Desenvolvimento de Protótipo de Centro de Gestão da Proteção da CEMAR

Nierbeth Brito, Ronnie Loureiro, Monique Paz – CEMAR, V. Leonardo Paucar, Denivaldo C. Lopes, Zair Abdelouahab, Johnneth S. Fonsêca, Adrianno B. Rabelo, Renato S. Martins – UFMA

***Resumo* — Neste trabalho foi desenvolvido um protótipo de centro de gestão da proteção (CGP) de um sistema elétrico de distribuição. O objetivo é a recuperação e armazenamento de dados dos relés digitais do sistema de proteção. Este é formado por um sistema de software e hardware, onde os dados recuperados a partir dos relés digitais são armazenados em uma base de dados e o acesso aos dados é feito através de um Web browser em um notebook/desktop ou de um smartphone executando o aplicativo cliente. Além disso, o acesso pode ser feito via um laptop mais modem 3G, smartphone com comunicação 3G ou via um notebook/desktop com comunicação com a Internet via Web browser. Os conceitos de aplicação Web, computação gráfica e computação móvel foram utilizados na realização do sistema que foi codificado em linguagem Java. O protótipo tem sido testado com resultados satisfatórios no sistema elétrico da CEMAR.**

***Palavras-chave* — Sistemas de distribuição, proteção de sistemas elétricos, relés de proteção digitais, tecnologia 3G.**

I. Introdução

A indústria de energia elétrica vem experimentando mudanças devido ao processo de desregulamentação do setor elétrico o qual impõe diversos desafios. Os modernos centros de controle ou EMS (Energy Management Systems)/SCADA dos sistemas elétricos devem responder com eficiência, rapidez e confiabilidade às exigências do mercado de forma a satisfazer as exigências da competição tanto em qualidade, quanto em economia e eficiência. [1], [2]

Nesse cenário as companhias distribuidoras de eletricidade devem observar a continuidade do serviço prestado de energia elétrica atendendo exigências das agencias fiscalizadoras a fim de evitar possíveis multas. É assim que as concessionárias adotaram a automação das subestações incorporando, por exemplo, equipamentos digitais IEDs (Intelligent Electronic Devices) que permitem as funções de proteção, automação e medição, e contêm informação valiosa para a operação e controle. Um IED incorpora um ou mais processadores com capacidade de receber ou enviar dados ou sinais de controle desde uma fonte externa. [3]

O conceito de sistemas abertos vem sendo utilizado na automação das subestações [4]. Sistemas e IEDs podem intercambiar informação. A tendência, além de integrar os IEDs é integrar e automatizar as subestações, para chegar ao nível da concessionária nas etapas de operação e manutenção.

Um aspecto crucial são os protocolos de comunicação entre dois dispositivos. A diversidade de protocolos é uma grande dificuldade. Um dos melhores protocolos para integração nas subestações é o DNP3 (Distributed Network Protocol). Um IED deve considerar como um protocolo adequado aquele que lhe permita funcionar ele só e também em forma integrada. IEDs, UCA2, IEC 61850, DNP, rádio frequência (RF), envolvem padrões e protocolos que buscam a melhor eficiência e funcionalidade para a integração, automação e comunicação. [5], [3]

São várias as áreas de aplicação dos protocolos de comunicação. Uma delas é a proteção do sistema de distribuição, tanto em nível das subestações como em aplicações em sistemas de gerenciamento das proteções.

Para implementar a automação de subestações utilizando relés digitais, é fundamental a escolha dos protocolos de comunicação: para comunicação entre centros de controle, para comunicação entre o centro de controle e as UTRs (Unidades Terminais Remotas) e para comunicação entre as UTRs e os IEDs.

No setor elétrico brasileiro têm sido relatadas experiências práticas relacionadas com digitalização e automação de subestações [6], [7]. Na referência [7] a tecnologia GPRS (General Packet Radio Service) é adotada para controle e supervisão de chaves e religadores na rede elétrica de distribuição e como canal redundante na comunicação entre o centro de operação e as subestações. Já em [8] relata-se o desenvolvimento de um protocolo para automação de subestações móveis. Tendências na automação de subestações considerando a Norma IEC 61850 são destacadas em [9].

As tendências recentes na automação de subestações no âmbito internacional propõem arquiteturas de comunicação baseadas em redes Ethernet de gigabits 10G-EPON (Ethernet Passive Optical Network). [10]

A implementação de centros de gestão da proteção por parte das companhias de distribuição tem como objetivos facilitar a aquisição de dados dos relés, configuração dos relés digitais, aquisição de ajustes implantados, seqüência de eventos, medições, arquivos de oscilografias, etc.

Este trabalho trata do desenvolvimento de um centro de gestão da proteção baseado na tecnologia 3G de telefonia móvel e aplicado ao sistema da Companhia Energética do Maranhão (CEMAR). Inicialmente foi prevista a utilização da tecnologia VoIP (Voice over Internet Protocol) e/ou GPRS para as etapas de comunicação. Essa opção de VoIP não foi levada em conta porque a transmissão e comunicação

---

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

V. L. Paucar, Denivaldo C. Lopes, Zair Abdelouahab, Johnneth S. Fonsêca, Adrianno B. Rabelo, Renato S. Martins trabalham na Universidade Federal do Maranhão - UFMA (e-mail: lpaucar@ieee.org; zair@dee.ufma.br; adrianno.bastos@gmail.com).

Nierbeth Brito, Ronnie Loureiro, Monique Paz trabalham da Companhia Energética do Maranhão (e-mail: nierbeth.brito@cemar-ma.com.br; ronnie.loureiro@cemar-ma.com.br; monique.freitas@cemar-ma.com.br)

do CGP prioriza dados e não voz. Já a tecnologia GPRS foi desconsiderada devido aos avanços tecnológicos como é o caso da tecnologia 3G que é mais vantajosa.

II. METODOLOGIA E TECNOLOGIAS ADOTADAS

A implementação de um centro de gestão da proteção envolve a utilização de diversas tecnologias e metodologia apropriadas para desenvolver o sistema de software e hardware, além de facilidades de comunicação e equipamentos específicos. Após um levantamento de requisitos, a seguir são descritas as tecnologias e metodologia adotadas.

A. Tecnologias

As principais tecnologias que foram consideradas no desenvolvimento do CGP são as seguintes:

1) Internet, Intranet

Para a comunicação da informação entre os relés e o centro de gestão foi prevista a Internet e Intranet. A Internet é a rede mundial de computadores e para seu funcionamento existem três camadas de protocolos: na camada mais baixa tem o Internet Protocol (IPv4 ou IPv6), na camada média estão os protocolos no qual os dados são transmitidos (TCP, UDP, ICMP) e na camada mais alta os protocolos de aplicação (DNS, POP3, SMTP, HTTP, etc.). Todos os serviços da Internet usam os protocolos de aplicação, sendo o e-mail e a World Wide Web os mais conhecidos. O acesso remoto de computadores é outra facilidade da Internet, uma rede privada virtual ou VPN (Virtual Private Network) é um exemplo.

Uma Intranet é uma rede de computadores privada que se baseia na mesma tecnologia da Internet. [11]

2) UML, Java, J2ME, JSP

Unified Modeling Language (UML)

Neste trabalho foi utilizada UML que é uma linguagem de modelagem baseada na noção de objeto UML se baseia em uma semântica e notação gráfica expressiva. Esta linguagem de modelagem define conceitos de base e oferece mecanismos para estender estes conceitos. Ela permite fazer a modelagem de maneira clara e precisa da estrutura e do comportamento do sistema independente de todo método ou de toda linguagem de programação. [12]

Cada diagrama de UML representa um ponto de vista diferente. Os diagramas da linguagem UML podem ser divididos em diagramas estruturais (classe, estrutura, objeto, pacote) e diagramas comportamentais (caso de uso, seqüência, tempo, interação, atividade, máquina de estado).

