



CONTROLADOR DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA COM INTERFACE ETHERNET

Cleidir Salvato da Silva¹, Muriel Bittencourt de Liz²

Resumo: O consumo de energia elétrica cresce simultaneamente ao desenvolvimento econômico e tecnológico global. O Brasil tem se destacado mundialmente pelo seu crescimento e demonstrado grande capacidade econômica, evidenciando suas características de um país com economia dinâmica. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estima o crescimento na procura de energia elétrica de 6,8% para 2010; esse cenário é fortemente favorecido pela taxa de crescimento do PIB e atuação do país diante da crise econômica mundial, ocorrida em outubro de 2008. Frente a essa demanda de energia, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) prevê em suas resoluções que as empresas distribuidoras exerçam cobranças por valores de demanda de energia. Logo, o foco deste trabalho será o controle e medição desses valores de consumo a fim de evitar penalidades contratuais pelo excedente do valor de demanda contratada. Os estudos e experimentos foram realizados no âmbito do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), no laboratório de TCC do Departamento Acadêmico de Eletrônica do Campus Florianópolis. A metodologia de pesquisa adotada foi de caráter quantitativo; os procedimentos experimentais foram executados via ensaios laboratoriais. A estrutura modular do protótipo permitiu a realização de testes simultâneos e a validação dos conceitos de medição e controle do consumo energético. Os procedimentos dos mesmos e verificação da interface Ethernet foram realizados em conjunto com o protótipo de medição, demonstrando inúmeras possibilidades de controle sobre as cargas e a obtenção de dados estatísticos em tempo real.

Palavras-chave: Sistemas eletrônicos. Medição da energia elétrica. Controle da energia elétrica.

Abstract: The consumption of electric power grows simultaneously to the global economic and technological development. Brazil has distinguished itself worldwide by its growth and has shown economic strength, evidencing characteristics of a country with a dynamic economy. The Energy Research Company (Empresa de Pesquisa Energética – EPE) has estimated growth in demand for electricity by 6.8% in 2010; this scenario is strongly influenced by the growth rate of GDP and performance of the country before the global economic crisis, which occurred in October 2008. Faced with this demand of energy, the regulatory agency provides in its resolutions that the electrical distribution companies charges for carrying values of energy demand. Soon, the focus of this work is the control and measurement of these values of consumption to avoid contractual penalties due to the excess of the value of contracted demand. The studies and experiments were conducted under the Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), in the TCC laboratory of the Electronics Academic Department of Campus Florianópolis. The adopted research methodology was of quantitative character and bibliographic and experimental procedures were explored via laboratory testing. The modular design of the prototype allowed the simultaneous testing and validation of concepts for energy consumption measurement and control. The procedures for testing and verifying the Ethernet interface were implemented together with the measurement prototype, showing a number of possibilities for control over the loads and the acquirement of real-time data statistics.

Keywords: Electronic systems. Electrical energy measurement. Electric power control.

¹ Acadêmico do DAELN do IF-SC, bolsista de iniciação científica do CNPQ <cleidirsavato@gmail.com>.

² Professor do DAELN do IF-SC, chefe do departamento de eletrônica <muriel@ifsc.edu.br>.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o Brasil passou por intenso desenvolvimento econômico e tecnológico, resultando no aumento do consumo e demanda por energia elétrica. A Empresa de Pesquisa Energética prospectou uma estimativa na ordem de 6,8% para o ano de 2010 (BRASIL, 2009).

O crescimento no consumo de energia elétrica somado à preocupação social e ambiental torna as medidas de controle e monitoramento alvos de pesquisa e experimentos. Há, portanto, uma crescente busca por inovações tecnológicas na área de qualidade e eficiência energética.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) regulamenta o uso de estruturas tarifárias diferenciadas para grupos de consumidores segundo consumo e nível de tensão atendido, cuja ultrapassagem no valor contratado de demanda gera multas.

O valor oneroso dos equipamentos e da estrutura para a instalação do sistema de controle de demanda de energia elétrica evidencia um mercado pouco explorado no setor de controle de cargas e gerenciamento da demanda de energia elétrica para pequenos consumidores.

O problema de pesquisa deste trabalho consiste em desenvolver um equipamento de baixo custo que efetue medições de energia elétrica e realize o controle de potência consumida, executando medidas corretivas com o objetivo de reduzir a curva de carga.

A metodologia de pesquisa aplicada foi quantitativa, executando procedimentos experimentais em laboratório, com o objetivo exploratório e embasado nos conceitos técnicos bibliográficos. Realizaram-se o desenvolvimento e estudo no laboratório de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do Departamento Acadêmico de Eletrônica, do Campus Florianópolis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), durante o período de agosto de 2009 a julho de 2010, utilizando-se dos recursos disponíveis neste laboratório.

1.1. Justificativa

A resolução N°. 456 da ANEEL permite às distribuidoras de energia elétrica efetuar cobranças distintas para a demanda de potência e consumo de energia conforme os períodos do ano, os horários de utilização e a estrutura tarifária, fator que demonstra o dinamismo do sistema de cobrança.

Mecanismos de gerenciamento e controle de demanda de energia proporcionam o uso racional desta. Entretanto, fazem-se necessárias alterações físicas na planta elétrica e o estudo do sistema

elétrico e dos equipamentos instalados na empresa para sua implementação.

A carência de equipamentos eficientes com menor custo, que satisfaçam as exigências dos projetos técnicos empresariais visando ao aproveitamento da energia e redução de custos, somada à preocupação sócio-ambiental, justifica a necessidade de desenvolver um mecanismo que complete tais requisitos.

1.2. Definição do problema

A estrutura tarifária da ANEEL aplica-se a grupos identificados por classes e subclasses de consumo, conforme a Tabela 1, retirada dos Cadernos Temáticos ANEEL – Tarifas de fornecimento de energia elétrica.

TABELA 1 – Grupo de consumidores classe A.

Subgrupos	Tensão de fornecimento
A1	≥230 kV
A2	88 kV a 138 kV
A3	69 kV
A3-a	30 kV a 44 kV
A4	2,3 kV a 25 kV
AS	Subterrâneo
B1 - Residencial	127 V a 220 V
B2 - Rural	127 V a 220 V

Fonte: BRASIL, 2005, adaptado.

Os consumidores do Grupo B (baixa tensão) têm tarifa monômnia, isto é, deles é cobrada apenas a energia que consomem. Os consumidores do Grupo A têm uma tarifa binômnia, e são cobrados de acordo com 02 (duas) componentes: demanda contratada e energia consumida. Nos casos de ultrapassagem uma terceira parcela é agregada ao valor total da demanda excedida. Esses consumidores podem ser enquadrados em uma de três alternativas tarifárias:

- tarifação convencional;
- tarifação horosazonal verde;
- tarifação horosazonal azul (compulsória para aqueles atendidos em tensão igual ou superior a 69 kV).

