



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### Desenvolvimento de um Sistema de Telemedicação de Energia Elétrica com Controle por Demanda e Monitoramento de Faltas em BT

<b>Rodrigo Jardim Riella</b>	<b>Luiz Carlos de Oliveira</b>	<b>Carlos Ademar Purim</b>
<b>LACTEC</b>	<b>CPFL</b>	<b>LACTEC</b>
riella@lactec.org.br	lucadeol@cpfl.com.br	purim@lactec.org.br
<b>Giordano Bruno Wolaniuk</b>	<b>Andréia Aparecida Barbiero</b>	<b>Marcos Venício Scheffler</b>
<b>LACTEC</b>	<b>LACTEC</b>	<b>LACTEC</b>
giordano@lactec.org.br	andreia.barbiero@lactec.org.br	marcosv@lactec.org.br

#### Palavras-chave

Comunicação GPRS

Comunicação pela Rede Elétrica

Controle Automático de Demanda

Deteção de Faltas em BT

Telemedicação de Energia Elétrica

#### Resumo

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema de telemedicação de energia elétrica para consumidores de qualquer classe, agregando funções de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD), detecção de fraude em medidores, sinalização de faltas em BT e cálculo do balanço energético. Este sistema é composto por medidores eletrônicos de energia elétrica instalados nos consumidores, unidades remotas avançadas (URAs) instaladas na saída do secundário de um transformador de BT e um software de controle e gerenciamento, instalado na concessionária. Os medidores eletrônicos, além de implementar as funções de medição de energia ativa e reativa, com possibilidade de tarifação horo-sazonal, implementam funções de corte e religamento com funções de GLD. Estes medidores comunicam-se com o módulo concentrador através de comunicação pela rede elétrica (PLC). A URA, além de armazenar os dados gerados pelos medidores dos consumidores, efetua toda a interface entre estes medidores e o software de controle na concessionária, utilizando comunicação PLC com os medidores e GPRS com o software. Além destas funções, a URA efetua o cálculo do balanço energético do circuito e detecção de faltas, permitindo o monitoramento on-line dos índices de DEC, FEC, DIC e FIC.

## 1. Introdução

O desenvolvimento do sistema apresentado visa dar continuidade aos resultados obtidos no projeto intitulado "Sistema desligador/religador de consumidores" (Chueiri et al, 2004).

Neste projeto, foi desenvolvido e implantado um sistema de corte e religamento remoto de consumidores, sem a intervenção das equipes de campo. Neste projeto, foi desenvolvido um sistema de baixo custo e operação automatizada que realiza o desligamento e religamento remoto de consumidores com irregularidades no pagamento das contas de energia elétrica ou por solicitações com justificativas, evitando o deslocamento de equipes para a realização destas tarefas. Assim, devido ao fato do sistema ser automatizado, a ação de desligamento ou religamento pode ser realizada em curto intervalo de tempo, desde a notificação da ocorrência até a sua execução, reduzindo assim parte das perdas do sistema de distribuição pela inadimplência. Este sistema ainda leva em conta datas como feriados e finais de semana, onde os desligamentos não ocorrem por não permitirem aos consumidores a realização das regularizações necessárias.

Com os resultados obtidos no projeto anterior vislumbrou-se a possibilidade de agregar um maior número de funcionalidades ao sistema desenvolvido, possibilitando assim um melhor aproveitamento da comunicação remota estabelecida entre a concessionária e os seus clientes. A primeira funcionalidade verificada é a medição remota de energia elétrica, a partir da utilização de medidores eletrônicos. Entretanto, para possibilitar esta leitura remota foi necessária a adoção de um método de comunicação bidirecional entre a concessionária e o medidor do consumidor. Este tipo de comunicação se fez necessária para implementar tanto os comandos de corte e religamento, que partem da concessionária, quanto às medições remotas, que partem dos medidores instalados nos consumidores. Assim, a estrutura do sistema foi redefinida com o objetivo de implementar esta comunicação bidirecional. Desta maneira, foi adotada uma estrutura segmentada em três módulos principais: o módulo do cliente, composto por medidores eletrônicos de energia elétrica com comunicação PLC, relé para corte, religamento e implementações de *firmware* para GLD; um módulo do transformador, composto pela Unidade Remota Avançada, que adquire os dados e envia comandos aos medidores ligados ao transformador através de comunicação PLC, além de adquirir dados do próprio transformador e os envia à concessionária através de um módulo de comunicação GPRS e um software de supervisão e gerenciamento, instalado na concessionária, que armazena os dados coletados da Unidade Remota Avançada e os distribui aos diferentes setores de interesse dentro da concessionária. A implementação do sistema de telemedição gera impactos não somente nas operações de corte e religamento de consumidores inadimplentes, mas também nas áreas de medição, faturamento, controle de carga, perdas e fraudes, qualidade do serviço e marketing. A estrutura do sistema de telemedição é mostrada na figura 1.