A plataforma e a linguagem Java

Java é uma linguagem de programação orientada a objeto que é compilada para um *bytecode* que é um código executado por uma máquina virtual Java (JVM). Java possui uma plataforma que define as estruturas e funcionalidades que suportam o desenvolvimento de sistemas de software e sua execução. Java é um ambiente de execução presente em: Web browsers, mainframes, sistemas operacionais, celulares, palmtops, cartões inteligentes, entre outros. [13], [14], [15]

A plataforma Java está presente em três edições:

- Java 2 Standard Edition (J2SE): é a tecnologia Java para PCs, notebooks e arquiteturas com alto poder de processamento. J2SE possui duas divisões:
  - Java Standard Development Kit (JSDK): é constituído por ferramentas (compiladores, debuggers) que suportam a criação de programas Java;
  - Java Runtime Edition (JRE): contém o necessário para a execução dos programas Java.
- Java Micro Edition (JME ou J2ME): é a tecnologia Java para dispositivos móveis com limitação de processamento e memória [14]. Pode ser de duas formas:
  - Connected Limited Device Configuration (CLDC): destinado a celulares, smartphones e dispositivos limitados;
  - Connected Device Configuration (CDC): destinado para Palmtops, PocketPCs e dispositivos com maior poder de processamento e memória
- Java 2 Enterprise Edition (J2EE): é a tecnologia Java para aplicações corporativas (inclui *Java Enterprise Beans*).

Java Server Pages (JSP)

JSP é uma tecnologia baseada em Java que permite um processo mais simples no desenvolvimento de Web Sites dinâmicos, semelhante ao ASP da Microsoft, porém possui a vantagem de portabilidade de plataforma e pode ser executado em diferentes sistemas operacionais.

JSP permite ao desenvolvedor de sites produzirem aplicações que permitam o acesso a banco de dados, o acesso a arquivos-texto, a captação de informações a partir de formulários, a captação de informações sobre o visitante e sobre o servidor, o uso de variáveis e loops, e, muitos outros recursos. A tecnologia Java Server Pages utiliza *tags* equivalentes às do XML e *scriptlets* escritas na linguagem de programação Java para encapsular a lógica que gera o conteúdo da página. A tecnologia JSP permite separar a programação lógica (parte dinâmica) da programação visual (parte estática), facilitando o desenvolvimento de aplicações mais robustas, onde programador e designer podem trabalhar no mesmo projeto, mas de forma independente. Outra característica do JSP é produzir conteúdos dinâmicos reutilizáveis. [13]

3) Serviços Web

Um serviço Web é “uma maneira normalizada de integrar aplicações baseadas na Web utilizando os padrões abertos XML, SOAP, WSDL, UDDI e os protocolos de transporte da Internet” [16], [17]. Os serviços Web conectam aplicações diretamente com outras aplicações sem que seja necessário efetuar grandes customizações nas próprias aplicações. Além disso, uma das premissas fundamentais é que o padrão usado pelas conexões é que seja aberto e independente de plataforma tecnológica ou linguagens de programação.

Um serviço Web, portanto, é um componente de software ou uma unidade lógica de aplicação que se comunica através de tecnologias padrões de Internet. Esses componentes provêem dados e serviços para outras aplicações. Essa tecnologia combina os melhores aspectos do desenvolvimento baseado em componentes e a Web. Como componentes, representam uma funcionalidade implementada em uma "caixa-preta", que pode ser reutilizada sem a preocupação de como o serviço foi implementado. As aplicações acessam os serviços Web através de protocolos e formatos de dados padrões,

como HTTP, XML, SOAP e UDDI.

As vantagens de se utilizar essa abordagem são: simplicidade, padrões abertos, flexibilidade, baixo custo, escopo individualizado. Os serviços Web são formados por tecnologias que fornecem: Comunicação (SOAP – Simple Object Access Protocol), descrição das interfaces dos serviços (WSDL - Web Services Description Language), codificação de dados (XML Schema), descoberta de serviços (UDDI - Universal Description, Discovery and Integration).

Dentre os frameworks e ambientes de desenvolvimento de serviços Web, pode-se citar: Apache Web Services, Web Services dotNet, WebSphere, GlashFish.

4) Redes sem fio e redes móveis

Nas últimas décadas, presenciou-se um crescimento significativo das redes sem fio e redes móveis de comunicação. Por exemplo, redes sem fio para acesso a redes locais ou Internet tiveram uma grande evolução e difusão nos últimos anos. Houve também uma disseminação das redes de telefonia celular cujo número de assinantes no mundo inteiro já ultrapassou o número de assinantes de linhas telefônicas convencionais [14]. Este crescimento da utilização de redes sem fio e redes móveis se deve em grande parte à evolução das tecnologias desenvolvidas.

As redes sem fio e redes móveis obtiveram sucesso, pois passaram a agregar serviços como o acesso a Internet. Em redes, podem-se agrupar os elementos nas seguintes categorias: hospedeiro sem fio, estação base e enlaces sem fio.

As redes sem fio e redes móveis constituem um elemento fundamental para a computação móvel, pois permitem que as aplicações executando em hospedeiros (tais como smartphones e laptops) possam se comunicar com outras redes ou outros dispositivos fixos. Sendo assim, o termo computação móvel se refere à computação realizada em dispositivos de computação portáteis capazes de acessar uma rede sem fio.

5) Telefonia celular

A telefonia celular fornece o acesso à rede de telefonia em qualquer lugar e a qualquer hora por meio de um equipamento leve e portátil. O termo celular é utilizado devido ao fato que a área geográfica é dividida em áreas de cobertura ou células. Cada célula contém uma estação-base que transmite sinais para/ou recebe sinais de estações móveis dentro de sua célula. Cada estação-base está conectada a uma rede de longa distância, por exemplo, rede telefônica pública comutada PSTN (*Public Switched Telephone Network*) por meio de uma infra-estrutura cabeada. As estações-base são conectadas através de uma central de comutação de unidade móvel MSC (*Mobile Switching Center*).

A segunda geração da telefonia celular (2G) teve como meta a padronização e a superação das deficiências dos sistemas de Primeira Geração. A segunda geração empregou tecnologia digital e dentre os padrões podem-se citar: GSM (*Global System for Mobile Communications*), TDMA (*Time Division Multiple Access*), CDMA (*Code Division Multiple Access*) e PDC (*Japanase Personal Digital Cellular*) [18].

A necessidade de que as redes de telefonia celular também pudessem transmitir dados, assim nasceram os sistemas celulares 2,5G. Nesta geração, os seguintes padrões foram desenvolvidos [18]:

- General Packet Radio Service (GPRS – Serviço Geral de Rádio por Pacote): é uma evolução do GSM. O GSM usa comutação de circuitos tanto para dados como para voz. A comutação de circuitos é ineficiente para transmitir grandes quantidades de dados em curto tempo. O GSM suporta taxas de dados de até 9,6 kbps. O GPRS utiliza comutação por pacotes, com taxas de transmissão de 40 kbps a 60 kbps.
- Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE – Melhores Taxas de Dados para Evolução Global): o objetivo do EDGE é aumentar a capacidade de taxa de dados de uma rede GSM/GPRS, isto é, explorar melhor o canal GSM de 200 kHz com seus quadros TDMA. Em teoria, o EDGE pode fornecer comunicação de dados de até 384 kbps.
- CDMA 2000, fase 1: é uma evolução do IS-95 e pode prover serviços de pacote de dados até 144,4 kbps.

