

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Título: Telemedição de medidores eletrônicos de energia na rede de TV a cabo

Aluna

Maristela Domeni Navarro

Orientador:

Prof. Dr. Hermano Medeiros Ferreira Tavares

Co-orientador:

Prof. Dr. Marcos Carneiro da Silva

Banca Examinadora:

Prof. Anilton Salles Garcia UFES/Vitória ES

Prof. Luis Geraldo Pedroso Meloni DECOM/FEEC/Unicamp

Prof. Anésio dos Santos Junior DENSIS/FEEC/Unicamp

Data da defesa: 25/08/2006

Title: Automatic energy meter reading over cable TV network.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

N228t Navarro, Maristela Domeni
Telemedicação de medidores eletrônicos de energia na rede
de TV a cabo / Maristela Domeni Navarro. --Campinas, SP:
[s.n.], 2006.

Orientadores: Hermano Medeiros Ferreira Tavares e
Marcos Carneiro da Silva

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de
Computação.

1. Telemetria. 2. Televisão a cabo. 3. Tarifas. 4. Sistema
de transmissão de dados. I. Tavares, Hermano Medeiros
Ferreira. II. Silva, Marcos Carneiro da. III. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e
de Computação. IV. Título.

Título em Inglês: Automatic energy meter reading over cable TV network.

Palavras-chave em Inglês: Automatic Meter Reading; Billing; HFC Network; Cable
TV

Área de concentração: Automação

Titulação: Mestre em Engenharia Elétrica

Banca examinadora: Anilton Salles Garcia, Luis Geraldo Pedroso Meloni e Anésio
dos Santos Júnior.

Data da defesa: 25/08/2006.

Resumo

Este trabalho objetiva verificar a viabilidade da utilização da rede das operadoras de televisão à cabo para medição remota e tarifação diferenciada de energia elétrica para consumidores alimentados em baixa tensão - Grupo B. Envolve a criação de protótipos de hardware e software para controle da comunicação, obtenção dos dados e controle operacional dos medidores de energia executados remotamente a partir de uma central. A arquitetura implementada tem três elementos principais: o Ponto de Presença, instalado no quadro de medidores do consumidor; o Controlador Central de Comunicação, instalado na operadora de televisão à cabo, responsável pela comunicação com os Pontos de Presença monitorados e pela concentração e envio de informações ao Centro de Aplicações, o último elemento da arquitetura. Resultados foram coletados e avaliados, abordando aspectos como a viabilidade técnica, vantagens e desvantagens. Esse trabalho proporcionou ainda um breve estudo de novas formas de comunicação remota com medidores usando outros meios físicos de comunicação.

Palavras-Chave: Medição Remota, Tarifação, Rede HFC, TV a cabo.

Abstract

This work was developed to verify the viability to use the cable TV infra-structure for remote measurement and billing for consumers fed in low tension - Group B. It involved the creation of hardware and software prototypes for control of the communication to collecting data remotely of the energy meter from a central office. The implemented architecture has three main elements: the Point of Presence, installed at the consumer side; the Central Controller, installed in the Cable TV headend, responsible for the communication with the Points of Presence and for the concentration and sending of information to the Application Center, the last element of the architecture. Results had been collected and evaluated, taking into account aspects as the viability technique, advantages and disadvantages. This work still provided a briefing study of new ways of remote communication with the energy meters using other infra-structure of communication.

Key Words: Automatic Meter Reading, Billing, HFC Network, Cable TV.

Agradecimentos

Esta dissertação é dedicada à minha família e ao grupo do projeto SAMEEC, que com seu espírito de equipe chegou a resultados que podem ser usados como base de referência tecnológica e comercial para a telemetria na área de energia.*

Agradecimentos especiais à CPFL e seu representante Antonio Carlos Delgado, Tele Design e VIVAX S/A, empresas participantes desse projeto.

Agradeço também à paciência, dedicação e energia de meu orientador Hermano Tavares e meu co-orientador Marcos Carneiro que possibilitaram o desenvolvimento desse trabalho.

**Equipe SAMEEC*

Coordenador: Marcos Carneiro da Silva

José Mário Tagliassachi

Daniel Pinheiro

Humberto Pinheiro

Luis Fernando Bourdot

Paulo Daniel Bishop

André Hertel da Silva

Douglas Barbosa da Cunha

Philipp Fortenbacher

Philipp Schmale

Eduardo Lona

Márcio Pereira Pedrosa

Danton Baptista Jr.

Ubiratan Castelhana

SAMEEC - ESTUDO DA VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA VIA CABOS

Índice

Resumo	3
Abstract.....	3
Índice	5
Índice de Figuras	6
Lista de Siglas.....	7
1. Introdução	8
2. O Problema	24
3. O Modelo	30
4. Descrição da Implementação.....	55
5. Projeto Piloto	67
6. Conclusões	72
7. Anexos	76
Anexo I - NBR 14522 – Intercâmbio de Informações para sistemas de medição de energia elétrica – Padronização	77
Anexo II - Protocolos a serem usados na rede.....	78
Anexo III - Protocolo entre Ponto de presença – Controlador Central de Comunicação.	82
Anexo IV - Exemplos da comunicação entre as entidades	89
Anexo V - Comandos NBR 14522.....	96
Anexo VI - Temporizadores do sistema.....	98
Referências Bibliográficas	99

Índice de Figuras

Figura 1 – Esquema de Operação Típica de TV a Cabo	13
Figura 2 – Representação do Espectro do Sinal da Rede de TV a Cabo	13
Figura 3 – Visualização do uso de Fibras Ópticas e Cabos Coaxiais na Rede HFC.....	14
Figura 4 – Camadas do Modelo OSI (fonte:[4]).....	16
Figura 5 – Arquitetura DOCSIS (Lado do Usuário).....	19
Figura 6 – Arquitetura DOCSIS (Lado do Headend).....	20
Figura 7 – Contexto Geral do Projeto de Pesquisa e o Escopo da Dissertação	22
Figura 8 – Arquitetura do Sistema	32
Figura 9 – PP – Mapeamento em Blocos	40
Figura 10 – PP – Detalhamento da Interface RF.....	40
Figura 11 – PP – Mapeamento de Hardware e Software.....	41
Figura 12 – CCC – Arquitetura Funcional.....	47
Figura 13 – CCC – Mapeamento em Blocos	48
Figura 14 – CCC – Detalhamento das Interfaces.....	48
Figura 15 – CCC – Mapeamento Hardware e Software	49
Figura 16 – Visão Geral do mapeamento Hardware e Software	54
Figura 17 – Modulação em amplitude	56
Figura 18 – Modulação em fase.....	57
Figura 19 – Modulação em frequência	57
Figura 20 – Mapeamento em Blocos do Hardware do Ponto de Presença	58
Figura 21 – Mapeamento em Blocos do Hardware do Controlador Central de Comunicação	58
Figura 22 – Circuito PLL básico.....	59
Figura 23 – Opções de aplicação dos moduladores de 11,7 MHz.....	60
Figura 24 – Aplicação do Modulador de 111,7 MHz.....	60
Figura 25 – Diagrama de Fluxo de Dados do Software do Ponto de Presença.....	62
Figura 26 – Especificação do Software do Ponto de Presença	63
Figura 27 – Diagrama de Fluxo de Dados do Software controlador de acesso do CCC.....	64
Figura 28 – Diagrama de Fluxo de Dados do Software do controlador de acesso.....	65
Figura 29 – Especificação do Software do controlador de Acesso.....	66
Figura 30 – Medidor Eletrônico de Energia	68
Figura 31 – Medidores Eletrônicos Instalados no Edifício Piloto.....	68
Figura 32 – Multiplexador Instalado no Edifício Piloto.....	69
Figura 33 – Ponto de Presença Instalado no Edifício Piloto.....	69
Figura 34 – Vivax – Americana/SP.....	69
Figura 35 – Software Central de Aplicações – Tela de Envio de Comandos	70
Figura 36 – Software Central de Aplicações – Tela de Resposta de Comandos	70
Figura 37 – Diagrama de Montagem dos Pacotes no Centro de Aplicações	78
Figura 38 – Cabeçalho TPC/IP.....	79
Figura 39 – Montagem/Desmontagem dos Pacotes no Controlador Central de Comunicação.....	80
Figura 40 – Montagem/Desmontagem dos Pacotes no Ponto de Presença	81
Figura 41 – Solicitação de Leitura do Medidor com Resposta Simples.....	90
Figura 42 – Envio de Programação para o Medidor	91
Figura 43 – Reset do Ponto de Presença.....	92
Figura 44 – Sincronização do Relógio do Ponto de Presença.....	93
Figura 45 – Corte e Re-ligamento.....	94
Figura 46 – Solicitação de leitura do medidor com resposta composta.....	95

Lista de Siglas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGC – Automatic Gain Control
Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica
AMR – Automatic Meter Reading
APTEL – Associação de empresas Proprietárias de infra-estrutura e de sistemas privados de Telecomunicações.
CCC – Controlador Central de Comunicação
CMTS – Cable Modem Termination System
COPEL – Companhia Paranaense de Energia
CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz
CableLabs – Cable Television Laboratories
DOCSIS – Data Over Cable Service Interface Specification
FSK – Frequency Shift Keying
HFC – Hybrid Fiber Coaxial
ISO – International Standards Organization
ITU – International Telecommunication Union
LACTEC – Instituto para Pesquisa e Desenvolvimento
MAC – Media Access Control
MDU – Multiple Dwelling Unit
MOU – Memorandum of Understanding
OPERA – Open PLC European Research Alliance
OSI – Open Systems Interconnection
OSS – Operational Support System
PCI – Peripheral Component Interface
PLC – Power Line Communication
PLL – Phased Locked Loop
PP – Ponto de Presença
RF – Rádio Frequência
SCTE – Society of Cable Telecom Engineers
TDMA – Time Division Multiple Access
USB – Universal Serial Bus

Capítulo

1

1. Introdução

1. Introdução

Esta dissertação trata do projeto de pesquisa e desenvolvimento na linha em AMR (Automatic Meter Reading) voltado ao desenvolvimento, integração e implantação de um sistema de coleta, controle e comunicação de dados oriundos de uma medição e tarifação diferenciada de energia elétrica para consumidores alimentados na baixa tensão – Grupo B (110V - 440V).

A medição tem encaminhamento via rede de cabos óptico/coaxial chamadas redes HFC (Hybrid Fiber Coaxial). Outros tipos de serviços além da leitura remota de medidores também podem usar a rede HFC como infra-estrutura de encaminhamento, pois a rede de cabos é uma rede de comunicação de dados. Assim, o corte e religamento de energia bem como os comandos de configuração dos medidores de energia também são objeto desse projeto.

O projeto que originou esta dissertação foi financiado pela CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz) através de seus projetos de pesquisa e desenvolvimento. A CPFL tinha como objetivo colher informações a respeito da telemetriação de medidores eletrônicos de energia usando diferentes meios transmissão dos dados coletados. Mais duas vertentes de projeto de pesquisa foram originados nesse momento envolvendo a CPFL:

- Modem PLC (Power Line Communication - maior projeto envolvendo Eletropaulo, Bandeirantes, Elektro, CPFL a infra-estrutura da rede elétrica.
- Rádio / Celular – projeto envolvendo CPqD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento) propondo a telemetriação de medidores de energia utilizando a infra-estrutura de telefonia celular.

A seguir são apresentados alguns conceitos envolvidos nestes projetos apresentando os motivadores da **medição remota** e uma breve descrição das **tecnologias** de transmissão de dados.

1.1 Medição Remota ou Telemetriação

A leitura remota de medidores ou AMR (Automatic Meter Reading) é a coleta de dados dos medidores situados nos consumidores usando como meio de comunicação as tecnologias de telefonia convencional, rádio frequência, a rede de energia elétrica, a rede de TV a cabo.

Dessa forma, as empresas fornecedoras dos serviços de água, gás e energia elétrica, têm a oportunidade de:

- a) melhorar sua eficiência operacional podendo identificar perdas mais rapidamente através de suas medições.
- b) melhorar o serviço ao consumidor com o detalhamento de sua fatura, facilidade de disponibilizar o serviço.
- c) reduzir os custos de coleta de dados e oferecer rapidamente informações para tomada de decisões da empresa

As questões ligadas à medição remota existem de longa data. Na década de 60 algumas empresas de gás dos Estados Unidos já estavam identificando áreas de testes envolvendo a medição remota. No Brasil, alguns trabalhos sobre o assunto tiveram início em meados da década de 90. Qualquer que seja o agente motivador da medição remota, o meio de comunicação é um elemento importante a ser considerado. Existem algumas iniciativas envolvendo os estudos de viabilidade

desses ambientes de comunicação de dados e seu uso na leitura remota de medidores. Essas iniciativas são comentadas a seguir.

1.2 Tecnologias

Existem vários meios de comunicação para a transmissão das informações coletadas. A seguir são apresentados alguns deles. Em seguida detalha-se um pouco mais no conceito das redes HFC, foco desse trabalho [6].

1.2.1 Telefonia Convencional

A COPEL, Companhia Paranaense de Energia e LACTEC, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, desenvolveram um aparelho chamado FONELUZ[21] que, instalado no poste da entrada de serviço do consumidor e ligado à linha telefônica, comunica automaticamente a COPEL quando falta energia elétrica na rede. No entanto, nessa iniciativa a coleta de dados dos medidores não foi desenvolvida.

A rede de telefonia convencional é uma rede de comunicação de dados e pode ser usada para o tráfego de dados de coleta de medidores. No caso do FONELUZ, o aparelho liga para um número 0800 para não entregar ao consumidor final o custo da chamada. Porém o evento da falta de energia acontece num volume bem menor que a coleta periódica de dados dos medidores, e talvez por esse motivo não existem muitas iniciativas utilizando a rede de telefonia para esse fim.

1.2.2 PLC (Power Line Communication)

Projeto que envolve várias empresas de energia (Eletropaulo, Bandeirantes, Elektro, além da própria CPFL) e que se utiliza de modems PLC e da infra-estrutura da rede elétrica para a coleta e controle de dados. A tecnologia está bem dominada quando considerado o ambiente "in door", porém apresenta ainda desafios a serem ultrapassados quando, em ambiente externo, atinge distâncias de transmissão maiores que 700m (setecentos metros), pois a perda de sinal exige a utilização de repetidores.

Para a comunicação utilizando PLC na rede elétrica, cada usuário deve ter um modem PLC, e na outra ponta outro modem PLC de alta velocidade. Os transformadores de energia bloqueiam alguns sinais PLC necessitando de uma ponte para atravessar o transformador. Algumas implementações de PLC utilizam frequências abaixo de 60 Hz, permitindo que os sinais passem pelos transformadores. No entanto, esses sinais transmitem dados a baixas velocidades uma das complicações técnicas que tornam esta opção desvantajosa. O motivador da baixa capacidade de dados, são as variações de impedância, e os altos níveis de ruído provocados pelo chaveamento e os sinais indutores. Esta degradação na taxa de transmissão causada por ruídos elevados, muitas vezes restringe a aplicabilidade da tecnologia. Outras questões ainda exigem melhores soluções como compatibilidade eletromagnética, falta de padronização e melhores políticas regulatórias.

No mundo, a tecnologia PLC é acompanhada principalmente pelo PLC Forum[19] que também acompanha alguns projetos como o OPERA (Open PLC European Research Alliance). O projeto OPERA[20] busca padronizar os sistemas PLC, definir questões relacionadas à manutenção da rede, definir requisitos para os consumidores e melhorar questões relacionadas à velocidade.

Em junho de 2004 o PLC Forum e a APTEL Brasil assinaram um MOU (Memorandum of Understanding) para compartilhamento de informações e melhores práticas[19]. A APTEL Brasil é

a associação de empresas proprietárias de infra-estrutura e de sistemas privados de telecomunicações.

1.2.3 Radio / Celular

Utilização da infra-estrutura de telefonia celular para transferência dos dados coletados nos medidores. Existem neste caso dois grandes desafios: o sistema de numeração que deveria contemplar os mais de 3,5 milhões de consumidores da CPFL e, em caso de necessidade de utilização do próprio aparelho celular, o sistema de baterias do mesmo não se comporta bem em altas temperaturas.

1.2.4 Redes HFC

As redes HFC foram escolhidas para esse projeto, por apresentarem abrangência no grupo B de consumidores, e por apresentarem uma alternativa ao serviço de telefonia convencional ou à própria infra-estrutura da rede elétrica que têm suas limitações para o serviço de transmissão de dados. Esta dissertação não defende uma infra-estrutura em relação à outra, apenas tem como base a infra-estrutura de cabos para a transferência de informações.

A identificação da rede HFC como infra-estrutura mais adequada para transmissão dos dados de Telemetriação de medidores eletrônicos vem devido a grande banda passante que ela transporta, hoje em dia em torno dos 870 MHz, disponibilizando capacidade para alocação de diversos serviços, como telefonia IP, TV a cabo entre outros. Além disso, sua topologia do tipo barramento possibilita compartilhamento de recursos que levam a reduções interessantes de custo.

1.3 Visão Geral da Tecnologia HFC

O início da TV a cabo no mundo se deu nos USA no ano de 1948, com o objetivo de distribuir sinais das transmissoras de televisão para as residências que não conseguiam um sinal de qualidade através de antenas de recepção. A partir de 1950 o sistema de transmissão foi melhorado com o uso de cabos coaxiais, que possuem maior blindagem a interferências e menores perdas. A partir dos anos 70 o sistema evoluiu através da adição aos canais de televisão locais, de novos canais transmitidos por satélites (surgimento da HBO). Também foi nesse período que começaram a surgir os primeiros serviços interativos que permitiam ao assinante enviar dados à central de informações para liberação de canais (sistema bidirecional utilizado para "pay per view"). Hoje a rede americana de TV a cabo cobre cerca de 95% dos domicílios com televisão do país, cobrindo 60 milhões de casas [1].

No Brasil, o início do sistema de TV a cabo se deu nos anos 70 com pequenas operações surgindo como um serviço não oficial para a distribuição de sinais de televisão, como foi nos EUA. A partir dos anos 90 os grandes grupos começaram a se interessar pelo negócio e começaram a operar com licenças especiais. Nessa época já eram oferecidos os canais locais adicionados a canais internacionais transmitidos via satélite. A partir de 1995 com a promulgação da Lei do Cabo [2] houve a regulamentação do serviço e diversas licitações foram realizadas e várias operadoras

surgiram. Hoje os sistemas de TV paga atendem 301 municípios brasileiros atingindo um total de mais de 4.1 milhões de assinantes sendo que 61% desses são assinantes de TV a cabo¹.

O sistema de televisão a cabo evoluiu de um sistema de simples distribuição de sinais de televisão para um sistema de telecomunicações, que fornece uma rede de comunicação bidirecional de alta velocidade e confiabilidade. Essa rede, operando de maneira bidirecional, iniciou com serviços simples como monitoração de ativos da rede e habilitação de canais "pay per view". Esse último serviço consiste na habilitação de canais no decodificador local (dentro das instalações / casa do assinante) através do envio de comandos controlados pelo assinante até o Cabeçal ("Headend"), os quais liberam o acesso a um canal específico por um determinado período de tempo. Hoje, diversos serviços de comunicação estão integrados a essa rede, como serviços de acesso a internet, serviços de telefonia, vídeo interativo, voz sobre IP (VOIP) e sistemas de monitoração/leitura remota (segurança; leitura e controle aos acessos às redes de gás, energia e água).

A Figura 1 mostra o esquema de uma operação típica de TV a cabo. Os sinais dos canais de TV são recebidos pela antena de satélite, por antenas off-air para recepção dos canais locais e antenas de micro-ondas (para canais específicos ponto a ponto – não usado com frequência). Estes canais são tratados no "Headend" e modulados para transmissão em banda larga, tipicamente a faixa de transmissão reservada para a transmissão dos canais analógicos de TV abrange o intervalo de 55 MHz a 550 MHz (downstream/ servidor-usuário). As frequências acima de 550 MHz são reservadas para transmissão digital, e a faixa de 0 à 50 MHz é utilizada pelo retorno (upstream/ usuário-servidor), conforme ilustrado na Figura 2. Os sinais são combinados e transmitidos opticamente até o "nó óptico" que converte os sinais ópticos para RF. Os sinais caminham pela rede coaxial, sofrendo atenuação, até um amplificador de distribuição que aumenta novamente sua potência para que eles possam atingir (se necessário) novos amplificadores chamados de Extensores de Linha. Os acopladores são utilizados para ramificar a rede e chegar finalmente ao TAP de onde é feito o atendimento ao assinante. Do TAP é lançado um cabo "drop" para a casa do assinante que chega até um acoplador que divide o sinal para atender aos serviços iterativos (cable modem) e à distribuição de canais de TV (conversor).

¹ Fonte : ABTA (Associação Brasileira de TV por Assinatura) www.abta.com.br - 2005

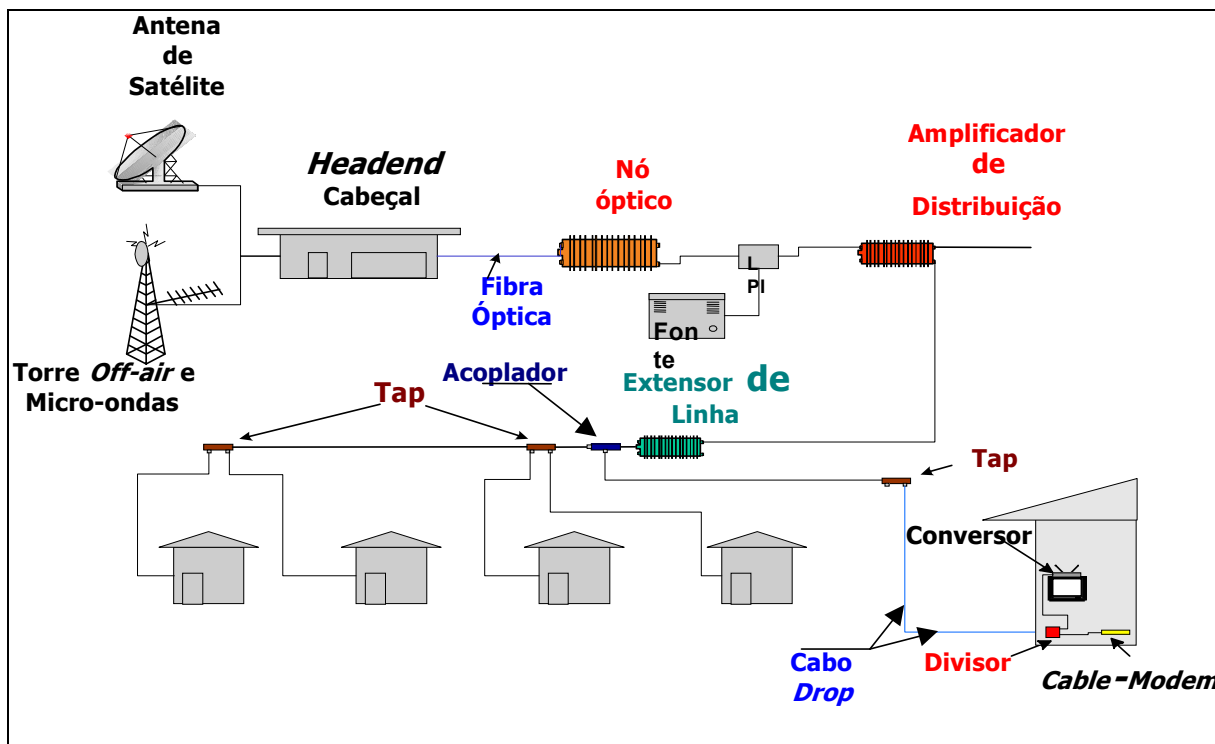


Figura 1 – Esquema de Operação Típica de TV a Cabo

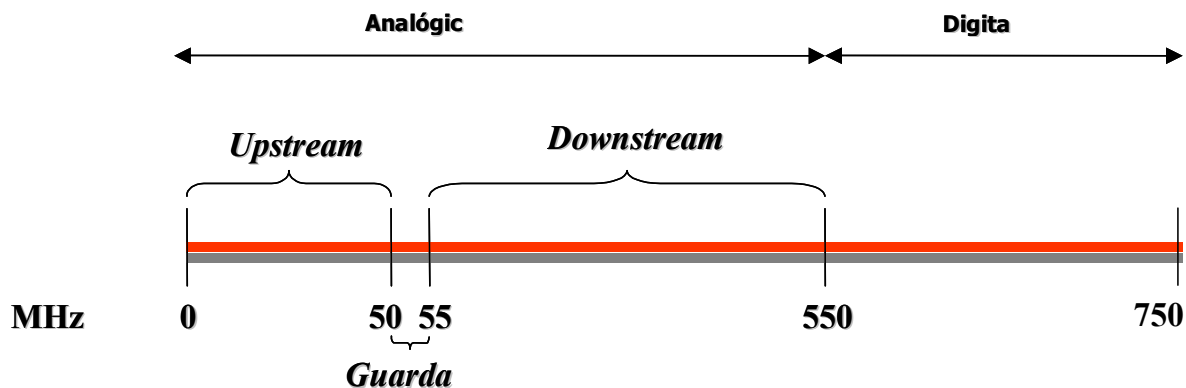


Figura 2 – Representação do Espectro do Sinal da Rede de TV a Cabo

1.3.1 Arquitetura

Inicialmente as redes de TV a cabo empregaram a arquitetura "Tree and Branch", que consiste em uma rede com distribuição a partir de um ponto central (o Cabeçal ou "Headend") através de cabos coaxiais que se ramificam com uso de divisores e de amplificadores até o seu destino, o assinante. Quando o sinal atinge um nível muito baixo utilizam-se amplificadores para aumentar

sua potência. Isto produz maiores distorções no sinal gerado. O inconveniente dessa arquitetura é que a medida que a rede cresce, mais amplificadores vão sendo colocados em cascata e com isso a qualidade do sinal vai se deteriorando, limitando dessa forma o tamanho da rede. Outro problema que surgiu foi com relação ao acesso ao canal de retorno, pois nesse tipo de rede todos os assinantes do mesmo ramo ("Branch") compartilham necessariamente a mesma banda.