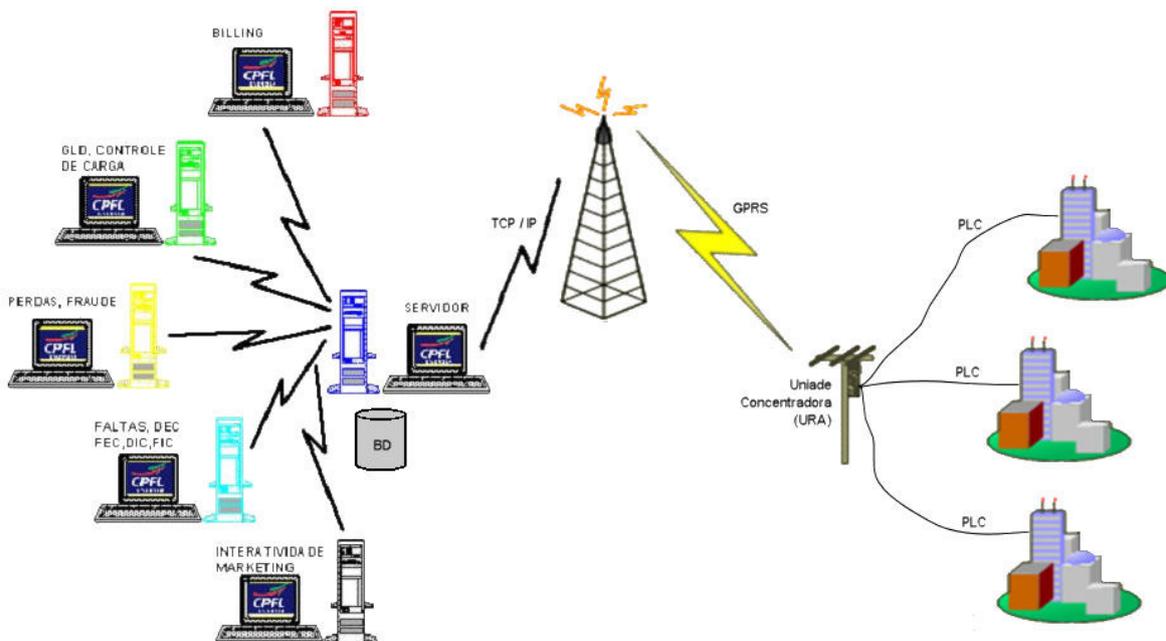


Figura 1 – Estrutura do sistema de telemedição.

## 2. Desenvolvimento

### 2.1 Módulo do Cliente

O sistema instalado diretamente no cliente é formado por um medidor eletrônico de energia elétrica dotado de um módulo de comunicação PLC e relés para efetuar as funções de corte e religamento remoto. Cada um destes módulos está descrito nos itens 2.1.1 e 2.1.2.

#### 2.1.1 Medidor Eletrônico de Energia Elétrica

Os medidores eletrônicos utilizados neste projeto foram desenvolvidos pelo Lactec e possuem todas as características dos medidores eletrônicos disponíveis no mercado, isto é, realizam medições de energia ativa e reativa, possibilitam a tarifação horosazonal em até quatro grupos e possuem interface de leitura através de porta óptica, seguindo o protocolo NBR 14522. A foto de uma medidor eletrônico utilizado neste projeto é mostrado na figura 2.



Figura 2 – Medidor eletrônico trifásico com módulo de comunicação PLC e relés integrados.