Sistemas celulares 3G foram projetados para permitir comunicação de dados a velocidades mais altas do que os 2G. Dentre os padrões da telefonia celular 3G, destacam-se:

- UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service) ou Serviço Universal de Telecomunicação Móvel: utiliza a técnica Direct Sequence Widebrand CDMA (DS-CDMA). Este padrão é mais utilizado na Europa, pois representa uma evolução do GSM;
- CDMA-2000: também utiliza CDMA como parte de sua interface. Este padrão é mais utilizado na América do Norte e em partes da Ásia.
- HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*), também chamado 3.5G. Este tem um serviço de transmissão de pacotes de dados que opera dentro do UMTS, provendo uma transmissão de dados teórica de até 14 Mbs, utilizando larguras de banda de 5MHz.

B. Metodologia

Durante a pesquisa sobre o módulo de controle do relé digital via Internet, buscou-se na literatura maneiras de desenvolver um sistema computacional que privilegiasse a criação de níveis (camadas), cada um com uma funcionalidade bem definida, fraco acoplamento entre os níveis adjacentes. Sendo assim, optou-se por uma arquitetura em níveis (camadas) contendo (ver Figura 2): Interface Homem-Máquina; Controle de Sessão; Lógica do Negócio; Acesso a Informação ou Controle de Atuação; Aquisição de Dados e Atuação. Cada um dos níveis é detalhado em blocos funcionais [19], [20]. Também se utilizou a análise e projeto orientado a objetos e a programação orientada a objeto. Além disto, são utilizados alguns conceitos de concorrência para que o sistema possa ser acessado por múltiplos usuários. [21]

Uma vez definida a arquitetura em diagramas de blocos, optou-se por criar modelos em UML [12] para melhor expressar o sistema independente de tecnologia ou plataforma. Em seguida, definiram-se as tecnologias e plataformas a serem usadas em cada nível.

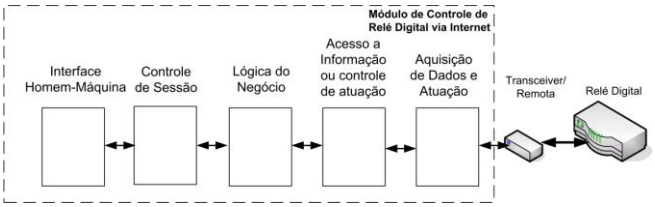

Figura 1. Arquitetura do controle de relé via Internet

As tecnologias como linguagem de programação Java, Java Server Pages, JavaBeans e Base de Dados Relacionais foram escolhidas para a implementação do sistema de software do CGP. Para a criação de páginas Web dinâmica, utilizou-se a plataforma Java e JSP [13], [14]. Para a lógica do negócio utiliza-se Java Beans que são expostos como serviços Web. Desta forma, a camada de Controle de Sessão se comunica com a Lógica do Negócio através de serviços Web. A comunicação entre as camada é feita via Internet ou telefonia digital 3G para suportar a Internet. Diagramas entidade-relacionamento e o sistema gerenciador de base de dados (SGBD) Oracle [22] são utilizados na expansão da base de dados que armazena os dados dos relés digitais.

III. Implementação de funções de Centro de Gestão da Proteção

Sendo que o protótipo de centro de gestão da proteção será testado no sistema da CEMAR, os requisitos consideram as características atuais da rede elétrica. O Centro de Operação do Sistema CEMAR (COS), que supervisiona e controla os equipamentos telecomandados da rede adotou a tecnologia GPRS como canal de comunicação redundante. [7]

Um dos próximos avanços considerados nessa modernização é um centro de gestão da proteção. As funções desse CGP dentro do escopo do presente projeto foram basicamente definidas no diagrama da Figura 1.

A. Antecedentes

Durante o processo de desenvolvimento do projeto foi observada a forma como os dados dos relés digitais são aquisitados na CEMAR, que consiste basicamente de duas formas:

1. Via Telnet, onde a comunicação era feita relé a relé, sendo um de cada vez, via terminal do sistema operacional. Esta forma não era uma boa opção, pois só se podia ver dados naquele exato instante em que a comunicação era feita logo os dados não eram persistidos, além de estarem sendo exibidos apenas no formato pré-estabelecido pelo fabricante;
2. Via aplicação do fabricante dos relés, por exemplo, SEL (Schweitzer Engineering Laboratories). Nesta aplicação podem ser obtidas informações do relé, armazená-las em um arquivo de formato específico e exibi-las aos usuários. Entretanto este procedimento também é manual onde o usuário sempre tem que solicitar as informações junto do relé.

B. Hardware e software disponível

O sistema elétrico da CEMAR conta com subestações digitalizadas, chaves e religadores automatizados, um Centro de Operações em São Luís do Maranhão, relés digitais (para proteção, medição, supervisão e comando), definição de um protocolo aberto, utilização de fibra óptica e rede Ethernet, utilização da tecnologia GPRS para comunicação entre o COS e as subestações digitalizadas, chaveamento automático entre canais na perda do canal operante. [7]

Os relés digitais IEDs consideram três portas de comunicação: para automação (protocolo DNP3.0), para acesso remoto e para acesso local.

As remotas possuem portas Ethernet (DNP3 sobre TCP/IP) em fibra óptica, portas seriais RS-232 configuráveis com protocolo DNP3 (para o canal GRPS) e automatismo.

O concentrador de dados do COS dispõe de coleta dos dados das remotas, disponibilização dos dados para o sistema SCADA, gerenciamento dos canais de comunicação.

Equipamentos específicos ao presente projeto de pesquisa são quatro relés digitais SEL-351A, a plataforma computacional SEL-3351 (inclui softwares SEL-5040 e SEL-5020), roteador 3G. Em software o SCADA Elipse E3.

C. Funções do CGP

O sistema do Centro e Gestão da Proteção (CGP) tem por objetivo a recuperação de dados medidos ou inferidos através de relés digitais utilizados na proteção dos sistemas de energia. Ele é constituído por um sistema de software e uma ou várias arquiteturas de hardware. Os dados recuperados a partir dos relés digitais são armazenados em uma base de dados e, o acesso a estes dados ou informações inferidas a partir destes dados é feito através de um browser Web em um notebook ou desktop ou através de um smartphone executando o aplicativo cliente do CGP. O CGP prevê uma redundância da infraestrutura de comunicação com a Internet através da comunicação via 3G (UMTS/HSDPA).

Na Figura 2 mostra-se um diagrama ilustrando o contexto do sistema CGP. Do lado direito desta Figura tem-se o relé digital conectado a um transceiver/remota e este último conectado ao servidor de acesso da CEMAR, dando assim acesso remoto ao relé digital. Este acesso pode ser feito via um Laptop+modem 3G ou smartphone com comunicação 3G ou via um notebook ou desktop com comunicação com a Internet via Browser Web.

1) Funções do módulo de controle para Internet

O módulo de controle via Internet de relés digitais fornece funcionalidades de consulta e atuação em relés. Na definição deste módulo, propôs-se uma arquitetura dividida em níveis (camadas) de forma a permitir um desacoplamento e flexibilidade entre os diferentes níveis (camadas).

