

## Rede de Sensores Wireless para Predição de Manutenção Preventiva em Ramais de Distribuição de Energia Elétrica

Rogério Pauli<sup>1</sup>, Lucimara D.P Friedrich<sup>1</sup>, Rinaldo J. Coelho<sup>1</sup>, Claiton P. Colvero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colégio Técnico Industrial de Santa Maria (CTISM)  
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Av. Roraima, 1000 - Camobi - Santa Maria - RS - Brasil

{rogeriopauli, tec\_luci, claiton}@redes.ufsm.br, cassinocoelho@gmail.com

**Abstract.** *This work was developed for providing an effective and automatized prediction tool for prevention fault in nodes of electrical power distribution. We are using a wireless network sensors based on Zigbee technology. This tool is being used for logging the electrical power distribution outages, called temporary fault, and it use this information to provide statistical data for implement a more efficient preventive maintenance.*

**Resumo.** *Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de fornecer uma ferramenta de predição efetiva e automatizada de falhas em ramais de redes de distribuição de energia elétrica. Através da utilização de uma rede de sensores com comunicação sem fio, baseada na tecnologia Zigbee, esta ferramenta está sendo utilizada para mapear as falhas da rede elétrica denominadas temporárias, e a partir destas informações fornecer dados estatísticos para a realização de manutenções preventivas mais eficientes.*

### 1. Introdução

Com o avanço constante dos padrões de qualidade dos serviços oferecidos em diversas áreas de atuação e as diferentes ofertas novas oriundas da abertura do mercado, as empresas de distribuição elétrica também necessitaram de uma forte adaptação na política de relacionamento com seus clientes. Estas companhias, que atuam com a meta no conforto e bem-estar dos seus clientes, buscam continuamente inovações tecnológicas para aprimorar cada vez mais seus serviços (canais de relacionamento), seja na manutenção ou na expansão do sistema elétrico para fornecer energia elétrica com qualidade e segurança.

Embora a modernização das redes de distribuição de energia elétrica aumente consideravelmente a confiabilidade e segurança das operações, elas continuam suscetíveis, geralmente em escala menor, a falhas que culminam na falta de energia por determinados períodos de tempo a diversos clientes. Estas falhas podem ser classificadas em diferentes aspectos, como duração, frequência, reincidência, gravidade, área atingida, ramais, etc.

As empresas devem seguir algumas normas estabelecidas pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) que regulariza os índices de qualidade de fornecimento a serem entregues as unidades consumidoras. Com relação a estes índices, o desenvolvimento de novos projetos e técnicas que viabilizam minimizar os mesmos, vem sendo cada vez mais

debatidos e estudados, com o principal objetivo na tentativa de criação de novas técnicas de desempenho bem como a substituição/introdução de novos equipamentos. Falhas na rede de distribuição de energia podem ser ocasionadas por diversos fatores diferentes, principalmente agravados pela grande capilaridade que possuem. Atualmente como melhor ferramenta de controle e estatística de falhas, as operadoras de energia utilizam os registros de ocorrências encaminhados por seus clientes após o acontecimento de um problema. Embora as empresas disponibilizarem vários meios de comunicação, os consumidores, até por um motivo mais cultural, costumam efetuar suas reclamações através do serviço de *Call Center*, gerando a maioria dos chamados por esse método. Naturalmente o tempo total da falha não corresponde ao tempo do registro da ocorrência, sendo que esta diferença é decorrente da demora ao atendimento, entre o tempo desde que foi observada a falha, a comunicação da central de atendimento, localização dos dados do reclamante e a abertura de uma ordem de serviço e encaminhamento para o setor responsável pela manutenção e conserto da rede. Foi elaborada uma pesquisa referentes as ligações efetuadas à Central de Atendimento ao Cliente, sendo constatado que a maioria das mesmas foram exclusivamente reclamações referentes a interrupções de energia. A tabela abaixo representa estes dados:

**Tabela 1. Excelência no Atendimento AES Sul** [P. C. V. Penna e M. Magno 2012]

Motivo da Reclamação	2009	2010	2011
Total das ligações atendidas ( <i>Call Center</i> )	2.955.129	2.655.700	2.630.498
Números de atendimentos nos escritórios regionais	310.722	318.997	299.784
Número de atendimento feitos pela internet	571.270	643.732	1.272.617
Reclamação em relação as ligações atendidas (%)	27,72	34,67	35,08
Tempo médio de espera até o início do atendimento (minutos)	0,58	1,32	0,41
Tempo médio de atendimento (minutos)	3,17	3,25	3,32

