



## **Estudo de soluções inteligentes para gestão das redes de eletricidade**

**Raimundo Tarciso Dias Costa Júnior<sup>2</sup>, Mauro Oliveira<sup>1</sup>,**

<sup>1</sup>PhD em Informática - e-mail: amaurooliveira@gmail.com

<sup>2</sup>Especialista em Eficiência e Qualidade de Energia - UFC. e-mail: tarcosjr@gmail.com

**Resumo:** A gestão do sistema elétrico está cada vez mais relacionada aos sistemas computacionais de supervisão e acompanhamento, tanto em nível de automação das instalações elétricas, como à infraestrutura de telecomunicações utilizada na interligação dos centros de controle aos equipamentos de proteção e manobras desse sistema. Neste artigo mostraremos a estrutura de gestão de falhas no sistema elétrico, mostrando algumas estratégias de gestão e acompanhamento do desempenho das redes elétricas. O artigo também busca mitigar as tecnologias a serem utilizadas visando a maior confiabilidade e eficiência na gestão das redes de eletricidade.

**Palavras-chave:** automação, gestão, inteligência artificial; redes elétricas

### **1. INTRODUÇÃO**

Os sistemas de energia elétrica estão sofrendo um intenso crescimento e grandes transformações em seus mecanismos de operação e gestão. O contexto destas transformações exige atualizações tecnológicas que miram a modernização da gestão e operação dos sistemas de geração, transmissão, distribuição e uso final da energia elétrica.

As concessionárias de energia elétrica estão desenvolvendo novos equipamentos e sistemas, através de seus programas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, em conjunto com centros de pesquisas e universidades, que visam a melhoria contínua no fornecimento de energia elétrica.

Neste artigo elencaremos as práticas de gestão, as falhas, e as tecnologias que viabilizam a operação ininterrupta do sistema elétrico. O artigo aborda as limitações impostas para a distribuição de energia com qualidade e continuidade, bem como as respectivas soluções que estão sendo buscadas através de pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

### **2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO**

O sistema elétrico brasileiro tem capacidade instalada em sua matriz de energética da ordem de 118,4 mil megawatts (ONS, outubro de 2011). Ao longo de 10 anos sua potência instalada cresceu 58,3%. Em dezembro de 2001 haviam 74,8 mil MW instalados.

Como se percebe, há um crescimento significativo do Sistema Interligado Nacional (SIN), o que certamente traz a necessidade de uma coordenação sistêmica de qualidade visando assegurar que a energia gerada pelos 2.475 empreendimentos em operação (ONS, julho/2011) chegue ao consumidor com segurança, com qualidade, além de garantir o suprimento de forma contínua.



Figura 1 – Diagrama do Sistema Interligado Nacional (ONS)

O SIN é mostrado na figura 1. Ele é composto por agentes de Geração e Transmissão. Temos também, como agentes do setor elétrico, as distribuidoras e as comercializadoras de energia elétrica.

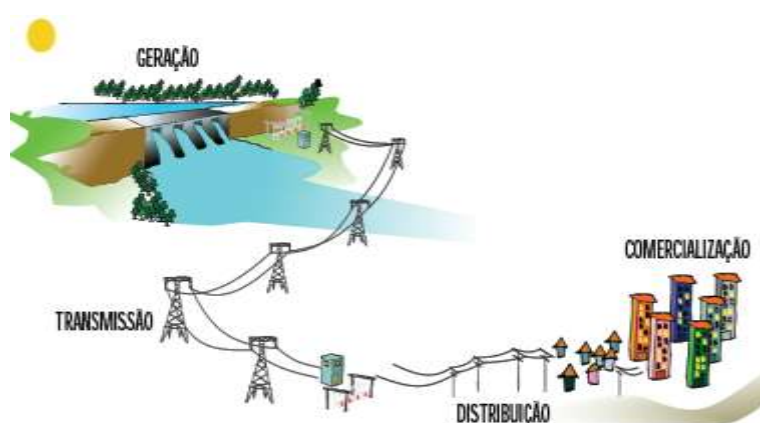


Figura 2 - Principais Agentes do Setor Elétrico Brasileiro

A seguir temos uma breve descrição das atribuições dos agentes do setor elétrico Brasileiro mostrados na figura2:

- Geração – Produção de energia elétrica, que, no Brasil, consiste em centrais geradoras de médio e grande porte localizadas em pontos não tão próximos dos centros de consumo.
- Transmissão - Transporte da energia elétrica até os centros consumidores. É através do agente da transmissão que a geração de energia se conecta aos



usuários finais, passando pelo sistema de distribuição. As falhas no sistema de transmissão podem desencadear grandes perturbações sistêmicas que, em alguns casos resultam em desligamentos de parte ou de todo o sistema elétrico. Os sistemas de transmissão são, atualmente, supervisionados e controlados por meio do sistema de supervisão e aquisição de dados – SCADA (*supervisory control and data acquisition*), os quais processam varreduras de medidas de grandezas analógicas (tensão, fluxo de potência, etc.) e estados de chaves e disjuntores (aberto/fechado), com taxas de amostragem da ordem de 2-10 segundos.