As funcionalidades do módulo de controle via Internet dos relés digitais, consistem na recuperação de dados através de comandos do protocolo LMD/SEL. LMD é um protocolo onde múltiplos relés SEL compartilham um canal de comunicação comum. A seguir alguns comandos LMD/SEL:

- log: permite a um usuário executar a autenticação no "cliente de acesso via *smartphone*" e se autenticar também no sistema de "controle de sessão
- acc: abre o nível 1 de acesso/consulta ao relé digital;
- 2access: abre o nível 2 de acesso ao relé digital, permitindo, além de consulta, a configuração do mesmo.
- met: solicita as métricas do relé (tensão V, corrente A, etc.);
- ser: requisita eventos seqüenciais ocorridos no relé;
- sta: solicita o estado do relé digital (status);
- tri: cria novos pedidos de eventos no relé digital;

- chi: faz a enumeração dos eventos criados no relé;
- cev: coleta os eventos no relé digital;
- set: configura o relé digital (requer acesso no nível 2).

O sistema CGP somente permitirá a recuperação de dados sem fazer alguma alteração ou modificação no estado dos relés digitais conforme solicitação da CEMAR.

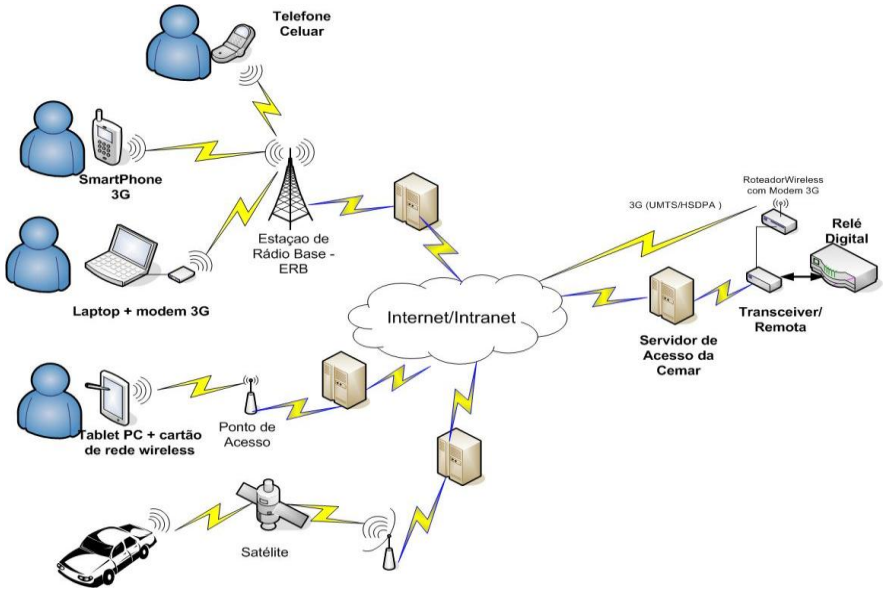

Figura 2. Contexto do sistema CGP.

2) Funções do módulo de controle para 3G

Após análise das tecnologias de comunicação disponíveis, a tecnologia mais adequada para suprir os requisitos do projeto foi considerada a tecnologia 3G em substituição da tecnologia VoIP (Voice over Internet Protocol), prevista inicialmente. Por outro lado, a tecnologia GPRS (também considerada na formulação do projeto) tal como evidenciado em outros projetos P&D ANEEL, não foi considerada porque apresenta custos mais elevados que a tecnologia 3G.

3) Desenvolvimento de software para PC

O Desenvolvimento de software para PC envolve as camadas de Controle de Sessão, Acesso a Informação e Aquisição de Dados. Em específico, as seguintes tarefas foram desenvolvidas:

- Análise, projeto e implementação da camada de Controle de Sessão para acesso ao sistema CGP;
- Análise e modelagem da extensão da base de dados de acordo com a configuração do registro de eventos do relé digital (conforme planilha de dados da configuração padrão dos relés em uso pela CEMAR);
- Implementação da extensão da base de dados.

D. Implementação do sistema de software do CGP.

1) Arquitetura do sistema de software do CGP

Na Figura 3 tem-se a arquitetura proposta do módulo de controle de relé digital via Internet. Este módulo é composto por diferentes partes ou níveis (camadas):

- Interface Homem-Máquina (IHM): permite que um usuário acesse as funcionalidades do sistema de controle de relé digital via Internet. Esta interface deve permitir o acesso através de um browser Web ou um dispositivo móvel;
- Controle de sessão: gerencia sessões de usuários, permitindo que as tarefas sejam realizadas mesmo com desconexões da rede, guardando o espaço de trabalho dos usuários. Isto se faz necessário, pois a Interface Home-Máquina pode se desconectar devido a problemas no segmento da rede entre a Interface Home-Máquina e Controle de Sessão;
- Lógica do Negócio: gerencia e executa as funcionalidades de acesso e controle de um relé digital de forma uniforme e independente do tipo de relé.
- Acesso a Informação ou controle de atuação: permite gerenciar os acessos múltiplos tanto de consulta de dados quanto de controle de atuação. Este nível faz a recuperação dos dados do relé através de chamadas ao nível de Aquisição de Dados e Atuação, formatando os dados e os armazenando em um banco de dados. Consultas múltiplas são possíveis, pois, quando um usuário faz uma consulta, o Gerenciador de Acesso faz chamadas ao banco de dados. Sendo assim, as consultas dos usuários não são feitas diretamente ao nível de Aquisição de Dados e Atuação, permitindo também que os dados sejam acessados de maneira mais uniforme.
- Aquisição de Dados e Atuação: este nível usa um transceiver/remota para acessar um relé digital.

2) Análise e projeto do CGP em UML

As funcionalidades envolvem a recuperação de dados a partir da base de dados localizada na camada "Acesso a Informação ou Controle de Atuação". Esta base de dados é alimentada com dados obtidos a partir da camada de "Aquisição de Dados" que comunica com o relé digital via uma Remota/Transceiver. Os relés digitais são acessados através

de comandos baseados no protocolo LMD/SEL e mais acréscimos específicos. Vale ressaltar que os comandos LMD/SEL a partir do "Browser Web" não atuam diretamente no relé digital, mas sim recuperam dados armazenados na base de dados.