As empresas de distribuição de energia elétrica trabalham com alguns índices de continuidade (DIC - Duração ou período que o cliente ficou sem energia, FIC - Frequência que o cliente ficou sem energia, DMIC - Duração máxima de horas que o cliente ficou sem energia - Empresa AES Sul). Estas empresas estão constantemente trabalhando para reduzir ao máximo esses índices, pois são fiscalizadas pela Agência Reguladora (ANEEL). Estes indicadores inclusive foram amplamente tratados no Relatório de Sustentabilidade de 2011 da empresa AES Sul [P. C. V. Penna e M. Magno 2012]

De forma geral, podemos classificar as falhas da rede elétrica como permanentes e temporárias, sendo a primeira obrigatoriamente uma interrupção do fornecimento de energia com religamento somente efetuado por uma equipe de manutenção no local, e a segunda como uma interrupção no fornecimento de energia de forma temporária ou transiente, que volta a operação de forma automática e não gera um chamado ou ocorrência na empresa. Com base nestes dados apresentados, este artigo propõe a criação de uma rede de sensores sem fio com topologia *mesh* para monitoramento das falhas temporárias nos ramais das redes de distribuição de energia elétrica, observando que as mesmas não são contabilizadas pela empresa, mas representam uma excelente predição para manutenções preventivas.

## 2. Desenvolvimento da Ferramenta de Predição

Conforme foi observado anteriormente, o foco deste trabalho é gerar uma ferramenta capaz de analisar e contabilizar de forma automatizada as falhas nas redes de distribuição de energia elétrica chamadas de temporárias, que são aquelas que ocorrem repentinamente e logo após voltam a operação sozinhas, muitas vezes de forma repetida, mas que não são registradas nas companhias devido a não haver necessidade de deslocamento de uma equipe de manutenção até o ponto do problema. Embora estas falhas realmente não demandem o deslocamento de uma equipe de manutenção imediatamente ao local do problema, elas costumam ser termômetros bastante precisos de problemas futuros, principalmente quando forem constatadas recorrências no mesmo local. É conhecido que uma política de manutenção preventiva bem implementada auxilia as empresas a economizarem tempo e dinheiro, e conseqüentemente mantém o funcionamento do equipamento corretamente, diminuindo o risco de falhas e proporcionando um melhor atendimento ao cliente, aumentando consideravelmente o índice de satisfação dos mesmos.

Esta ferramenta de predição de falhas permanentes que possui o objetivo de direcionar operações de manutenção preventiva opera baseada nos dados coletados automaticamente pela rede de sensores sem fio instalada sobre os ramais de distribuição de energia elétrica. Os sensores utilizados neste projeto atuam interligados através de uma rede de tempo real adaptativa, do tipo *mesh*, com capacidade de perceberem pequenos transientes na rede e avisar imediatamente uma central de controle e monitoramento sobre a falha. Este dados são armazenados em um banco de dados com sua identificação e localização geográfica, horário da ocorrência, tempo de permanência da falha, entre outros parâmetros.

Com estes sensores, é possível armazenar imediatamente e de forma precisa todos os dados sobre todas as falhas da rede de distribuição de energia que estiver sendo monitorada. Naturalmente que falhas permanentes geram solicitações de reparo a companhia, sendo facilmente contabilizadas pelo histórico de chamados e ordens de serviço internas para o deslocamento de uma equipe de manutenção. Porém, quando proporcionamos uma ferramenta de controle das falhas temporárias, que em geral não geram chamados para a companhia, podemos utilizar estes dados de forma estatística para direcionar de forma mais objetivas as intervenções de manutenção preventiva, evitando no futuro que estas falhas se tornem permanentes.

Para falhas permanentes, os dados recebidos pelos sensores são confrontados com os registros de ocorrências realizadas pelos clientes, apontando principalmente disparidades com a hora da falha, tempo de percepção e reclamação, tempo de atendimento e horário de fechamento das ordens de serviço. No caso de falhas temporárias, os dados que vão sendo recebidos através da rede de sensores são contabilizados em um banco de dados, de onde podem ser emitidos relatórios em função de parâmetros escolhidos, como localização geográfica, frequência, horários, duração, e principalmente recorrência de falha.

A análise estatística dos dados coletados com a rede de sensores é dinâmica e pode ser adaptada as necessidades e características de qualquer companhia ou rede de distribuição de