Além das características de um medidor eletrônico comercial, estes medidores possuem uma interface serial RS232 para comunicação através do módulo PLC e um circuito de acionamento dos relés, que se encontram distribuídos por fase, e que possibilitam o corte e o religamento através de comandos remotos. Assim, também o firmware destes medidores foi atualizado para incorporar estas funções. Desta forma, o medidor é capaz de interpretar um comando específico para atuação dos relés, vindo através do módulo PLC, e realizar esta tarefa através do circuito de atuação. Além do corte e religamento remoto, o firmware do medidor possibilita a aplicação de Gerenciamento pelo Lado da Demanda. Desta maneira, ao invés de simplesmente aplicar um corte da energia a um cliente inadimplente, tem-se a opção de limitar o seu consumo. Neste caso, pode se programar remotamente no medidor a potência instantânea máxima permitida para um determinado consumidor. Se este extrapolar o valor de consumo, o medidor efetua o corte, religando-o novamente após um tempo configurado, normalmente de 15 minutos. Com a adoção deste procedimento, a aplicação de penalizações por inadimplência pode agregar vários níveis antes do corte propriamente dito, permitindo ainda ao consumidor manter ligados ao menos os eletrodomésticos essenciais durante a aplicação da penalização.

Apesar de terem sido desenvolvidos medidores eletrônicos monofásicos e trifásicos, neste projeto foram utilizados apenas os modelos trifásicos, operando em alguns momentos, de forma monofásica. Os ensaios realizados no sistema serão descritos no item 2.4.

### 2.1.2 Módulo de comunicação PLC

Para efetuar a comunicação entre os medidores dos consumidores e a URA foi desenvolvido um Modem de comunicação PLC, cuja foto é mostrada na figura 3. Como o objetivo deste módulo é a implementação da comunicação de dados entre os medidores e a URA dentro do mesmo circuito trifásico, este módulo foi desenvolvido de forma a poder ser utilizado tanto nos medidores quanto na URA, sem diferenças de hardware entre as diferentes aplicações. Esta característica demandou a necessidade de que o módulo PLC possa se comunicar independentemente do tipo de conexão com a rede elétrica. Desta forma, este módulo foi projetado para efetuar a comunicação tanto através de conexões monofásicas quanto trifásicas, tanto em modo ponto a ponto quanto em rede.

O circuito do módulo PLC possibilita a comunicação de dados de forma serial através da rede de BT a uma taxa máxima de 38500 bps, de forma bidirecional *half-duplex*. Além da comunicação propriamente dita, este módulo implementa funções de detecção e correção de erros de transmissão. Estas funções, implementadas diretamente no módulo PLC, possibilitam a troca de informações de

forma segura e sem a necessidade de tratamento de dados pelos medidores e pela URA o que, conseqüentemente, diminui a complexidade do *firmware* e do *hardware* destes módulos. Visando facilitar a interface de hardware, o módulo de comunicação PLC foi construído de forma a ser um Modem com interface serial RS232 “transparente”. Isto quer dizer que tanto o medidor eletrônico quanto a URA “enxergam” a conexão com a rede PLC como uma interface serial, sendo que toda a interface de hardware e software para o tratamento da comunicação PLC está implementada no módulo correspondente. Esta funcionalidade possibilita que a URA efetue as leituras nos medidores através do protocolo NBR14522, e efetue as configurações e comandos como se estivesse realizando leituras através da porta óptica.



Figura 3 – Módulo de Comunicação PLC desenvolvido no projeto.

## 2.2 Módulo do transformador – Unidade Remota Avançada

Com o objetivo de concentrar os dados e enviar comandos para todos os medidores localizados em sob um transformador de BT, foi implementada uma central de controle microprocessada, chamada Unidade Remota Avançada, cuja montagem interna pode ser vista na figura 4.

A URA é composta por um microcomputador industrial, módulos de comunicação PLC e GPRS e um medidor eletrônico local, que mede a energia consumida na saída do transformador de BT.

Todos os módulos que compõem a URA são descritos nos itens 2.2.1 a 2.2.3, com exceção do módulo de comunicação PLC que, por ser igual ao utilizado nos medidores eletrônicos dos consumidores, já foi descrito no item 2.1.2.



Figura 4 – Montagem Interna da Unidade Remota Avançada.

### 2.2.1 Microcomputador Industrial

Para gerenciar todos os procedimentos atribuídos à URA, foi utilizado um *single board computer* (computador de placa única), padrão 3,5 polegadas para aplicações industriais, com armazenamento de dados utilizando memória Flash. O equipamento utilizado possui microprocessador AMD LX800 de 500MHz, memória RAM de 512 Mb e 4Gb de armazenamento em memória Compact Flash. Além disto, ele possui quatro interfaces seriais padrão RS232, sendo três utilizadas para conexão com o medidor eletrônico da URA e com os módulos PLC e GPRS e uma interface paralela para controle do módulo GPRS, além de interfaces de vídeo, PS2 e USB, que não são utilizadas na aplicação final da URA. Este microcomputador industrial foi o único módulo cujo *hardware* não foi desenvolvido neste projeto, sendo utilizado um modelo comercial disponível no mercado.