Com o uso de um gerenciador de energia é possível monitorar o consumo e a demanda de maneira contínua, além de fornecer dados que permitam a análise do seu comportamento e a tomada de medidas corretivas. Dessa forma, as cargas podem ser controladas automaticamente, impedindo a ocorrência de multas e reduzindo o gasto de energia elétrica.

Entretanto, a aplicação do controlador de demanda necessita de investimento inicial com que muitas empresas de pequeno porte não podem arcar de imediato, pois apenas o equipamento de medição e controle de carga custa entre R\$ 2.200,00 e

R\$ 7.500,00 (pesquisa realizada no período entre 25/04/2010 e 05/05/2010 com empresas do ramo).

Sem o uso de um gerenciador de energia, o custo de produção tende a elevar-se devido multas, tributos e valores de demanda contratada de forma errada. Com a elevação do custo de produção, o valor do produto final tende a subir, tornando-se até mesmo inviável ou impraticável. Em consequência, para sua manutenção nesse mercado competitivo, algumas pequenas empresas talvez tenham até que realizar reduções na folha de pagamento com a finalidade de viabilizar sua permanência no mercado proveniente do alto custo com a energia.

Mediante o contexto apresentado, surge o problema de pesquisa deste trabalho: como e quais metodologias deverão ser utilizadas para desenvolver um equipamento de baixo custo que execute medições de energia elétrica e realize o controle de potência consumida com o valor de demanda contratada, permitindo medidas corretivas tendo como objetivo a redução da curva de carga e do consumo de energia elétrica, evitando multas que ocasionariam prejuízo para o contratante?

1.3. Objetivo geral

Este trabalho visa ao desenvolvimento de um protótipo eletrônico que realize medições de energia elétrica consumida e execute medidas de intervenção (desligamento de cargas) em setores de menor prioridade, a fim de que o consumo medido não ultrapasse o valor de demanda contratada. Além disso, objetiva a criação de módulos que possibilitem a interação com o usuário através de Interface Homem Máquina (IHM) e ambiente *web*.

1.4. Objetivos específicos

- a) fazer protótipos das placas de medição e de comunicação;
- b) medir tensão e corrente alternada e potência real consumida;
- c) controlar demanda de energia elétrica com intervenções nas cargas de menor prioridade;
- d) gerar e disponibilizar dados estatísticos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Energia

A etimologia da palavra tem origem no idioma grego, onde *ergos* (εργος) significa trabalho. Segundo Tooley (2007), energia é a capacidade de realizar trabalho, enquanto potência é a taxa na qual o trabalho é realizado. A energia também pode designar as reações de uma determinada condição de atividade física, por exemplo: térmica, elétrica, trabalho mecânico (movimento) e luz.

2.2. Eletricidade

A eletricidade pode ser entendida como o fenômeno resultante da interação das partículas que formam a matéria, em especial os elétrons.

O eletromagnetismo é o principal resultante destas interações como, por exemplo, o campo magnético gerado ao redor de um condutor percorrido por corrente elétrica. Desta forma é possível desenvolver e efetuar medições acerca das grandezas elétricas utilizando as leis do eletromagnetismo.

2.3. Instrumentos de medição

Torreira (1978) destaca que a medida elétrica é uma das técnicas modernas de grande valor. Com ela podem ser resolvidos problemas na pesquisa em geral e, principalmente, aqueles referentes ao controle, avaliação e processos industriais. Ele destaca dois problemas cujas soluções traduzem a finalidade da medição elétrica: o que medir e como medir.

Considerando o problema “o que medir” da energia elétrica, podem-se mensurar as seguintes grandezas:

- a) corrente, medida em ampères (A);
- b) tensão, medida em volts (V);
- c) frequência, medida em hertz (Hz);
- d) potência, medida em watts (W).

Com “o que medir” Torreira (1978, p. 75) diz que: “Os instrumentos dividem-se de acordo com a finalidade e quanto ao sistema de medição com o qual funcionam.” Empregam-se normalmente os seguintes mecanismos pra realizar a medição:

- a) sistema bobina móvel;
- b) sistema ferro móvel;
- c) sistema de lâminas vibráteis;
- d) sistema eletrodinâmico;
- e) sistema de ímã móvel;
- f) sistema fio aquecido;
- g) sistema eletrostático;
- h) sistema eletrônico digital.

2.4. Sistema elétrico

Leão (2009) esclarece que, no Brasil, a oferta da energia elétrica é realizada através da prestação de serviço público concedido para exploração às entidades privadas ou governamentais. As empresas que prestam serviço de energia elétrica o fazem por meio da concessão ou permissão concedidas pelo poder público.

O sistema atual de energia elétrica brasileiro consiste em grandes usinas de geração que transmitem energia através de sistemas de transmissão de alta tensão, que é então dispensada à

distribuição de média e baixa tensão, conforme Figura 1. Normalmente os sistemas de distribuição são gerenciados por monopólios empresariais, enquanto o setor de geração e de transmissão apresenta uma economia mista (CONCESSIONÁRIA SANTO ANTONIO ENERGIA, 2009).

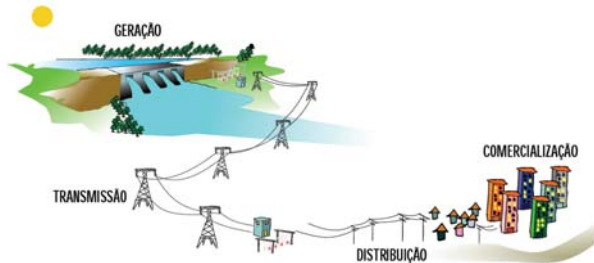


FIGURA 1 – Sistema elétrico.

Fonte: BRASIL, 2008, p.8.

2.5. Faturamento e tributos da energia elétrica

Entre as décadas de 70 e 90, havia uma única tarifa de energia elétrica em todo o Brasil, portanto, os consumidores de todos os estados pagavam o mesmo valor pela energia consumida. Após a série de privatizações no setor elétrico na década de 90, as tarifas de energia passaram a refletir as peculiaridades de cada região, como número de consumidores, quilômetros de rede e tamanho do mercado (quantidade de energia atendida por uma determinada infraestrutura), custo da energia comprada, tributos estaduais entre outros.

A empresa Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. (CELESC) atua no mercado de energia elétrica desde 1955, atendendo a distribuição e geração no estado de Santa Catarina.