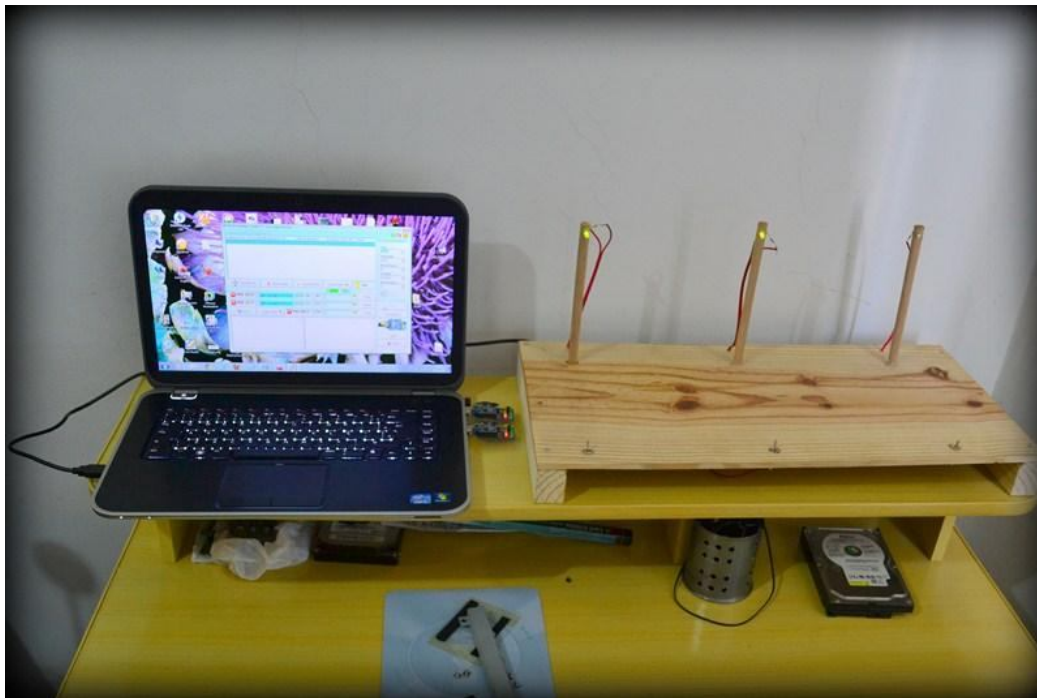
energia. Regiões ou redes de distribuição específicas tem peculiaridades muito diferentes, demonstrando as necessidades de uma ação de manutenção preventiva com parâmetros totalmente diferentes. Por esse motivo, a metodologia de análise é direcionada de acordo com o histórico de manutenção corretiva de cada ramal monitorado.

Como exemplo dos ensaios, podemos observar um caso específico de uma rede urbana de baixa tensão de Santa Maria-RS que costuma apresentar rápidas falhas temporárias no ramal monitorado, sendo que estas falhas apresentam recorrência quando as condições climáticas são alteradas. A rede de sensores instalada tem a capacidade de adquirir todos esses eventos, com grande riqueza de informações relevantes, porém em nenhum momento a central de atendimento da concessionária foi notificada porque a energia é automaticamente restabelecida todas as vezes. Com base nestes dados coletados, o sistema gera um alerta de verificação para uma possível manutenção preventiva, e confronta com o histórico de chamados para manutenção corretiva para esta localização geográfica, no intuito de correlacionar os dados de antigos atendimentos com os adquiridos recentemente. Quando constatado no histórico de chamados da companhia que existem frequentes atendimentos para poda de árvores da rua e de algumas residências próximas, é emitida uma ordem de serviço de caráter preventivo para verificação e possível poda destas árvores.

Conforme demonstrado, com esta ferramenta de predição se conseguiu gerar uma requisição de manutenção preventiva específica, baseada em uma análise de pequenos problemas monitorados e do histórico do local, evitando que o abastecimento de energia seja interrompido de forma permanente no futuro, necessitando a abertura de um chamado de emergência para as equipes de manutenção. Os ganhos materiais através do uso desta rede de sensores na predição de futuros problemas são inúmeros, como economia de recursos de manutenção não programada caso houvesse o rompimento do cabo, consumo de energia não vendido, indenizações por equipamentos eletro-eletrônicos danificados, não atendimento dos índices de continuidade da ANEEL, entre outros. Porém o grande ganho para a companhia de distribuição de energia é o intangível, onde além de diminuir as chances de acidentes no reparo da falha em condições climáticas adversas, também pode evitar que os clientes fiquem sem energia por longos períodos de tempo, o que geraria reclamações e diminuiria o índice de satisfação dos clientes.

### **3. Desenvolvimento do Protótipo em Escala e Resultados Obtidos**

Para agilizar a implementação e diminuir os custos dos ensaios da rede de comunicação industrial sem fio utilizada foi desenvolvido em laboratório um protótipo em escala reduzida de um sistema de distribuição de energia elétrica com os sensores devidamente instalados, conforme pode ser observado na Figura 1.