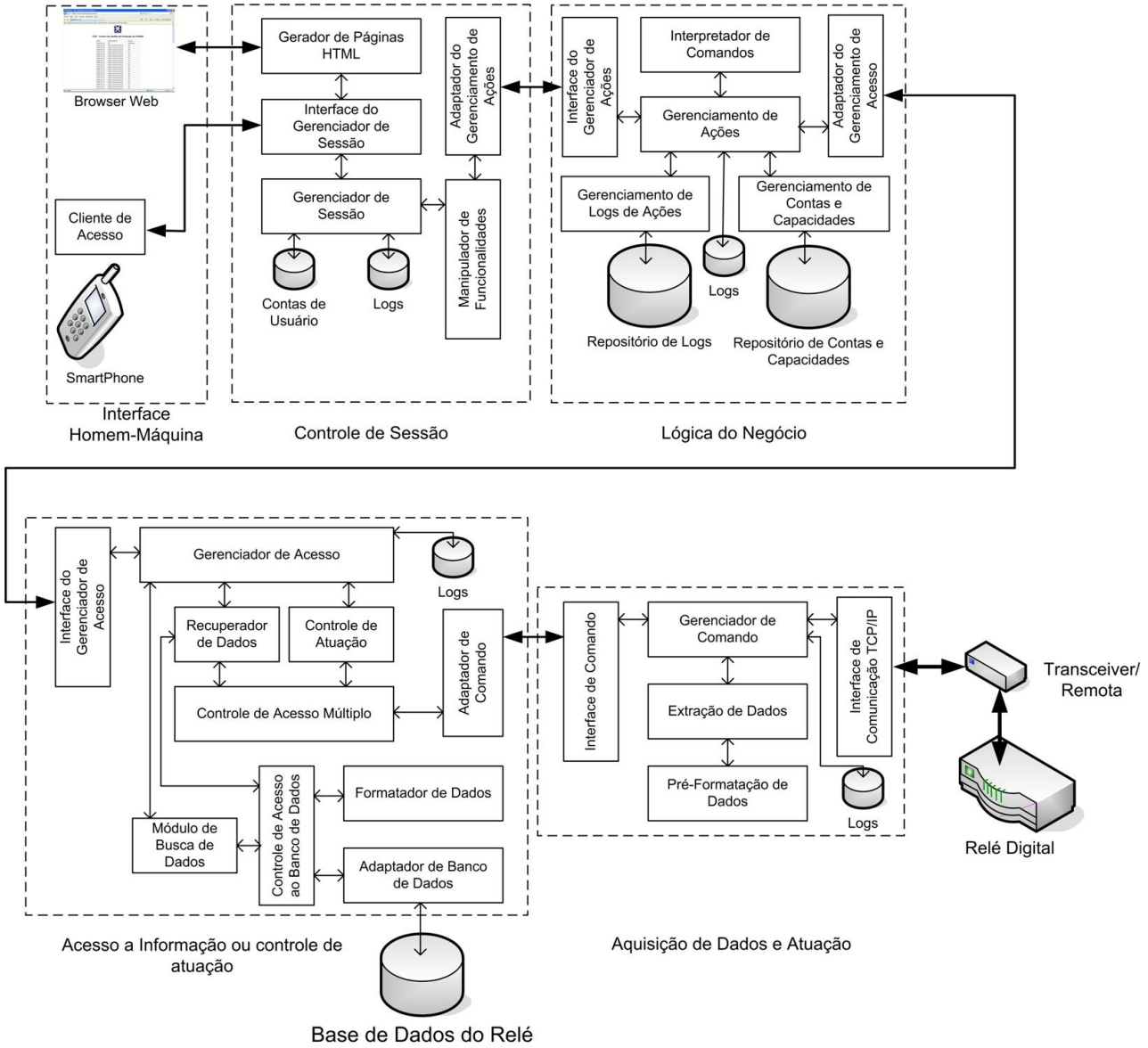

Figura 3. Arquitetura detalhada do módulo de controle de relé digital via Internet.

A análise e projeto do CGP são feitos utilizando a linguagem de modelagem UML. Assim, criaram-se diagramas de casos de uso, diagramas de classe e diagramas de sequencia.

3) Implementação de funções em Java e JSP

As funções e programas do CGP foram codificados em Java e JSP. Para o acesso aos dados e cadastro de usuários foi implementado um aplicativo Web com características interativas e atendendo especificações da concessionária.

O módulo Controle de Sessão para cliente via browser Web está desenvolvida na plataforma J2EE que fornece o suporte para JSP. O Controle de Sessão realiza a comunicação com o nível (camada) de Lógica de Negócio desenvolvido na Plataforma Java. A comunicação entre o Cliente Browser Web e Controle de Sessão é feita via a Internet. A comunicação entre o módulo de Controle de Sessão e Lógica do Negócio foi projetada e implementada através de serviços Web, ou seja, os Java Beans são expostos como serviços Web pois esta tecnologia traz benefícios significativos como interoperabilidade com outras plataformas e sistemas

4) Modelagem e implementação da base de dados

A base de dados do CGP foi modelada seguindo a modelagem entidade-relacionamento. A base de dados do CGP foi modelada com o PowerDesigner.

Vale ressaltar que a base de dados foi criada segundo os padrões da CEMAR.

5) Assinatura digital e criptografia

Esta etapa consistiu na introdução de código adicional para garantir a segurança através da assinatura digital e criptografia. Embora não estivesse previsto, criou-se o programa "Terminal TCP/IP – COM" para instalação na plataforma SEL 3351. Também se completou a instalação da plataforma SEL 3351 na subestação São Francisco da CEMAR. Esta

subestação foi escolhida para realização dos testes, juntamente com as subestações Centro e Forquilha.

a) Tecnologias e plataformas utilizadas para garantir a segurança

Foram utilizadas as seguintes tecnologias:

- JME (Java Micro Edition) - WTK - Sun Java Wireless Toolkit 2.5.2_01;
- Plataforma J2SDK e JRE versão 1.6.0_07;
- JavaServerPages e Servlets;
- SGBD Oracle (versão 10g) e Linguagem SQL;
- J2EE (Java Enterprise Edition), incluindo suporte a Web Services;
- Bibliotecas de segurança: Bouncy Castle (v.1.4.0);
- Biblioteca em Java para comunicação com porta serial: pacote RXTX (versão 2.1-7r2) e a especificação Java Communications API;
- Sistema operacional Windows XP Professional. O CGP também funciona em Linux com exceção do módulo do Terminal TCP/IP-COM que foi desenvolvido para Windows XP Professional.

b) Descrição da implementação de segurança

A solução de segurança utilizada pela aplicação consiste na utilização de par de chaves assimétricas por ambos os lados da comunicação (cliente móvel e servidor remoto), onde cada parte gera seu próprio par e armazena localmente. Quando a aplicação móvel é iniciada ela verifica a existência de seu par localmente, se não existe o próprio sistema gera um automaticamente e o armazena localmente.

Uma vez de posse de seu par de chaves a aplicação verifica se a chave pública do servidor está presente, se não a solicita junto do servidor que por sua vez envia um certificado digital gerado pelo próprio servidor que contém sua chave, que é extraída pela aplicação móvel. Se a localização do servidor não está presente o sistema pede que sua localização seja informada.

Quando a aplicação estiver de posse da chave pública do servidor, ele exibe a tela de login do sistema onde o usuário informa os seus dados de acesso (login e senha). A partir da senha informada um valor de hash é gerado, com posse do usuário e do hash estes dados são criptografados usando a chave pública do servidor. Assim, uma mensagem é gerada para validar o login no sistema, contendo o usuário e o hash da senha, além de enviar sua própria chave pública. O servidor decifra o conteúdo da mensagem se o usuário estiver cadastrado na base de dados ele envia uma mensagem de confirmação e armazenando a chave pública da aplicação cliente, senão envia uma mensagem negando o acesso ao sistema e descartando a chave recebida. Todas as mensagens enviadas para um cliente a partir de seu login são cifradas usando sua chave pública

Estando o acesso liberado o usuário pode utilizar a aplicação, que consiste principalmente em obter informações sobre os reles digitais armazenados em uma base de dados remota, sempre que a aplicação solicitar algo ao servidor a mensagem é cifrada usando a sua chave pública. Além disso, as mensagens são assinadas digitalmente pela aplicação usando a chave privada da aplicação móvel, cabendo ao servidor verificar a autenticidade da mensagem e decifrando-as. Para que o servidor possa identificar o usuário, a aplicação sempre envia seu login e o hash da senha cifrados

E. Configurações com diversos hardwares

O sistema de software CGP foi desenvolvido para ser modular e facilmente adaptável a diversos tipos de hardware. Para conseguir isto, o sistema de software foi dividido em camadas tal como apresentado na Figura 3. Assim, caso surja um novo tipo de relé ou outro tipo de protocolo, basta criar um módulo de aquisição de dados que entenda o novo protocolo de comunicação.