Para solucionar esses problemas surgiu uma tecnologia de rede híbrida de fibra óptica e cabo coaxial (rede HFC). Nela os assinantes são distribuídos em células de tamanhos uniformes, limitando desta forma a cascata de amplificadores. Isto garante que a qualidade seja quase a mesma para todos que compartilham a rede, tanto para os sinais dos canais diretos (downstream/servidor-usuário), quanto para os sinais de retorno (upstream/ usuário-servidor) [3].

As vantagens da rede HFC também se estendem à confiabilidade, continuidade e disponibilidade do serviço de rede, fundamentais para o processo de agregação de novos serviços bidirecionais. As células só puderam ser criadas com o uso da tecnologia de transmissão em fibra óptica, que permite que o sinal percorra grandes distâncias com baixa perda de potência e de qualidade, criando disponibilidade de banda (headroom) aproveitável no tráfego de outros sinais bidirecionais [4].

O uso de fibra óptica também permite que o mesmo Headend seja compartilhado em mais de uma cidade. Os sinais do Headend em uma cidade são transmitidos por fibra de forma analógica ou digital a um Hub em outra cidade, onde são amplificados e agregados à canais locais. Esse sinal é então transmitido diretamente aos nós ópticos ou a Hubs locais para distribuição aos nós ópticos (Figura 3). A ligação entre o Headend e os Hubs principais; e entre estes e os hubs secundários deve ser feita por um anel para aumentar a confiabilidade e disponibilidade do sistema.

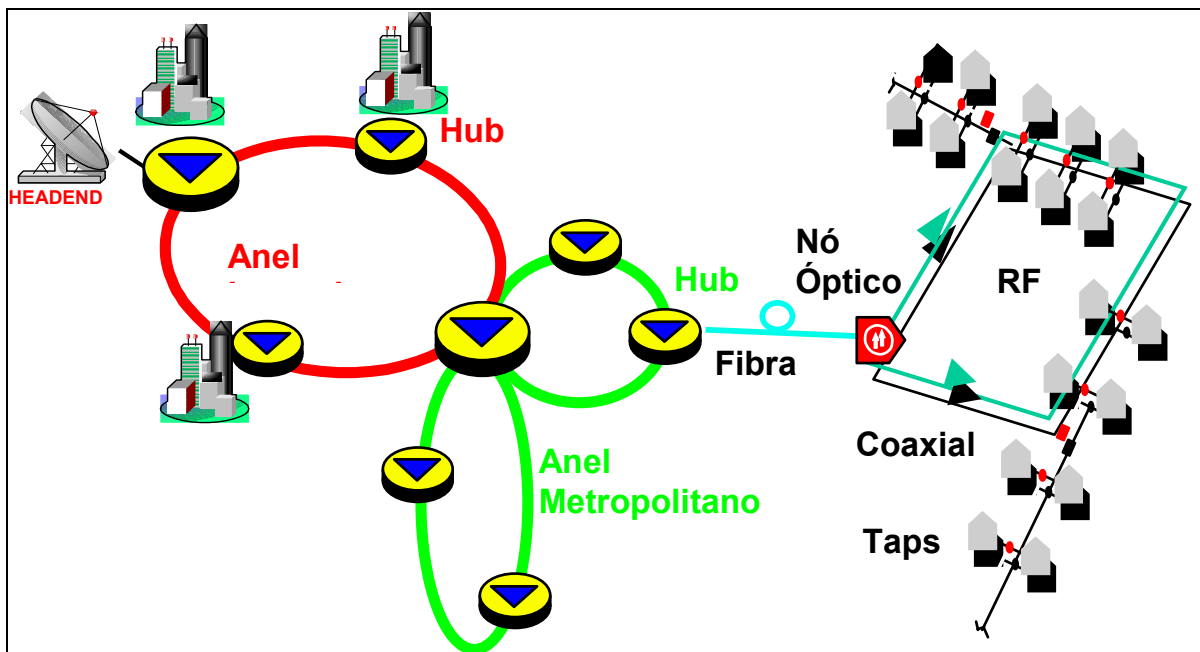


Figura 3 – Visualização do uso de Fibras Ópticas e Cabos Coaxiais na Rede HFC

1.3.2 Protocolos de comunicação em redes HFC

Protocolo é um conjunto de regras usado em comunicações entre dois ou mais equipamentos. Essas regras são necessárias para que esses equipamentos, fabricados ou não por diferentes empresas, consigam se comunicar em uma transmissão desde que reconheçam ou implementem um protocolo comum.

Geralmente, protocolos de comunicação são implementados em uma série de camadas, formando uma pilha de protocolos. Um dado a ser transmitido é passado à primeira camada da pilha de protocolos que o empacotará, colocando um cabeçalho de identificação e informações de controle no final do pacote de dados. Após o empacotamento, a informação (cabeçalho + dado + informação de controle) é passada à próxima camada do protocolo, que realizará o mesmo trabalho de empacotamento, só que colocando no cabeçalho as informações de sua camada. Esse processo continua por quantas forem as camadas da pilha de protocolos até a camada final, onde o pacote construído é finalmente enviado pelo meio físico de transmissão.

No lado do receptor, o desempacotamento ocorre na ordem inversa do empacotamento, obedecendo à pilha de protocolos, até que se obtenha o dado final, entregue à aplicação destino. Cada camada do protocolo tem uma função e é usada para direcionar o pacote por sistemas e meios físicos dos mais variados possíveis.

A estrutura de camadas mais difundida é o modelo de referência OSI (Open Systems Interconnection) desenvolvido pelo ITU (International Telecommunications Union) com a colaboração da ISO (International Standards Organization) [5].

1.3.3 Modelo OSI

A Figura 4 ilustra o modelo OSI para protocolo de comunicação, baseado em sete camadas. Junto com a figura está o exemplo de protocolos em cada uma das camadas (lado direito da figura) e no topo da pilha há uma aplicação do tipo browser WEB ou e-mail. As três primeiras camadas do modelo referem-se à rede de transmissão enquanto as quatro camadas superiores são os sistemas usuários.

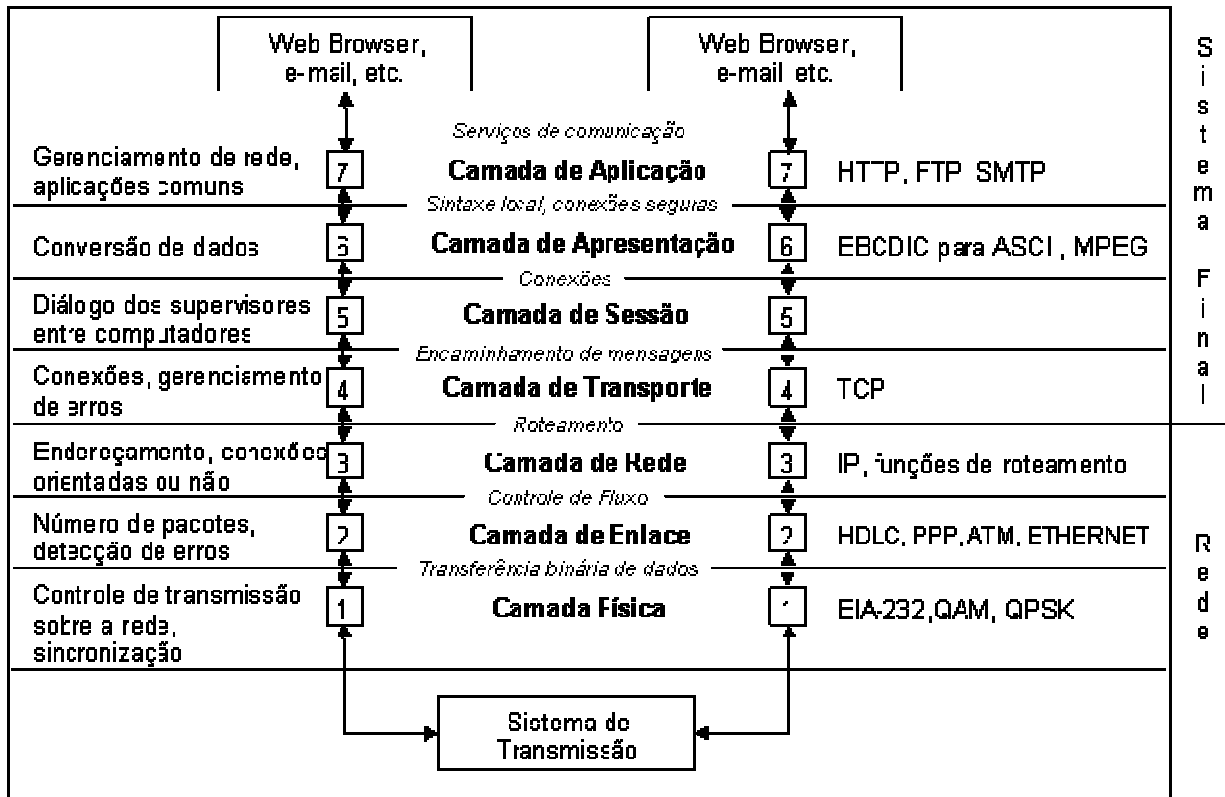


Figura 4 – Camadas do Modelo OSI (fonte:[4])

Como a rede HFC é um meio de transmissão para dados, apenas as três camadas mais inferiores do modelo OSI são descritas a seguir. Essas três camadas são os protocolos usados para o acesso ao meio físico. Para as camadas que tratam dos protocolos de comunicação no nível de sistemas, é indiferente o meio físico usado. Maiores informações sobre as quatro camadas superiores podem ser encontradas facilmente na literatura [5].

- **Camada Física:** é a camada inferior na pilha do modelo de OSI e a que implementa funções de transmissão de dados de um ponto a outro. A questão fundamental abordada nessas funções é a sincronização, ou seja, garantir que o tempo de recompor os dados no receptor, sejam apropriados com o tempo de envio de dados pelo transmissor.
- **Camada de Enlace:** essa camada empacota bits a serem transmitidos e garante que os de dados são colocados na mesma ordem em que foram enviados antes de serem passados para a camada superior. Além disso, esquemas de detecção e correção de erros também são implementados nesse nível.
 - **A subcamada MAC:** Os usuários de cable modem — modem utilizado nas comunicações em redes HFC — têm um interesse particular nessa camada pois ela controla o acesso ao meio físico através de protocolos eficientes.

Há uma particularidade no uso dessas redes pelos cable modems. As comunicações upstream (sentido usuário-servidor) não são "ouvidas" pelos outros cable modems

presentes na rede. Outra particularidade é que o tempo de propagação do sinal é maior nas redes HFC do que em outras LANs.

A comunicação upstream dos cable modems na rede HFC é geralmente feita através de TDMA (Time Division Multiple Access) e da seguinte maneira:

- **Reserva de slots de tempo:** quando um cable modem necessita uma comunicação upstream, ele solicita a reserva de um slot de tempo para a transmissão com o headend. Cada slot é usado por um único equipamento, o que garante o conhecimento do fluxo e tempo de transmissão de dados entre equipamentos e headend. Cabe ao equipamento controlador no headend disponibilizar o slot ao solicitante. A desvantagem desse processo é que um cable modem pode não usar o seu espaço de tempo concedido para a transmissão ou transmitir muito pouco dado nesse tempo. O controlador no headend deve ter mecanismos de revogar a reserva de slot aos equipamentos que não o estejam usando, concedendo-os a outros.

Outra forma de implementação da comunicação upstream é a chamada

- **Disputa por Slots.** Nesse esquema, quando um cable modem necessita transmitir, ele simplesmente o faz a qualquer tempo. O problema é que, diferente do Ethernet, quando o cable modem transmite, os outros cable modems são incapazes de escutá-lo. Isto causa colisões de dados se dois ou mais equipamentos transmitirem ao mesmo tempo. Com a colisão, o headend não conseguirá conceder o reconhecimento (acknowledgement) ao transmissor e, nesse caso, os cable modems tentarão transmitir novamente após um tempo. Caso haja colisão novamente, eles aguardam ("dormem") por um tempo aleatório e depois tentam a transmissão novamente.

Este esquema se encaixa muito bem quando há poucos dados a serem transmitidos. No entanto, quando o volume de informações aumenta, crescem também as colisões, degradando a transmissão. Sistemas mais recentes de cable modem implementam algumas facilidades para fazer com que os equipamentos se "escutem" e com isto saibam quando houve colisão.

Combinação dos esquemas: na implementação "pura" da "disputa por slots" (também chamado de protocolo aloha), o cable modem não faz uso de slots para transmitir dados (transmite a qualquer momento). Caso se especifique que as transmissões só são possíveis no início dos slots de tempo, então esse protocolo recebe o nome de slotted aloha. Outra maneira de combinação é estabelecer dois grupos de slots de tempo: um para o esquema de reserva de slots (esquema 1 discutido anteriormente) e outro grupo para o protocolo slotted aloha.

Se for assegurada uma reserva de slot a um cable modem apenas quando ele solicitar, então deve haver um esquema do tipo "disputa de slots" para os cable modems fazerem a reserva. Nesse esquema pode-se reservar um certo slot apenas para os equipamentos solicitarem a reserva. Quando o cable modem necessitar de uma reserva de slot, ele deve esperar pelo slot de solicitação de reservas para requisitar. Se nenhum outro cable modem solicitar, então provavelmente o headend concederá a reserva. Se

outro cable modem solicitar a reserva ao mesmo tempo, então haverá colisão e eles solicitarão novamente em outra oportunidade.

- **Camada de Rede:** a camada de rede trata do roteamento de pacotes em uma rede, podendo consistir de muitos enlaces ponto a ponto. Para cada pacote, ela se encarrega de definir a melhor rota para o enviar.

Para se adequar ao avanço das novas formas de comunicação, que hoje são multipontos a multipontos, essa camada foi subdividida em duas: a subcamada de enlace lógico, com as funções tradicionais da antiga camada de enlace, e a subcamada de controle de acesso ao meio (MAC - Media Access Control), que roteia pacotes de um transmissor ao receptor por um caminho comum.

1.3.4 DOCSIS

O protocolo DOCSIS (Data-Over Cable Service Interface Specification) é um conjunto de especificações para padronização de cable modems, desenvolvido em conjunto por algumas operadoras de televisão à cabo e o Cable Television Laboratories (CableLabs).

Na arquitetura DOCSIS pode-se analisar os dois lados da rede: o do usuário/assinante e o lado do headend (operador do cabo). No lado do usuário, o sinal no cabo entra em um filtro no cable modem, que separa o sinal de downstream/ servidor-usuário (acima de 55MHz) do de upstream/usuário-servidor (abaixo de 50MHz).

O sinal downstream/servidor-usuário passa por um módulo de segurança que é removível, usado para aplicar esquemas de segurança dos dados sem a necessidade desse desenvolvimento na aplicação.

Uma interface lógica permite que os dados de downstream/ servidor-usuário saiam do cable modem para outro equipamento como, por exemplo, um computador. A interface pode usar o protocolo 10BaseT, que é uma camada física particular do protocolo Ethernet, proporcionando conexões de até 10Mb/s através de cabos CAT-5 ou conectores RJ-45. Outras alternativas de interface são possíveis como a USB (Universal Serial Bus) ou PCI (Peripheral Component Interface).

O sinal de upstream, a partir do usuário, faz o mesmo percurso pelo cable modem e segue na rede de cabos até o headend. É importante notar que o cable modem atua como uma ponte (bridge) Ethernet na camada MAC [4]. Isto significa que apenas passa-se o tráfego de e para o computador do usuário, mas não o restante do tráfego presente no cabo.

A Figura 5 a seguir resume a arquitetura DOCSIS no lado do usuário.

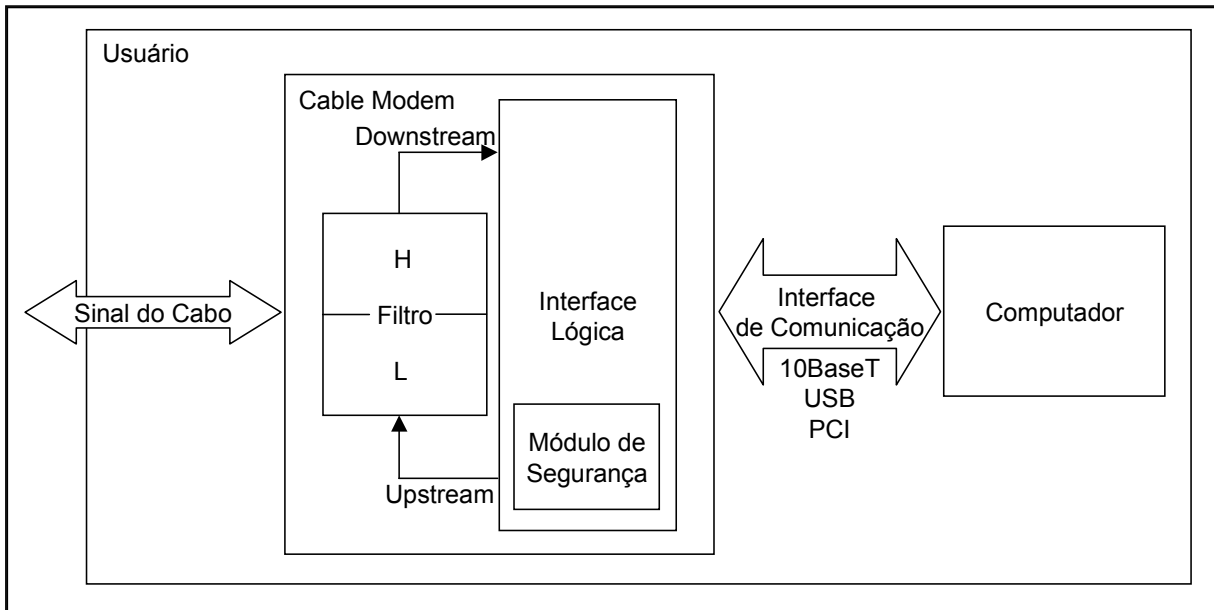


Figura 5 – Arquitetura DOCSIS (Lado do Usuário)

No lado do headend, o chamado CMTS (Cable Modem Termination System) inclui o modulador/demodulador para o sinal que sai e entra no headend, respectivamente. Há também a interface de rede, que permite a comunicação do CMTS com uma rede local ou WAN para acesso à Internet. Muitas vezes há também a comunicação do CMTS com controladores específicos de acesso e segurança; e com sistema de suporte à operação (OSS - Operational Support System).

A Figura 6 resume a arquitetura DOCSIS no lado do headend.

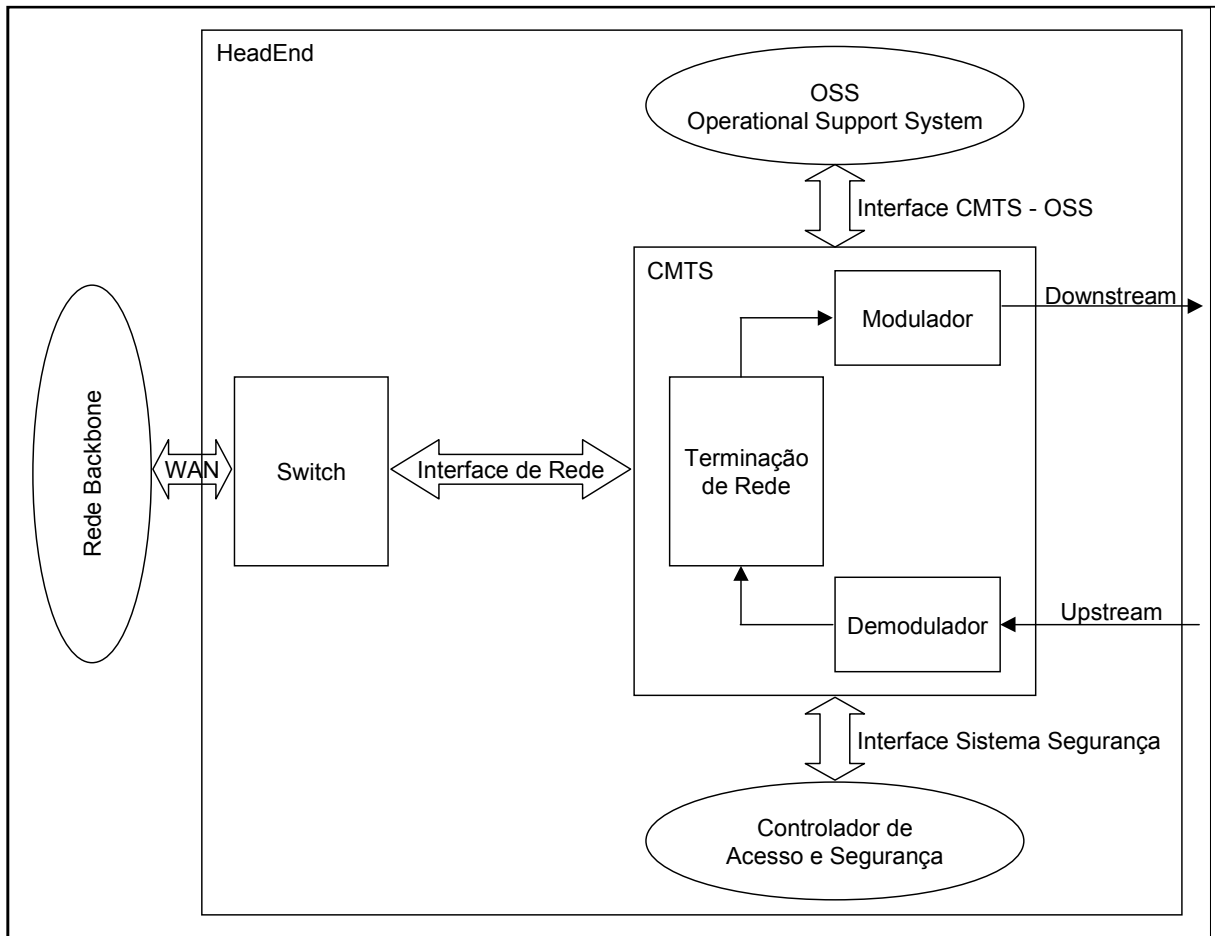


Figura 6 – Arquitetura DOCSIS (Lado do Headend)

Para efeito deste projeto adotou-se como premissa a não utilização dos cable modem comerciais com a tentativa de atingir um objetivo importante que é a diminuição do custo da aplicação de telemedição de energia. Isso se mostrou factível visto que algumas características existentes nos cable modem não seriam utilizadas como, por exemplo:

- A – Não se fazem necessárias as garantias de banda para o serviço de telemedição;
- B – A comunicação seria ponto-a-ponto, portanto, o controle da camada MAC – de acesso ao meio – não se mostraria necessário;
- C - Com a simplificação o consumo de energia dos equipamentos seria reduzido devido à utilização de componentes de baixo consumo.

Com base nestas premissas, tomou-se a decisão de utilizar os protocolos base para comunicação em redes HFC simplificando-os de forma a viabilizar o projeto.

Os protocolos SCTE (Society of Cable Telecom Engineers) – HMS (Hybrid Hybrid Fiber Coax Outside Plant Status Monitoring)– Physical Layer (PHY) [11] e SCTE – HMS – Media Access Control

Layer (MAC) [11] foram a referência para a construção do Ponto de Presença (PP) e Controlador Central de Comunicação (CCC) em substituição do cable modem e do CMTS.

1.4 O Foco da Dissertação

O projeto de leitura remota de medidores usando a rede de TV a cabo foi implementado usando elementos de coleta, envio e apresentação, foco dessa dissertação.

A Figura 7 apresenta uma visão do projeto identificando o foco dessa dissertação no par de comunicação: Ponto de Presença e Controlador Central de Comunicação e é detalhada em seções posteriores deste documento.

Na figura, são ilustrados os elementos:

- Centro de Aplicações: Um consolidador de dados que recebe todos os dados dos medidores enviados pelos Controladores Centrais de Comunicação, armazenando-os e disponibilizando-os em uma base de dados.
- Controlador Central de Comunicação: é um concentrador de pontos de presença chamado Controlador Central de Comunicação, localizado no Cabeçal da empresa operadora de TV a cabo, com a função de comunicar-se com todos os Pontos de Presença conectados a esse Cabeçal, agrupando os dados recebidos e enviando-os para o Centro de Aplicações.
- Ponto de Presença: equipamento que recebe comandos remotos via rede HFC (rede de TV a cabo), interpretando-os e gerando ações que podem ser o envio de comandos via interface serial aos medidores eletrônicos para coleta de dados.
- Medidores Eletrônicos: os medidores eletrônicos que se encarregam pela medição da energia elétrica na entrada de cada unidade consumidora.