**Figura 1. Protótipo em escala reduzida para realização dos ensaios com os sensores**

Para a configuração dos dispositivos de comunicação que foram incorporados aos sensores de falha da rede elétrica foi utilizado o software livre da empresa Digi, chamado X-CTU [XBEE®/XBEE PRO® ZB RF MODULES 2012]. Este aplicativo permite programar os módulos *Zigbee* para a implementação da rede *mesh*. Foram utilizados neste projeto dispositivos *Zigbee* modelo ZB de 2,4 GHz acoplados a interfaces de comunicação serial USB. Os módulos utilizados foram configurados de acordo com sua aplicação como dispositivos finais, roteadores e um coordenador. Para os sensores, no intuito de economizar a bateria, o módulo *Zigbee* foi configurado com dispositivo final, que permanece em modo sleep a maior parte do tempo. Estes sensores foram configurados também para se comunicarem diretamente com o seu coordenador. Foi atribuído o nome poste 1 como parâmetro ASCII (NI) para o dispositivo final 1 que atua como sensor 1. Adicionalmente, foi posicionado outro módulo *Zigbee* no meio do enlace configurado como roteador, para somente ser utilizado caso a rede necessitasse estabelecer outro caminho alternativo (*mesh*).

O *Zigbee* coordenador foi configurado para atuar em *broadcast* e poder se comunicar com qualquer sensor da rede. Os dispositivos foram configurados para operarem no mesmo canal de frequência e na mesma Pan ID. Tanto o coordenador como o dispositivo final foram configurados para operar em modo API (*Application Programming Interface*), pois era

necessário que coordenador identificasse imediatamente o endereço baixo e o NI do dispositivo final quando este fosse acionado pelo sensor do poste. O sensor instalado possui uma saída digital com dois níveis para indicar a falta de energia, para que o pino 20 do *Zigbee* seja negativado ao ser acionado, fazendo o dispositivo sair do modo *sleep* e desta forma enviando um quadro (*frame*) de dados para o coordenador com todos os dados relevantes de identificação do mesmo.

Para a realização dos ensaios complementares foi utilizado o software RCOM-MESHBEETM, fornecido pela ROGERCOM [ROGERCOM® 2012] para monitorar diretamente os quadros de dados. Estão sendo desenvolvidas novas metodologias com capacidade de absorver qualidades e quantidades maiores de informações (orientada a objeto), além de utilizar compilações em software livre, facultando desta forma uma grande flexibilidade de plataformas computacionais. Os resultados obtidos permitirão uma melhor gestão dos recursos, como equipes operacionais, fornecendo melhor apoio técnico para alcançar a agilidade desejada nas tomadas de decisões, tendo impacto imediato na satisfação dos consumidores, uma vez que reduz ou elimina totalmente o tempo de restabelecimento da energia através de um programa de manutenção preventiva adequado, além de aprimorar indicadores de continuidade da ANEEL.

#### 4. Conclusões

Este artigo apresentou uma ferramenta de predição de falhas em redes de distribuição de energia elétrica através da análise de dados obtidos por uma rede industrial de sensores em tempo real. Esta rede de sensores tem a capacidade de transmitir para uma central de controle todos os dados referentes a falhas de abastecimento de energia em diferentes ramais da rede elétrica, com identificação completa e precisa do local da interrupção.

O grande diferencial competitivo desta nova ferramenta é a capacidade de perceber imediatamente as falhas conhecidas como permanentes e temporárias das redes de distribuição de energia, e com estas informações fazer uma análise estatística detalhada e totalmente dinâmica, de acordo com as necessidades e peculiaridades de cada local ou companhia de energia, para gerar relatórios ou ordens de serviço direcionadas para ações de manutenção preventiva.

Foram realizados paralelamente ensaios de comunicação da rede *Zigbee* para diferentes condições de utilização, sendo obtido êxito em todos os testes realizados. Foram testadas também as facilidades da rede *mesh* através de caminhos alternativos para vencer dificuldades na entrega em tempo real dos quadros de dados que continham as informações das falhas, onde também foi obtido sucesso total em todas as comunicações.

Para implantação em larga escala, estão sendo avaliados para trabalhos futuros a utilização de *gateways* próprios com diferentes interfaces de comunicação de longa distância, como GPRS, 3G e Ethernet, visto que o enlace direto entre dois dispositivos *Zigbee* modelo

PRO é de no máximo 1.600 metros, aumentando consideravelmente essa distância n-vezes com a utilização de n-módulos adicionais configurados como roteadores.

### **Referências**

P. C. V. Penna e M. Magno (2012), “Relatório de Sustentabilidade 2011 - AES Sul”, III Ciclo de diálogos com Públicos de Relacionamentos AES: aesbrasil sustentabilidade.com.br, pp. 40-43, abril - 2012.

ROGERCOM® Com. e Serv. de Informática LTDA (2012). - Disponível em <<https://www.rogercom.com>>. Acesso em 2012.

XBEE®/XBEE PRO® ZB RF MODULES (2012), ZigBee RF Modules by Digi Internacional. Disponível em <<http://www.digi.com>>. Acesso em 2012.