Vislumbram-se três cenários contendo diferentes arranjos de hardware que podem funcionar adequadamente com o sistema CGP. Na Figura 4 mostra-se um arranjo de hardware facilmente integrável com a configuração atual do sistema da CEMAR. Na Figura 5 é apresentado um cenário no qual a plataforma SEL-3351 é utilizada para acessar os relés. Na Figura 6 considera-se um switch conectado aos relés através de um transceiver "comunicação serial" e Ethernet (TCP/IP).

A configuração da Figura 4 estende a configuração atual da CEMAR com o acréscimo do "roteador wireless com modem 3G" para garantir uma redundância do meio de comunicação que é acionada quando a comunicação cabeada falhar. Esta configuração tem o benefício de reutilizar os equipamentos disponíveis nas subestações da CEMAR, implicando apenas no acréscimo do roteador wireless com modem 3G. Entretanto, o canal de comunicação fica limitado à velocidade de comunicação serial a 9.600 bps que se dá exclusivamente com um único relé digital por vez.

A configuração da Figura 5 é completamente nova e foi resultado de análise conjunta com engenheiros da CEMAR. Esta configuração constitui na inserção da plataforma SEL 3351 (adquirida através deste projeto de P&D). Nesta configuração, uma conexão Ethernet (TCP/IP) dá acesso à plataforma SEL 3351. Através das 16 portas de comunicação serial da plataforma SEL 3351 é possível se conectar 16 relés digitais SEL 351. Nesta nova configuração, a plataforma SEL 3351 comunica a 9.600 bps com cada relé digital e também pode comunicar com todos os 16 relés digitais ao mesmo tempo. Esta comunicação é possível graças a um programa denominado "Terminal TCP/IP – COM" que foi criado no contexto deste projeto de P&D. O "Terminal TCP/IP – COM" recebe a comunicação via TCP/IP e o repassa para as portas seriais de forma transparente para o usuário e para o sistema CGP. Este programa também emula o protocolo LMD de endereçamento dos relés digitais. Esta configuração também possui a redundância da comunicação com a Internet através da comunicação via telefonia celular 3G. Além disto, parte do sistema CGP pode ser instalada na própria plataforma SEL 3351 como, por exemplo, a aquisição de dados e o acesso à informação (que contém a base de dados).

Na Figura 6 considera-se uma configuração que também foi resultado após análise com engenheiros da CEMAR. Nesta configuração a comunicação com cada relé se dá a 9.600 bps e pode ser feita paralelamente. Entretanto, esta configuração implica em custo adicional do switch Ethernet para ambientes industriais e transceivers para cada relé digi-

tal. A princípio, o sistema CGP pode ser facilmente adapta- do para trabalhar com esta configuração.

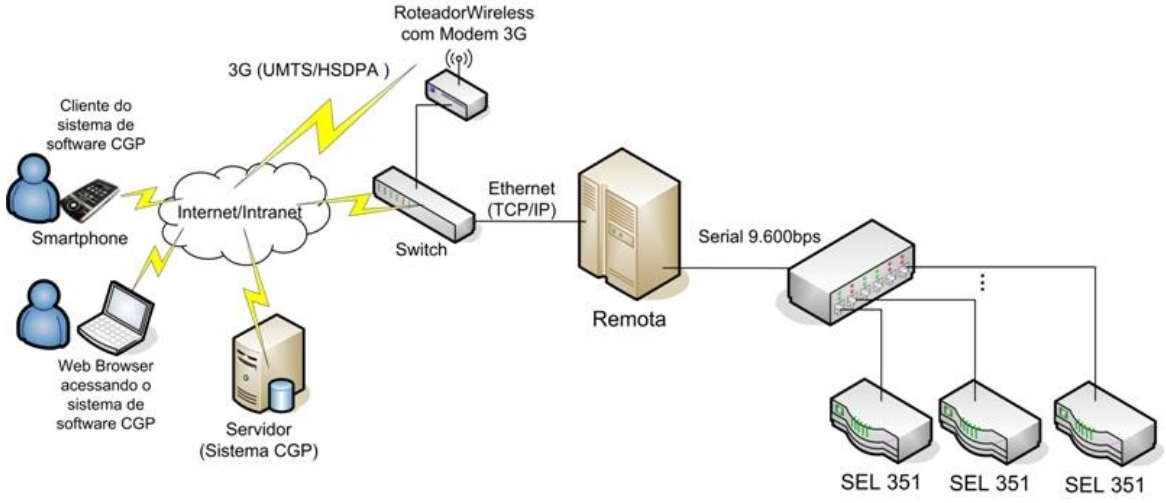

Figura 4. Cenário I: Utilização da Remota e do modem 3G para redundância do meio de comunicação.

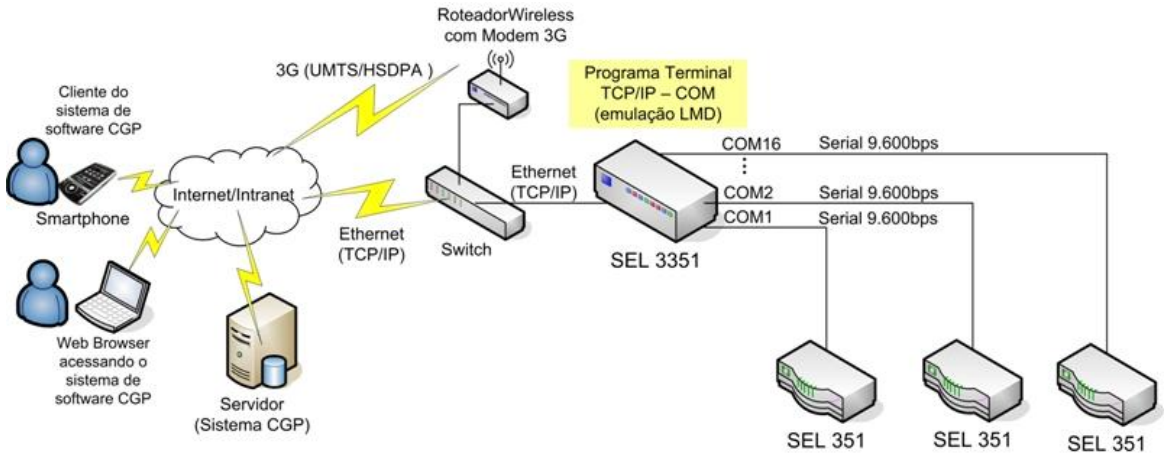

Figura 5. Cenário II: Utilização da plataforma SEL-3351 e do modem 3G para redundância do meio de comunicação.