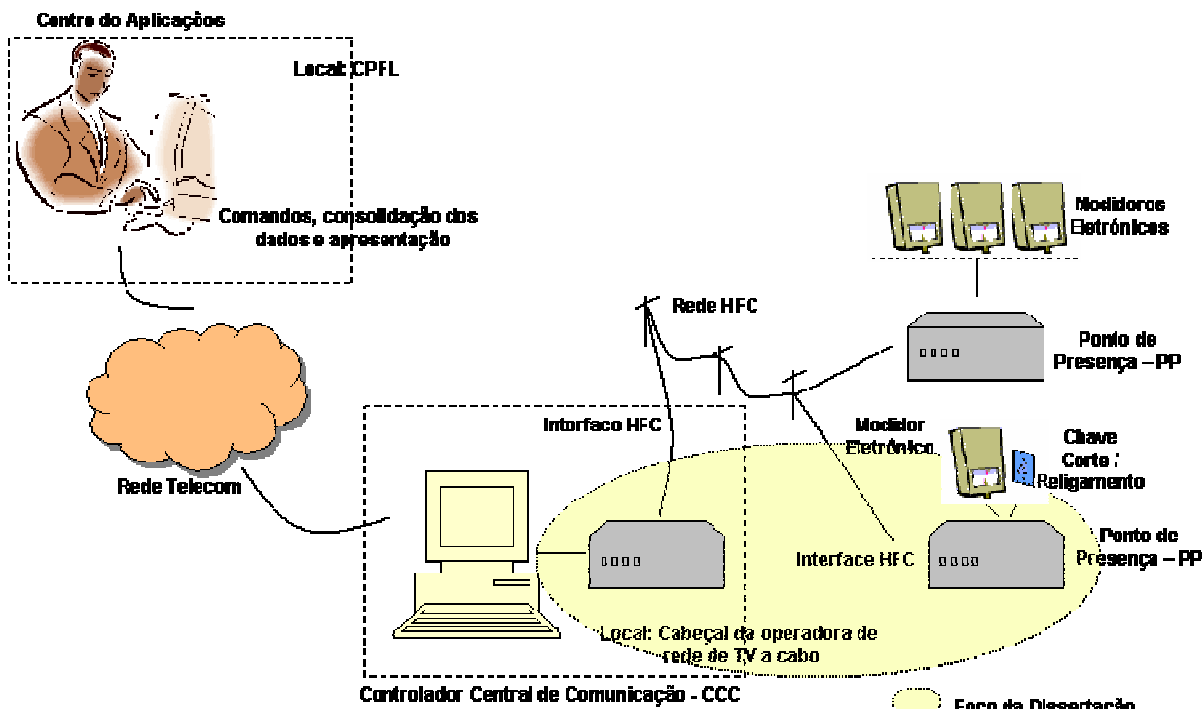


Figura 7 – Contexto Geral do Projeto de Pesquisa e o Escopo da Dissertação

Apesar de fazer parte do contexto do projeto de pesquisa, esta dissertação não aborda as questões relacionadas ao armazenamento de dados e tratamento dos dados para a interface com os sistemas de suporte operacionais da concessionária. O desenvolvimento da aplicação que permite que os elementos coletados sejam disponibilizados tanto para sistemas internos da concessionária (exemplo: sistema de tarifação) como para o consumidor final através uma aplicação Web, por exemplo, são objeto de outro trabalho de pesquisa.

1.5 Organização do texto

Os próximos capítulos descrevem com mais profundidade os desafios tecnológicos da telemedição via infra-estrutura de TV a cabo.

O capítulo 2 detalha quais são os problemas resolvidos tanto do ponto de vista geral, isto é, a telemedição em si motivada por razões de qualidade de serviço e seus conseqüentes problemas, quanto do ponto de vista específico do projeto como os requisitos técnicos de equipamento, de infra-estrutura e seus problemas.

O capítulo 3 é dedicado ao modelo da solução em si, descrevendo como o projeto foi resolvendo os problemas apresentados e conseqüentes resultados.

O capítulo 4 apresenta alguns detalhes dos protótipos construídos e suas implementações.

O capítulo 5 apresenta o projeto piloto e os resultados obtidos nos testes de campo realizados em ambiente real na cidade de Americana, onde os medidores foram instalados em um edifício. Os

equipamentos coletam os dados e os enviam via rede HFC para um ponto de concentração de dados e este via uma Linha Privada (LP) de rádio a um servidor (centro de aplicações) localizado nas dependências da Tele Design, empresa responsável pelo desenvolvimento do projeto.

As conclusões e anexos são apresentados nos capítulos 6 e 7 respectivamente.

Capítulo

2

2. O Problema

2. O Problema

Este capítulo apresenta questões relevantes tanto de caráter geral quanto específico do projeto. Cada questão aponta para um desafio tecnológico a ser ultrapassado e a partir desses desafios, alternativas de projeto são levantadas e estudadas.

2.1 Questões Gerais

Entende-se por questões relevantes de caráter geral aquelas que, independentemente do projeto objeto dessa dissertação, são foco de atenção.

No contexto da utilização da energia de forma racional, existem duas formas de atuar sobre o consumo de energia nos horários de ponta:

Limitador de potência – nessa opção, caso o consumo de potência seja maior que um valor especificado, haveria um corte de energia;

Controle do preço – esse contexto é o considerado pelo projeto da tarifa amarela e visa cobrar mais caro quando da utilização de energia em horários de ponta e sua aplicação depende do nível de estruturação no país.

Apesar de atualmente não existirem indícios de que a tarifa amarela venha a ser adotada, o estudo se mostra importante para o futuro quando as empresas de energia estiverem motivadas ao controle de energia devido a situações de indisponibilidade.

2.1.1 A tarifa amarela

O consumo agregado de energia, durante o dia, não é constante, havendo períodos de maior consumo. No Brasil, em geral, a demanda de pico se encontra entre as 17:00 e 21:00hs, horário em que a indústria e o comércio ainda estão em funcionamento e os consumidores residenciais começam a chegar aos seus lares. Como os sistemas elétricos devem ser dimensionados para prover energia para os horários de pico mantendo os requisitos técnicos, no restante do tempo o sistema acaba ficando ocioso. Isto implica em grandes investimentos em geração, transmissão e distribuição, apenas para atender a esta demanda de pico.

Para refletir esta realidade aos consumidores finais e desta forma dar-lhes transparência e maior consciência econômica em seu consumo, foram criadas as tarifas diferenciadas [12].

Isto é aplicado hoje aos consumidores industriais e comerciais que têm a opção das tarifas azul e verde, que consideram a demanda e o consumo na ponta e fora da ponta.

No caso dos consumidores residenciais, que pertencem ao grupo B, existem diversos estudos, e já foram feitos no Brasil alguns pilotos para o uso da "tarifa amarela". Porém, a implantação em larga escala da tarifa amarela pode ter custos de aquisição e implantação elevados, pois implicará na troca de milhões de medidores.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) planeja que as concessionárias estudem a possibilidade da implantação da tarifa amarela em suas áreas a partir dos cálculos de revisões tarifárias. A Copel, no Paraná [13], e a Cemig, em Minas Gerais [14], já têm projetos nesse sentido.

No Rio Grande do Sul a Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul (Fiergs) avalia que serão necessários cerca de cinco anos para que os primeiros projetos pilotos se consolidem no Estado onde, por exemplo, a AES Sul está iniciando um piloto.

A cobrança diferenciada, referida como Tarifa Amarela não afeta somente questões de utilização e consumo, mas uma garantia de melhor qualidade da energia fornecida e segurança na continuidade do fornecimento.

2.1.2 Os medidores eletrônicos

Uma grande vantagem do medidor eletrônico em relação ao medidor eletromecânico convencional, é a de permitir a comunicação com sistemas de gerência remotos ou locais de medição automática, sem a utilização de operações manuais, que introduzem erros nas fases de leitura e de digitação, tornando as medições mais rápidas e precisas.

O medidor eletrônico permite ainda o armazenamento de informações diversas como data e hora as quais podem ser utilizadas para fins de tarifação de forma a se tentar obter um melhor perfil de carga para o sistema (tarifação Horó-Sazonal). Resumidamente, procura-se elevar o valor da energia consumida durante o horário de ponta, período do dia onde ocorre a máxima demanda, tentando inibir o consumo durante este horário. Por outro lado, haveria algum incentivo tarifário para consumo fora da ponta.

Nas escalas e tecnologias atuais, mesmo com o considerável e rápido avanço verificado, os medidores eletrônicos ainda apresentam custo inicial de aquisição elevado quando comparado aos convencionais.

Além disso, qualquer plano mais amplo de migração tecnológica ou de automação global de faturamento tem que levar em conta a base instalada de medidores convencionais, cuja substituição demandaria altos custos de investimento e uma logística espetacular para o destino economicamente equilibrado e tecnicamente viável dos equipamentos retirados. Tal operação ultrapassaria, em muitos aspectos, o âmbito de atuação e de interesse das concessionárias.

A avaliação feita pelas concessionárias, indústria de medidores e governo indica que com a implantação da multitarifação, as distribuidoras de energia precisariam trocar cerca de 40 milhões de medidores mecânicos por produtos de tecnologia digital capazes de diferenciar o horário de consumo. Segundo a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee), atualmente são produzidos 3 milhões de medidores eletro-eletrônicos para o mercado interno e cerca de 1,5 milhão para exportação.

Pode-se destacar duas normas principais para o conhecimento dos medidores eletrônicos de energia utilizados no Brasil, a norma NBR14519 – Medidores Eletrônicos de Energia Elétrica [9] - que descreve os medidores e suas especificações mínimas; e a norma NBR14522 – Intercâmbio de Informações para Sistemas de Medição de Energia Elétrica [8] - que descreve o protocolo, taxas e

interfaces elétricas de comunicação para os diversos equipamentos que podem se interligar ao medidor (modem, microcomputador, leitora e outros) bem como o modo de se acessar os diversos tipos de informação que podem estar contidos nesses medidores (data, hora, consumo por tempo, tabelas, etc).

Portanto, a substituição de medidores, necessária para implantação da tarifa amarela, acaba por aumentar a gama de informações e de controles que podem ser trocados entre medidores/consumidores e a concessionária de energia tornando a telemedição uma condição inevitável para o funcionamento desse processo.

Um dado importante a se considerar, é que os medidores eletrônicos já estão sendo utilizados em novas construções de edifícios o que permite pensar que esse conjunto de consumidores já estariam aptos a se utilizar da telemedição de energia.

Outras questões gerais são:

A qualidade de serviço aos consumidores no momento em que os dados adquiridos permitem que a concessionária possa fazer o dimensionamento da rede e a melhor visibilidade da distribuição da curva de carga ao longo do dia [15];

A desregulamentação do setor de energia que abre uma necessidade de velocidade e automação no processo de coleta de dados nos medidores além dos tradicionais dados de faturamento para dar subsídio à tomada de decisão das concessionárias de energia.

2.2 Questões específicas do projeto

Outras questões, além da necessidade da racionalização de energia, estão associadas a motivadores para um projeto de pesquisa que são aqueles que se deseja transpor e solucionar:

2.2.1 Transparência das informações

Transparência de informações aos consumidores de energia elétrica sobre o seu perfil de consumo e disponibilização de simulações que possam dar apoio ao maior controle sobre o consumo. Através da coleta e disponibilização de informações, os sistemas de gestão da concessionária de energia podem gerar informações aos consumidores para seu melhor controle de uso.

2.2.2 Valor Agregado

A solução de leitura remota via redes de TV a cabo, **agrega valor** às redes já disponíveis principalmente no acesso da última milha (a que atende diretamente o consumidor), possibilitando uma implantação sem a necessidade de instalação de nova infra-estrutura de distribuição de dados. Sendo de interesse tanto das empresas de TV a Cabo como das empresas de energia, a solução teria ganho efetivo para as duas fornecedoras, uma com foco em serviços, a outra com abordagem da infra-estrutura.

2.2.3 Teste de Campo em ambiente real

A existência de um teste de campo em ambiente real, é uma questão bastante relevante do projeto, pois ele sai do campo de pesquisa e passa para o campo da aplicação em um ambiente onde realmente seria utilizado, propondo então ultrapassar barreiras que em ambientes de laboratório podem ser difíceis de serem identificadas como a própria visão dos consumidores desse processo. Apesar da visão do consumidor não ser um item identificado como obrigatório a ser levantado no projeto e não ser objeto dessa dissertação, é um item relevante a ser considerado em estudos futuros pois pode ser um dos fatores determinantes para o prosseguimento ou não de uma solução.

2.2.4 Custos

A possibilidade de **diminuir o custo** atual de coleta de dados de consumo e de controle de corte de energia é base para a tomada de decisão de desenvolvimento de um sistema de comunicação de dados com a rede HFC proprietário. Esse sistema tem como base protocolos padronizados da indústria de TV a cabo e também prevê a comunicação com os medidores eletrônicos com base no padrão ABNT. Os cable modems já disponíveis no mercado quando comparados ao sistema proprietário, no início do projeto, apresentavam custos altos e sua aplicação ia além das necessidades do projeto, isto é, o projeto não tinha a necessidade de banda larga para a transmissão dos dados de controle e coleta de medição.

2.2.5 Independência de marca

Independência de marca de medidores pois estão sendo usados aqueles que implementam o padrão ABNT, fato este que dá a flexibilidade à concessionária e ao consumidor.

2.2.6 Escalabilidade

A **escalabilidade** da solução possibilita um crescimento controlado dos acessos sobre os consumidores do ponto de vista de infra-estrutura necessária para a telemetriação como, por exemplo, troca de medidores e aumento de capacidade de servidores de dados.

2.2.7 Capilaridade

Capilaridade da solução que atingiria um volume grande de consumidores. Com relação ao projeto, essa característica não é o maior ponto forte da opção da infra-estrutura de TV a cabo, pois as áreas cabeadas cobrem apenas um percentual dos consumidores de energia.

2.3 A questão Tecnológica

Para cada uma das questões levantadas, existe uma abordagem tecnológica a ser estudada e desafios a serem ultrapassados. Os desafios passam então por questões tecnológicas a serem respondidas como:

Como atingir a capilaridade desejada?

Como dar a transparência necessária?

Como evitar que o dispositivo de telemetriação seja mais um consumidor de energia?

Como dar independência de marca e diminuir o custo da solução?

Como usar as redes de comunicação de dados já existentes?

Como garantir a escalabilidade desejada?

O modelo então estruturado passa pelos seguintes aspectos:

- 2.3.1 Identificação da infra-estrutura de comunicação de dados de forma a garantir a premissa de utilização de redes já existentes no mercado e abrangência / capilaridade dos consumidores;
- 2.3.2 Identificação de HW e SW necessários de forma a dar escalabilidade à solução, independência de marca de medidores e baixo consumo de energia. Nesse sentido, uma opção feita pelo projeto foi de construir o seu próprio equipamento de comunicação na rede HFC e não se utilizar equipamentos cable modem – equipamentos que fazem a comunicação de dados na rede HFC. Essa opção foi feita para que fosse analisado se, pelo fato de não ser necessário um equipamento de capacidade de transmissão de grandes volumes de dados (tipicamente 27 Mbps – downstream/ servidor-usuário, 3 Mbps – upstream/ usuário-servidor), poderia ser implementado um produto de custo menor e mais apropriado às necessidades da aplicação. A escolha de componentes de baixo consumo de energia também estaria coberta por essa opção;
- 2.3.3 Permitir que os dados coletados sejam armazenados e facilmente recuperados, seja pelas concessionárias seja pelos consumidores, se desejável, garantindo a transparência da informação.

3

Capítulo

3. O Modelo

3. O Modelo

O modelo desenvolvido é descrito a seguir buscando a aderência aos aspectos identificados como o problema a ser resolvido.

3.1 Identificação da infra-estrutura

Uma vez caracterizada a infra-estrutura, isto é a rede de TV a cabo HFC, é detalhada a composição do Hardware e Software que compõem o Ponto de Presença (em alguns momentos apenas chamado de PP), lembrando que o ponto de presença é na verdade um conjunto que está fisicamente localizado nas dependências do consumidor e ainda no Controlador Central de Comunicação (em alguns momentos apenas chamado de CCC), limites esses identificados na Figura 7.

3.2 Composição Funcional do Sistema e Identificação do HW e SW

Inicialmente são compostas as unidades funcionais de todo o ambiente, tratando a questão relacionada aos protocolos de comunicação associados a essas entidades e do mapeamento dentro do conceito da estrutura OSI.

Num segundo momento, são caracterizadas quais unidades funcionais estão sendo mapeadas em elementos Hardware e elementos Software focando assim no ponto de presença e seu elemento par de comunicação no Controlador Central de Comunicação.

O diagrama apresentado na Figura 7 mostra de forma geral a composição do sistema e em seguida são identificadas cada unidade funcional do ambiente a ser desenvolvido.

Medidor Eletrônico de energia

Medidores eletrônicos de energia adquiridos de empresa nacional e que sigam as normas ABNT.

Ponto de Presença

Um equipamento que recebe comandos remotos via rede HFC, interpretando-os e gerando ações que podem ser o envio de comandos via interface serial aos medidores eletrônicos (nova programação ou leitura de dados) ou controlando o fornecimento de energia (ligando ou desligando a energia do consumidor). Quando a ação for o envio de comandos a medidores, o equipamento recebe as respostas via interface serial e as envia para o Controlador Central via rede HFC.

Este equipamento é descrito no documento de projeto de P&D "Estudo de viabilidade de um sistema de automação de medição de energia via cabos" como Ponto de Presença (PP) [7] [16] [18].

Controlador Central de Comunicação:

Um concentrador de pontos de presença chamado Controlador Central de Comunicação, localizado no Cabeçal da empresa operadora de TV a cabo, com a função de comunicar-se com todos os

Pontos de Presença conectados a esse Cabeçal, agrupando os dados recebidos e enviando-os para o Centro de Aplicações.

Esse concentrador tem a função ainda de receber as novas configurações dos medidores e o estado do consumidor (fornecimento/corte de energia) enviado pelo Centro de aplicações e reenviá-las aos Pontos de Presença [7][17][18].

Centro de Aplicações:

Um consolidador de dados que recebe todos os dados dos medidores enviados pelos Controladores Centrais de Comunicação, armazenando-os e disponibilizando-os em uma base de dados. O acesso dos controladores ao Centro de Aplicações pode ser via rede Internet ou Intranet e pelo qual o operador pode enviar comandos para o Ponto de Presença, que podem ser a programação de novos parâmetros dos medidores ou a atuação no controle do fornecimento de energia ao consumidor [7] [18].

3.3 Arquitetura do Sistema

A arquitetura do sistema dentro do conceito do modelo OSI está representada na figura 8. Na figura, cada camada do modelo OSI está representada por um número que será detalhado em seguida:

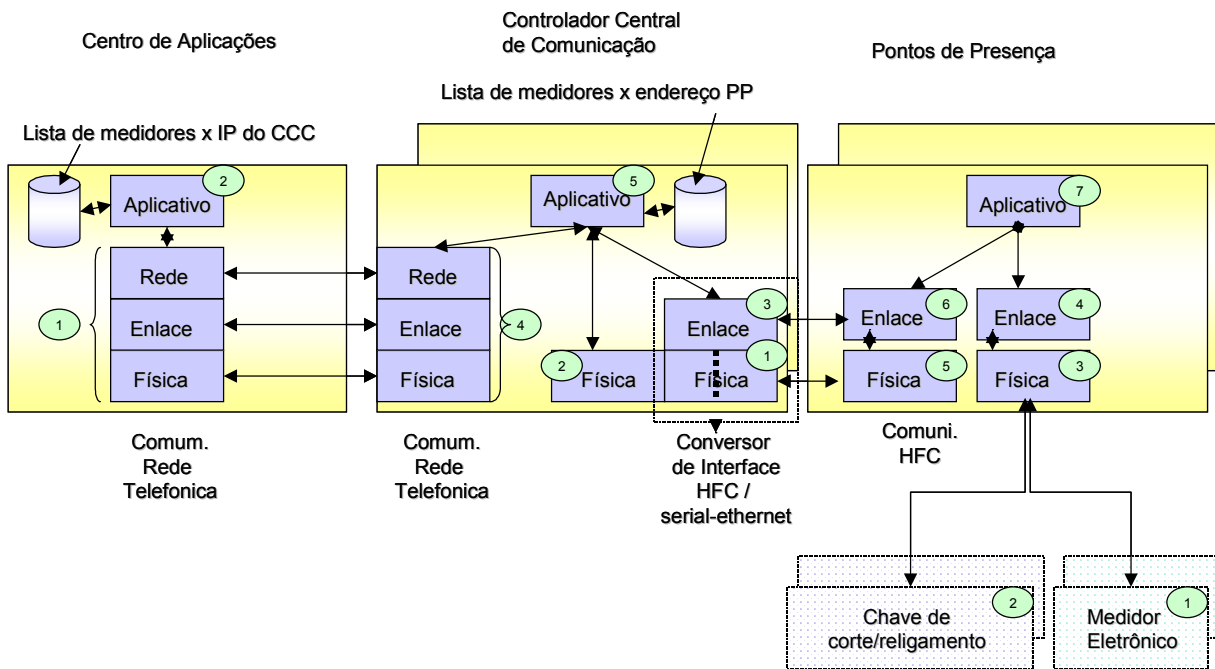


Figura 8 – Arquitetura do Sistema

Conjunto Ponto de presença:

① **Medidor eletrônico de energia:**

O medidor eletrônico de energia tem a função de executar medições e interpretar os comandos recebidos do Centro de Aplicações seguindo padrões definidos pela ABNT.

② **Chave de Corte e Re-ligamento:**

A chave de corte e re-ligamento tem a função de controlar o fornecimento de energia do consumidor sob demanda do Centro de Aplicações.

O ponto de presença é composto dos seguintes elementos funcionais:

③ **Elemento de camada física da interface com o medidor:** faz a transmissão dos sinais sobre um canal de comunicação serial entre o ponto de presença e o medidor. Essa camada também faz a interface física da chave de corte e re-ligamento;

④ **Elemento de camada de enlace de comunicação com o medidor:** esse elemento faz um par de comunicações com o elemento de camada de enlace do medidor para validade de pacotes e para sincronismo entre as duas entidades;

⑤ **Elemento de nível físico de comunicação HFC:** faz o acoplamento entre as informações de nível físico recebidos/enviados na interface HFC;

⑥ **Elemento de enlace lógico com funções de controle de seqüência** e de retransmissões (caso necessário) entre o Ponto de Presença e o CCC (Controlador Central de Comunicação). Também é responsável pelo endereçamento do Ponto de Presença;

⑦ **Elemento aplicação** faz a comunicação das seguintes formas:

- a. Interpretação dos comandos recebidos do Centro de Aplicações via elemento de comunicação HFC (camada física e enlace);
- b. Envio de comando para atuação na chave de corte/re-ligamento;
- c. Envio de comandos de programação ao medidor através do elemento de comunicação serial (camada física e enlace);
- d. Leitura de informações do medidor eletrônico via elemento de comunicação serial (camada física e enlace) para serem enviadas ao Centro de Aplicações;
- e. Tratamento de comando de reset;
- f. Tratamento de comando de sincronismo com relógio do CCC.

Conjunto Controlador Central de Comunicação – CCC:

O CCC tem a função de coleta dos dados dos Pontos de Presença e de encaminhamento das informações colhidas à Central de Aplicações. Também fazem parte de sua função, encaminhar comandos de programação, atuação na chave de corte/re-ligamento e outros vindos do Centro de Aplicações para o Ponto de Presença. O CCC conta com os seguintes elementos:

- ① **Elemento de nível físico de comunicação HFC:** que faz o acoplamento entre as informações de nível físico recebidos/enviados na interface HFC de/para uma interface serial/ethernet padrão comercial;
- ② **Elemento de camada física serial / ethernet padrão comercial** que troca dados com o conversor de interface para comunicação do Controlador Central de Comunicação;
- ③ **Elemento de nível de enlace do conversor de interface:** tem funções de controle de seqüência e de retransmissões (caso necessário) entre o Ponto de Presença e o CCC (Controlador Central de Comunicação). Também é responsável pelo endereçamento do Ponto de Presença;
- ④ **Elemento de nível físico, elemento de enlace e elemento de rede** que são usados para a comunicação via rede de comunicação dedicada/telefonia;
- ⑤ **Aplicativo** que faz o encaminhamento do sinal de-para ambiente de rede dedicada/telefonia e rede HFC e endereçamento de ambas as partes.