- Distribuição – Entrega a energia elétrica até a unidade de consumo. Neste contexto, visando aumentar a confiabilidade do sistema de distribuição estão sendo estudados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) alternativas regulamentadas para a implementação de *Smart Grid* (rede inteligente). Esta tecnologia envolve a instalação de sensores nas linhas de energia e o estabelecimento de um sistema de comunicação confiável em duas vias e permite a conexão de fontes diferentes, com o qual é possível evitar constantes interrupções.
- Comercializadoras - Comprar e vender energia elétrica no ambiente livre.

No Brasil a coordenação do SIN é feita pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), cuja função básica é controlar a operação eletro-energética das instalações de geração e de transmissão de energia elétrica no SIN, onde a predominância da geração de energia elétrica é de usinas hidrelétricas, conforme pode ser observado na figura 3.

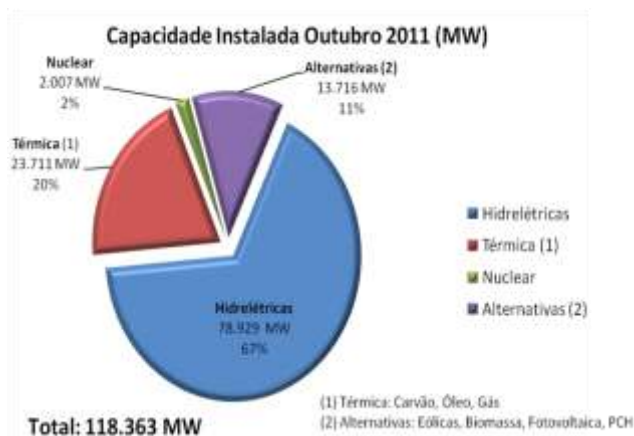


Figura 3: Capacidade Instalada das Fontes de Geração de Energia Elétrica no Brasil

Denomina-se de Unidades Consumidoras (UCs) o conjunto de instalações e equipamentos elétricos que são alimentados de energia elétrica em um só ponto de entrega, com medição individualizada e que corresponde a um único consumidor. Os dados do Boletim de Monitoramento da Secretaria de Energia Elétrica (MME), de julho/2011, indicam que o Brasil conta com mais de 69 milhões de UCs.

### 3. FALHAS NO SISTEMA ELÉTRICO

Um problema em um dos componentes eletrônicos da subestação de Itaparica enviou um falso comando para desligar o sistema. Como consequência, seis linhas de alta tensão fossem prejudicadas, já que o sistema está conectado em cadeia e para protegê-lo, foi mandado um



comando para o desligamento das usinas de Paulo Afonso, na Bahia, Itaparica, em Pernambuco e Xingó, entre Alagoas e Sergipe. Esta ocorrência, sucedida na noite do dia 3 até a madrugada de 4 de fevereiro de 2011, ocasionou a interrupção no fornecimento de energia a sete estados no Nordeste do Brasil.

O Brasil tem uma grande disparidade regional na produção de energia elétrica. Sobre este aspecto, o SIN interliga a produção e facilita a distribuição de energia, mas ele também, certamente, interliga os problemas pois torna o sistema interdependente. Uma fatia das dificuldades no abastecimento de energia elétrica não pode ser apurada com antecedência e este percentual de falhas não é tempestivamente corrigido, por exemplo, com o acionamento das usinas de reserva ou a utilização de outra linha de transmissão. Dessa forma, o sistema elétrico deve contar com especialistas e tecnologia (sistemas computacionais) que permitam uma rápida intervenção de recuperação, quiçá auto-recuperação, para assim evitar o chamado “efeito dominó” ocorrido na no sistema elétrico da Região Nordeste em 04 de fevereiro de 2011.