As distribuidoras têm dois papéis importantes: a distribuição e a cobrança ao consumidor final. A distribuição é realizada através das componentes físicas da empresa (linhas de distribuição, transformadores, postes, subestações, etc.) e a cobrança é realizada através da conta de energia elétrica (ANEEL, 2000).

A tarifa representa, portanto, a soma de todos os componentes do processo industrial de geração, transporte (transmissão e distribuição) e comercialização de energia elétrica. São acrescidos ainda os encargos direcionados ao custeio da aplicação de políticas públicas. Os impostos e encargos estão relacionados na conta de energia (BRASIL, 2007).

O uso da estrutura tarifária é definida através da divisão em dois grupos:

- a) Tarifa Monômnia: constituída por preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia elétrica ativa (Grupo B).

- b) Tarifa Binômnia: constituído por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa e à demanda faturável (Grupo A).

A estrutura tarifária binômnia está dividida em convencional e horossazonal, no que diz respeito aos componentes de energia e demanda, bem como a relatividade de preços nos diversos horários:

- a) Tarifa convencional: aplicada aos consumidores atendidos com tensão inferior a 69 kV com demanda contratada inferior a 300 kW, independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano.
- b) Tarifa horossazonal: estão divididas em AZUL e VERDE. Tais tarifas têm preços diferenciados em relação às horas do dia (ponta e fora de ponta) e aos períodos do ano (úmido e seco).

Na Tabela 2, consta a tarifa executada pela CELESC para os devidos grupos de consumidores, os valores estão em Reais (R\$). Nela é possível verificar que os consumidores do subgrupo B1 possuem um valor de tarifa mais elevado que os demais. Esta diferenciação é devida ao fato de que estes consumidores são classificados como tarifa monômnia e já possuem incorporada, no valor de consumo, a parcela de demanda.

TABELA 2 – Tarifa Convencional (sem tributos).

Subgrupo	Demanda (kW)	Consumo (kW/h)
A3a	R\$ 16,50	R\$ 0,17286
A4	R\$ 24,85	R\$ 0,17347
B1	-	R\$ 0,29772
B2	-	R\$ 0,17689

Fonte: CELESC, 2010, adaptado.

Na Tabela 3 visualizam-se os valores cobrados pelo valor de quilowatt de ultrapassagem dos valores de demanda contratada. Dois pontos nesta tabela são de extrema importância e vão ao encontro dos objetivos da pesquisa proposta neste trabalho: os valores cobrados em horário de ponta e fora dela; e a diferença de valores para o grupo de menor consumo (A4) e os grandes consumidores (A2).

2.6. Aspectos econômicos

Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007) destacam que, ao longo do século XX, o Brasil experimentou intenso desenvolvimento econômico, o que se refletiu numa crescente demanda de energia. Os fatores que determinaram tal crescimento foram: o expressivo processo de industrialização, uma grande expansão demográfica e o rápido aumento da taxa de urbanização. Entre 1970 e 2000 houve expressiva substituição de

fontes de energia menos eficientes (por exemplo: lenha) por outras mais eficientes (como os derivados do petróleo e a eletricidade); conforme observado na Figura 2.

TABELA 3 – Tarifa de ultrapassagem horosazonal Azul - Demanda (R\$/kW).

Subgrupo	Ponta	Fora de Ponta
A2	R\$ 53,46	R\$ 7,38
A3	R\$ 69,53	R\$ 12,90
A3a	R\$ 72,53	R\$ 16,41
A4	R\$ 96,37	R\$ 24,30

Fonte: CELESC, 2010, adaptado.

Segundo Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007), as fontes renováveis são responsáveis por 45% na oferta energética em 2005 (usinas hidrelétricas incluídas). Estima-se que em 2030 o consumo de energia elétrica no Brasil supere o patamar de 1.080 TWh, mantendo uma expansão média de 4% ao ano.

Nesse contexto, a disponibilidade de energia em quantidade e qualidade adequadas, com custos competitivos, é um dos mais importantes pré-requisitos para o desenvolvimento econômico de uma nação. Logo, a energia tem sido tratada mundialmente como um item de natureza estratégica. Eis a importância do desenvolvimento e estudos para o planejamento estratégico perante o panorama energético mundial.

2.7. Demanda de energia

A demanda pode ser definida como a quantidade de um determinado bem ou serviço que os consumidores desejam adquirir em determinado período de tempo, por um determinado preço (CALIXTO, 2009).

Numa visão técnica do setor elétrico, Kagan, Oliveira e Robba (2005, grifo do autor) indicam que: “A demanda de uma instalação é a carga nos terminais receptores tomada em valor médio num determinado intervalo de tempo”.

Segundo a Resolução 456 da ANEEL, Demanda de Energia (DE) é a média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado.

Nessa perspectiva, a demanda serve para dimensionar e pagar a implantação e conservação dos sistemas elétricos, materiais e equipamentos necessários ao transporte da energia até a unidade consumidora. Esta resolução estabelece, através do contrato de prestação de serviço, entre distribuidora e consumidor, quatro tópicos:

- Demanda contratada: demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados no contrato de fornecimento e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW).
- Demanda medida: maior demanda de potência ativa verificada por medição, integralizada no intervalo de 15 (quinze) minutos expressa em quilowatts (kW).
- Demanda de ultrapassagem: parcela da demanda medida que excede o valor da demanda contratada, expressa em quilowatts (kW).

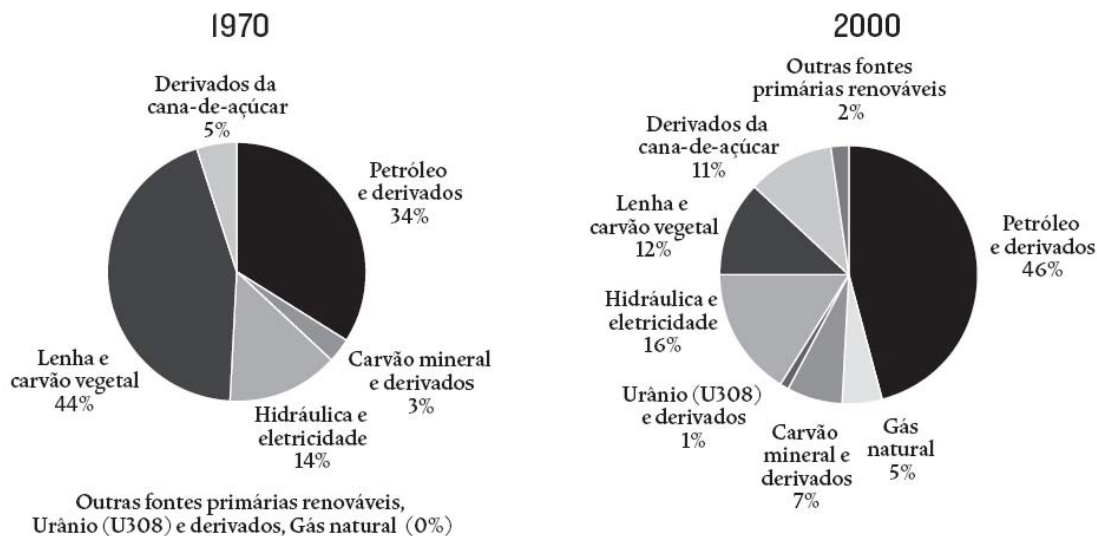


FIGURA 2 – Matriz energética brasileira.