Conjunto Centro de Aplicações:

O Centro de aplicações faz a comunicação com os CCCs :

- Solicitando, interpretando e apresentando os dados coletados pelos medidores;
- Enviando comandos para as chaves de corte/re-ligamento dos pontos de presença e programação dos medidores;
- Enviando comandos de reset do PP;
- Enviando comandos de sincronismo de relógio;

O Centro de aplicações conta com os seguintes elementos:

- ① **Elementos de nível físico, elemento de enlace e elemento de rede** são usados para a comunicação via rede de comunicação dedicada/telefonia em protocolos compatíveis aos usados nos CCCs;
- ② **Elemento aplicação** que faz a solicitação de comandos de corte/re-ligamento, de coleta dos dados de leitura, de programação do(s) medidor(es), de reset, de sincronismo de relógio, a troca de informações compatíveis aos outros sistemas da operadora e a apresentação dos dados em padrões solicitados pela operadora. Também pode ser necessário o armazenamento dessas informações em bancos de dados.

3.4 Mapeamento Físico - Funcional x Arquitetura do sistema

Com base na arquitetura do sistema apresentada anteriormente, neste item é apresentado o mapeamento físico-funcional do projeto.

3.4.1 Medidor Eletrônico de Energia

Arquitetura	Projeto Físico - Funcional
1. O medidor de energia tem a função de executar medições e interpretar os comandos recebidos do Centro de Aplicações seguindo padrões definidos pela ABNT.	Medidor eletrônico - Foram utilizados medidores eletrônicos adquiridos no mercado nacional que seguem a norma ABNT NBR 14522 [8] e NBR 14519, são medidores monofásicos e trifásicos com possibilidade de cobrança de tarifas diferenciadas em função de datas e horários. Possui interface óptica infravermelha conforme especificado na norma.

3.4.2 Chave de corte/re-ligamento

Arquitetura	Projeto Físico - Funcional
2. A chave de corte e re-ligamento tem a função de controlar o fornecimento de energia do consumidor sob demanda do Centro de Aplicações.	A chave de corte / re-ligamento é acionada via HW, após análise da aplicação local que a Central de Aplicações deseja fazer um corte de energia ou re-ligamento de energia no consumidor.

3.4.3 Ponto de presença - PP

Arquitetura	Projeto Físico - Funcional
3. Elemento de camada física da interface com o medidor: faz a transmissão dos sinais sobre um canal de comunicação serial entre o ponto de presença e o medidor. Essa camada também faz a interface física da chave de corte e re-ligamento.	Interface serial para a comunicação com o(s) medidor/ medidores eletrônico(s) e que foi tratada e controlada pelo microcontrolador do Ponto de Presença. Essa comunicação se dá através da interface óptica do(s) medidor/ medidores.
4. Elemento de camada de enlace de comunicação com o medidor: esse elemento faz um par de comunicação com o elemento de camada de enlace do medidor para validade de pacotes e para sincronismo entre as duas entidades.	Foi desenvolvido SW capaz de executar essa funcionalidade que implementa o protocolo da norma NBR 14522 no nível de enlace encaminhando essas informações para o elemento de aplicação do Ponto de Presença.

<p>5. Elemento físico de comunicação HFC: que faz o acoplamento entre as informações de nível físico recebidos/enviados na interface HFC.</p>	<p>Foi desenvolvida uma interface elétrica de RF para conexão a rede HFC com impedância de 75 ohms. A comunicação com a rede HFC se dá em duas frequências fixas uma para a transmissão de dados no sentido Ponto de Presença/Controlador (canal de retorno) na faixa de 5 a 50 MHz e uma para a transmissão de dados do Controlador para o consumidor (canal de envio) na faixa de 55 a 750 Mhz. A modulação de dados adotada foi a FSK (Frequency Shift Keying) por ser uma maneira simples de modulação de dados e por possuir uma baixa taxa de erros (boa imunidade a ruídos).</p> <p>O controle e o tratamento dos dados dessa interface foi feito pelo microcontrolador do Ponto de Presença.</p> <p>Foi utilizado como base a especificação da camada física com o padrão americano da SCTE (Society of Cable Telecommunications Engineers) – HMS – Hybrid Fiber Coax Outside Plant Status Monitoring - Physical Layer (PHY) Specification V1.0 [10] .</p>
<p>6. Elemento de enlace lógico com funções de controle de seqüência e de retransmissões (caso necessário) entre o Ponto de Presença e o CCC (Controlador Central de Comunicação).</p>	<p>Foi desenvolvido SW que implementa o protocolo de comunicação entre o Ponto de Presença e o Controlador. É um protocolo dedicado desenvolvido especificamente para esta aplicação baseado na recomendação HSM do SCTE (ver anexos II e III).</p> <p>O Ponto de Presença contém um endereço programável (por software ou por micro chave) com o objetivo de ser endereçável para o Controlador Central de Comunicação. O protocolo proposto incorpora pacotes que suportam esse endereçamento além de controle de seqüência das interfaces.</p> <p>Caso seja necessário o endereçamento de vários medidores, é adicionado externamente um sistema de endereços de forma que se mantenha o padrão NBR 14522 com os medidores.</p>
<p>7. Elemento aplicação que faz a comunicação das seguintes formas:</p> <p>- Interpretação dos comandos recebidos do Centro de Aplicações via elemento de</p>	<p>Foi desenvolvido um software que interprete os comandos do Centro de Aplicações para:</p> <p>O envio de comandos de leitura ao medidor;</p>

<p>comunicação HFC (camada física e enlace);</p> <ul style="list-style-type: none"> - Envio de comando para atuação na chave de corte/re-ligamento; - Envio de comandos de programação ao medidor através do elemento de comunicação serial (camada física e enlace); - Leitura de informações do medidor eletrônico via elemento de comunicação serial (camada física e enlace) para serem enviadas ao Centro de Aplicações; - Tratamento de comando de reset; - Tratamento de comando de sincronismo com relógio do CCC. 	<p>Envio de comandos de programação para o medidor;</p> <p>A identificação do endereço do medidor, caso sejam vários medidores por Ponto de Presença;</p> <p>O envio de comandos para as chaves corte / re-ligamento;</p> <p>O tratamento dos comandos de sincronização de relógio;</p> <p>O tratamento de comando de reset;</p> <p>Além disso, foi desenvolvido no retorno dos dados, as seguintes funções:</p> <p>Encaminhamento e empacotamento dos dados do(s) medidor/medidores para o Controlador.</p>
---	--

3.4.4 Controlador Central de Comunicação - CCC

Arquitetura	Projeto físico - Funcional
<p>1. Elemento de nível físico de comunicação HFC :faz o acoplamento entre as informações de nível físico recebidos/enviados na interface HFC de/para uma interface serial/ethernet padrão comercial.</p>	<p>O conversor de interface é composto de um hardware externo.</p> <p>O hardware é formado por um microcontrolador, tendo uma interface serial seguindo a norma EIA232 para comunicação com um microcomputador, e uma interface de RF para conexão a rede HFC com impedância de 75 ohms. A comunicação com a rede HFC se dá em duas frequências fixas uma para a transmissão de dados no sentido Ponto de Presença/Controlador (canal de retorno) na faixa de 5 a 50 MHz e uma para a transmissão de dados do Controlador para o consumidor (canal de envio) na faixa de 55 a 750 Mhz. A modulação a ser utilizada é FSK. O controle e o tratamento dos dados dessa interface é feito pelo microcomputador do CCC.</p> <p>Foi utilizado como base a especificação da camada física com o padrão americano da SCTE (Society of Cable Telecommunications Engineers) – HMS – Hybrid Fiber Coax Outside Plant Status Monitoring - Physical Layer (PHY)</p>

	Specification V1. 0 [10].
2. Elemento de camada física serial / ethernet padrão comercial que troca dados com o conversor de interface para comunicação do Controlador Central de Comunicação.	Interface serial do microcomputador que se comunica com elemento de nível físico da rede HFC (conversor de interface) e envia os pacotes a serem tratados para camada superior.
3. Elemento de nível de enlace com funções de controle de seqüência e de retransmissões (caso necessário) entre o Ponto de Presença e o CCC (Controlador Central de Comunicação).	Foi desenvolvido SW que implementa os controles de seqüência e validade de pacotes entre o Ponto de Presença e o Controlador. Esse controle foi sendo baseado na recomendação HSM do SCTE (ver anexos II e III).
4. Elemento de nível físico, elemento de enlace e elemento de rede que são usados para a comunicação via rede de comunicação dedicada/telefonia.	<p>O Computador possui uma conexão de dados com o Centro de aplicações para onde são enviados os dados lidos e de onde recebem a programação de/para todos os medidores na rede. Essa conexão pode ser feita através da rede pública de telefonia ou através de acesso dedicado (placa de rede ou modem telefônico). O protocolo TCP/IP deve ser usado.</p> <p>O Controlador deve ter um número IP para que seja endereçável nesta rede.</p>
5. Aplicativo que faz o encaminhamento do sinal de-para ambiente de rede dedicada/telefonia e rede HFC e endereçamento de ambas as partes.	Foi desenvolvido SW que implementa um protocolo de comunicação do CCC com o PP para solicitação e envio de comandos entre essas entidades. Também é implementado o mapeamento/armazenamento da matriz de endereços necessária para o acesso aos pontos de presença. Além disso, implementa o encaminhamento das informações vindas do Ponto de Presença para o Centro de Aplicações e vice-versa.

3.4.5 Centro de Aplicações

Arquitetura	Projeto Físico – Funcional
<p>1. Elementos de nível físico, elemento de enlace e elemento de rede são usados para a comunicação via rede de comunicação dedicada/telefonia em protocolos compatíveis aos usados nos CCCs.</p>	<p>O Centro de Aplicações é composto por um computador com modem telefônico ou interface Ethernet através da qual se comunica com o CCC usando o protocolo TCP/IP.</p> <p>Deve ter um endereço IP para que seja endereçável nessa rede.</p>
<p>2. Elemento aplicação que faz a solicitação de comandos de corte/religamento, de coleta dos dados de leitura, de programação do(s) medidor(es), de reset, de sincronismo de relógio, a troca de informações compatíveis aos outros sistemas da operadora e a apresentação dos dados em padrões solicitados pela operadora. Também pode ser necessário o armazenamento dessas informações em bancos de dados.</p>	<p>A aplicação endereça comandos PONTO A PONTO e deve possuir uma interface homem máquina que possibilite a consulta dos dados de todos os medidores, de seu estado atual e da programação nos mesmos.</p> <p>Deve ser capaz de consolidar os dados e enviá-los para outro aplicativo ou apresentá-lo localmente. Deve armazenar os endereços Número da leitora/medidor e número IP do CCC em bases de dados.</p>

3.5 Especificação da Solução Proposta para o Ponto de Presença

Cada elemento anteriormente descrito foi mapeado em blocos de implementação e estes em hardware e software conforme apresentado nas figuras 9 e 10. A descrição desse mapeamento e apresentada na tabela I . Os detalhes do desenvolvimento proposto estão na figura 11 e também mapeados na tabela I.

Como indicado nas figuras 9 e 10, o equipamento é composto por um microcontrolador, memória de programa (Flash), memória de dados (RAM), driver para interface serial padrão, circuito de RF para transmissão de dados em modulação FSK na faixa de frequência de 5 a 50 MHz, circuito de recepção de dados em modulação FSK na faixa de frequência de 55 a 550 MHz, driver para acionamento da chave de re-ligamento, decodificador de endereços para comunicação com até 16 medidores para ser utilizado com hardware adicional externo, fonte de alimentação.

Ponto de presença

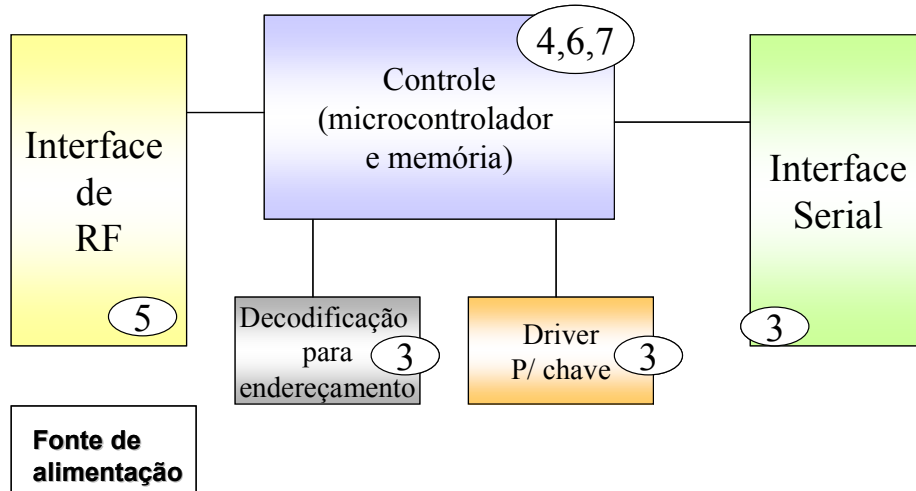


Figura 9 – PP – Mapeamento em Blocos

Ponto de presença

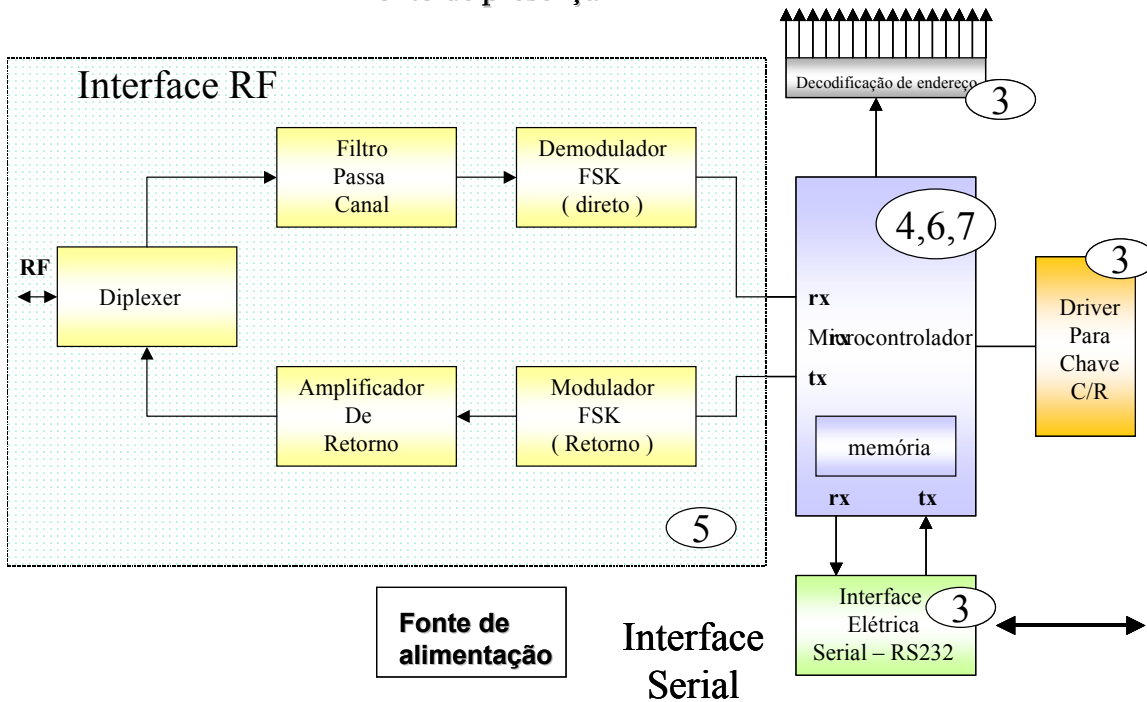


Figura 10 – PP – Detalhamento da Interface RF

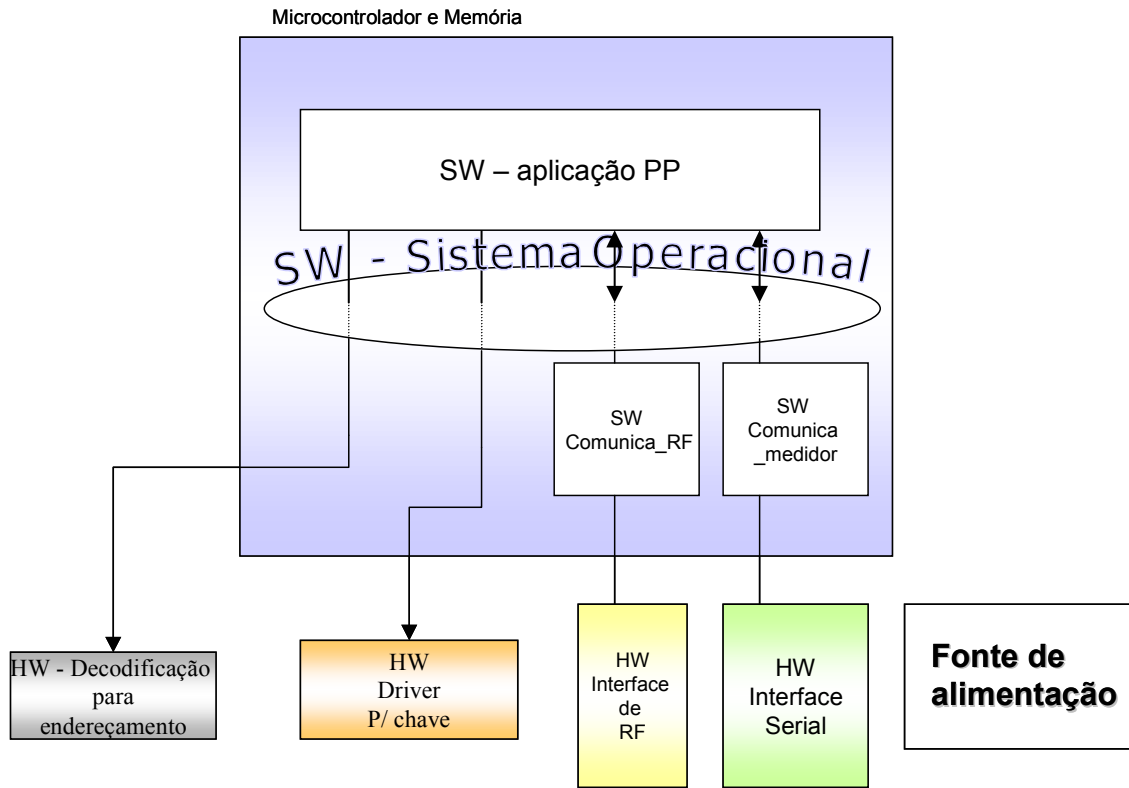


Figura 11 – PP – Mapeamento de Hardware e Software

Tabela I – Mapeamento em HW e SW – Ponto de Presença		
Elemento (Figura 8)	HW / SW (Figura 9 e 10)	Desenvolvimento (Figura 11)
	<p>Fonte de Alimentação:</p> <p>HW responsável pelo fornecimento de energia aos circuitos com tensão adequada</p> <p>Converte a tensão da rede AC para a tensão de 5 Vdc, fornecendo corrente de até 1 Ampere, alimentando todos os circuitos da placa.</p>	<p><u>Fonte de alimentação (HW):</u> Circuito que recebe a energia da rede 127 ou 220 Vac e converte para tensão de 5V dc utilizado pelos circuitos da placa. Composto por um transformador de 127/220 Vac para 12 Vac de pelo menos 1 Ampere de corrente, de um circuito retificador e de um regulador de tensão para 5V dc 1 Ampere.</p>
<p>3. Elemento de camada física da interface com o medidor: faz a transmissão dos sinais sobre um canal de comunicação serial entre o ponto de presença e o medidor. Essa camada também faz a interface física da chave de corte e re-ligamento.</p>	<p>Decodificação para endereçamento</p> <p>Driver para chave de corte/re-ligamento</p> <p>Interface Serial</p>	<p><u>Decodificação para endereçamento:</u> circuito de 16 saídas controladas pelo microcontrolador que possibilita o controle de até 16 medidores através de um hardware externo. Esse circuito consiste de 2 latches de 8 bits cada, no qual o microcontrolador escreverá uma palavra em cada. Na saída dos latches apenas um bit estará em nível lógico 1 e os demais em nível lógico 0. O Hardware externo utiliza este bit para chavear o circuito da chave e habilita uma das 16 interfaces seriais do mesmo.</p> <p><u>Driver para chave de corte / re-ligamento:</u> controlado por um pino de saída do microcontrolador via software, esse circuito deve ser capaz de fornecer corrente suficiente para acionar a chave de religamento. Utiliza um relê ou um transistor.</p> <p><u>Interface Serial:</u> O Ponto de presença se comunica com o medidor através de uma interface serial física RS 232, formada por uma porta</p>

		<p>serial do microcontrolador e um driver de linha que ajusta o nível de sinal da placa de 0 a 5V para um nível de sinal da RS 232 (interface V.24). São utilizados apenas 2 sinais de saída RX e TX.</p> <p>O circuito ajusta o nível elétrico dos sinais da interface serial do microcontrolador (saída TTL) com a interface EIA232 que é conectada ao cabo elétrico óptico do medidor.</p>
<p>4. Elemento de camada de enlace de comunicação com o medidor: faz um par de comunicações com o elemento de camada de enlace do medidor para validade de pacotes e para sincronismo entre as duas entidades.</p>	<p>Microcontrolador e memória</p> <p><u>Microcontrolador</u>: Possui 2 interfaces seriais, barramento de endereço para 128 Kbytes de memória de programa e 64 Kbytes de memória de dados , barramento de dados de 8 bits, 4 portas para interrupções externas. O microcontrolador possui pelo menos 1 circuito de timer interno para a temporização das transmissões dos dados com o medidor e com o controlador.</p> <p><u>Memória de Programa</u>: Memória Flash de pelo menos 128 Kbytes onde está residente o software do ponto de presença.</p> <p><u>Memória de dados</u>:</p> <p>64 Kbytes de memória RAM utilizados pelo programa para armazenamento temporário dos dados a serem enviados, recebidos ou tratados.</p>	<p>Essa funcionalidade está mapeada em um Módulo SW – que foi desenvolvido em linguagem C. O software implementa o protocolo de comunicação NBR 14522 [8] no que se refere ao sincronismo (ENQ), reconhecimento de recebimento de mensagem (ACK), identificação de checagem de erro de CRC (NACK), atraso de seqüência (WAIT). O estabelecimento da conexão também é responsabilidade desse software, identificação de desconexão, controle de seqüência de mensagem, e separação dos blocos de dados.</p>

<p>5. Elemento de nível físico de comunicação HFC: que faz o acoplamento entre as informações de nível físico recebidos/enviados na interface HFC.</p>	<p>Interface de RF – esta interface recebe e envia dados de/para meio RF. A interface é composta por um DIPLEXER que separa os canais de envio e retorno e ainda moduladores FSK para cada canal especificado. Essa interface interage com o microcontrolador para transferência e tratamento das informações trocadas.</p>	<p><u>Circuito de RF para Transmissão</u> - Circuito que converte os sinais da segunda interface serial do microcontrolador para o circuito de modulação FSK. Esse circuito recebe os dados em formato de zeros e uns e os converte para duas frequências, uma indicando nível lógico zero e outra nível lógico 1 (modulação FSK). Essas frequências estão entre 5 e 50 MHz com espaçamento entre elas menor que 500 KHz , a taxa de bits é de 9600 bits por segundo. A saída deste circuito tem um amplificador de RF com nível de saída ajustável pelo microcontrolador, que acopla o sinal de RF à rede coaxial.</p> <p><u>Circuito de RF para Recepção</u> – os sinais da interface de RF chegam em modulação FSK e os envia para a segunda interface serial do microcontrolador (demodulador FSK). Esse circuito recebe duas frequências, uma indicando nível lógico zero e outro nível lógico 1 e as converte em tensão de 0 V (nível lógico zero) e em tensão de 5V (nível lógico 1). Essas frequências estarão entre 55 e 550 MHz com espaçamento entre elas menor que 500 KHz. , a taxa de bits é de 9600 por segundo (bps). A interface deste circuito com a rede coaxial é de 75 ohms, acoplada através de um filtro passa baixa centrado na frequência utilizada com largura de pelo menos 40 MHz.</p>
<p>6. Elemento de enlace lógico com funções de controle de seqüência e de retransmissões (caso necessário) entre o Ponto de Presença e o CCC (Controlador Central de Comunicação). Também é responsável pelo endereçamento do Ponto de</p>	<p>Microcontrolador e memória Idem item 4 desta tabela.</p>	<p>Essa funcionalidade está mapeada em um módulo SW que implementa o protocolo estabelecido em [18] "Especificação da Arquitetura e protocolos do sistema". O protocolo prevê a troca de mensagens entre o PP e CCC para retransmissões, e endereçamento dos medidores. Este documento especifica os temporizadores usados em cada situação. A funcionalidade foi desenvolvida na linguagem C.</p>

<p>Presença.</p>		
<p>7. Elemento aplicação que faz a comunicação das seguintes formas:</p> <p>Interpretação dos comandos recebidos do Centro de Aplicações via elemento de comunicação HFC (camada física e enlace);</p> <p>Envio de comando para atuação na chave de corte/re-ligamento;</p> <p>Envio de comandos de programação ao medidor através do elemento de comunicação serial (camada física e enlace);</p> <p>Leitura de informações do medidor eletrônico via elemento de comunicação serial (camada física e enlace) para serem enviadas ao Centro de Aplicações;</p> <p>Tratamento de comando de</p>	<p>Microcontrolador e memória</p> <p>Idem item 4 desta tabela.</p>	<p>Essa funcionalidade foi implementada num SW em linguagem C. A aplicação interpreta os pacotes de dados trocados com o SW de comunicação como o medidor e o SW de comunicação com a rede de RF, e ainda o envio de comandos para o HW de acionamento da chave e de Decodificação para endereçamento.</p> <p>Foram implementados os comandos da NBR 14522 [8] indicados no anexo II para comunicação com o medidor.</p>

reset ; Tratamento de comando de sincronismo com relógio do CCC.		
	Microcontrolador e memória Idem item 4 desta tabela.	SW SISTEMA OPERACIONAL. O Sistema Operacional integra todos os elementos do sistema. O sistema operacional gerencia tarefas e tempo e, a comunicação e sincronização entre as tarefas e a alocação de memória.