### **3.1 ACOMPANHAMENTO DAS FALHAS NO SISTEMA ELÉTRICO**

O acompanhamento das falhas do setor elétrico se dá pelos indicadores de desempenho das distribuidoras quanto à continuidade do serviço prestado de fornecimento de energia elétrica. A ANEEL avalia o desempenho das distribuidoras com base em indicadores coletivos e individuais. Esta temática está regulamentado, pela ANEEL, no Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST .

Os indicadores coletivos (DEC e FEC), são acompanhados pelas distribuidoras por intermédio de subdivisões das distribuidoras, denominadas Conjuntos Elétricos.

- DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) - indica o número de horas em média que um consumidor fica sem energia elétrica durante um período, geralmente o mês ou o ano;
- FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) - indica quantas vezes, em média, houve interrupção na unidade consumidora.

O acompanhamento e gestão das falhas, pelas Distribuidoras, também se dá de forma individual, ou seja, em cada unidade consumidora. São apurados, para cada unidade consumidora, os indicadores de continuidade individual, DIC, FIC e DMIC.

- DIC (Duração de Interrupção por Unidade Consumidora) – indica o tempo em que a unidade consumidora ficou sem fornecimento de energia durante um determinado período de tempo.
- FIC (Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora) – indica o número de vezes em que a unidade consumidora ficou sem fornecimento de energia durante um determinado período de tempo.
- DMIC (Duração Máxima de Interrupção por Unidade Consumidora) - é um indicador que limita o tempo máximo de cada interrupção, visando impedir que a concessionária deixe o consumidor sem energia elétrica durante um período muito longo.

A ANEEL estabelece limites para os indicadores de continuidade individuais e coletivos. No caso dos indicadores coletivos, a concessionária é penalizada financeiramente se ultrapassar as metas anuais estabelecidas pela ANEEL. Quanto aos indicadores individuais, eles são definidos para períodos mensais, trimestrais e anuais. Caso haja violação desses limites, a distribuidora compensará financeiramente a unidade consumidora.

## **4. FALHAS NO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NA COMPANHIA ENERGÉTICA DO CEARÁ**

A COELCE possui 2,81 milhões de cliente em maio de 2011 (ANEEL, 2012), em uma área de concessão de cerca de 146,35 mil km<sup>2</sup>. Para atender estes clientes a COELCE dispõe de 97 subestações, 4.312 Km de linhas de AT (69 kV), 77.268 km de linhas de MT (13,8 kV) e 42.281 km de linhas de BT (220/380 V).



Mesmo com o crescimento de 45% no número de cliente a Coelce foi possível, conforme Tabela 1, atingir, nos últimos 10 anos (2002 a 2011) as metas de DEC e FEC impostas pela ANEEL. Fatores, como os fortes investimentos em automatização de subestações e a automatização totalidade das chaves e religadores de linha do sistema de distribuição contribuíram para a obtenção das citadas metas.

Tabela 1 - Índices de Continuidade Coelce – ANUAL (ANEEL, 2012)

INDICADOR/ANO	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
DEC APURADO	20,67	16,36	14,60	12,45	11,42	9,40	8,18	7,67	7,54	9,31
DEC LIMITE	32,45	28,79	25,77	25,21	24,48	23,65	21,43	18,90	16,73	14,98
FEC APURADO	17,21	15,53	11,95	10,44	9,11	7,87	6,78	5,91	5,61	6,04
FEC LIMITE	31,69	27,96	24,11	23,39	22,52	21,63	19,43	16,80	14,67	12,64
Nº CONSUMIDORES	1.960.359	2.041.110	2.179.821	2.269.485	2.414.224	2.574.943	2.778.848	2.927.425	2.807.829	2.846.868

Nos anos de 2010 e 2011, conforme Tabela 2, foram feitas compensações por transgressões nos indicadores de DIC, FIC e DMIC:

Tabela 2 – Compensações DIC, FIC e DMIC COELCE – ANUAL (ANEEL, 2012)

Nº Compensações Total 2010	Compensação Total R\$ 2010	Nº Compensações Total 2011	Compensação Total R\$ 2011
1.148.438	R\$ 1.772.561,65	1.737.221	R\$ 3.240.431,96

## 5 - PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E FORMAÇÃO

As distribuidoras de energia elétrica no Brasil procuram, naturalmente, atender a todos os padrões de qualidade estabelecidos pela ANEEL, oferecendo energia de forma segura e confiável, mas também rentável. A manutenção das redes e os investimentos em expansão e instalação de novos equipamento automatizados tendem a melhorar a qualidade do fornecimento de energia elétrica. Contudo, a qualidade e a continuidade do fornecimento de energia elétrica não dependem apenas destes fatores. A vegetação e as descargas atmosféricas, por exemplo, são fatores externos à rede de distribuição que podem afetar gravemente a continuidade do serviço.