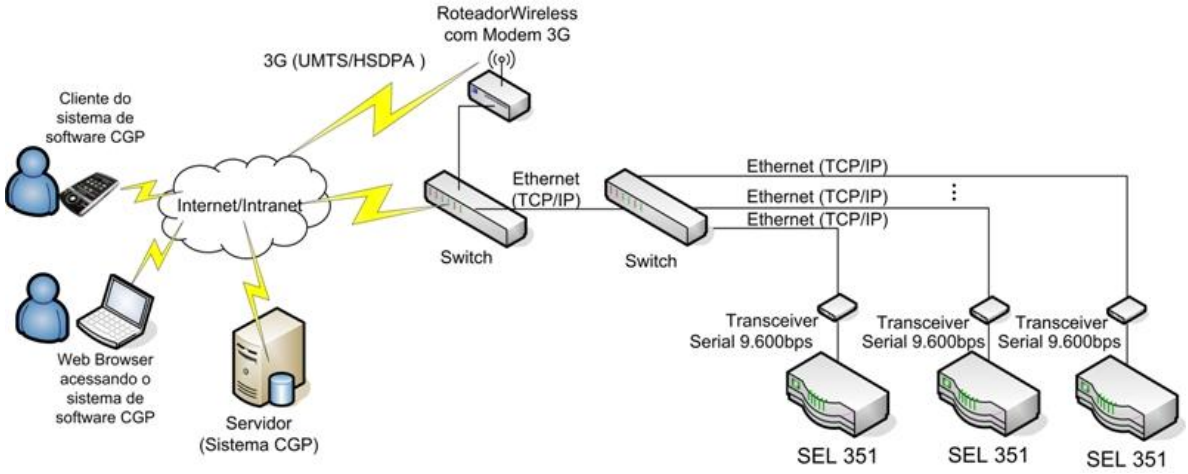

Figura 6. Cenário III: Utilização de transceiver e switch para permitir a comunicação direta com os relés digitais.

IV. Implantação e testes do protótipo de CGP

O sistema final protótipo CGP é composto de três módulos funcionais, que se complementam entre si:

1. Módulo de aquisição de dados – responsável pela comunicação com os relés via rede, obter os dados gravados neles e armazená-los em uma base de dados. Este módulo foi desenvolvido para ser utilizado independentemente da tecnologia de rede da comunicação com o relé. O módulo trabalhado de forma transparente e automática, cabendo ao usuário apenas algumas configurações que são feitas na aplicação móvel. Este módulo não faz configuração dos relés nem nas remotas, seu objetivo é tão somente a aquisição de dados;

2. Aplicação Web – responsável pelo cadastro dos dados sobre: cidades, subestações, remotas e relés. Também, a configuração de quais remotas e relés o módulo de aquisição de dados deve se comunicar e as informações dos detalhes para a comunicação (tais como o endereço IP e as portas onde eles estão localizados) das remotas e o endereço da remota no relé. Neste módulo não são feitas configurações nos relés nem telecomandos. Além disso, neste módulo podem ser exibidos um conjunto de relatórios resultantes das leituras dos dados do relé;

3- Aplicação móvel – uma opção para exibição dos dados aquisitados nos relés. Nesta aplição não são permitidas que sejam feitas configurações nos relés nem que sejam enviados telecomandos, servindo apenas para consulta.

Um quarto módulo realiza a função da remota na plataforma computacional SEL-3351.

Nas Figuras 7, 8, 9, 10, e 11 são mostradas fotografias e screenshots do funcionamento do sistema de software CGP. Já nas Figuras 12, 13 e 14 têm-se fotografias da implementação de hardware em campo (Subestação São Francisco).

Ao perceber-se que o principal problema de ambas as soluções utilizadas pela empresa foi que nem todos os dados armazenados nos relés estariam à disposição já que o relé possui uma memória limitada, sendo que os dados são sobrescritos à medida que os eventos ocorrem, além de não armazenar os dados das medidas instantâneas.

A partir dessas informações a estratégia adotada consistiu em um sistema que pudesse obter e utilizar posteriormente os dados armazenados nos relés sem a perda deles.

Primeiramente, foi feita a modelagem dos dados com base nos comandos para aquisição de informações nos relés, tanto via telnet quanto via aplicação, bem como obter os dados sobre os reles na própria base. Logo, a base de dados deveria ter informações sobre os relés, os dados dos comandos executados e resultados obtidos com sua execução.

Posteriormente, tendo em vista o número de reles instalados em todas as suas subestações, viu-se a necessidade da obtenção de dados de forma automatizada e em vários pontos diferentes simultaneamente. Assim, o módulo de aquisição de dados foi idealizado para ser a ferramenta que desempenha esta função. Este módulo funciona como um telnet, mas independentemente da ação do usuário. Este módulo foi desenvolvido para ser utilizado de diferentes maneiras de forma a atender as necessidades da CEMAR:

1. Pode rodar em um servidor comunicando-se via rede com as remotas, ou terminais servers, instaladas nas subestações e estas se comunicam com os relés, desta forma pode comunicar com várias remotas simultaneamente e obtendo os dados, após a obtenção dos dados entra em um modo de espera definido pelo usuário, para reiniciar a aquisição dos dados;

2. Pode executar diretamente nos terminais servers e este com os relés, neste caso a aquisição se dá somente nos relés ligados ao terminal server, entretanto esta solução não é independente de uma base de dados, pré-requisito para que o sistema funcione;

Após a obtenção dos dados é necessário seguir um procedimento para cada comando que consiste em extrair as informações recebidas, pois os dados estão padronizados para serem exibidos no monitor, logo percebeu-se a necessidade de um parser para adaptar os dados lidos para serem escritos na base dados.

Os testes foram realizados com sucesso e permitem validar as vantagens do sistema protótipo de CGP da CEMAR baseado na tecnologia 3G.

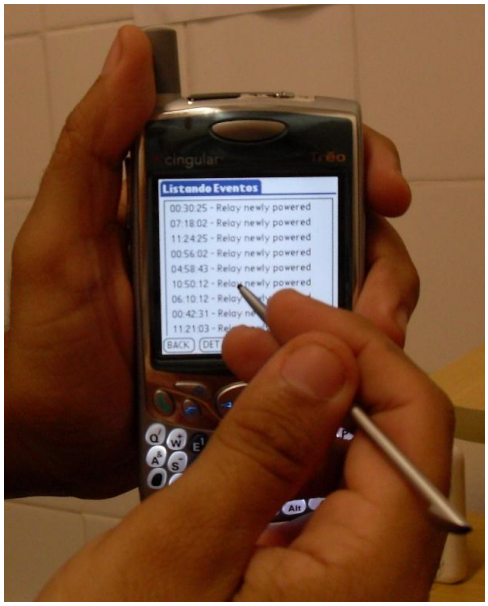

Figura 7. CGP listando eventos via smartphone

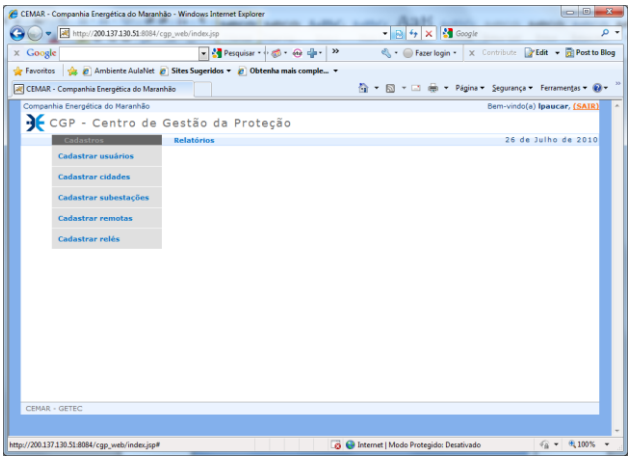

Figura 8. Screenshot mostrando menus do aplicativo Web do CGP.