3.6 Especificação da Solução Proposta para o Controlador Central de Comunicação.

O CCC é composto pelos seguintes elementos funcionais apresentados na Figura 12.

Os elementos estão descritos a seguir.

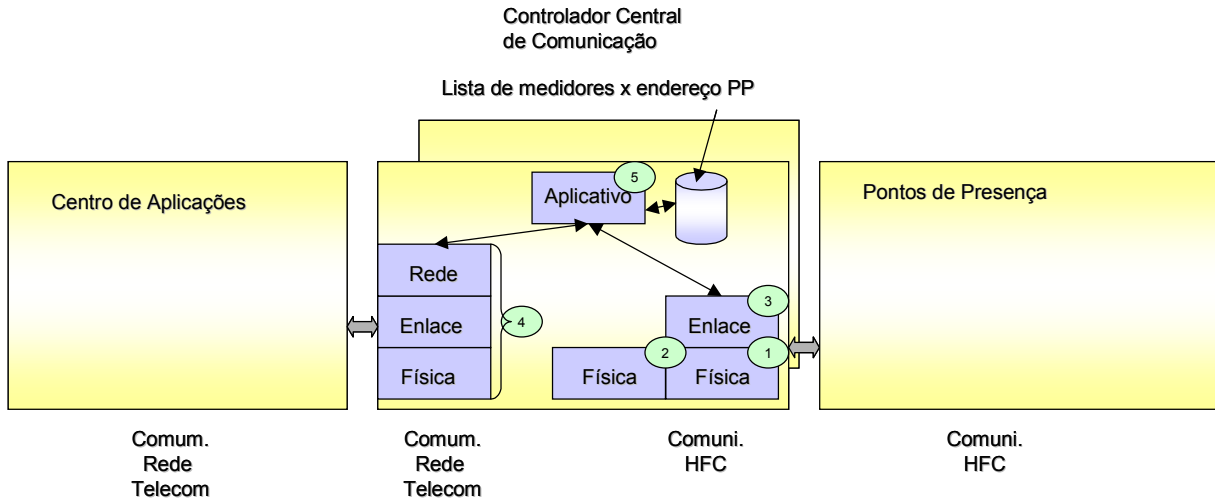


Figura 12 – CCC – Arquitetura Funcional

Cada elemento anteriormente descrito na figura 12 foi mapeado em blocos de implementação e estes em hardware e software conforme apresentado nas figuras 13 e 14 (veja associação da numeração para melhor entendimento do mapeamento). A descrição desse mapeamento e apresentada na tabela II. Os detalhes do desenvolvimento proposto estão na figura 15 e também mapeados na tabela II.

Como indicado nas figuras 13 e 14, o equipamento é composto por um microcontrolador, memória de programa (Flash), memória de dados (RAM), driver para interface serial padrão, circuito de RF para transmissão de dados em modulação FSK na faixa de frequência de 5 a 50 MHz, circuito de recepção de dados em modulação FSK na faixa de frequência de 55 a 550 MHz, e um microcomputador onde implementa a aplicação de endereçamento dos pontos de presença e medidores, e onde está o modem de acesso à rede Telecom para comunicação via protocolo TCP/IP com o Centro de Aplicações.

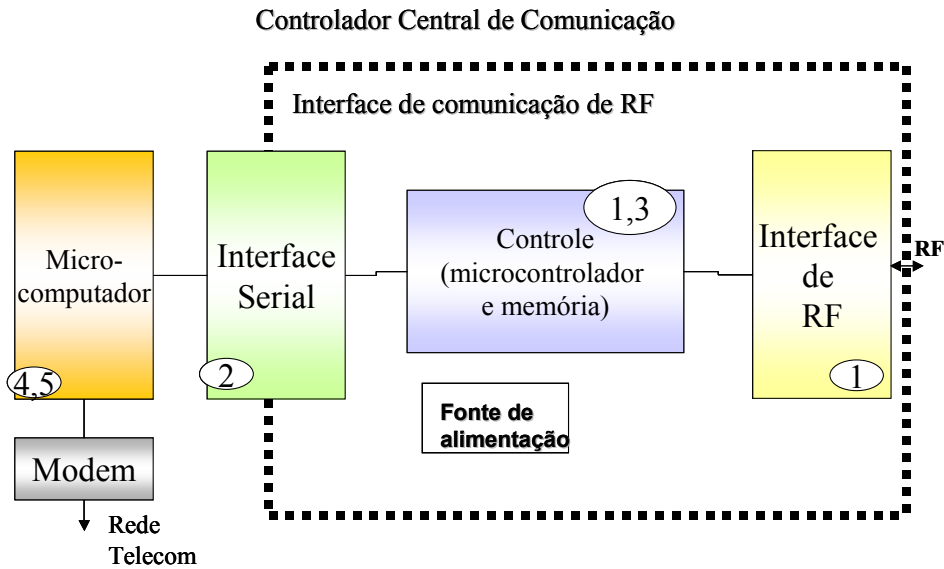


Figura 13 – CCC – Mapeamento em Blocos

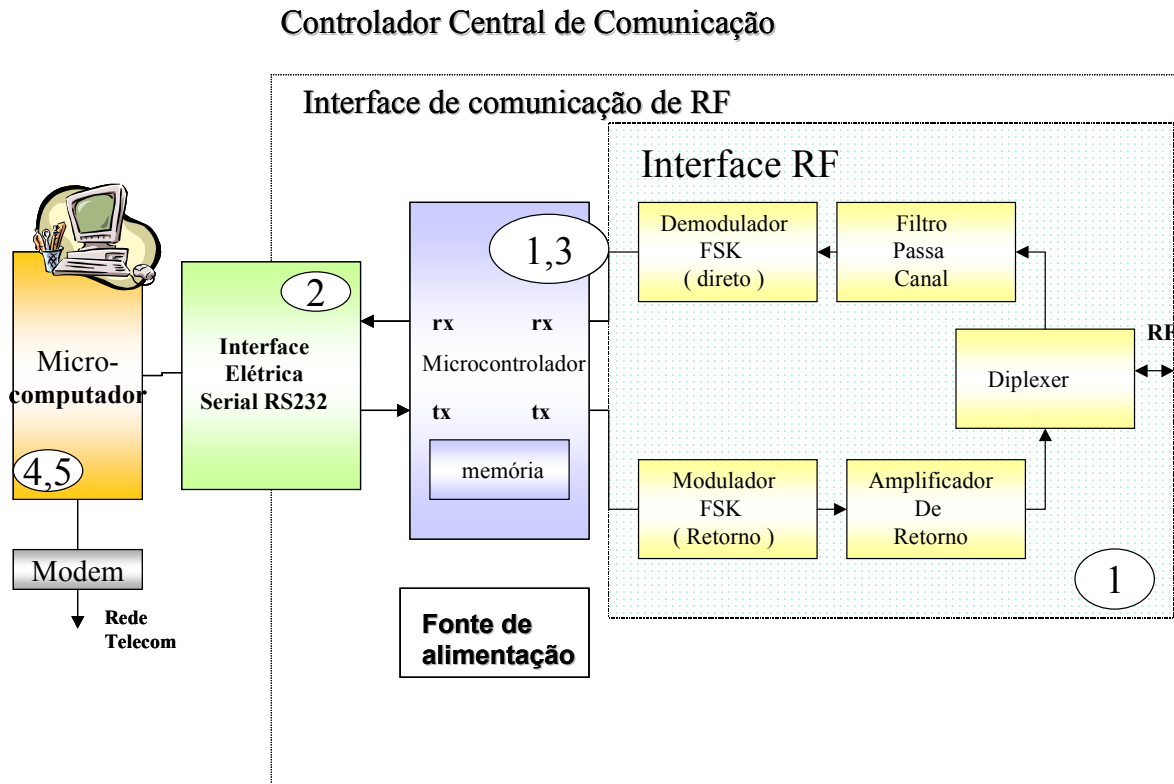


Figura 14 – CCC – Detalhamento das Interfaces

Concentrador Central de Comunicação

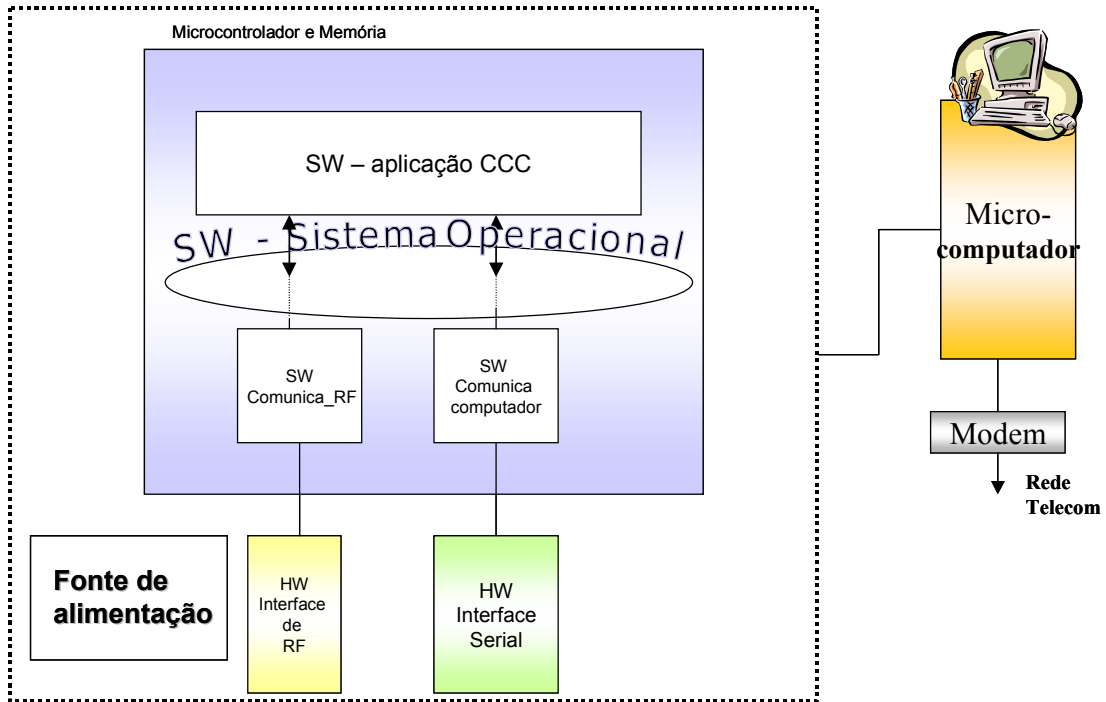


Figura 15 – CCC – Mapeamento Hardware e Software

Tabela II – Mapeamento HW e SW – Controlador Central de Comunicação

Elemento (Figura 12)	HW / SW (Figura 13 e 14)	Desenvolvimento (Figura 15)
	<p>Fonte de Alimentação:</p> <p>HW responsável pelo fornecimento de energia aos circuitos com tensão adequada</p> <p>Converte a tensão da rede 127 Vac para a tensão de 5 Vdc, fornecendo corrente de até 1 Ampere, alimentando todos os circuitos da placa.</p>	<p>Fonte de alimentação (HW): Circuito que recebe a energia da rede 110 ou 220 Vac e converte para tensão de 5V dc utilizado pelos circuitos da placa. Composto por um transformador de 127/220 Vac para 12 Vac de pelo menos 500 mA, de um circuito retificador e de um regulador de tensão para 5V dc 1 Ampere.</p>
<p>1. Elemento de nível físico de comunicação HFC: que faz o acoplamento entre as informações de nível físico recebidos/enviados na interface HFC.</p>	<p>Interface de RF – esta interface recebe e envia dados de/para meio RF. A interface é composta por um DIPLEXER que separa os canais de envio e retorno e ainda moduladores FSK para cada canal especificado. Essa interface interage com o microcontrolador para transferência e tratamento das informações trocadas.</p>	<p>Circuito de RF para Transmissão - Circuito que converte os sinais da segunda interface serial do microcontrolador para o circuito de modulação FSK. Esse circuito recebe os dados em formato de zeros e uns e os converte para duas frequências, uma indicando nível lógico zero e outra nível lógico 1 (modulação FSK). Essas frequências estão entre 5 e 50 MHz com espaçamento entre elas menor que 1 MHz , a taxa de bits é de 9600 bits por segundo. A saída deste circuito tem um amplificador de RF com nível de saída ajustável pelo microcontrolador, que acopla o sinal de RF à rede coaxial.</p> <p>Circuito de RF para Recepção - os sinais da interface de RF chegam em modulação FSK e os envia para a segunda interface serial do microcontrolador (demodulador FSK). Esse circuito recebe duas frequências, uma indicando nível lógico zero e outro nível lógico 1 e as converte em tensão de 0 V (nível lógico zero) e em tensão de 5V (nível lógico 1). Essas</p>

		<p>freqüências estão entre 55 e 550 MHz com espaçamento entre elas menor que 1 MHz, a taxa de bits é de 9600 bits por segundo (bps). A interface deste circuito com a rede coaxial é de 75 ohms, acoplada através de um filtro passa baixa centrado na freqüência utilizada com largura de pelo menos 40 MHz.</p>
<p>2. Elemento de nível Físico de comunicação interna do controlador que faz a tradução do meio físico HFC e o meio físico do controlador. Essa interface é serial.</p>		<p>Interface Serial: O módulo de RF se comunica com o microcomputador através de uma interface serial física RS 232, formada por uma porta serial do microcontrolador e um driver de linha que ajusta o nível de sinal da placa de 0 a 5V para um nível de sinal da RS 232 (interface V.24). São utilizados apenas 2 sinais de saída RX e TX.</p> <p>O circuito ajusta o nível elétrico dos sinais da interface serial do microcontrolador (saída TTL) com a interface EIA232 que é conectada ao cabo do microcomputador.</p>
<p>3. Elemento de enlace lógico com funções de controle de seqüência e de retransmissões (caso necessário) entre o Ponto de Presença e o CCC (Controlador Central de Comunicação). Também é responsável pelo endereçamento do Ponto de Presença e medidores.</p>	<p>Microcontrolador e memória</p> <p>Microcontrolador: Possui 2 interfaces seriais, barramento de endereço para 128 Kbytes de memória de programa e 64 Kbytes de memória de dados, barramento de dados de 8 bits, 4 portas para interrupções externas. O microcontrolador possui pelo menos 1 circuito de timer interno para a temporização das transmissões dos dados.</p> <p>Memória de Programa: Memória Flash de 128 Kbytes onde está residente o software do controlador</p>	<p>Essa funcionalidade está mapeada em um módulo SW que implementa o protocolo estabelecido em [18] "Especificação da Arquitetura e protocolos do sistema". O protocolo prevê a troca de mensagens entre o PP e CCC para retransmissões, e endereçamento dos medidores. Este documento especifica os temporizadores a serem usados em cada situação. A funcionalidade foi desenvolvida na linguagem C.</p>

	<p>central.</p> <p>Memória de dados:</p> <p>64 Kbytes de memória RAM utilizados pelo programa para armazenamento temporário dos dados a serem enviados, recebidos ou tratados.</p>	
<p>4. Elemento de nível físico, elemento de enlace e elemento de rede que são usados para a comunicação via rede de comunicação dedicada/telefonia.</p>	<p>Esse módulo é representado por um computador e um modem de acesso à rede Telecom.</p>	<p>O Computador possui uma conexão de dados com o Centro de aplicações para onde são enviados os dados lidos e de onde recebe a programação de/para todos os medidores na rede. Essa conexão pode ser feita através da rede pública de telefonia ou através de acesso dedicado (placa de rede ou modem telefônico). O protocolo TCP/IP deve ser usado.</p> <p>O Controlador deve ter um número IP para que seja endereçável nesta rede.</p>
<p>5. Aplicativo que faz o encaminhamento do sinal de/para ambiente de rede dedicada/telefonia e rede HFC e endereçamento de ambas as partes.</p>	<p>Este módulo foi implementado em linguagem C e está instalado no microcomputador.</p>	<p>Foi desenvolvido SW que implementa o mapeamento/armazenamento da matriz de endereços necessária para o acesso aos pontos de presença. Além disso, implementa o encaminhamento das informações vindas do Ponto de Presença para o Centro de Aplicações e vice-versa.</p>

3.7 Interface ao consumidor e à concessionária

Apesar da interface ao consumidor e à concessionária estarem fora do escopo desta dissertação, segue breve descrição de sua funcionalidade.

O centro de aplicação é um software baseado na concessionária de energia e sua função é enviar comandos para os medidores de energia, coletar e tratar as respostas e seus dados além de parametrizá-los.

O sistema se comunica com o Controlador Central de Comunicação e faz o registro/acesso em banco de dados dos dados recolhidos para a utilização em sistemas de suporte a operação seja sistemas de billing, ERP ou de tomada de decisão.

A comunicação entre as concessionárias e os controladores centrais de comunicação se dá através de redes TCP/IP seja por VPN segura com acesso a internet ou linhas privadas controladas.

3.8 A visão do projeto no mapeamento hardware e software

O modelo apresentado parte, em um primeiro momento, da arquitetura funcional com base no modelo OSI e posteriormente cada um desses elementos é traduzido em um ou mais blocos físicos de implementação. Por último, é apresentada a estrutura completa onde se propõe, para cada bloco físico, a implementação em hardware e software chegando assim ao modelo macro do projeto, conforme indicado na figura 16.

Na implementação desse projeto, um piloto em ambiente real foi proposto e testes em campo realizados. Na figura, portanto, esses elementos estão localizados conforme o teste em campo realizado. Sendo assim, foram instalados medidores eletrônicos em um MDU (Multiple Dwelling Unit) em Americana, cidade em que a operadora de TV a Cabo Vivax opera. A Vivax, participante do projeto, também instalou em sua unidade de controle (Headend) o Controlador Central de Comunicação e através de uma comunicação de rádio direta com a Tele Design, o Centro de Aplicações enviava comandos para os medidores instalados.

O teste em campo, assim como os resultados, estão apresentados no capítulo 5.

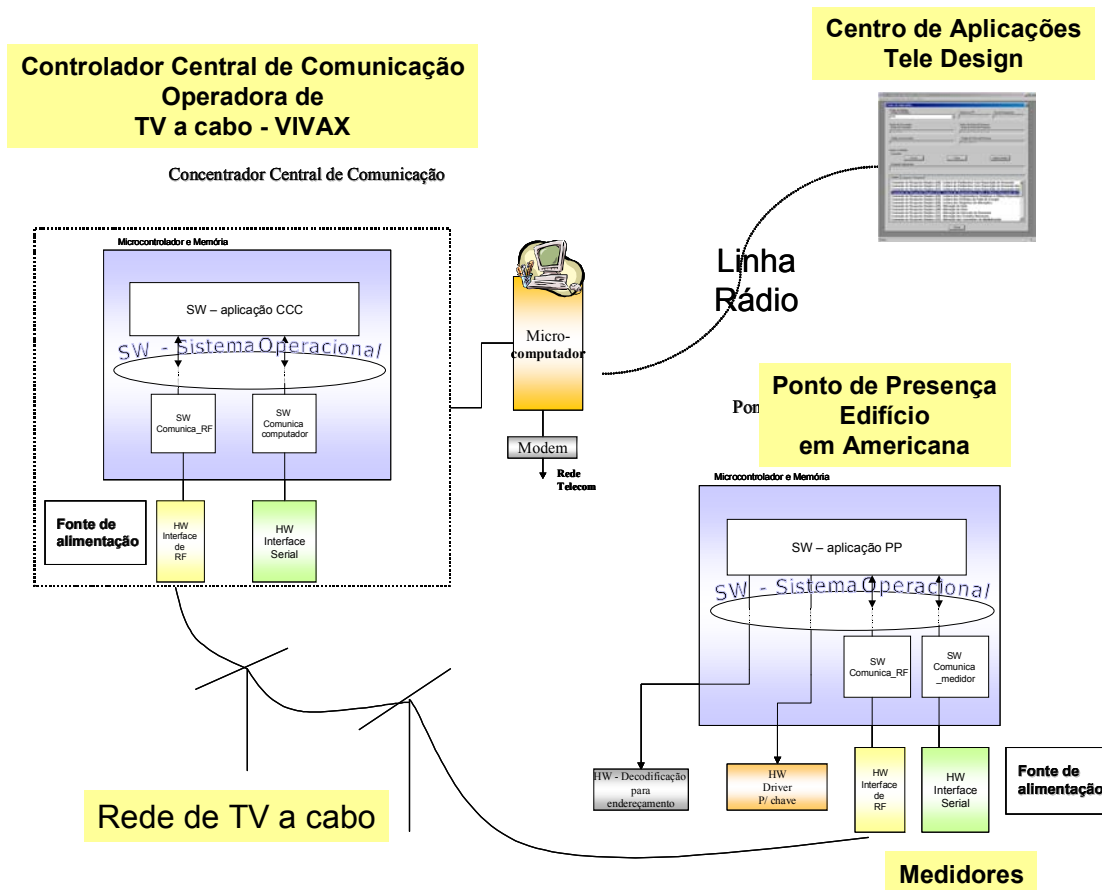


Figura 16 – Visão Geral do mapeamento Hardware e Software

4

Capítulo

4. Descrição da Implementação

4. Descrição da Implementação

Neste capítulo é apresentado, de forma geral, como o hardware e o software do Ponto de Presença e do Controlador Central de Comunicação foram implementados nos protótipos. Não estão apresentados aqui os códigos usados nessas implementações.

4.1 Hardware

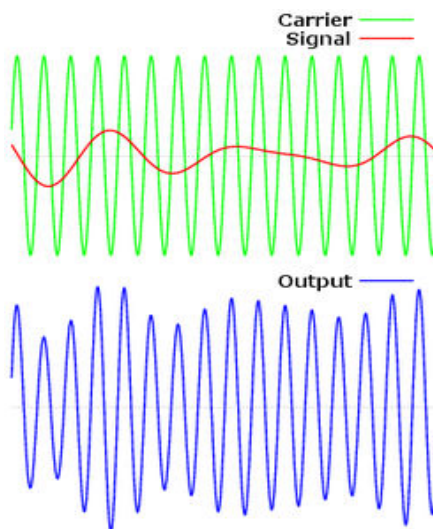
4.1.1 A Interface de RF

No mapeamento em blocos foi identificado que a interface de comunicação com a rede HFC seria implementada por um circuito de modulação FSK (Frequency Shift Keying), isto é, a modulação em deslocamento de frequência.

Modulação é o processo pelo qual uma portadora transmite uma mensagem ou um sinal digital. Simplificando, é a adequação da mensagem ou sinal a um meio de transmissão.

Como a portadora senoidal tem três parâmetros, amplitude, fase e frequência, a modulação pode variar em altura (amplitude), fase ou frequência.

Na modulação em amplitude, a amplitude da portadora varia em função do sinal a ser modulado. Com a variação em amplitude, em caso de ruído ele se soma ao sinal no meio de transmissão e altera a informação se tornando pouco usado para determinadas aplicações como transmissão de dados. Na figura 17 o sinal fez com que a saída da portadora fosse alterada em amplitude (sinal azul).



Fonte: <http://pt.wikipedia.org>

Figura 17 – Modulação em amplitude

Na modulação em fase, a fase da portadora é alterada em função do sinal modulador. Cada símbolo pode indicar 2 estados diferentes, isto é, um bit por símbolo. Em outras palavras, 0 = 0, 180 = 1. Na figura 18 a segunda onda é deslocada em 180 graus.

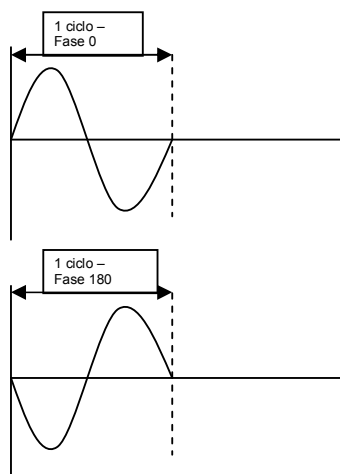


Figura 18 – Modulação em fase

Na modulação em frequência do tipo FSK, a frequência da portadora é alterada em função do sinal digital. Na figura 19, cada bit é identificado por frequências diferentes que podem ser identificados pelo receptor. Sistemas que usam essa modulação costumam ser mais resilientes com relação a ruídos, uma vez que o ruído varia a amplitude do sinal.