Para gerenciar as tarefas atribuídas à URA, foi compilada uma versão de *kernel* do sistema operacional Linux, específica para o hardware utilizado, e desenvolvidos aplicativos Linux para leitura dos medidores, controle da comunicação GPRS, armazenamento local dos dados medidos e registro dos comandos efetuados. Desta maneira, a URA tem todas as funcionalidades operando de forma remota e ativa, sem a necessidade de comandos diretos do software de controle para a sua operação e enviando os dados assim que estes estão disponíveis. Assim, cabe ao software de controle e gerenciamento apenas realizar configurações na URA e enviar comandos de corte e religamento quando necessários. Em outros casos, a URA realiza todas as funções de leitura e envio de dados de forma automática.

### 2.2.2 Módulo de comunicação GPRS

O módulo de comunicação GPRS desenvolvido para aplicação na URA é responsável pela conexão e troca de dados entre este equipamento e o Software de Controle e Gerenciamento na concessionária. Esta conexão entre a URA e o software na concessionária é realizada através da rede de comunicação GPRS, que é implantada por todas as operadoras de telefonia celular que utilizam a tecnologia GSM, e implementando a troca de dados através do protocolo de comunicação TCP/IP, o mesmo utilizado em redes Ethernet e na Internet. Para facilitar a conexão com a operadora de telefonia celular, foi implementado no módulo GPRS duas entradas de Sim Cards, que possibilitam a conexão com duas operadoras por módulo. Assim, a URA está programada para tentar se conectar à rede através de uma

operadora principal. Se esta não estiver disponível, a URA automaticamente envia um comando ao módulo GPRS para troca de Sim Card e para conexão através da operadora secundária. O módulo GPRS se conecta fisicamente ao microcomputador industrial através de duas conexões, uma interface serial RS232 e uma interface de porta paralela. A conexão serial é responsável pelos comandos de controle de conexão e troca de dados através do protocolo TCP/IP, implementado no microcomputador industrial. Já a porta paralela é responsável pelos comandos de reset, liga/desliga e chaveamento da operadora utilizada para conexão pelo módulo. A placa do módulo de comunicação GPRS é mostrada na figura 5.

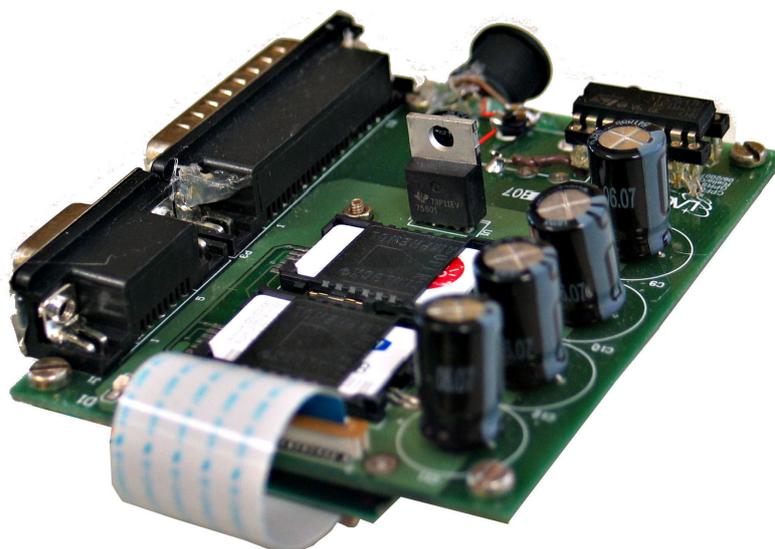


Figura 5 – Módulo de Comunicação GPRS desenvolvido para aplicação na URA.

### 2.2.3 Medidor Eletrônico da URA

Para efetuar o cálculo do balanço energético, ou seja, a distribuição de carga entre as fases do transformador de BT, foi inserido na URA um medidor eletrônico trifásico, que se conecta diretamente à saída do transformador de BT. Para a medição de corrente necessária ao medidor, foram utilizados transformadores de corrente de uso externo, conectados diretamente às buchas do transformador.