### 5.1 – REDE INTELIGENTE COM SISTEMA DE REPOSIÇÃO AUTOMÁTICA

Observando as dificuldades impostas pela dispersão da rede elétrica e as condições do entorno, a Coelce concluiu que a solução mais viável para obter um monitoramento online de seus equipamentos foi utilizar a tecnologia GPRS (*general packet radio service*) de aumento de taxas de transferência da dados em redes de telefonia móvel, uma tecnologia barata para acesso a internet devido à sua velocidade limitada e bastante difundida graças ao crescente uso de telefones celulares e o aumento de acesso a internet por redes móveis de telefonia. Apesar da velocidade limitada, esta é suficiente para prover uma comunicação satisfatória entre equipamento e o centro de controle do sistema.

Para atender a demanda de conexão dos religadores de linha e chaves de encontro, foi desenvolvido um software para automação da distribuição, o AUTODIST®, baseado na plataforma Java. Este supervisor gerencia as conexões feitas por todos os equipamentos, exibindo para o operador se o equipamento está *online* ou *offline* e se está em operação ou fora de operação. O AUTODIST® realiza leituras das variáveis analógicas e digitais dos equipamentos e atualiza automaticamente o status do equipamento em uma interface amigável para o operador, possibilitando a operação dos equipamentos, como por exemplo, bloqueio de



religamento e bloqueio de sensibilidade de terra, além de prover uma base de dados para consulta e geração de relatórios.

Para uma troca de dados na rede GPRS, é necessário um terminal GPRS capaz de utilizar os serviços da rede. Os chamados modems GPRS também possuem o hardware para a comunicação RF, além do suporte à GSM e GPRS de acordo com as normas GSM, sendo configurados e utilizados através de comandos AT, como referido por (Pirotti & Zuccolotto, 2009).

O procedimento de configuração destes modems é realizado através da placa de supervisão e controle, desenvolvida para este fim. Nesta placa foi implementada toda a lógica para controlar o modem, manter a conexão com o serviço GPRS e gerenciar a conexão com o servidor AUTODIST®, além de prover uma comunicação transparente entre o referido servidor e o equipamento controlado.

A comunicação com os religadores, que são microprocessados e já possuem um protocolo de comunicação implementado, é relativamente fácil, pois a placa de supervisão funciona apenas repassando os pacotes entre o equipamento e o servidor. Foram utilizadas chaves de média tensão já existentes na Coelce, com capacidade de abertura em carga e que não tinham um controle eletrônico. Estas eram acionadas elétrica ou mecanicamente e, diante dos avanços tecnológicos, estas seriam sucateadas. No entanto, o foco desse projeto é a automação de equipamentos de linha. De forma a utilizar também o ativo existente, foi desenvolvido um sistema microcontrolado para auxiliar na automação destas chaves, que foram reaproveitadas e estão sendo utilizadas hoje em encontros de alimentadores, possibilitando a transferência de carga e manobras no sistema elétrico da Coelce.

O desenvolvimento deste sistema de automação permitiu a inserção destas antigas chaves nas linhas de distribuição de média tensão proporcionando uma rápida reposição do sistema. Este sistema mostrou-se bastante eficiente, pois o mesmo comunica-se com o mesmo protocolo padrão nos religadores de linha, o DNP 3.0, tornando-o uma referência para a aquisição de novas chaves na Coelce.

Com o desenvolvimento do AUTODIST® foi automatizado a totalidade das chaves e dos religadores de linha do sistema de distribuição da Coelce.

## **5.2 – REDE INTELIGENTE COM SISTEMA DE REPOSIÇÃO AUTOMÁTICA**

A Coelce está em processo de desenvolvimento e implantação de um Piloto de Rede Inteligente com Sistema de Reposição Automática (SRA) para rede de média tensão em 13,8 kV e com um Sistema Inteligente para Mudança Automática de Ajuste do Sistema de Proteção (SIAP) para a rede de alta tensão em 69 kV.

O desenvolvimento experimental proposto da Rede inteligente com Sistema de Reposição Automática tem as seguintes motivações/desafios:

1. O avanço da pesquisa na área de automação através de redes inteligentes, proteção de sistemas elétricos e comunicação via rede elétrica (BPL).
2. Implantação de um SRA para automação do sistema de distribuição de MT, tornando a rede inteligente.
3. Implantação do SIAP capaz de adequar os ajustes dos relés a uma nova topologia do sistema elétrico, após uma falta ou retirada intencional de uma linha ou transformador.