Fonte: TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007, p. 50, adaptado.

- d) Demanda faturável: valor da demanda de potência ativa identificado de acordo com os critérios estabelecidos e considerados para fins de faturamento, com aplicação da respectiva tarifa, expressa em quilowatts (kW).

Para o faturamento do consumo, acumula-se o total de kWh consumidos durante o período: fora de ponta seca ou fora de ponta úmida, e ponta seca ou ponta úmida. Para cada um destes períodos, aplica-se uma tarifa de consumo diferenciada, e o total é a parcela de faturamento de consumo. Evidentemente, as tarifas de consumo nos períodos secos são mais elevadas que nos períodos úmidos, e no horário de ponta é mais cara que no horário fora de ponta.

A cobrança é sempre em função da demanda contratada e do consumo. Quando se contrata uma demanda, na verdade se está solicitando que a empresa fornecedora disponibilize uma determinada quantidade de energia para ser consumida. Desta maneira, poderão ocorrer três casos de cobrança:

- a) Demanda registrada inferior à demanda contratada: aplica-se a tarifa de consumo e demanda correspondente ao valor contratado.
- b) Demanda registrada superior à demanda contratada, mas dentro da tolerância de ultrapassagem: aplica-se a tarifa de consumo e de demanda correspondente à demanda registrada.
- c) Demanda registrada superior à demanda contratada e acima da tolerância: aplica-se a tarifa consumo e de demanda correspondente à demanda contratada, e soma-se a isso a aplicação da tarifa de ultrapassagem, correspondente à diferença entre a demanda registrada e a demanda contratada. Ou seja, paga-se tarifa normal pelo contratado, e tarifa de ultrapassagem sobre todo o excedente.

2.7.1. Controlador de demanda de energia elétrica

O controlador de demanda é o equipamento destinado a monitorar e controlar os valores de demanda de forma precisa e, de preferência, com a menor interferência no processo produtivo, já que para que ele realize o controle é necessário que este faça a retirada de alguma carga, com intuito de manter a demanda dentro dos limites pré-definidos (MATHEUS, 2003).

O método do controlador de demanda define a estratégia que este irá utilizar para monitorar e controlar a mesma – a ação de controle que determina a maior ou a menor precisão do controlador e o nível de interferência que o

controlador irá efetuar na planta do consumidor. A estratégia do controlador poderá ser realizada de diversas maneiras, como por exemplo:

- a) controle de demanda por projeção;
- b) controle de demanda adaptativo;
- c) controle de demanda por média móvel;
- d) controle de demanda por valor acumulado;
- e) controle de consumo programação horária.

Com sistemas de monitoramento contínuo é possível avaliar os perfis de consumo e ações que podem ser planejadas para que haja um consumo mais racional de energia. Além disso, eles permitem verificar o impacto real de ações de redução de energia, pois com o histórico de consumo da planta, é possível verificar qual foi o valor antes e depois da implantação da ação analisada e verificar o seu impacto na redução de gastos com energia.

Os sistemas de gerenciamento e controle de demanda contam com algoritmos que verificam continuamente a curva de demanda do sistema, observando tendências e descartando cargas sempre que o sistema entender que poderá haver ultrapassagem da demanda estabelecida como limite. O monitoramento é realizado através de *softwares* supervisores ou através da Internet. Os dados são armazenados em dispositivos específicos ou em um servidor com *software* de supervisão.

2.8. Sistemas embarcados

Um sistema embarcado é um programa gravado em um microcontrolador ou microprocessador e é utilizado para tarefas individualizadas (PONT, 2002).

Para Rocha (2005), na década passada, a maioria dos dispositivos dedicados era gerenciada por microcontroladores, tendo sua programação por vezes feita em linguagem Assembly ou outra solução proprietária.

Com a crescente demanda por maior conectividade, acesso à Internet e funções multimídia, procuram-se dispositivos dedicados mais robustos. Os fabricantes de dispositivos resolveram as limitações dos ambientes microcontrolador buscando soluções com sistemas operacionais modularizados e eficientes, atendendo assim à nova demanda de mercado. Baseado neste novo conceito de sistemas operacionais modularizados, um *Embedded System* – sistema embarcado – é qualquer dispositivo microcontrolado que execute uma função dedicada.

O sistema operacional para este tipo de dispositivo deve ainda ser bastante customizado, privilegiando atividades dedicadas ou exclusivas, envolvendo otimizações específicas no hardware e na camada de aplicação (ROCHA, 2005, p.1).

Desta forma algumas plataformas não permitem a implantação de um sistema operacional, devido as suas restrições físicas computacionais, tendo assim o programador que utilizar outras metodologias de controle de *software* como, por exemplo, as máquinas de estados.

2.8.1. Sistemas operacionais

Shaw (2003) exprime que o sistema operacional é uma camada de *software* que opera entre o *hardware* e os programas aplicativos voltados ao usuário final. O sistema operacional é uma estrutura de *software* ampla, muitas vezes complexa que incorpora aspectos de baixo e alto nível.

2.8.2. Máquina de estados

De acordo com Wagner *et al.* (2006), a máquina de estado é um modelo do comportamento composto de um número finito de estados, transições entre aqueles estados e ações. Uma máquina de estado é um modelo abstrato de uma máquina com uma memória interna primitiva. O conceito geral é: um modelo de comportamento composto por um número finito de estados, transições e eventos que geram essas transições.

2.8.3. Microcontroladores

Segundo Tooley (2007), o microcontrolador é um pequeno computador integrado de um único *chip*, possuindo várias características em comum com o computador:

- a) CPU (*Central Processing Unit*) ou Unidade de Processamento Central que executa programas;
- b) RAM (*Random Access Memory*) ou Memória de Acesso Aleatório onde são armazenadas as variáveis;
- c) dispositivos de entrada e saída para interagir com mundo externo.