O medidor utilizado na URA é o mesmo modelo de medidor eletrônico trifásico utilizado nos clientes. As únicas alterações realizadas neste medidor foram a retirada dos relés de corte e religamento e do módulo PLC, desnecessários para a aplicação na URA. Assim, este medidor conecta-se ao microcomputador diretamente através da interface RS232 utilizada inicialmente para a conexão com o módulo PLC. Assim, o microcomputador industrial pode ler todos os dados do medidor da URA através de uma interface serial e utilizando o protocolo NBR 14522.

A inserção deste medidor na URA possibilita tanto a monitoração contínua da distribuição de cargas no transformador de BT quanto a detecção de perdas, sejam técnicas ou comerciais, comparando a energia total registrada nos medidores com o do medidor do concentrador. Assim, a URA pode indicar de forma automática e remota a existência de desbalanceamento de cargas e a quantificação das perdas em um circuito de BT.

## 2.3 Software de Controle e Gerenciamento

Para registro de dados e comandos efetuados e recebidos, foi desenvolvido um software de controle e gerenciamento para toda a rede de sistemas de telemedicação instalada na concessionária. Este software realiza a interface entre os dados recolhidos de todos os medidores e o banco de dados da concessionária possibilitando, além da leitura automática, a configuração do período de leitura de cada URA, a efetuação dos comandos de corte e religamento, o registro do status de corte e religamento de cada consumidor e o desenho das curvas de consumo por consumidor e por circuito de BT.

Este software foi escrito na linguagem JAVA como uma aplicação WEB. Desta forma, não se faz necessária a instalação do software no computador de cada usuário, sendo o acesso realizado através do navegador, com conexão restringida por senha. Como cada diferente área da concessionária deve ter acesso a apenas um grupo de dados, o registro do usuário libera o software para acesso apenas dos dados pertinentes à sua área específica. Assim, um usuário da área de perdas não tem acesso aos dados referentes ao faturamento e vice-versa.

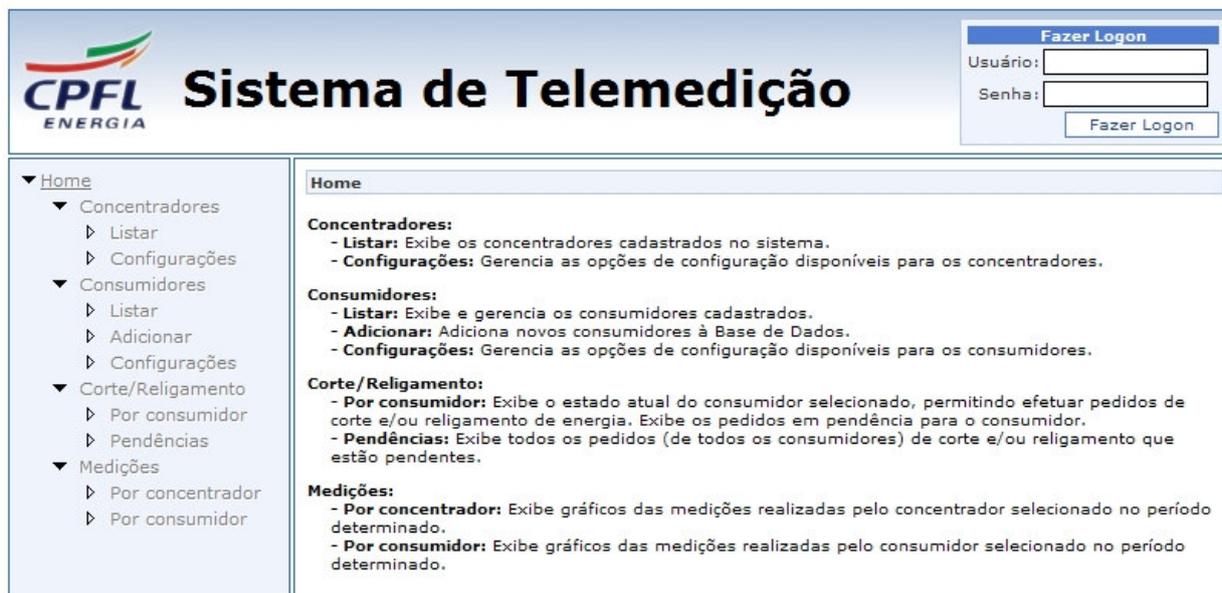


Figura 6 – Tela principal do Software de Controle e Gerenciamento.

## 2.4 Testes do Sistema

Uma vez que a maior parte do hardware e do software do sistema apresentado neste trabalho foi desenvolvida pela equipe do projeto, os primeiros testes foram realizados em cada módulo individualmente, visando verificar a sua funcionalidade e aplicabilidade no sistema em questão. Uma vez montados e testados os módulos, tanto de hardware quanto em software, estes foram agrupados no sistema e testados em conjunto, verificando a funcionalidade do sistema de telemetria como um todo.