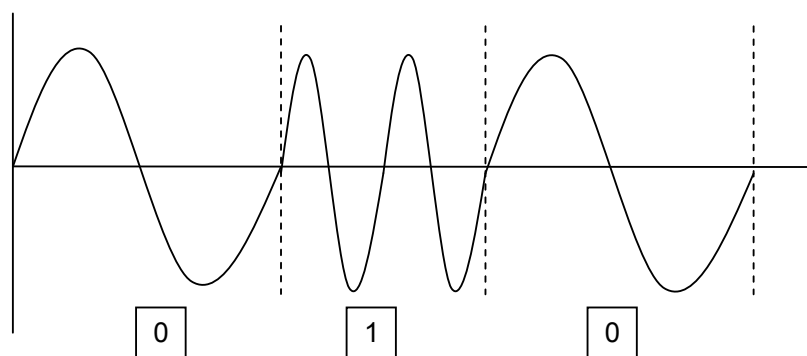


Figura 19 – Modulação em frequência

O desafio foi desenvolver um circuito que fosse simples o suficiente e ao mesmo tempo eficiente. Quanto mais eficiente for a identificação da variação do sinal, maior seria a taxa de transmissão.

No circuito de RF de transmissão os sinais são convertidos da segunda interface serial do microcontrolador para o circuito de modulação FSK. Esse circuito recebe os dados em formato de zeros e uns e os converte para duas frequências, uma indicando nível lógico zero e outra nível lógico um (modulação FSK). Essas frequências estão entre 5 e 50 MHz com espaçamento entre elas menor que 500 KHz, a taxa de bits é de 9600 bits por segundo. Usualmente esse processo é entendido como uma portadora (com frequência definida, esta entre 5MHz e 50MHz – banda de retorno) que tem uma frequência instantânea deslocada em função do sinal lógico na entrada. Em seguida o sinal passa por um filtro passa baixa com a função de minimizar o ruído. A saída deste circuito tem um amplificador de RF com nível de saída variável que compensa as variações do

Telemedicação de Medidores Eletrônicos de Energia na Rede de TV a Cabo meio. Esse ajuste é manual no caso desse circuito. Finalmente, o sinal passa pelo filtro diplexer que combina os sinais de RF à rede coaxial.

No circuito de recepção, os sinais da interface de RF chegam em modulação FSK e os envia para a segunda interface serial do microcontrolador (demodulador FSK). Esse circuito recebe duas frequências, uma indicando nível lógico zero e outra nível lógico 1 e as converte em tensão de 0 V (nível lógico zero) e em tensão de 5V (nível lógico 1). Essas frequências estarão entre 55 e 550 MHz com espaçamento entre elas menor que 500 KHz. , a taxa de bits é de 9600 bits por segundo (bps). A interface deste circuito com a rede coaxial é de 75 ohms, acoplada através de um filtro passa baixa centrado na frequência utilizada com largura de pelo menos 40 MHz. É usado também um circuito AGC (Automatic Gain Control), com a finalidade de manter o nível de sinal constante compensando variações no meio de transmissão.

As figuras 20 e 21 ilustram o mapeamento em blocos do Hardware do Ponto de Presença e do Controlador Central de Comunicação respectivamente.

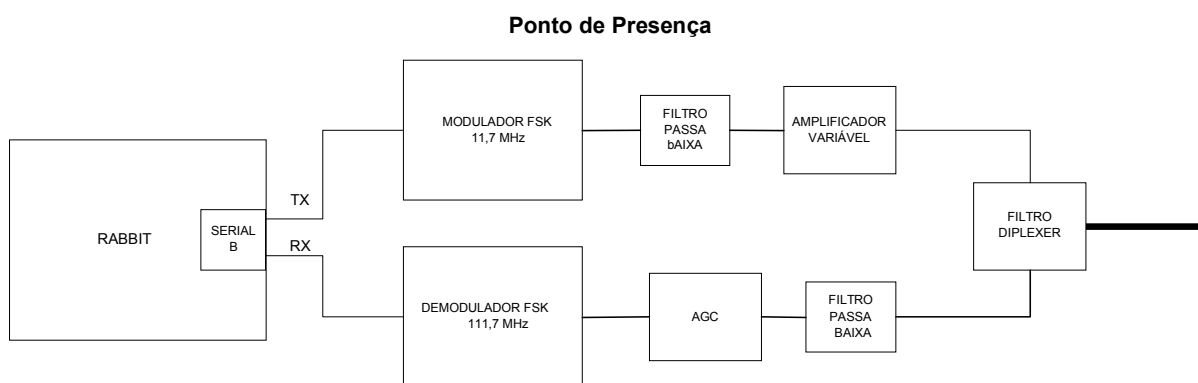


Figura 20 – Mapeamento em Blocos do Hardware do Ponto de Presença

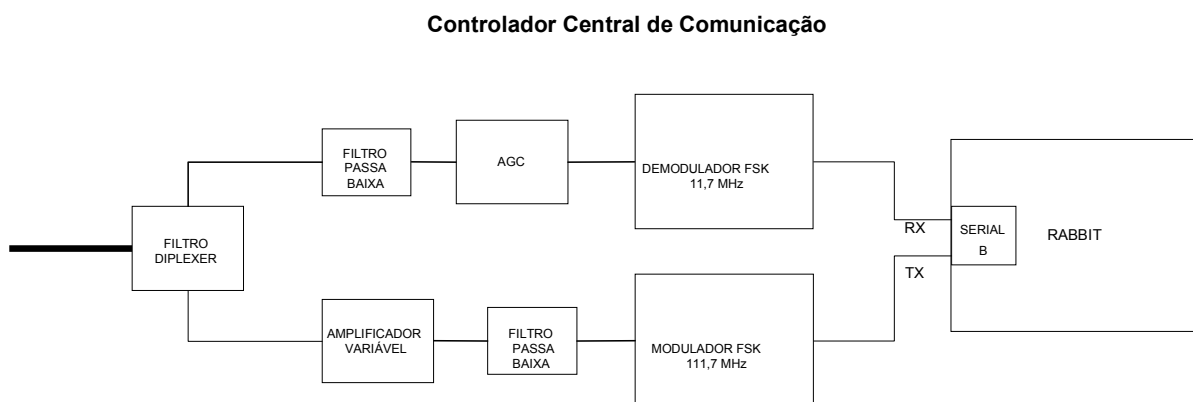


Figura 21 – Mapeamento em Blocos do Hardware do Controlador Central de Comunicação

A solução para os moduladores foi baseada em um dispositivo PLL (Phase Locked Loop). Esse dispositivo é amplamente usado em diversas aplicações. Nesse caso, foi utilizado para melhor

Telemedição de Medidores Eletrônicos de Energia na Rede de TV a Cabo
identificar o sinal na presença de ruído. Durante o desenvolvimento foram estudadas duas abordagens distintas para o modulador.

Um circuito típico de PLL (figura 22) ajusta a frequência e fase do sinal recebido e está baseado em três elementos principais: um comparador de fases, um filtro e um VCO (Voltage Control Oscillator), ou seja um oscilador controlado por tensão. O comparador de fases compara a fase do sinal de entrada com a fase do sinal do oscilador local. Esse circuito tem como saída uma tensão que é uma função da diferença de fase entre os sinais de entrada. Esse sinal passa por um filtro que elimina as altas frequências e deixa apenas a componente contínua de tensão que serve de tensão de controle do VCO. O VCO gera um sinal cuja frequência varia com a tensão de entrada. Esse processo realimenta o comparador de fase para que a frequência seja alterada até ser igual a frequência do sinal de entrada. Dessa forma, extrai-se a frequência desejada.

Existe ainda, em alguns circuitos PLL a presença de um divisor de frequência entre o VCO e o comparador de fase. Uma forma de funcionamento desse divisor é como um contador digital com um sinal de saída atuando como um sinal de relógio. O divisor é pré-fixado com um valor (múltiplo da frequência de entrada) que é decrementado a cada ciclo. Isso permite a entrada de várias frequências na realimentação do circuito.

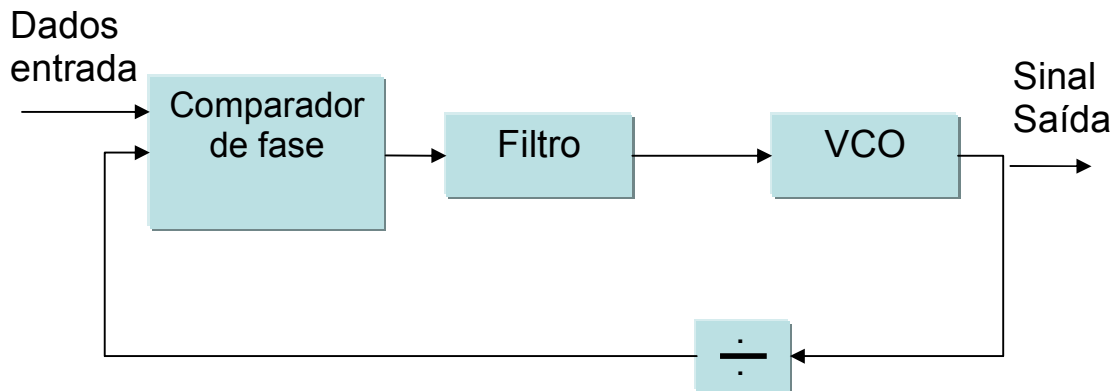


Figura 22 – Circuito PLL básico

No momento de implementação desse circuito na opção 1 de implementação (figura 23) identificou-se uma dificuldade de ajustar manualmente o VCO e evitar a instabilidade do circuito que varia em função de mudanças de temperatura, por exemplo.

Adotou-se então uma segunda opção de implementação (opção 2, figura 23) onde o sinal de entrada a 11,7 MHz foi fixado por um oscilador de cristal com comportamento estável e as variações eram feitas no componente contador obtendo-se um comportamento mais preciso.

Na figura 23 estão ilustradas as 2 opções de implementação desse circuito para modulador de 11,7 MHz.

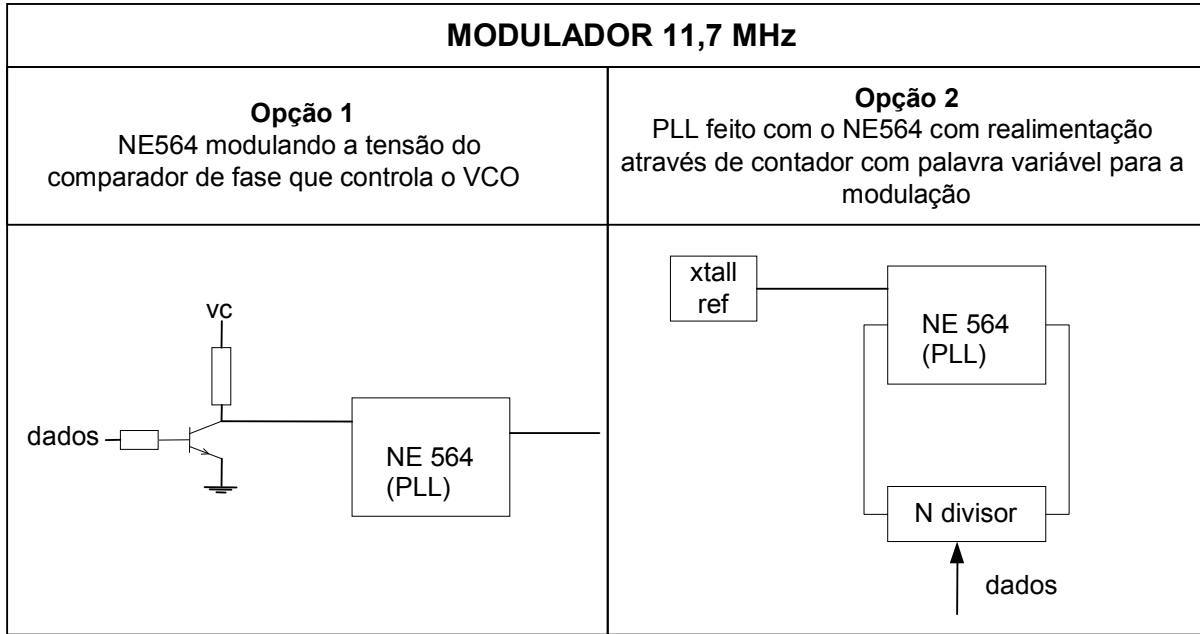


Figura 23 – Opções de aplicação dos moduladores de 11,7 MHz

Para o modulador a 111,7 MHz a solução foi baseada no mesmo circuito PLL. Para a obtenção de um sinal de 111,7 MHz, foi adicionado um componente mixer. Com o mixer, a frequência de saída do PLL é multiplicada por uma segunda frequência de referência (frequência de 100MHz) e o sinal desejado é obtido. A figura 24 ilustra a aplicação do modulador de 111,7 MHz.

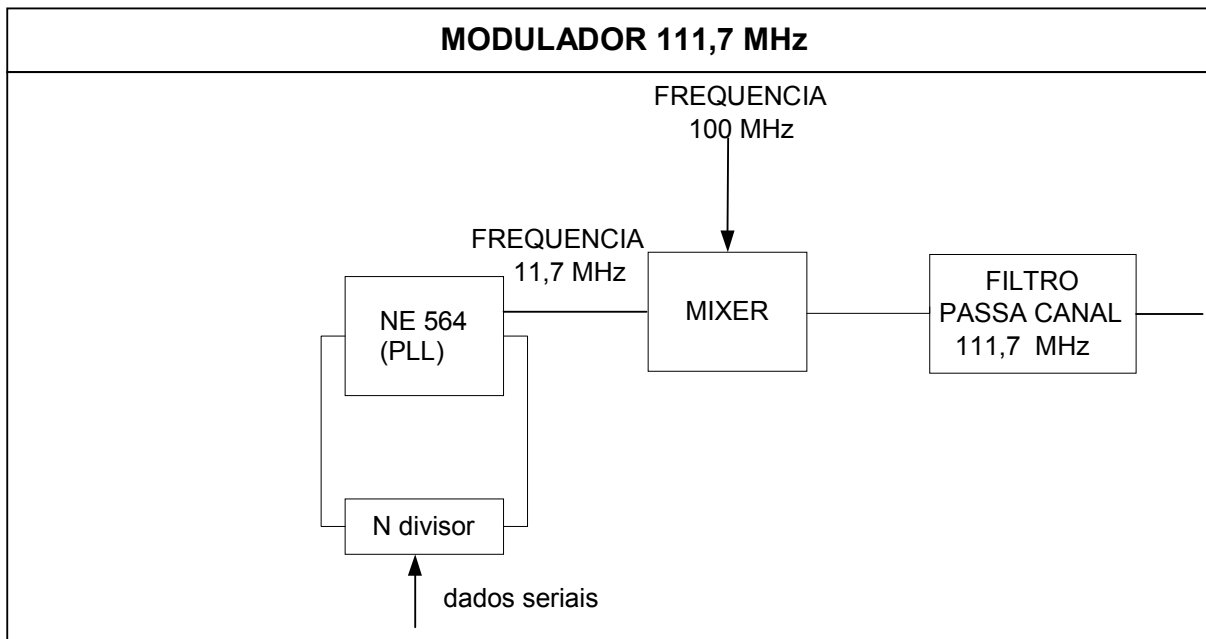


Figura 24 – Aplicação do Modulador de 111,7 MHz

4.1.2 O Microcontrolador

Para a interligação do medidor eletrônico de energia ao sistema de comunicação da rede de TV a cabo, foi necessário o uso de microcontroladores que permitam o controle de todas as funções do medidor, que gerencie o protocolo de comunicação na rede e que transfira os dados necessários. Utilizou-se o microcontrolador Rabbit pois apresentava vantagens para o desenvolvimento das funcionalidades desejadas. O kit de desenvolvimento do microcontrolador Rabbit, aceita a linguagem programação C que, por ser de conhecimento da maioria dos implementadores, se mostrou interessante ao projeto. O microcontrolador possui memória de 64kbts (dados), considerada suficiente para a aplicação, um circuito timer para temporizadores, 128 kbytes de memória de programa – também considerada suficiente para o desenvolvimento desejado e duas interfaces seriais – uma para interface RF e outra para o medidor eletrônico.

Os diagramas de fluxos de dados da programação no microcontrolador estão detalhados no item 4.2.

Através de uma das interfaces seriais do microcontrolador é feito o tratamento de transmissão e recepção dos sinais vindos da interface RF.

4.2 Software

4.2.1 Especificação do Software do Ponto de Presença

O software implementado no microcontrolador Rabbit do ponto de presença deve controlar a comunicação do Controlador Central de Comunicação com o(s) Medidor(es) Eletrônico(s). No software foram implementadas as regras do protocolo de comunicação com o Controlador Central, baseado no padrão americano do SCTE (Society of Cable Telecommunications Engineers) – HMS - Hybrid Fiber Coax Outside Plant Status Monitoring – Media Access Control Layer (MAC) Specification V1. 0.[11]. O protocolo está detalhado nos anexos II e III. Com o medidor eletrônico o protocolo adotado é o da Norma NBR 14522 da ABNT[8] e seus comandos estão apresentados no anexo V.

Nas figuras 25 e 26, os diagramas mostram os elementos que tratam da comunicação entre o PP e o medidor e que implementam os protocolos entre eles (Tratar Enlace PP_Medidor), o protocolo NBR 14522. Da mesma forma, existe um elemento de software que trata da implementação do protocolo entre o Ponto de presença e o Controlador Central de Comunicação (Tratar Enlace CCC_PP), o protocolo especificado no anexo II. A coordenação, encaminhamento e sincronismo entra os módulos de enlace com o medidor (Tratar enlace PP_medidor) e com o CCC é feita no módulo Gerenciar PP que também trata de encaminhar dados ao módulo Ligar / Desligar chave. O módulo Calcular CRC fica com o cálculo do CRC dos pacotes tanto da interface com o medidor como com o CCC.

Na figura 26, o módulo Tratar enlace PP_Medidor (da figura 25) é aberto em tratamento de comandos e respostas simples (3.1 Enviar e Receber Comando respostas Simples), isto é, uma resposta para cada comando enviado. Além disso, o tratamento de comando e respostas compostos (3.2 enviar e receber comando resposta composta), ou seja o tratamento de mais de uma resposta para o comando enviado. O módulo Tratar enlace CCC_PP (da figura 25) é aberto em 1.1 Enviar e receber pacotes CCC_PP e 1.2 Montar/Desmontar Pacote CCC_PP que trata de encapsular e desencapsular as informações necessárias para a implementação do protocolo especificado.

O diagrama de Fluxo de dados do software do Ponto de Presença é apresentado a seguir:

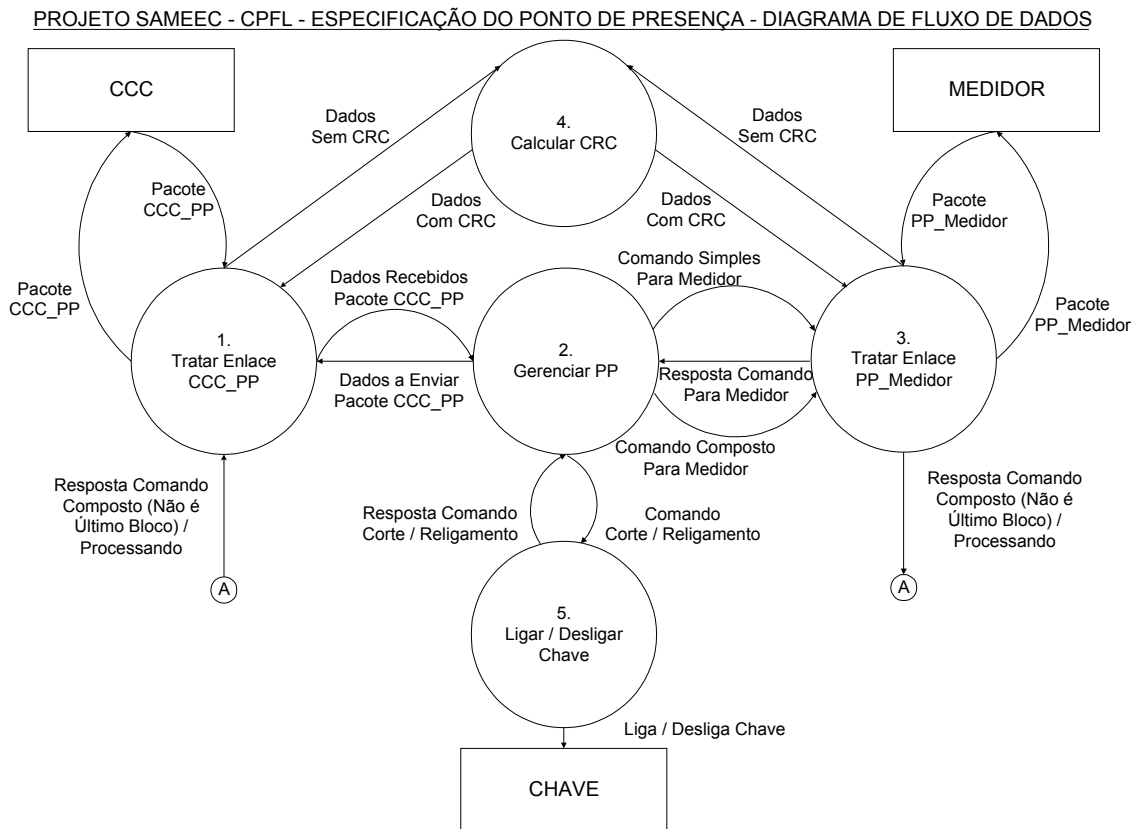


Figura 25 – Diagrama de Fluxo de Dados do Software do Ponto de Presença

4.2.2 Especificação do Software do Controlador Central de Comunicação

O bloco de software que implementa comunicação entre Controlador Central de Comunicação com o(s) Ponto(s) de Presença é o que é identificado como Controlador de Acesso (CAC). No software estão implementadas as regras do protocolo de comunicação com o Ponto de Presença, baseado no padrão americano do SCTE (Society of Cable Telecommunications Engineers) – HMS - Hybrid Fiber Coax Outside Plant Status Monitoring – Media Access Control Layer (MAC) Specification V1.0.[11]. Com os demais componentes do Controlador Central de Comunicação a comunicação é serial.

Nas figuras 27, 4.28 e 29 , os diagramas mostram os elementos que tratam da comunicação com entre o Controlador Central de Comunicação e o Ponto de presença através do controlador de acesso. Os elementos de software ilustrados, tratam da implementação do protocolo entre o Ponto de presença e o controlador de acesso do Controlador Central de Comunicação, o protocolo especificado no anexo II.

Na figura 28 da mesma forma que no ponto de presença, no controlador central de comunicação, o módulo de controlador de acesso, trata de encapsular e desencapsular os pacotes trocados com os diversos PP e o módulo Gerencia CAC controla o envio e recebimentos dos diversos pacotes para o CCC.

