são alimentados por sinais de microondas que eles recebem através da antena. Eles respondem com uma seqüência de bits que definem a identificação do dispositivo. Comparado com os rótulos de códigos de barra, RFID apresenta a vantagem de não necessitar de linha de visada, não ser limitado a dados estáticos e possuir um alcance de leitura maior. Isto torna RFID o dispositivo ideal para rastreabilidade de produtos. Porém apresentam um custo maior, embora rótulos de RFID não custem mais que alguns centavos. RFID usa várias faixas de frequência de 125KHz a 2,5GHz, mas existem vários padrões balizando a evolução desta tecnologia.

O uso em automação é muito promissor desde rastreamento de produtos e equipamentos até controle de almoxarifados. Embarcados dentro dos equipamentos de uma subestação, ou em partes destes equipamentos, podem permanecer por longo tempo e, quando solicitado, sempre responder pela identificação do equipamento.

## 3.0 - ARQUITETURA SEM FIO

Nesta secção, apresentaremos uma visão da arquitetura sem fio. O sistema consiste de uma rede de IEDs e UAs comunicando-se com um centro de controle empregando enlaces de RF(rádio frequência) padrões. O cenário básico é mostrado na Figura 1. Aqui D representa os IEDs e A representa a UAs. O cenário considerado é uma rede modo infra-estrutura. Nesta aplicação, os IEDs de uma subestação são estacionários e tem um enlace sem fio fixo. Enlaces de comunicação sem fio fixos são mais confiáveis que enlaces móveis, que tem problemas inerentes como perdas de conexão, taxa de dados variáveis. Enlaces fixos ajudam a garantir uma determinada performance em termos de taxa de dados, atrasos médios, etc. que são essenciais em aplicações de comando, controle e proteção. Assim, arquiteturas com redes modo infra-estrutura(redes sem fio fixas) são mais adequadas para estas aplicações.

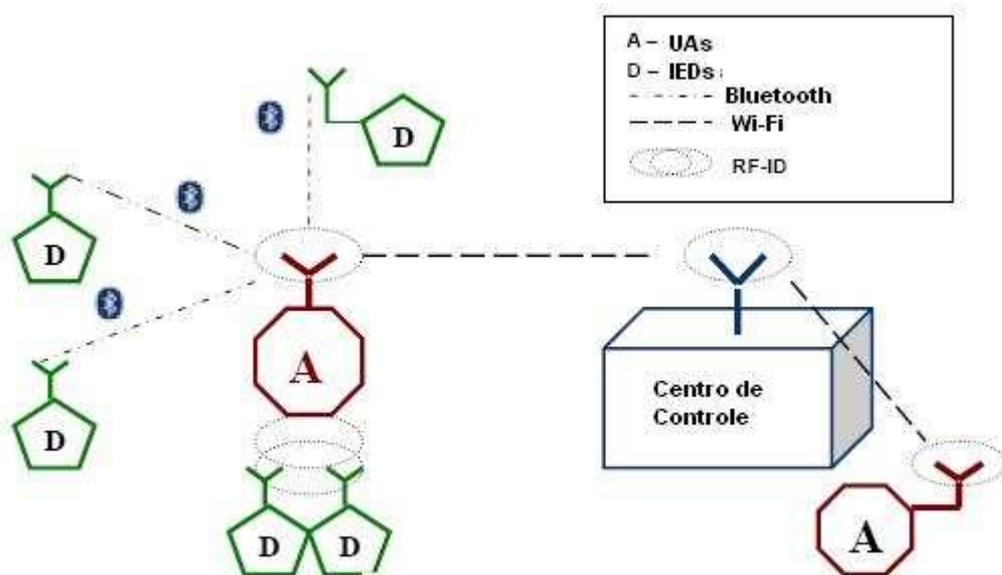


Figura 1 – Arquitetura

### 3.1 Características da Arquitetura

As características da arquitetura proposta contemplam:

1. Reconfiguração: o Centro de Controle pode ser capaz de atualizar o firmware do sistema em tempo real.
2. Plug-n-Pay: dependendo da necessidade da aplicação, diferentes infra-estruturas e configurações podem ser fornecidas rapidamente.
3. Auto-identificação: necessária para sistemas com alto volume de dados.
4. Auto-calibração: IEDs podem medir dados e se auto-calibrar sem intervenção.
5. Conectividade sem fio: comunicação bi-direcional em enlace sem fio.
6. Baixo custo de instalação e manutenção: nenhum cabo e infra-estrutura são necessárias.

### 4.0 - CONCLUSÃO

Neste trabalho vimos as soluções e tecnologias sem fio que estão disponíveis e analisamos seus impactos em redes sem fio para medição, comando, controle e proteção. Podemos concluir que Wi-Fi apresenta dispositivos com consumo de potência que podem limitar suas aplicações porém são adequados para integração vertical. Por outro lado, Bluetooth apresenta menor consumo de potência e alcance menor. Com menor alcance, Bluetooth pode acomodar mais dispositivos na mesma área, fazendo melhor uso da largura de banda disponível. O mesmo argumento aplica-se a ZigBee que tem baixo consumo de potência. Várias soluções usam a mesma faixa de frequência, pública, tipicamente, não licenciada, a faixa de 2,5GHz.

Em conclusão, podemos dizer que ainda existe certa reserva sobre redes sem fio em subestações. Contudo, apesar de algumas limitações, várias vantagens das redes sem fio podem fornecer inovadores serviços e soluções para medição, comando, controle e proteção de subestações.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Cardeira, C., Mammeri Z., "A Schedulability Analysis of Tasks and Network Traffic in Distributed Real-Time Systems", Measurement, The Journal of the International Measurement Confederation, nº 15, 1995, pp. 71-83.
- (2) Colandairaj, J.; Scanlon, W.; Irwin, G.; "Under wireless networked control systems through simulation", IEE Computing & Control Engineering, April, May 2005, pp26-31.
- (3) R.J. Fontana, "Recent System Applications of Short-Pulse Ultra-Wideband (UWB) Technology", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 52, Issue 9, Part 1, Sept. 2004, pp. 2087-2104.
- (4) T201 Wi-Fi tag: Quick setup & low cost deployment over standard Wi-Fi networks, Ekahau - Innovation Through Location, [http:// www.ekahau.com](http://www.ekahau.com)

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Reginaldo Pereira Leal

Nascido em Campina Grande, PB em 11 de maio de 1953.

Graduação (1978) em Engenharia Elétrica: Universidade Federal da Paraíba – Campina Grande

Empresa: CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, desde 1983

Gerente da Divisão de Suporte para Sistemas de MPCC e Comunicações Internas de Usinas e Subestações  
Departamento de Sistemas de Controle