Para testes laboratoriais do sistema de telemetria completo, foi montado um conjunto formado por uma URA, oito medidores eletrônicos com comunicação PLC e relés de corte e religamento e um microcomputador para utilização como servidor. Este conjunto foi conectado ao mesmo circuito trifásico, onde foram testadas as leituras e comandos remotos, além da taxa de transmissão entre a URA e os medidores eletrônicos. Além dos testes de comunicação realizados entre a URA e os medidores através da rede PLC, foram testadas a transmissão de dados por TCP/IP através do módulo GPRS da URA e o software de gerenciamento.

Os resultados obtidos nestes testes indicam que a rede de comunicação PLC é suficientemente rápida para permitir a construção de uma rede de 50 ou mais medidores em um mesmo circuito de BT, com as leituras sendo efetuadas a cada 15 minutos em cada medidor. Este resultado indica que o sistema é totalmente aplicável nos circuitos de BT urbanos da CPFL, onde a concentração de consumidores por circuito dificilmente ultrapassa este valor.

Assim, este sistema já se encontra em fase de preparação a realização dos primeiros testes em campo, que serão realizados em um campo de treinamento da CPFL, ainda em definição.

### 3. Conclusões

Durante os testes laboratoriais, o sistema se mostrou bastantes estável e robusto, necessitando agora a realização de testes em campo para a confirmação destas características. Estes testes já se encontram em fase de especificação e serão realizados em um circuito de BT localizado em um centro de treinamentos da CPFL, evitando que seja gerado algum tipo de incômodo aos consumidores durante os primeiros testes em campo.

Os módulos componentes do sistema de telemedição desenvolvido apresentaram características de velocidade de processamento e de comunicação que extrapolam as reais necessidades da aplicação atual. Assim, somando este fato à modularidade adotada na construção destes módulos, nota-se que este sistema ainda pode ser expandido em termos de funcionalidades. Entretanto, este fato deve ser validado e melhor quantificado com a realização de testes em campo.

O microcomputador industrial da Unidade Remota Avançada atualmente está operando aquém de sua capacidade de processamento. Este fato significa que há a possibilidade de se agregar mais funções ao sistema sem a necessidade de se alterar o hardware, utilizando os mesmos meios de comunicação. Assim este sistema torna-se não somente um piloto do sistema de telemedição desenvolvido neste projeto, mas também um projeto de referência que pode ser utilizado na criação e testes de novas funções, advindas do processamento disponível no cliente e da comunicação bidirecional cliente-concessionária.

### 4. Bibliografia

- CHUEIRI, I. J. ; LANGNER, C. G. ; BAZZO, J. J. ; KLECHOWICZ, J. ; MOGNON, V. R. ; JAKUBOWSKI, E. F. ; COSTA, K. B. ; OLIVEIRA, L. C. . Desenvolvimento e Implantação de Religador/Religador Remoto de Consumidores. In: SENDI 2004 - XVI Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, 2004, Brasília. ANAIS do XVI SENDI. Brasília, 2004. v. CD
- A. Danesh “Dominando o LINUX”, ISBN 85-346-1140-8, Makron Books, São Paulo, Brasil, 2000, 574pp;
- CHUEIRI , I. J. “Sistema Automático de Controle de Iluminação Pública com Comandos via Pager”, LAC-UFPR/COPEL, Relatório 2817/97, Curitiba, PR, julho/1997, 24pp;
- NBR-14522: Intercâmbio de informações para sistemas de medição de energia elétrica – Padronização, maio, 2000.
- KERCHNER, R. M. & CORCORAN, G. F. “Circuitos de Corrente Alternada”, Editora Globo, Porto Alegre, Brasil, 1973, 644pp
- HAYKIN S. “Digital Communications”, ISBN 0-471-88074-4, John Wiley & Sons, Inc., USA, 1985, 463pp;
- LALANI, S. and JANSA, K. “JAVA – Biblioteca do Programador”, ISBN 85-346-0517-3, Makron Books, São Paulo, Brasil, 1997, 547pp;
- KUMAR, V., KORPI, M. & SENGODAN S. “IP Telephony with H.323 – Architectures for Unified Net-works and Integrated Services” ISBN 0-471-39343-6, Wiley and Sons, Inc., USA, 2001, 605pp.