Os microcontroladores são minicomputadores de propósito específicos embutidos no interior de outros dispositivos para que possam controlar as funções ou ações do produto, dedicam-se a um programa específico e o executam, o qual é armazenado na memória apenas de leitura (*Read Only Memory* – ROM) e geralmente são de baixa potência.

Seus componentes internos (periféricos) são projetados para minimizar o tamanho e serem os mais econômicos possíveis, tornando-os pequenos e mais baratos.

A maioria dos microcontroladores está embasada no conceito de Computador com Conjunto de Instruções Complexo (*Complex*

Instruction Set Computer – CISC). Uma CPU CISC normalmente tem mais de 100 instruções e muitas delas são poderosas e específicas para realização de algumas tarefas. O programador deve ser muito competente, pois cada instrução se porta de uma maneira específica. Algumas delas operam somente em certos espaços de endereços ou registradores e outras podem somente reconhecer certo tipo de modo de endereçamento (SILVA, 2002).

O conceito RISC, que é o complementar de CISC, está se espalhando pelos sistemas dedicados. O termo RISC significa Computador com Conjunto de Instruções Reduzido (*Reduced Instructions Set Computer*). Essas máquinas oferecem poucas instruções e, por isso, sua unidade de controle é mais simples permitindo que se obtenha uma melhor otimização (SILVA, 2002).

2.8.4. Microcontroladores AVR

Os microcontroladores AVR, fabricados pela ATMEL®, são arquiteturas de 8 bits, desenvolvidos sob as tecnologias RISC e HARVARD. Eles possuem um barramento para dados e outro para programa, o que permite maior velocidade no tratamento dos dados e do programa (MOTTA; MALLMANN; OLIVEIRA, 2005).

A ATMEL disponibiliza gratuitamente o *software* denominado AVR Studio, que é uma IDE e um simulador para a família AVR, além de prover módulos para a gravação no microcontrolador.

O WinAVR é um compilador gratuito, eficiente e flexível para os AVR em ambiente Windows. Acompanha uma extensa biblioteca de funções que podem ser incluídas nos programas, o AVRlibc.

2.8.5. Linguagem de programação C

De acordo com Schildt (1996), a linguagem de programação C foi primeiramente criada por Dennis Ritchie e Ken Thompson nos laboratórios da empresa Bell, em 1972. C foi baseada na linguagem B de Thompson, que por sua vez era uma evolução da Linguagem BCPL. Esta linguagem foi inicialmente desenvolvida para programar o Sistema Operacional UNIX.

A linguagem C é frequentemente dita de nível médio para computadores, pois combina elementos de alto nível com a funcionalidade da linguagem Assembly. Permite a manipulação de bits, bytes e endereços. Um código escrito em C é muito portátil, o que significa que é possível adaptar um *software* escrito de um tipo de sistema operacional a outro (SCHILDT, 1996).

2.9. Comunicação de dados

De acordo com Sousa (1999), a comunicação é a transferência de informação entre um transmissor e um receptor. O estudo dos meios de transmissão

de mensagens digitais ou analógicas e o uso de dispositivos externos ao circuito transmissor da mensagem é o conceito base da comunicação de dados. A troca de informação é realizada através de um canal que é um caminho sobre o qual a informação pode trafegar. Ela pode ser definida por uma linha física: condutor elétrico, ondas de rádio, cabos ópticos e formas de ondas irradiadas.

2.9.1. Redes de computadores

De acordo com Murhammer *et al.*, (2004), a arquitetura da Internet foi criada pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos com o objetivo de se ter uma rede interligando várias universidades e órgãos do governo de maneira descentralizada (ARPANET), para evitar a sua destruição no caso de ocorrência de uma guerra. Com o passar do tempo, esta idéia inicial perdeu o sentido e a infraestrutura foi aproveitada para se tornar o que hoje é a maior rede de computadores do mundo. A Internet fundamenta-se praticamente sobre um serviço de rede não orientado à conexão (datagrama não confiável). O Internet Protocol (IP) é um serviço de transporte orientado à conexão, oferecido pelo *Transmission Control Protocol* (TCP). Juntos, esses protocolos se completam oferecendo um serviço confiável de uma forma simples e eficiente: o TCP/IP. Este foi projetado como um modelo com quatro camadas, onde cada uma executa um conjunto bem definido de funções de comunicação (FELIPE, 2005).

Na Internet, os protocolos utilizados fazem parte de um conjunto, uma suíte (SOUSA, 1999). Os endereços IP identificam cada componente na rede, devendo ser únicos e utilizarem a faixa idêntica dentro da mesma rede. Um endereço IP é composto de uma sequência de 32 bits, divididos em 4 grupos de 8 bits cada (AXELSON, 2003).

2.9.2. Protocolos de aplicação

Segundo Murhammer *et al.* (2004), os protocolos de aplicação relacionam a estrutura de comunicação entre seus usuários. Existem basicamente dois tipos de arquitetura: Cliente-Servidor e Peer-to-Peer. A arquitetura de aplicação deve ser escolhida por seu desenvolvedor, que determina o modo pelo qual esta vai se comportar nos sistemas finais em uma rede.

Cliente-Servidor: baseado em requisições e respostas. O computador cliente requisita uma informação a outro computador (servidor), que responde a solicitação, enviando o que foi pedido (UNICAMP, 2009). A maioria das aplicações na internet é baseada neste modelo.

2.9.3. Ethernet

Mokarzel e Carneiro (2004) dizem que a camada de rede mais popular para uma Local Area Network (LAN) é a Ethernet (IEEE 802.3) que utiliza cabo UTP categoria 5E (cabo azul), seguido pela rede IEEE 802.11b com o emprego das redes sem fio.

As definições exercidas pela IEEE 802.3 determinam padronização de banda de passagem, interfaces físicas e formato do *frame* Ethernet. Esta é subdividida em quatro subcamadas:

- especificação de mídia;
- subcamada física (PHY);
- subcamada de controle de acesso à mídia (MAC 802.3);
- subcamada de controle lógico do link (LLC).

Na Figura 3 é demonstrada uma comparação entre os modelos: OSI, TCP/IP e Ethernet.

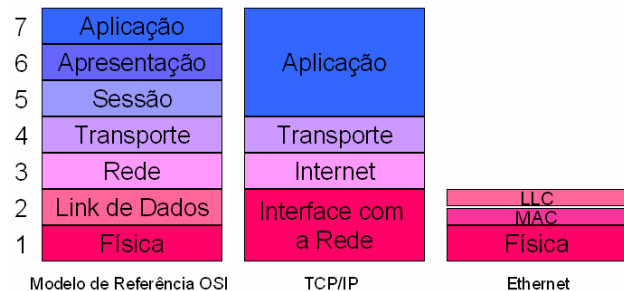


FIGURA 3 – Comparação entre os modelos: OSI, TCP/IP e Ethernet.