Na figura 29 os módulos monta e desmonta pacote CCC_PP (3.1) são abertos em módulos de envio e recebimento (3.1.1 e 3.1.2) que são equivalentes aos mesmos módulo implementados para o PP. O módulo 3.2 também é aberto no fluxo para a montagem e desmontagem dos pacotes (3.2.1 e 3.2.2)

O Diagrama de Fluxo de Dados do Software do Controlador de Acesso será apresentado a seguir:

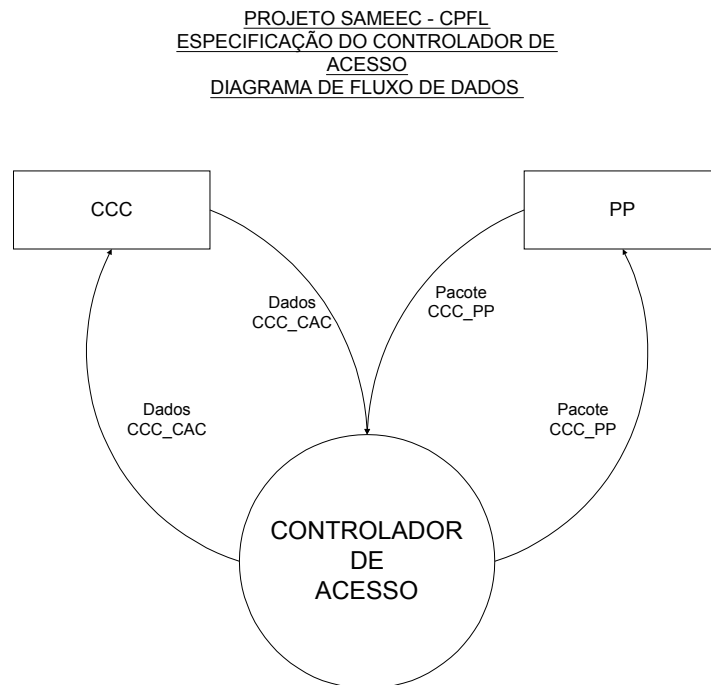


Figura 27 – Diagrama de Fluxo de Dados do Software controlador de acesso do CCC

PROJETO SAMEEC - CPFL - ESPECIFICAÇÃO DO CONTROLADOR DE ACESSO - DIAGRAMA DE FLUXO DE DADOS

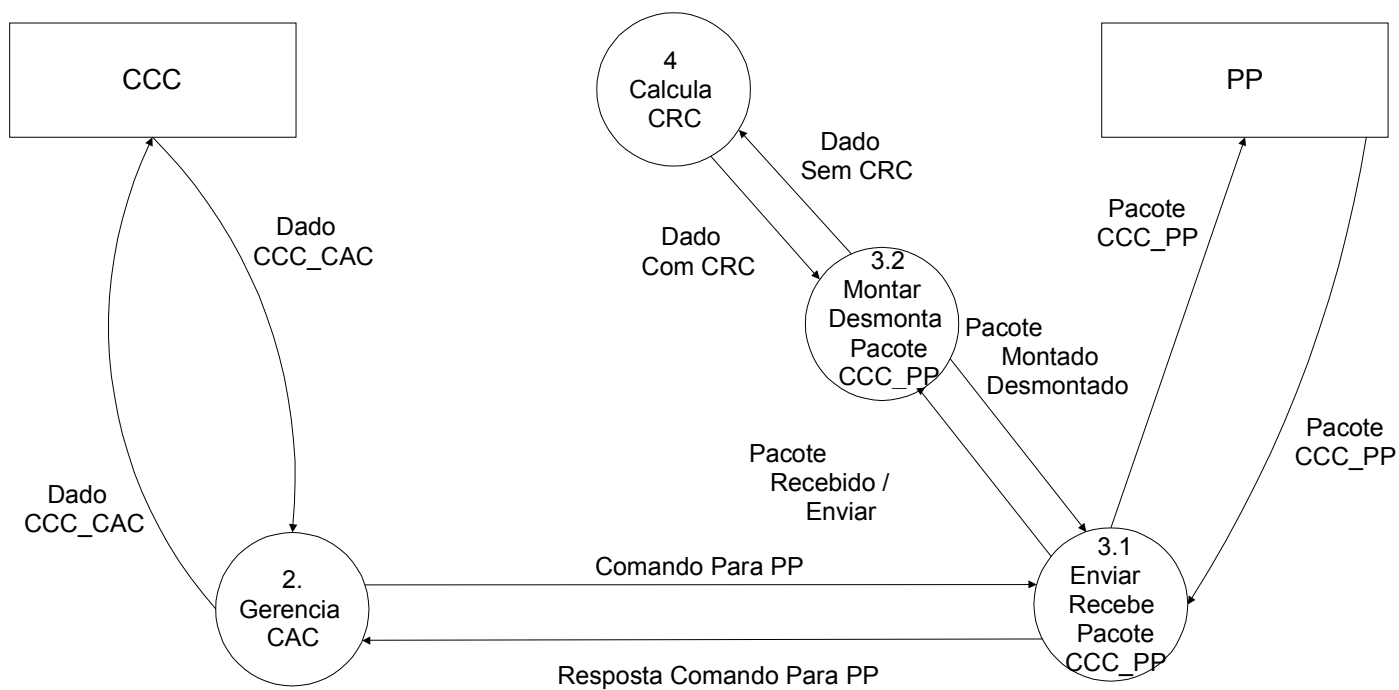


Figura 28 – Diagrama de Fluxo de Dados do Software do controlador de acesso

PROJETO SAMEEC - CPFL - ESPECIFICAÇÃO DO CONTROLADOR DE ACESSO - DIAGRAMA DE FLUXO DE DADOS

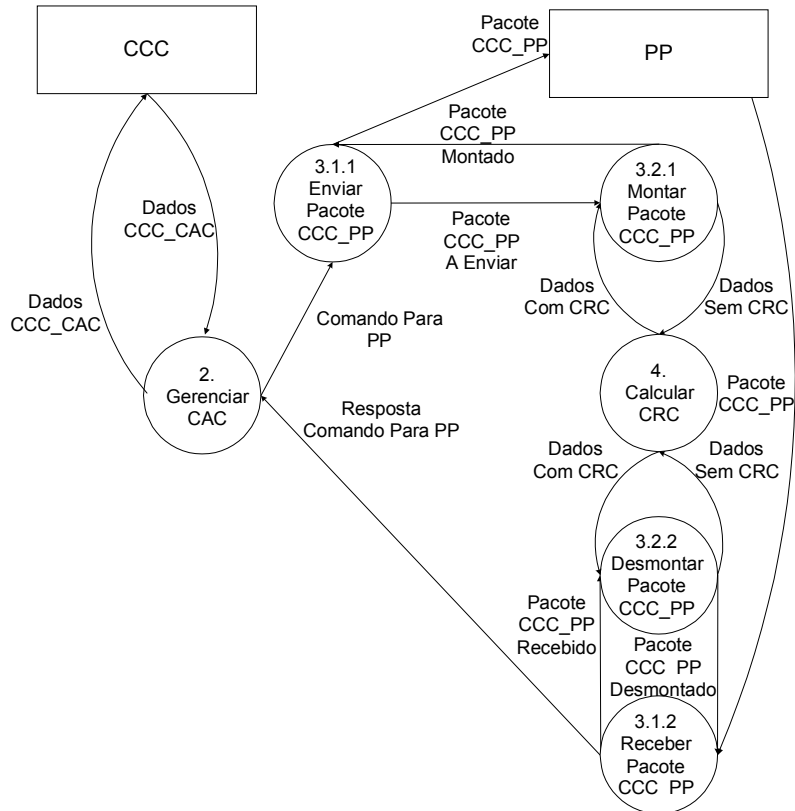


Figura 29 – Especificação do Software do controlador de Acesso

5

Capítulo

5. Projeto Piloto

5. Projeto piloto

Este capítulo se destina a apresentar a arquitetura do projeto piloto, descrevendo o ambiente final e os resultados obtidos.

O ambiente de teste em campo foi montado com a colaboração da empresa VIVAX S/A, empresa prestadora de serviços de banda larga e TV a cabo, a Tele Design empresa onde o projeto foi desenvolvido e a CPFL empresa mantenedora do projeto de P&D e responsável pelas instalações dos medidores eletrônicos de energia [22].

5.1 O ambiente

O ambiente montado para os testes finais foi composto pelos seguintes elementos:

5.1.1 Ambiente do usuário:

1) Medidores de energia eletrônicos foram instalados pela CPFL em um edifício na cidade de Americana, onde a VIVAX tem concessão para a transmissão de sinais via ambiente HFC. Foram instalados dez medidores eletrônicos da empresa Dowertech e seis medidores da empresa ESB, totalizando dezesseis medidores. A figura 30 mostra o medidor eletrônico de energia e a figura 31 o conjunto de medidores eletrônicos instalados no quadro do Edifício usado para o projeto piloto.



Figura 30 - Medidor Eletrônico de Energia.



Figura 31 - Medidores Eletrônicos Instalados no Edifício Piloto.

2) Foi instalado pela equipe de projeto um modelo protótipo de PP que se conecta aos medidores de energia e à rede HFC. O ponto de presença foi fixado em uma caixa de atendimento da empresa de televisão à cabo (VIVAX) também no subsolo e distante cerca de dez metros do quadro de medidores (figura 33). A figura 32 apresenta o hardware decodificador para interfaces seriais do grupo de medidores chamado aqui de multiplexador.



Figura 32 - Multiplexador Instalado no Edifício Piloto



Figura 33 - Ponto de Presença Instalado no Edifício Piloto.

5.1.2 Ambiente no cabeçal da VIVAX (Headend)

Foi instalado um equipamento de recepção do componente CCC (no cabeçal da empresa operadora VIVAX – figura 34) e este conectado a um microcomputador com acesso a Internet via uma rede de rádio até a Tele Design.



Figura 34 - Vivax – Americana/SP

5.1.3 Ambiente da Central de Aplicação

Ambiente na Tele Design com acesso à VIVAX e aos servidores de dados e de aplicação onde a coleta de dados é endereçada e armazenada. As telas do Software desenvolvido para envio de comandos e tratamento de respostas estão apresentadas nas figuras 35 e 36 respectivamente.

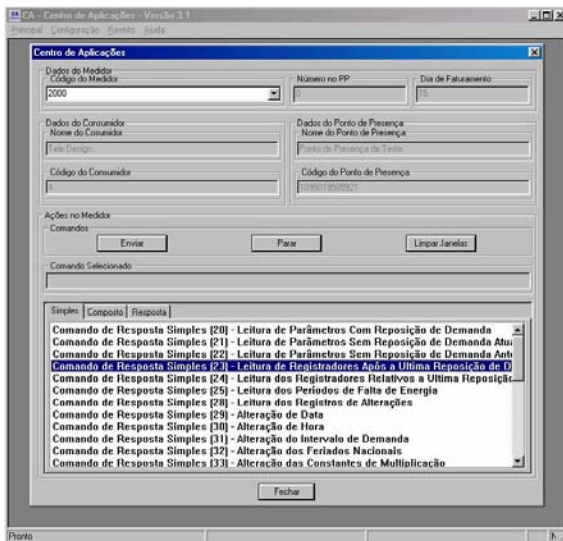


Figura 35 - Software Central de Aplicações – Tela de Envio de Comandos

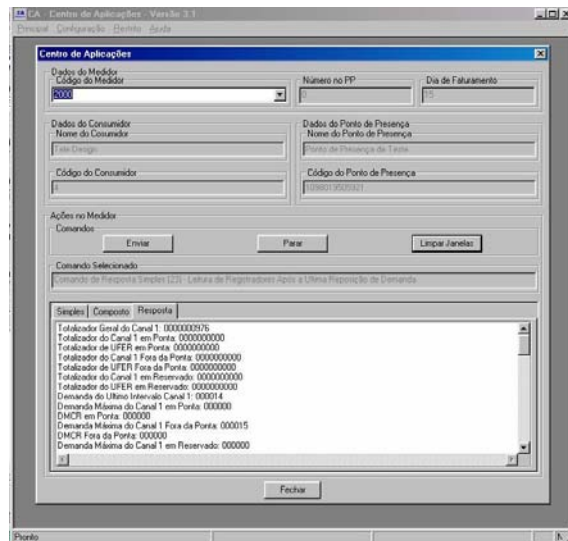


Figura 36 - Software Central de Aplicações – Tela de Resposta de Comandos

5.2 Os desafios

O processo de implantação do projeto piloto passou por duas etapas. A primeira foi simular todo o ambiente do piloto ainda nos laboratórios da Tele Design. A segunda etapa foi a implantação do cenário descrito anteriormente na cidade de Americana.

Os resultados em laboratórios foram satisfatórios. Apenas alguns ajustes no modem e softwares foram necessários, principalmente para adequação nos níveis de sinal entre os modems do Ponto de Presença e do controlador de acesso do Controlador Central de Comunicação. As respostas dos comandos enviados aos medidores foram obtidas no tempo esperado e com número reduzido de re-envios por motivo de perda de pacotes ou por erros de checagem de bits (CRC).

Os comandos compostos, mais custosos devido ao volume de informações, também foram solicitados e as respostas esperadas obtidas. No entanto, implementou-se controles adicionais para evitar perda de informação devido à forma como o medidor envia esses dados. O protocolo do medidor (ABNT) não prevê um tempo estimado de retorno para as mensagens de comando composto, causando um problema na comunicação quando o retorno dessas mensagens toma um tempo muito elevado, pois impacta nos temporizadores entre o PP e o CCC.

A solução adotada armazena toda a resposta composta enviada pelo medidor na memória do controlador do ponto de presença antes de enviá-las ao CCC. Isto reduziu substancialmente o número de re-envios ou dados perdidos pois o software no Ponto de Presença e no controlador de Acesso passaram a ter maior controle sobre os pacotes de dados.

5.3 Os resultados em campo

No ambiente em campo, para efeito de comparação, foi também instalado paralelamente um cable modem com um conversor de interface Ethernet – Serial e esse conectado a um medidor eletrônico.

Os resultados em campo, quando comparados a esse ambiente, foram diferentes, pois a modulação FSK utilizada, apesar de ser mais resiliente a ruídos, teve um número maior de pacotes perdidos uma vez que quando o erro é identificado, o pacote é simplesmente descartado.

Na rede HFC, os canais upstream, que carregam os pacotes de informação no sentido medidores para o centro de aplicações, são os canais de baixa frequência, sendo estes mais sensíveis a ruídos. Por isso o processo de recuperação nesse caso deve ser mais elaborado.

Já os cable modems comerciais (no caso o cable modem da Motorola foi usado) apresentam controles de modulação que, apesar de mais sensíveis a ruídos (modulação QAM ou QPSK), estão com implementações mais sofisticadas de correção de erros.

A comunicação entre o Centro de Aplicações, instalado na Tele Design, e o Controlador Central de Comunicação (CCC) teve perfeito funcionamento, pois independe dos modems desenvolvidos para a comunicação.

6

Capítulo

6. Conclusões

O projeto SAMEEC como P&D teve resultados bastante satisfatórios pois apresentou uma solução alternativa de aplicação para coleta e envio de comandos aos medidores eletrônicos para telemedição de energia elétrica.

O estudo demonstrou ainda que para ambientes envolvendo MDU (Multiple Dwelling Unit), ou seja, edifícios, a telemedição pode ser feita através do compartilhamento do equipamento de comunicação de dados na rede HFC, o Ponto de Presença. Através de um Ponto de presença, múltiplos medidores estão sendo controlados e suas informações transferidas para o ponto de presença.

Voltando ainda às questões relacionadas ao projeto e ao que o motivou, pode-se agora relacionar alguns itens que esclarecem questões levantadas no início do mesmo, conforme citado no capítulo 2.

Como atingir a capilaridade desejada?

A infra-estrutura de comunicação de uma rede HFC é tecnicamente viável, porém não tem a mesma capilaridade de uma rede de energia elétrica e, não poderia ser usada como único meio para transporte de informações de telemedição. No entanto, pode ser usada de maneira complementar inclusive nos grandes centros e em MDU's onde a viabilidade técnica ganha o componente de viabilidade econômica.

Como dar a transparência necessária?

Uma vez o dado coletado e armazenado no Centro de Aplicações, os consumidores podem ter acesso às informações de forma a entender mais sobre seu perfil de consumo e os componentes de sua conta de energia, em tempo real. Nesse projeto, para efeito de experiência, os dados coletados foram formatados de forma que o sistema de suporte à operação e o sistema de billing pudessem processá-los. Os sistemas puderam fazer a leitura desses dados, comprovando a possibilidade de utilização dos mesmos para oferecer o serviço de informação transparente ao consumidor.

Como evitar que o dispositivo de telemedição seja mais um consumidor de energia?

No projeto de hardware, houve a preocupação de se escolher os componentes de menor consumo de energia possível evitando assim que os mesmos se tornassem ofensores e impeditivos para a evolução da telemedição. O baixo consumo de energia dos protótipos produzidos demonstraram que as opções dos componentes foi acertada.

Como dar independência de marca e diminuir o custo da solução?

No início do projeto, um cable modem tinha um custo aproximado de U\$ 350,00. Um dos motivos para o desenvolvimento do hardware do ponto de presença com comunicação com a rede HFC era tentar diminuir o custo da solução, visto que não havia necessidade de todo o suporte implementado pelo cable modem, nem mesmo das velocidades oferecidas por ele. Com isso, existiria uma compensação de custo com relação à troca do medidor atual para o medidor eletrônico pois o custo do módulo de comunicação RF do projeto foi calculado em aproximadamente U\$50,00.

O volume de dados que se espera carregar como as leituras é bem pequeno, as taxas de transmissão de 9600 bps obtidas pelo projeto são suficientes contra as taxas de 27 Mbps do cable modem.

Além disso, os protocolos dos cable modems antigos não eram implementados seguindo um padrão por isso a interoperabilidade entre as diferentes marcas ficava comprometida. Isso significa que, uma vez escolhida uma marca de cable modems, devido a esse problema de interoperabilidade, não se podia comprar outras marcas pois não funcionavam nesse ambiente.

O que aconteceu foi que a demanda de cable modems cresceu, o custo baixou para um valor bem próximo ao estimado para o produto desenvolvido pelo projeto. Outra questão, os protocolos foram padronizados pelo DOCSIS o que fez com que a independência de marca ficasse mais próxima para os cable modems comerciais ultrapassando a barreira da falta de interoperabilidade. Com esse novo panorama, mostra-se mais viável que o módulo de interface de RF produzido no projeto seja substituído por cable modems tanto do ponto de vista econômico como do ponto de vista técnico.

Como usar as redes de comunicação de dados já existentes?

A opção pelas redes de TV a cabo foi base do projeto por apresentar abrangência em parte das áreas do grupo B de consumo de energia e por ser uma rede de comunicação de dados estável. Esse aproveitamento permite agregar valor à infra-estrutura já instalada com a possibilidade de justificar a própria abrangência dessa infra-estrutura em áreas que ainda não receberam essa demanda.

Como garantir a escalabilidade desejada?

As redes HFC foram estruturadas para um crescimento controlado dos assinantes sem a perda de sinal, uma vez que foram construídas para a prestação do serviço de transmissão de dados. Dessa forma, o número de consumidores medidos pode aumentar sem, no entanto, ter que aumentar o número de ativos ou componentes de rede.

Do lado dos medidores, a escalabilidade se garante com a utilização apenas de medidores que implementam o padrão ABNT (NBR 14522) de forma a ter independência de marcas e possibilidade de crescimento em escala com diferentes fabricantes.

Continuidade do trabalho

Nesse momento, o projeto está em processo de registro de patentes² do par PP e CCC e tem objetivos de serem feitos os primeiros protótipos para cabeça de série para testes mais elaborados.

² Depósito junto ao INPI (Inst.Nacional de Propriedade Industrial) de **Pedido de Patente de Invenção do Sistema Automático de Medição de Energia Elétrica via Cabos - SAMEEC** (No. PI0503097-8 de 25/07/2005; publicado na revista RPI 1809). A patente foi requerida pela Tele Design em parceria com a CPFL.

A leitura remota de medidores de energia é um caminho que dificilmente será interrompido. Novas construções contam com a instalação de medidores eletrônicos tornando mais próxima aplicação da leitura remota em contrapartida à leitura manual. O custo da leitura manual que varia entre R\$ 0,20 (vinte centavos) e R\$ 0,30 (trinta centavos) por medidor, esses valores ainda não podem ser batidos pela leitura remota sobretudo em consumidores individuais. Porém, no caso de novas edificações coletivas as quais já recebem medidores eletrônicos de energia ou aquelas cujos medidores mecânicos estão sendo substituídos, a leitura remota já se mostra competitiva, além de trazer outros benefícios aos consumidores conforme discutido nesse trabalho

Pontos importantes foram identificados que norteiam evoluções no projeto a saber:

- A implementação de suporte a protocolos de gerência de redes (SNMP – Simple Network Management Protocol), possibilitando que os modems no Ponto de Presença e nos Controladores Centrais de Comunicação sejam gerenciados. Dessa forma, tem-se o completo gerenciamento dos elementos de rede do sistema;
- A substituição do módulo de comunicação RF por um cable modem comercial, ligado ao módulo do microcontrolador que implementa os protocolos com o medidor e com o centro de aplicação. O custo do cable modem que antes era por volta de U\$ 350,00 caiu substancialmente para U\$ 50,00 tornando a implementação de um módulo para essa função desnecessário;
- A utilização da interface RS485 entre o Ponto de Presença e os medidores que permite a comunicação endereçada com vários medidores até então não usada por não estar no escopo da norma NBR 14522. Essa interface substitui o módulo de decodificação para endereçamento que, apesar de ter a possibilidade de comunicação com até 16 medidores, essa comunicação é com um medidor de cada vez;
- A experimentação de outros componentes de maior capacidade de armazenamento;
- Por último possibilita, a aplicação da tarifa amarela no momento de melhor conveniência para o país.

Capítulo

7

7. Anexos

Anexo I - NBR 14522 – Intercâmbio de Informações para sistemas de medição de energia elétrica – Padronização

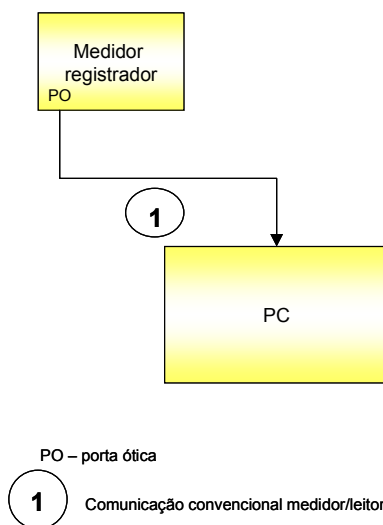
I.1 Abrangência da utilização da norma NBR 14522 no projeto SAMEEC

A norma define o padrão de intercâmbio de sistemas de medições de energia elétrica, de forma a alcançar a compatibilidade entre sistemas e equipamentos de medição de energia elétrica de diferentes procedências. Não faz parte dessa dissertação a apresentação da norma na sua íntegra.

O objetivo de utilizar equipamentos implementados na norma é dar a flexibilidade de utilização de equipamentos de forma mais independente, dando opção à operadora de escolher aquele cuja procedência mais lhe convém do ponto de vista funcional e de custo.

O item da norma a ser usado é o que descreve a comunicação convencional medidor/leitor.

Seguindo o diagrama apresentado na norma, a abrangência é apresentada como se segue, isto é, o medidor se comunica via uma porta ótica serial com o leitor (em nosso projeto o Ponto de Presença). Os comandos implementados nessa comunicação estão especificados no Anexo V.



Anexo II - Protocolos a serem usados na rede

Este anexo ilustra como as informações são transportadas na rede. Dessa forma, os pacotes saem do Centro de Aplicações, passam pelo Controlador Central de Comunicação e chegam até o Ponto de Presença desejado seja para a leitura, configuração, atuar na chave de corte-religamento. No anexo III são apresentados o detalhamento do protocolo e dos pacotes entre CCC e PP.

A) Diagrama de montagem dos pacotes no Centro de Aplicações

A figura 37 apresenta de forma ilustrativa o conceito criação dos pacotes no Centro de Aplicações. No Centro de Aplicações ocorre o preenchimento dos campos com comandos para o medidor no padrão de protocolo da norma NBR 14522 e o endereçamento do medidor.

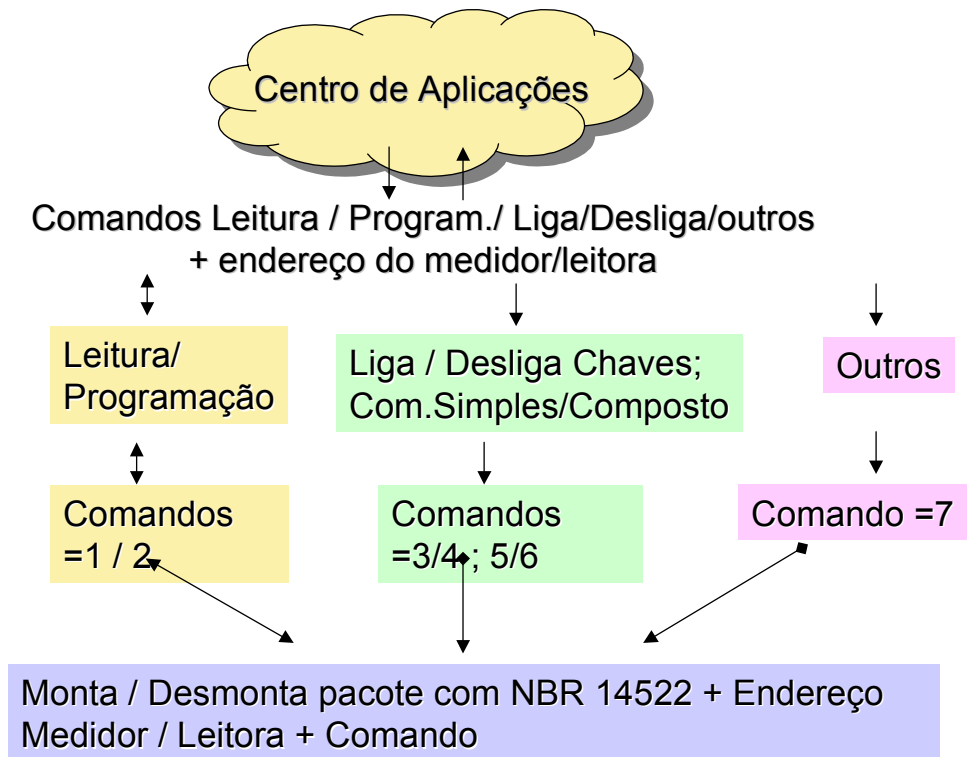


Figura 37 – Diagrama de Montagem dos Pacotes no Centro de Aplicações

B) Montagem dos pacotes no centro de aplicações

No Centro de Aplicações, os dados são encapsulados em pacotes TCP/IP.