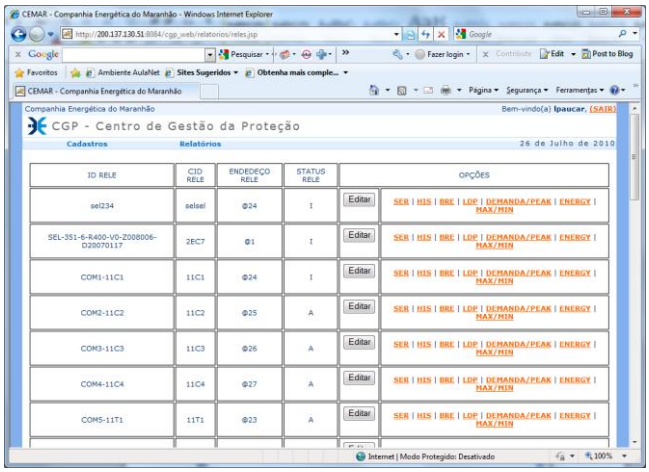

Figura 9. Screenshot do sistema CGP mostrando cadastros.

Figura 10 – Aplicativo móvel com lista as cidades cadastradas.

```
---- evento já armazenado
tratando : 5     10/02/19  10:33:09.111   OUT107              Asserted
SELECT IDTIPOEVENTO FROM TIPOEVENTO WHERE DESCRICAO = 'OUT107'
SELECT idEvento FROM EVENTO_SER WHERE data='10/02/19 10:33:09,111'
---- evento já armazenado
tratando : 4     10/02/19  10:33:14.110   79LO                Deasserted
SELECT IDTIPOEVENTO FROM TIPOEVENTO WHERE DESCRICAO = '79LO'
SELECT idEvento FROM EVENTO_SER WHERE data='10/02/19 10:33:14,110'
---- evento já armazenado
tratando : 3     10/02/19  10:33:14.110   79RS                Asserted
SELECT IDTIPOEVENTO FROM TIPOEVENTO WHERE DESCRICAO = '79RS'
SELECT idEvento FROM EVENTO_SER WHERE data='10/02/19 10:33:14,110'
---- evento já armazenado
tratando : 2     10/02/19  10:33:14.115   SH2                 Deasserted
SELECT IDTIPOEVENTO FROM TIPOEVENTO WHERE DESCRICAO = 'SH2'
SELECT idEvento FROM EVENTO_SER WHERE data='10/02/19 10:33:14,115'
---- evento já armazenado
tratando : 1     10/02/19  10:33:14.115   SH0                 Asserted
SELECT IDTIPOEVENTO FROM TIPOEVENTO WHERE DESCRICAO = 'SH0'
SELECT idEvento FROM EVENTO_SER WHERE data='10/02/19 10:33:14,115'
---- evento já armazenado
```

Figura 11 - Dados sendo armazenados após a execução do comando SER, caso já existam não são reinseridos.

Figura 12. Relés SEL-351A na SE São Francisco.

Figura 13. Modem 3G na SE São Francisco.

Figura 14. Plataforma SEL-3351, SE São Francisco.

V. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema computacional protótipo de centro de gestão da proteção através das tecnologias 3G, serviços Web, tecnologia Java, computação móvel e que possibilitou implementar um sistema de software e várias arquiteturas de hardware.

O protótipo de CGP foi testado com sucesso no Centro de Operação do Sistema da CEMAR, em São Luis- MA, demonstrando a utilidade da tecnologia 3G para comunicação como canal redundante.

Um dos principais resultados obtidos pelo projeto foi a recuperação e armazenamento de inúmeras informações contidas nos relés digitais que podem servir para diferentes tipos de análise, tais como análise do crescimento da demanda; além de propiciar a obtenção de dados que poderiam ser perdidos caso um relé deixasse de funcionar e assim obter informações sobre ele antes da sua parada, podendo-se verificar seu estado antes do ocorrido.

Devido que o sistema de software do centro de gestão da proteção da CEMAR foi implementado de uma forma modular e utilizando a tecnologia Java, ele facilmente poderá ser adaptado a diversos tipos de hardware.

VI. REFERÊNCIAS

[1] M. D. Ilic, *Power Systems Restructuring Engineering and Economics*, Kluwer International Series in Engineering & Computer Science, 1998.

[2] H. L. Willis, *Power Distribution Planning Reference*, CRC; 2nd ed., 2004.

[3] F. Zavoda, "The key role of intelligent electronic devices (IED) in advanced Distribution Automation (ADA)," *China International Conference on Electricity Distribution - CICED*, pp. 1-7, Dec. 2008.

[4] G.P. Azevedo and A.L. Oliveira Filho, "Control centers with open architectures," *IEEE Computer Applications in Power*, vol.14, no.4, pp.27-32, Oct. 2001.

[5] D. V. Coury, M. Oleskovicz e R. Giovanini. *Proteção Digital de Sistemas Elétricos de Potência: dos Relés Eletromecânicos aos Microprocessados Inteligentes*, São Carlos: EESC-USP, 2007.

[6] R. M. Pereira e I. M. Spritzer, "Automação e digitalização em subestações de energia elétrica: um estudo de caso," *XXVI ENEGEP*, Fortaleza-CE, pp.1-8, Out. 2006.

[7] N. C. Brito, R. A. Barroso, R. S. Loureiro, D. D. Nina e R. T. Gissoni, "A experiência da CEMAR na digitalização de subestações e a utilização da tecnologia GPRS e canal redundante", *VII SIMPASE*, Salvador-BA, PP.1-8, 2007.

[8] C. A. Oliveira Jr., *Desenvolvimento de um protocolo de comunicação para automação de subestações móveis via satélite*, Dissertação de mestrado, UFRN, 2005.

[9] A. C. Pereira et al., "Automação de subestações e usinas - Estado da arte e tendências utilizando a Norma IEC 61850," *VII SIMPASE*, Salvador-BA, PP.1-11, 2007.

[10] M. Qureshi et al., "A Communication Architecture for Inter-substation Communication," *IEEE 8th International Conference on Computer and Information Technology Workshops - CIT Workshops*, Sydney, pp. 577-582, July 2008.

[11] B. A. Hallberg, *Networking: Redes de Computadores - Teoria e Prática*, Alta Books, 2003.

[12] J. Arlow and I. Neustadt, *UML 2 and the Unified Process*, 2nd ed., Addison Wesley, 2005.

[13] H. M. Deitel e P. J. Deitel, *Java: Como Programar*, 6ª ed., Editora Pearson, 2005.

[14] J. Gosling, B. Joy, G. Steele and G. Bracha, *The Java Language Specification*, 3rd ed., Addison Wesley, 2005.

[15] R. Riggs, A. Taivalsaari, J. V. Peursem, J. Huopaniemi, M. Patel and A. Uotila. *Programming Wireless Devices with the Java 2 Platform, Micro Edition*, 2nd ed., Prentice Hall, 2003.

[16] S. Weerawarana, F. Curbera, F. Leymann, T. Storey and D. F. Ferguson, *Web Services Platform Architecture*, Prentice Hall, 2005.

[17] T. Erl, *Service-Oriented Architecture: A Field Guide to Integrating XML and Web Services*, Prentice Hall, 2004.

[18] M. S. de Alencar, *Telefonia Celular Digital*, Editora Érica, 2004.

[19] I. Sommerville, *Engenharia de Software*. 6ª ed., Pearson, 2003.

[20] S. L. Pfleeger, *Engenharia de Software: Teoria e Prática*, 2ª ed., Prentice-Hall, 2004.

[21] J. F. Kurose e K. W. Ross, *Redes de Computadores e a Internet*, Pearson Addison Wesley, 3ª ed., 2007.

[22] I. Navathe e B. Shamkant, *Sistemas de Banco de Dados*, 4ª ed., Editora Pearson, 2008.