Fonte: CLUBE DO HARDWARE, 2007.

A Ethernet se caracteriza, portanto, como a parte física que liga a camada de *software* a outros equipamentos.

3. APLICAÇÃO E RESULTADOS

3.1. Materiais e métodos

O desenvolvimento e estudo foram realizados no laboratório de TCC do Departamento Acadêmico de Eletrônica, do Campus Florianópolis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, durante o período de agosto de 2009 a julho de 2010.

A pesquisa bibliográfica buscou efetuar o levantamento das características necessárias para o desenvolvimento do equipamento que realizaria a medição de energia elétrica e comunicação com a rede Ethernet.

Na sequência, realizou-se o desenvolvimento do *hardware* e *software* embarcado através de metodologia própria para programação de

dispositivos e confecções de placa de circuitos impresso.

Efetuuou-se o levantamento das informações técnicas e principais características, e alguns pontos foram selecionados como relevantes para o desenvolvimento:

- a) qual tipo de equipamento;
- b) quais grandezas elétricas;
- c) formas de medição;
- d) quais métodos de controles de cargas seriam utilizados;
- e) características econômicas.

Através destes questionamentos, gerou-se uma série de pesquisas bibliográficas e consultas a fabricantes do ramo energético, especialmente empresas que desenvolvem ou implantam soluções em controle de demanda. Essas indagações objetivaram coletar o maior número de informações sobre as soluções já existentes no mercado. Como os fabricantes não disponibilizam as características construtivas dos equipamentos, devido à propriedade industrial, os dados coletados ficaram restritos às informações técnicas disponíveis, tais como:

- a) Características físicas (peso e dimensões).
- b) Tensão de alimentação.
- c) Interface Homem Maquina (IHM).
- d) Número de saída a ser controlada.
- e) Tipo de ligação trifásica (Y ou Δ) e monofásica.
- f) Níveis de tensão para leitura.
- g) Formas de registro (valores e períodos).
- h) Formas de alertas.
- i) Comunicações.

A partir destas análises, construiu-se um diagrama de blocos com o intuito de visualizar a solução como um todo.

A escolha dos microcontroladores AVR da ATMEL foi motivada pelos seguintes fatores: a interface de programação (AVRStudio) é da própria fabricante do chip e a mesma disponibiliza-o “gratuitamente”; documentação técnica e *Application Notes* (AN) de fácil acesso e pesquisa; comunidade de desenvolvedores disponibilizam seus trabalhos e experiências, acentuando a curva de conhecimento.

Na Figura 4 é apresentado o diagrama de blocos e dispositivos empregados no projeto.

3.1.1. Medição

Para medição de tensão e corrente, empregou-se o circuito integrado de conversão analógico para digital, ADE7758, da Analog Devices. Este componente mostrou-se muito robusto e a sua arquitetura permite, por meio de configurações de registradores, realizar medições em sistemas monofásicos, bifásicos ou trifásicos.

Incorpora ainda funções de voltímetro e amperímetro RMS, medidor de frequência e sensor de temperatura do *chip*, detecção de anomalias na rede, interrupção por pico de tensão ou corrente ocorrida por fase.

Segundo a documentação deste componente, o uso de TC e divisores resistivos são classificados como circuitos de medição. Contudo, observaram-se limitações na escala de medição de tensão (1 volt de pico a pico) e corrente (40 mA) por fase de leitura.

Na Figura 5, é apresentada a placa de aquisição de dados, onde o destaque em pontilhado apresenta os TC, e o tracejado os conectores e os divisores de tensão da rede que serão medidos.

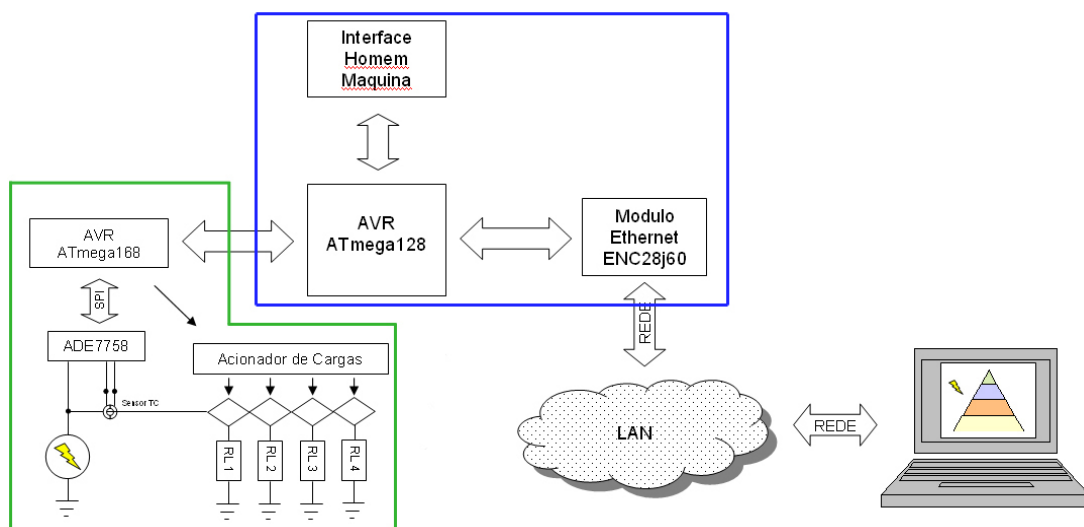


FIGURA 4 – Diagrama de blocos do projeto.

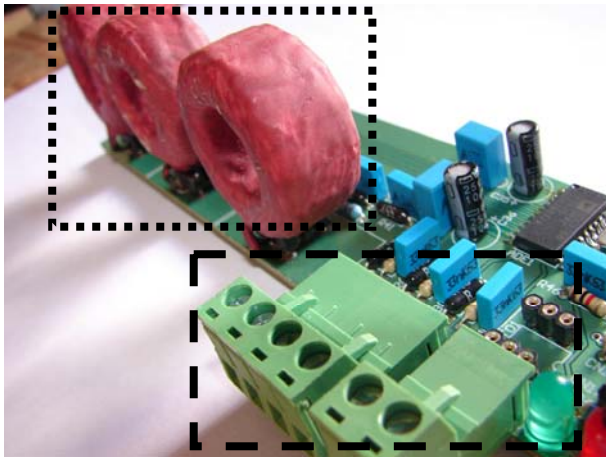


FIGURA 5 – Placa de aquisição de dados.