O projeto visa desenvolver modelos dos sistemas baseados em Redes de Petri (representações matemáticas para sistemas distribuídos discretos), desenvolver emulador de eventos para teste/validação dos sistemas em modo off-line e integrar o SRA e o SIAP na empresa para funcionamento em tempo real. O SRA será implantado em um trecho da rede elétrica de MT com encontro de alimentadores interligando 3 subestações com alta concentração de carga. O SIAP será aplicado ao sistema de AT da Coelce, eixo Sobral-Cariré.



O conhecimento adquirido e a metodologia utilizada no desenvolvimento e implantação dos pilotos proporcionarão a formação de equipe multidisciplinar nas instituições envolvidas capaz de replicar o projeto em outras regiões do Brasil.

### 5.3 – TRATAMENTO DE FALHAS COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Um dos problemas remanescentes no protocolo GMPLS (*Generalized Multiprotocol Label Switching*) é a ausência de mecanismos de re-roteamento rápido destinados ao tratamento de falhas de links ópticos. Redes Neurais Artificiais podem prever situações problemáticas em tais enlaces e, deste modo, a forma de restauração de falhas 1:n (1 backup compartilhado entre n links) pode ser aproximada da forma de proteção de falhas 1+1 (1 backup tipo espelho para cada link). Tal aproximação proporciona uma redução de custos para sistemas ópticos que necessitam de alta confiabilidade.

Foi desenvolvido um estudo para utilização de redes neurais para Predição de Falhas em Links de Redes Ópticas (Hairon, 2003). Este trabalho apresenta o ambiente de desenvolvimento de Agentes Inteligentes baseados em Redes Neurais Artificiais aplicados à gerência pró-ativa de redes IP (*Internet Protocol*), MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) e GMPLS (*Hypermedia Management Protocol*), denominado RENATA 2 (*Redes Neurais Aplicadas ao Tráfego ATM*). Este ambiente é composto pelas ferramentas GDP (Gerador de Perturbações) e MSDP (*Módulo de Seleção e Preparação de dados*), desenvolvidas nesta dissertação, sendo integradas aos simuladores ns (*Network Simulator*) e JNNS (*Java Neural Network Simulator*) já existentes. Uma das aplicações dos Agentes RENATA 2 é atuar na resolução do problema supracitado.

## 6. CONCLUSÕES

A exigência pela universalização do atendimento com energia elétrica no Brasil tem demandado investimentos na extensão das redes elétricas, aumentando a complexidade na gestão do fornecimento de energia elétrica a cerca de 70 milhões de unidades consumidoras.

O sistema elétrico interligado sofre falhas de grande magnitude, podendo deixar, por algumas horas, toda uma região do Brasil sem fornecimento de energia elétrica e com isso trazer grandes prejuízos à sociedade

Foi apresentada neste artigo, de forma sintética, a estrutura de gestão de falhas no Setor Elétrico, em particular na Coelce. Como contribuição para desenvolvimentos futuros, é importante destacar que a implementação de sistemas de gestão com Inteligência Artificial aliada a automação de sistemas elétricos, propiciará a diminuição do tempo para localização de falhas e a reconfiguração rápida da rede elétrica. O artigo abordou também as questões relacionadas à pesquisa, desenvolvimento e formação de pessoal no tema.

Cabe ainda citar que está em andamento um projeto que visa mitigar as falhas nos redes de energia com o uso de Inteligência Artificial, utilizando redes neurais. Citado projeto está sendo desenvolvido no Laboratório Multiinstitucional de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará (LAR/CEFET-CE).

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos colegas da Coelce que disponibilizaram as informações técnicas contidas neste artigo.

## REFERÊNCIAS

Carlos Hairon R. Gonçalves. **Utilizando Redes Neurais Artificiais para Predição de Falhas em Links de Redes Ópticas**. 2003. Dissertação (Mestrado em Computação) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.



Módulo 8 - PRODIST – ANEEL. Acesso em 08 de julho de 2012, disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>.

Operado Nacional do Sistema – ONS. Acesso em 07 de agosto de 2012. Disponível em: <http://www.ons.org.br/>.

Pirotti, R. P., & Zuccolotto, M. (02 de Agosto de 2009). Transmissão de dados através de telefonia celular: avaliação de desempenho de uma conexão de dados utilizando GPRS. Acesso em 13 de Março de 2012, disponível em Fundação Liberato: <http://www.liberato.com.br/upload/arquivos/0106110920052619.pdf>.