Os dados adquiridos analogicamente são convertidos em valores digitais através do ADE7758. Com esta aquisição de dados, realizam-se funções matemáticas, filtros digitais e correções de calibração, disponíveis no próprio dispositivo conversor, que possibilita efetuar configurações em seus registradores e leitura de seus respectivos valores.

Para controlar e gerenciar a placa de aquisição de dados utilizou-se o microcontrolador Atmega168 (AVR) com linguagem C, empregando a IDE AVRStudio com o compilador WinAVR.

3.1.2. Módulo Ethernet

O CI responsável pela camada MAC e PHY é desenvolvido pela Empresa Microchip, o integrado ENC28J60. Tal componente é um controlador específico para comunicação Ethernet, comunicando-se via SPI, e se torna uma interface capaz de migrar para inúmeras plataformas microcontroladas.

É compatível com a especificação IEEE 802.3 para o protocolo de comunicação de rede, inclui uma série de filtros de pacotes para reduzir o número de dados recebidos e possui DMA interno, amplificando a velocidade de comunicação.

Durante a pesquisa de qual plataforma microcontrolada seria utilizada, buscou-se um componente que atendesse o *hardware* mínimo proposto por Mokarzel e Carneiro (2004), sendo: memória de programa (Flash) 32 kilobytes (kB), 2 kB de memória RAM e portas de comunicação compatíveis com controlador Ethernet.

Esta limitação ocorre devido ao pacote TCP/IP, seguindo a padronização das RFC, a qual determina que a string de dados a ser transmitida em uma rede com este protocolo não deve ultrapassar 1500 bytes, e o mínimo é 300 bytes.

A seguir, procurou-se integrar o microcontrolador Atmega128 e o controlador

Ethernet ENC28J60. Na Figura 6, é apresentada a placa do módulo Ethernet.

Em conjunto com esta pesquisa, foram analisados dois projetos Tuxgraphics¹ e Roland Riegel², que agregaram uma grande parcela de conhecimentos sobre os protocolos de rede, as camadas de aplicação e *hardware*.



FIGURA 6 – Módulo Ethernet.

3.1.3. Bancada para testes e ensaios

A bancada foi construída com dez (10) cargas resistivas – lâmpadas de 200 watts cada – que são acionáveis através da placa de controle, proporcionando a possibilidade de variação de potência. Na Figura 7, são mostrados os módulos de Ethernet (pontilhado), medição (tracejado) e placa de controle de carga (indicado pela seta), instalados na bancada de teste.

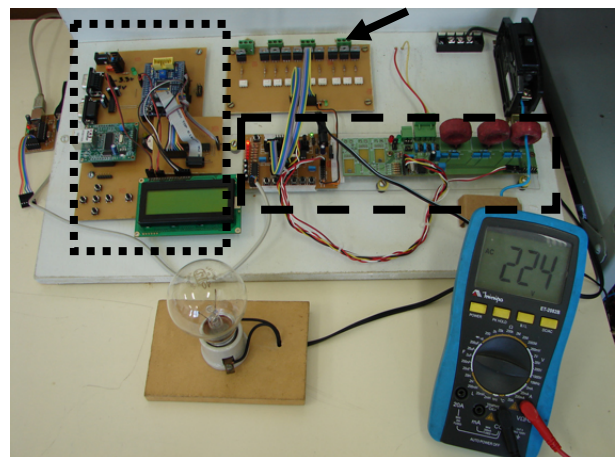


FIGURA 6 – Bancada de testes, vista frontal.

Com base na carga disponível na bancada (2000 watts), definiram-se 4 patamares de controle, utilizando para o cálculo de demanda: com a soma algébrica da potência consumida, dividida pelo número de amostras colhidas em um intervalo de 15 minutos, se obtém a demanda de potência requerida do sistema. As regras que se definiram foram:

¹ Disponível em <<http://www.tuxgraphics.org>>.

² Disponível em <<http://www.roland-riegel.de>>.

- a) Potência maior que 1000 e menor que 1150 watts: 1 Carga desligada;
- b) Potência maior que 1150 e menor que 1300 watts: 2 Cargas desligadas;
- c) Potência maior que 1300 e menor que 1500 watts: 3 Cargas desligadas;
- d) Potência maior que 1500: 5 Cargas desligadas.

Com este exemplo de regras, a estabilização na potência consumida foi alcançada no patamar entre 1150 e 1300 watts. Executaram-se testes forçados onde se inseriu uma carga adicional de 1200 watts; o disjuntor para proteção desarmou-se após 30 segundos.

O controle realizado na carga obteve sucesso, pois efetuou os devidos desligamentos das cargas, assim como sua reativação quando o consumo requerido apresentou folga para o mesmo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o crescimento econômico é fundamental que o setor energético forneça o suporte necessário. A otimização da quantidade de energia consumida conduz à eficiência energética, com redução efetiva da fatura, melhoria da transmissão e uso dos recursos energéticos de forma apropriada, o que vai ao encontro da preocupação com as alterações climáticas, gerando redução dos impactos ambientais e sociais.

Um gerenciador de energia possibilita redução nas despesas com energia elétrica, pois é capaz de monitorar o consumo e a demanda de maneira contínua, além de fornecer dados que permitam a análise do comportamento da mesma, com posterior deliberação de medidas corretivas por parte do usuário.

A aplicação do controlador de demanda necessita de investimento em instalações, alterações na rede elétrica, análise do consumo estimado, balanceamento de cargas através de setores, softwares, treinamentos, compra do equipamento, além de outras mudanças indiretas para que o sistema seja eficiente. Entretanto, sem o uso de um gerenciador de energia, o custo de produção tende a elevar-se devido às multas, tributos e valores de demanda contratada de forma inapropriada.

A montagem do protótipo tornou possível realizar experimentos práticos em bancada, que confirmaram a viabilidade e operacionalidade do projeto, com vista à inserção no mercado.

Contudo, os testes e ensaios não chegaram à etapa de integração das placas devido ao período reduzido de desenvolvimento. Esta etapa tinha como meta utilizar os recursos dos módulos construídos para realizar o controle de cargas e

coleta de dados e para gerenciar as medidas corretivas cabíveis.

O ambiente de pesquisa propiciou adequação do conhecimento adquirido durante o curso, com as questões práticas necessárias ao perfil de um desenvolvedor de projetos, integrando o acadêmico à vivência do mercado de trabalho, sem esquecer o compromisso com uma sociedade mais consciente de usufruir dos recursos materiais e ambientais de forma sustentável.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IF-SC) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

Aos professores e técnicos do Departamento de Eletrônica (DAELN – IF-SC).

Aos amigos e colegas que contribuíram com sugestões e doações ao trabalho.

A Mayara Pereira Silva pela contribuição na escrita deste artigo.

Ao professor orientador técnico Muriel Bittencourt de Liz e a professora de metodologia Cláudia Regina Silveira.

REFERÊNCIAS

- AXELSON, Jan. **Embedded Ethernet and Internet complete: Designing and Programming Small Devices for Networking**; Lakeview Research LLC, 2003, 497 p.
- BRASIL. ANEEL **Cadernos temáticos ANEEL tarifas de fornecimento de energia elétrica**. 2005. 30 p. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/caderno4capa.pdf>>. Acesso em mar. 2010.
- BRASIL. ANEEL – **Cartilha** – Perguntas e respostas sobre tarifas das distribuidoras de energia elétrica – Brasília; 2007. 16 p. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/Perguntas_e_Respostas.pdf>. Acesso em abr. 2010.
- BRASIL. ANEEL. **Cartilha** – Por dentro da conta de luz: informação de utilidade pública. 4. ed. Brasília: 2008. 34 p; Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Cartilha_1p_atual.pdf>. Acesso em abr. 2010.
- BRASIL. ANEEL. **Resolução N.º 456**. 2000. p. 57. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2000456.pdf>>. Acesso em abr. 2010.
- BRASIL. EPE – **Série estudos de energia**, (2009). Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/SérieEstudosdeEnergia/20091026_1.pdf>. Acesso em jun. 2010.

CALIXTO. Leonardo Luís, **Texto complementar 2** – Fluxo de Renda, 2009, 13 p. Disponível em: <http://professores.goianesia.ueg.br/leonardo/arquivos/Texto_Compl_2.pdf>. Acesso em mai. 2010.

CELESC **Tabela de preços**, 2010. Disponível em: <http://portal.celesc.com.br/portal/atendimento/index.php?option=com_content&task=view&id=286&Itemid=94>. Acesso em jun. 2010.

CONCESSIONÁRIA SANTO ANTONIO ENERGIA **Panorama do setor de geração**; 2009. Disponível em: <http://www.santoantonioenergia.com.br/site/portal_mesa/pt/energia/geracao/geracao.aspx>. Acesso em mai 2010.

CLUBE DO HARDWARE Disponível em <<http://www.clubedohardware.com.br/artigos/1351/6>>. Acesso em jan. 2007.

FELIPE, Daniel Santana. **Desenvolvimento de um canal de comunicação seguro entre agentes distribuídos e firewall**; Presidente Prudente: UNOESTE, 2005, 70 p.

KAGAN, N.; OLIVEIRA, C. C. B. de; ROBBIA, E. J. **Introdução aos sistemas de energia elétrica**. São Paulo: Editora Blücher, 2005 328 p.

LEÃO, Ruth. **Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica**: Universidade Federal do Ceará - Centro de Tecnologia - Departamento de Engenharia Elétrica, 2009. Disponível em: <<http://www.dee.ufc.br/~rleao/GTD/1Introducao.pdf>>. Acesso em jun. 2010.

MATHEUS. Henrique. **Controladores de demanda**; Universidade Federal de Mato Grosso Faculdade de Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2003, 32 p. Disponível em: <<http://www.ejm.com.br/download/Demanda.pdf>>. Acesso em mai. 2010.

UNICAMP **Mini curso – Internet**, 2009. Disponível em: <http://www.ccuec.unicamp.br/treinamento_int2004/naveg40/oqueeh1.html>. Acesso em mai. 2010.

MOKARZEL, Marcos Perez; CARNEIRO, Karine Perez Mokarzel. **Internet Embedded TCP/IP para microcontroladores**. 1ª edição. São Paulo: Editora Érica, 2004, p. 340.

MOTTA. Débora; MALLMANN. Rafael; OLIVEIRA. João, **AVR – 8 bit Atmel**; Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Guaíba, 2005, 38 p. Disponível em: <http://www.gritee.com/participantes/mallmann/avr-atmel.pdf>. Acesso em: 23 Maio 2010.

MURHAMMER. Martin W.; ATAKAN. Orcun; Bretz. Stefan; PUGH. Larry R.; SUZUKI. Kazunari; WOOD. David H. **TCP/IP tutorial and technical overview** - IBM Corporation, International Technical Support Organization; 6ª Edition; year 2004; 998 p. Disponível em: www.ibm.com/redbooks. Acesso em: 23 Maio 2010.

PONT. Michael J. **Embedded C**. Addison – Wesley An imprint of Pearson Education Limited, 2002, 321 p.

ROCHA. Rodrigo, Artigo: **O que são dispositivos dedicados (Embedded Systems)?** Introdução sobre os sistemas operacionais Windows Embedded, suas vantagens e aplicações; Microsoft, 2005. Disponível em: http://www.compuser.com.br/embedded/html/conteudo/txt_inside05.htm. . Acesso em: 23 Maio 2010.

SCHILDT, Herbert. **C completo e total**. 3. ed. Tradução: Roberto Carlos Mayer. São Paulo: Makron Books, 1996. 827 p.

SHAW. Alan C., **Sistemas e software de tempo real**; Tradução Ana M. Alencar Price. BOOKMAN, Porto Alegre, 2003, 240p.

SILVA. Juarez Bento da, **Monitoramento, aquisição e controle de sinais elétricos, via web, utilizando microcontroladores**. – UFSC, 2002, 123 p. Disponível em: <http://www.tede.ufsc.br/teses/PGCC0387.pdf>. Acesso em: 20 Maio 2010.

SOUSA, Lindeberg Barros de. **Redes de computadores**: dados, voz e imagem. Érica, São Paulo, 1999, 484 p.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amílcar e GORINI, Ricardo. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva**. Novos estudos - CEBRAP; 2007, n.79, p. 47-69. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/nec/n79/03.pdf>. Acesso em: 25 de Março de 2010.

TOOLEY. Mike, **Circuitos eletrônicos** – fundamentos e aplicações, Tradução Luis Cláudio de Queiroz Faria; 3ª edição, Rio de Janeiro, Elsevier, 2007, 407p.

TORREIRA. RAUL PERAGALLO, **Instrumentos de medição elétrica**, Editora Hermus, 1978, 215 p.

WAGNER. Ferdinand; Schmuki. Ruedi; Wagner. Thomas; Wolstenholme Peter. **Modeling software with finite state machines**, Taylor & Francis Group, 2006, 369 p.