Centro de aplicações

Pacote com NBR + Endereço Medidor/Leitora + Comando Leitura no protocolo TCP/IP

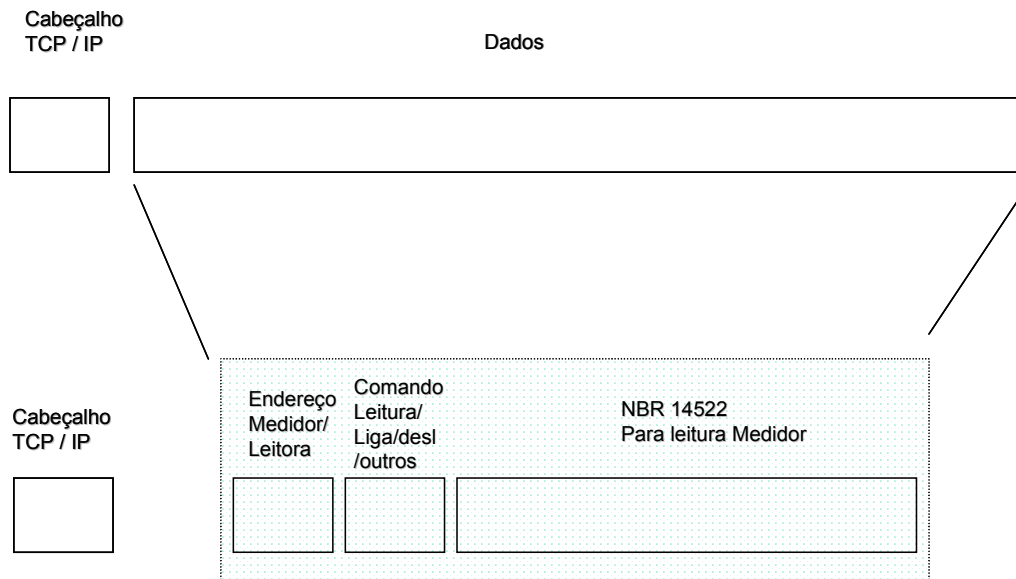


Figura 38 – Cabeçalho TPC/IP

A figura 38 mostra o pacote TCP/IP e onde estão os campos destinados à comunicação do conjunto CCC_PP. Esses campos são encapsulados no pacote TCP/IP conforme descrito a seguir.

Cabeçalho TCP/IP tem 40 bytes (20 TCP, 20 IP) que incluem o endereçamento de uma porta TCP (que pode ser específica para essa aplicação) e um endereço IP de destino. Não é objeto desse documento descrever o protocolo TCP/IP.

Campo de dados do pacote TCP:

Endereço Medidor / Leitora= campo de 48 bits (6 octetos) , destinado ao endereço do medidor que será objeto de leitura ou programação.

Comando= campo de oito bits (um octeto) destinado ao comando de leitura/programação (1/2), liga/desliga (2/3), Identificação de comando simples/composto (4/5), retorno de mensagens de erro (só para mensagens no sentido PP-CCC com valores a serem definidos) e outros comandos futuros.

NBR 14522 – campo variável de até 258 octetos para o protocolo de comunicação com o medidor.

C) Montagem / desmontagem dos pacotes no Controlador Central de comunicação – CCC

CCC – Controlador Central de Comunicação

- 1) Recebe pacote IP e “desmonta pacote
- 2) Monta pacote para comunicação com o PP – Ponto de presença

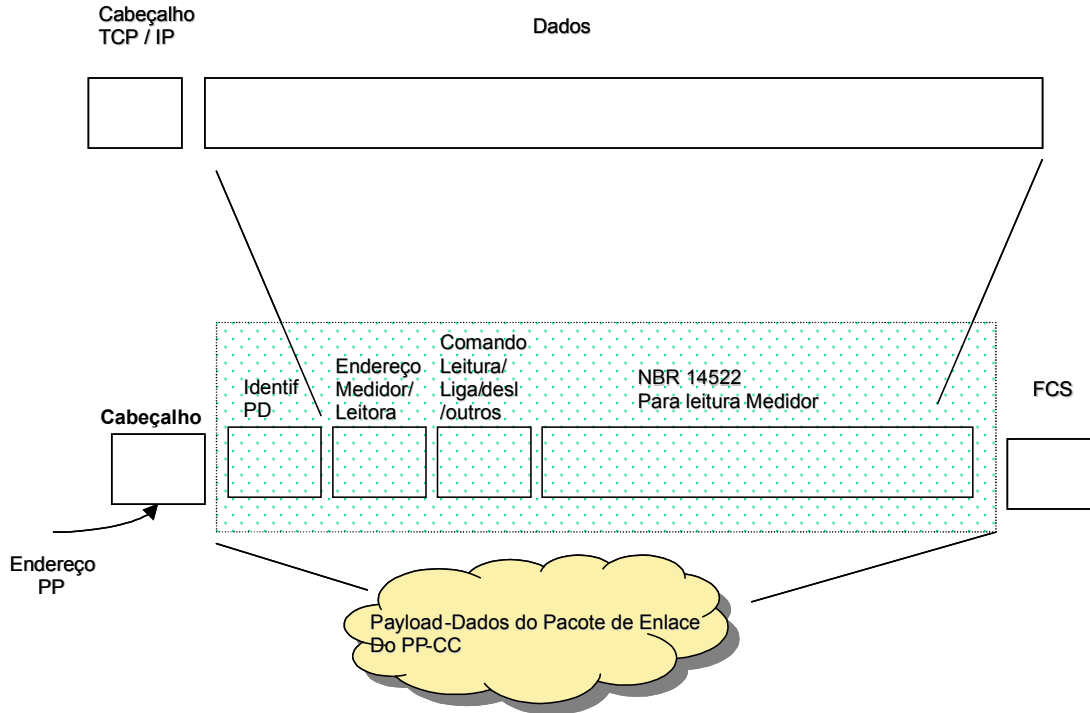


Figura 39 – Montagem/Desmontagem dos Pacotes no Controlador Central de Comunicação

Na figura 39 é ilustrado como os dados dos pacotes TCP/IP, chegando ao Controlador Central de Comunicação são encapsulados em pacotes do protocolo de enlace entre CCC-PP, descritos a seguir:

Cabeçalho = Cabeçalho do protocolo de enlace de dados entre PP-CCC. Esses campos são compostos por (SYNCH, Controle, Endereço PP, Seqüência, Comprimento e o campo de payload).

Identificador PDU: identificador da mensagem a ser tratada pela aplicação CCC (ver neste anexo).

Endereço PP = campo de 48 bits (6 octetos) para endereçar o PP.

FCS = Frame Check Sequence – campo de 16 bits (dois octetos) onde é armazenado o cálculo do CRC do pacote (excluindo o synch do pacote MAC). O CRC-16 (ITU-T RFC 1662 é usado).

Demais campos já foram apresentados anteriormente.

D) Montagem / desmontagem dos pacotes no Ponto de Presença

PP – Ponto de presença Aplicativo - sentido CCC para PP

- 1 Direciona para elemento enlace medidor caso seja comando de leitura / configuração.
- 2 Direciona para chave

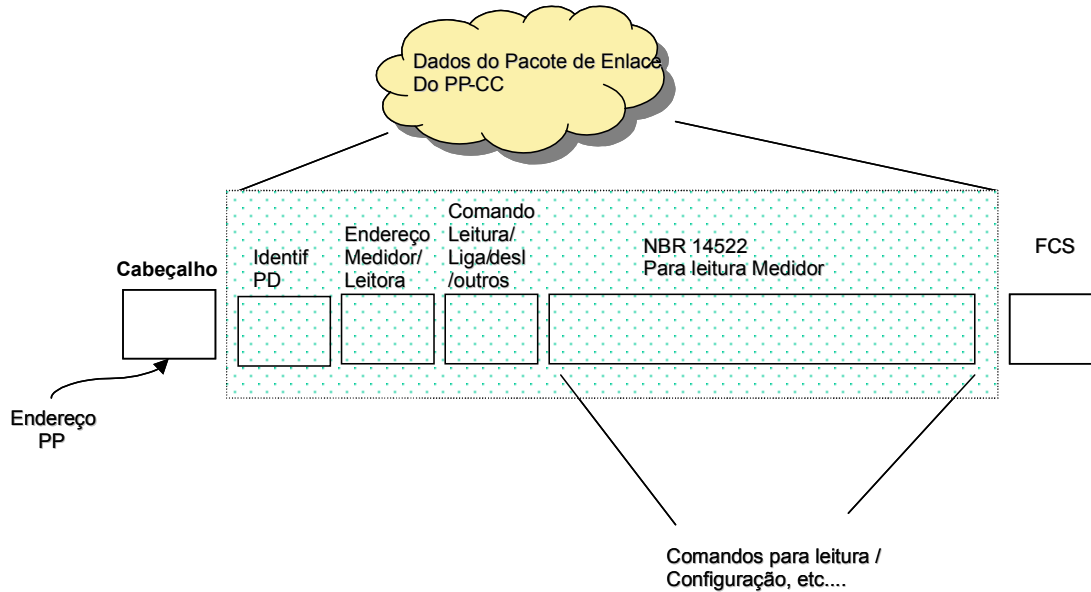


Figura 40 – Montagem/Desmontagem dos Pacotes no Ponto de Presença

A figura 40 ilustra como os pacotes enviados ao Ponto de Presença são direcionados.

O pacote NBR 14522 é desmontado para comunicação entre a aplicação PP e o medidor conforme o protocolo da norma.

Anexo III - Protocolo entre Ponto de presença – Controlador Central de Comunicação.

O protocolo descrito neste anexo estabelece um meio de comunicação entre o ponto de presença - PP e o Controlador Central de Comunicação – CCC.

Esse protocolo é proprietário a essa aplicação e procura reunir as funções necessárias para envio e recepção de informações entre PP-CCC. Esse protocolo foi gerado com base nas normas do SCTE – HMS – Hybrid Management Sub-layer – [10], [11].

O início de uma conexão é sempre iniciativa do CCC, podendo o PP passar informações após essa conexão ser estabelecida.

Para efeito dessa pesquisa, a comunicação entre o Centro de Aplicações e cada PP deve ser finalizada para ter o início uma nova comunicação.

III.1 A Camada Física

Sentido CCC → PP

Neste sentido, a camada física separa os dados vindos do CCC no chamado canal downstream para PP que está localizado em frequências específicas para esse fim (variam de 55 a 750Mhz). Nesse projeto a frequência escolhida foi 111,7 Mhz por ser uma frequência não utilizada pela operadora de TV a cabo para nenhum de seus serviços.

Sentido PP → CCC

Neste sentido, a camada física separa os dados vindos do PP no chamado canal upstream para o CCC, que está localizado em frequências específicas para esse fim (variam de 10 a 50 Mhz). Nesse projeto, a frequência escolhida foi 11,7 Mhz por ser a frequência mais baixa possível e com menor risco de ruídos e ainda que estivesse disponível para utilização.

A especificação da camada física deve seguir o padrão americano da SCTE (Society of Cable Telecommunications Engineers) – HMS – Hybrid Fiber Coax Outside Plant Status Monitoring - Physical Layer (PHY) Specification V1.0 .

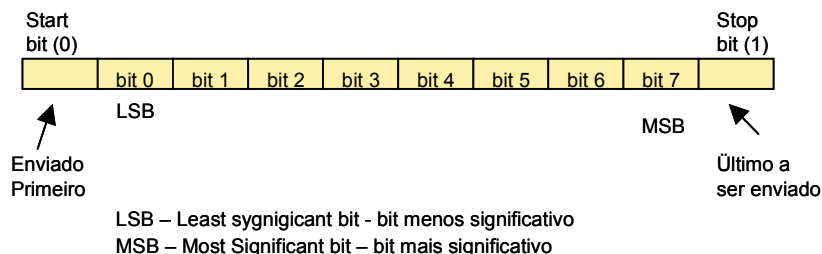
III.2 Camada de enlace

A especificação da camada de enlace tem como base o padrão americano do SCTE (Society of Cable Telecommunications Engineers) – HMS - Hybrid Fiber Coax Outside Plant Status Monitoring – Media Access Control Layer (MAC) Specification V1.0 .

Como a comunicação é ponto a ponto em modo sem contenção, é aplicada uma simplificação desse padrão.

Transporte do pacote MAC

Formato e ordem dos bytes de transmissão: os bytes transmitidos tanto no canal downstream quanto no canal upstream têm comprimento de 10 bits, conforme ilustrado abaixo:



O envio dos bits em cada byte segue a regra ilustrada na figura acima. O LSB de um byte (bit 0) é transmitido primeiro após o Start Bit. O MSB do byte (bit 7) é transmitido por último seguido pelo Stop bit.

Regras para transmissão:

Pacotes do canal de envio: os pacotes no canal de retorno devem ser enviados de forma tal que :

Não existam 2 bytes no pacote que estejam separados por um tempo maior que 3ms (milissegundos). Conforme definido anexo VI – Temporizadores do sistema;

O pacote todo deve ser transmitido dentro de 120% do menor tempo para aquele quadro. O menor tempo é definido como o tempo de transmissão de um pacote sem nenhum espaço entre os bytes. Vide anexo VI.

Pacotes do canal de retorno:

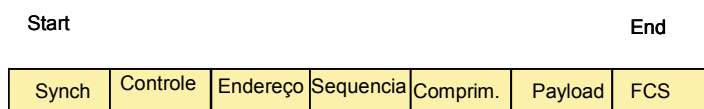
A transmissão do primeiro byte da mensagem do PP deve iniciar em uma janela entre 2 e 5 vezes o byte depois que a potência de energia de transmissão atingir 90% de seu valor final.

Os pacotes do canal de retorno devem ser transmitidos de forma que não existam 2 bytes no pacote que estejam separados por um tempo maior que 260µs conforme anexo VI. Não devem existir espaços entre os bits dentro de um byte.

Estrutura do pacote:

Os pacotes são formados por um Cabeçalho, os dados de tamanho variável e um campo de 2 bytes para verificação de seqüência.

A estrutura de pacotes é idêntica tanto para o canal de retorno quanto para o canal de envio.



Na tabela III a seguir é apresentado o comprimento de cada campo:

Tabela III	
Campo	Comprimento (bits)
Synch	8
Controle	8
Endereço	48
Sequência	8
Comprimento	16
Payload	N
FCS	16

Descrição dos campos:

Synch: Esse campo identifica o início do pacote da camada de enlace. Deve ser programado para 0xA5.

Controle: Define o tipo e formato do campo payload (dados) conforme figura abaixo:

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Reservado3	Reservado2	Reservado1	Reservado0	Protocolo			

O protocolo (bits de 0 a 3) indica o tipo de protocolo a ser usado para interpretar o campo payload do pacote da camada de enlace. Por se tratar de uma aplicação proprietária que não se encaixa aos tipos definidos no padrão HSM, esse campo será preenchido com o valor 0100 (disponível para futuras utilizações).

Os bits reservados (de 4 a 7) devem ser programados para 0 (zero).

Endereço: Campo de endereço consiste de seis (6) bytes sendo usado para endereçar os equipamentos. O campo de endereço segue IEEE Organizationally Unique Identifier (OUI) Std 802 usada para padrão de endereço universal e é proposto como segue:

Cada byte é representado por dois numerais hexadecimal de dois dígitos, usando um 0 (zero) mais à esquerda, onde o primeiro dígito do par é o mais significativo;

Cada byte é separado por um hífen com o byte mais significativo na posição mais à esquerda;

Sendo a comunicação aqui especificada Ponto a Ponto, o endereço do PP é único.

Seqüência: o protocolo de enlace PP-CCC é transacional, isto é, cada mensagem originada por um "solicitante" tem uma resposta correspondente da entidade que responde. O campo seqüência tem um byte e define o número de seqüência para assegurar que a troca de mensagens seja sincronizada, para tratar uma possível perda de mensagens. O campo está representado a seguir:

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
SYN	MSGSEQ						

MSGSEQ (bits de 0 a 6): esse campo indica o número de seqüência da mensagem e são gerados pelo PP ou pelo CCC. Esse processo deve seguir a seguinte regra:

- As mensagens originadas pelo CCC devem ter o bit 6 em "1";
- O CCC deve gerenciar os números seqüenciais por PP;
- As mensagens originadas pelo PP devem ter o bit 6 em "0".

O campo MSGSEQ deve ser incrementado por quem originou o número. O número de seqüência deve ser incrementado quando:

- Uma resposta é recebida com o mesmo número de seqüência originado;
- Excedeu o número máximo permitido de tentativas de transmissão (retransmissões). O MSGSEQ não muda se a mensagem deve ser retransmitida, situação que ocorre somente quando a resposta ou reconhecimento (ack) não foi recebido dentro de um período de tempo pré-determinado e/ou não excederam o número máximo de retransmissões para essa mensagem.

A entidade que responde deve salvar o número de seqüência da última mensagem recebida para o seu endereço e executar um dos procedimentos seguintes:

- Se o campo MSGSEQ é diferente do último recebido, a entidade deve processar a mensagem, montar uma resposta e, se for necessária, enviá-la. A entidade que responde deve pegar o valor da seqüência no campo MSGSEQ da mensagem de solicitação e colocá-lo no campo **MSGSEQ** da mensagem de resposta;
- Se o campo MSGSEQ é o mesmo do último recebido, a entidade sabe que a sua última mensagem não foi recebida e deve re-enviar a resposta. A entidade que responde não deve processar a mensagem novamente. Deve apenas re-enviar a mensagem já enviada anteriormente. A entidade que responde deve pegar o valor da seqüência no campo MSGSEQ da mensagem de solicitação e colocá-lo no campo MSGSEQ da mensagem de resposta.

Caso a entidade que responde tiver sido reiniciada (reset), ela deve processar a primeira mensagem dirigida ao seu endereço independente do valor do campo MSGSEQ.

SYN (bit 7): as regras a seguir apresentam a forma de preenchimento do SYN.

Depois que um equipamento (CCC ou PP) é reiniciado (reset), ele deve programar o bit SYN para o valor "1" em todo pacote que ele origina e enviar para a entidade que responde. Quando o bit SYN é programado como o valor "1" pelo solicitante, a entidade que responde não verifica o campo

MSGSEQ da mensagem. O valor do campo MSGSEQ contido no pacote que deve ser usado pelo solicitante é o igual ao último valor recebido. Isso sincroniza a entidade que responde com o valor do número atualizado.

O SYN deve sempre estar programado para "0" quando respondendo a uma solicitação. Quando o SYN está programado para "0" por um solicitante é para que a entidade que responde verifique o valor da MSGSEQ da mensagem

Comprimento: o campo comprimento é de dois bytes e especifica o número de bytes do campo payload (dados) da camada de enlace. Teoricamente o tamanho máximo seria de 65.535 bytes, mas o tamanho máximo da mensagem deve ser definido pela máxima duração do canal de retorno.

Payload: o campo payload contém os dados enviados de/para a aplicação.

FCS: Frame Check Sequence: campo de 16 bits (dois octetos) onde é armazenado o cálculo do CRC do pacote (excluindo o synch do pacote MAC). O CRC-16 (ITU-T RFC 1662 é usado). A integridade do pacote é verificada pelo FCS. Pacotes com FCS inválido devem ser descartados. Pacotes com FCS válido, mas com conteúdo inválido também devem ser descartados.

Delimitador dos pacotes:

Os campos Synch, controle, comprimento e FCS são usados para delimitar o pacote e indicar a sua integridade.

Início do pacote: a identificação de um byte SYNCH e um byte NÃO_SYNCH identificam o início do pacote.

Fim do pacote: A posição exata do FCS e o final do pacote podem ser calculados usando o byte "comprimento".

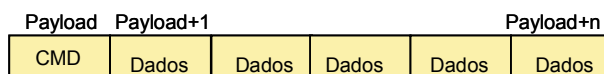
Garantia da sincronização (transparência):

De forma a garantir a sincronização dos pacotes é necessário distinguir o verdadeiro byte SYNCH de qualquer outro byte no payload que tenha o mesmo valor. Para isso, o CCC ou PP inserem o byte SYNCH depois de qualquer byte de dados tendo o valor 0xA5. Essa regra deve ser aplicada aos campos de endereço, seqüência, comprimento, payload e FCS mas não nos campos SYNCH e controle. Isso garante que a combinação dos bytes SYNCH e NÃO_SYNCH nunca será encontrada no restante do pacote.

Depois da identificação do início do pacote, o receptor do pacote remove um byte SYNCH da seqüência de dois bytes. Se um SYNCH byte é identificado dentro do pacote, o dados até aquele ponto devem ser descartados e o receptor deve iniciar o processo de delimitação do pacote novamente, usando o 0xA5 mais recente recebido como indicador do início do pacote. Os bytes SYNCH adicionados, não são contabilizados no comprimento do pacote e não são incluídos no cálculo do FCS para o pacote por nenhuma das partes seja o transmissor seja o receptor.

A unidade de dados da camada de enlace (PDU – Protocol Data Unit):

Os PDUs estão contidos no campo payload da mensagem. A estrutura dos PDUs está ilustrada a seguir:



A presença de campos de dados dependerá do tipo de PDU.

Nome da PDU	CMD
SOLIC	0X00
ACK_ESP	0X01
SOLICRESP	0X02
ACK_FIM	0X03
ACK_COM	0X04
COM_ACK	0X05

Transações do protocolo de enlace:

As transações do protocolo de enlace são listadas a seguir:

Origem	PDU	Resposta	Possíveis respostas
CCC	SOLIC	PP	ACK_ESP, ACK_COM ou ACK_FIM
CCC	SOLICRESP	PP	ACK_FIM
CCC	COM_ACK		

As PDUs são descritas a seguir:

SOLIC: Essa PDU é gerada pelo CCC contendo os dados para solicitação de informações ou envio de comandos.

ACK_ESP: Essa PDU tem um byte, é originada pelo PP em resposta a uma SOLIC quando não está pronta para enviar os dados solicitados.

ACK_COM: Essa PDU é originada pelo PP em resposta a uma SOLIC para enviar os dados compostos solicitados.

COM_ACK: Essa PDU é originada pelo CCC em resposta a uma ACK_COM para reconhecer o recebimento desta mensagem.

ACK FIM: Essa PDU é originada pelo PP em resposta a uma SOLIC ou SOLICRESP da seguinte forma:

- Responde à SOLIC quando já processou o comando solicitado (sincronismo de relógio, programação, liga/desliga chave, reset) ;
- Responde à SOLICRESP quando o comando foi processado e tem dados para serem retornados (comando de leitura).

É a última mensagem de um comando composto após mensagens ACK_COM serem enviadas pelo PP e terem sido reconhecidas com COM_ACK pelo CCC.

SOLICRESP: Essa PDU tem um byte, é gerada pelo CCC para solicitar que os dados requisitados pela SOLIC anteriormente enviada sejam respondidos.

A operação do protocolo de enlace:

Esse item descreve as características operacionais para suportar a iteração entre o CCC e os PPs.

Parâmetros não voláteis: os parâmetros a seguir relacionados descrevem campos que devem ser armazenados em memória não volátil no PP de forma a ter uma reinicialização (reset) com sucesso após uma falha de energia. São eles:

- Frequência de canal de envio;
- Frequência de canal de retorno;
- Potência de retorno;
- Endereço MAC.

Comunicação: a comunicação suportada pelo PP deve ser half-duplex.

Recepção dos pacotes: o equipamento que estiver recebendo deve procurar por um byte SYNCH, seguido por um byte NON-SYNCH para indicar o início do pacote. Qualquer dado é descartado até que essa combinação de bytes seja encontrada. Assim que a identificação de início do pacote é encontrada, o comprimento do mesmo é determinado pelo campo COMPRIMENTO, a recepção é finalizada e o cálculo do FCS é efetuado no dado de entrada. O FCS calculado é comparado com o FCS transmitido. Se eles são iguais, o pacote é válido e é enviado para a aplicação. Se o FCS calculado não é igual ao FCS transmitido, o pacote é descartado. Se o FCS é válido mas na análise da mensagem mostra um conteúdo inválido, o pacote é descartado. Bytes SYNCH que foram adicionados para o processo de Garantia da sincronização (transparência) descrito, não são contabilizados para a identificação do comprimento do pacote, e não são incluídos no cálculo do FCS nem do lado transmissor, nem do lado receptor.

Anexo IV - Exemplos da comunicação entre as entidades

Esse anexo propõe, para efeito ilustrativo, a apresentação de alguns casos de exemplo da comunicação fim a fim entre Centro de Aplicações e o Medidor Eletrônico.

Caso 1: Solicitação de leitura do medidor com resposta simples

Nesse exemplo da figura 41, o Centro de Aplicações (CA) solicita uma leitura do medidor. Vamos pensar como exemplo que o Comando de resposta simples (comando 25 - leitura de períodos de falta de energia – conforme anexo V) é solicitado pelo CA. O pacote TCP/IP, é montado conforme exemplo apresentado no Anexo II e inicia a comunicação com CCC.

Assim que conectado, o CCC monta um pacote de enlace e envia uma mensagem SOLIC para o PP.

O PP começa nesse momento a enviar "1" lógicos para o medidor. O PP envia um comando ACK_ESP ao CCC solicitando com isso uma espera de identificação de comunicação com o medidor.

Após 1 seg de recebimento de "1" , o medidor assume uma conexão com o PP e começa a enviar pacotes ENQ para sincronização com o PP.

O CCC, ao receber um ACK_ESP, envia o comando de Leitura 25 em um pacote SOLICRESP ao PP. Após a sincronização e o recebimento do SOLICRESP, o PP envia um pacote de COMANDO para o medidor (com o comando de leitura desejado).

O medidor realiza a leitura desejada, envia o resultado em um único pacote de RESPOSTA (resposta simples).

Ao receber esse pacote, o PP responde ao medidor um ACK e envia um ACK_FIM com os dados de leitura solicitados ao CCC.

Ao receber o ACK o medidor finaliza a conexão.

Ao receber o ACK_FIM o CCC o envia em um pacote TCP/IP para o CA e finaliza a conexão com o mesmo.

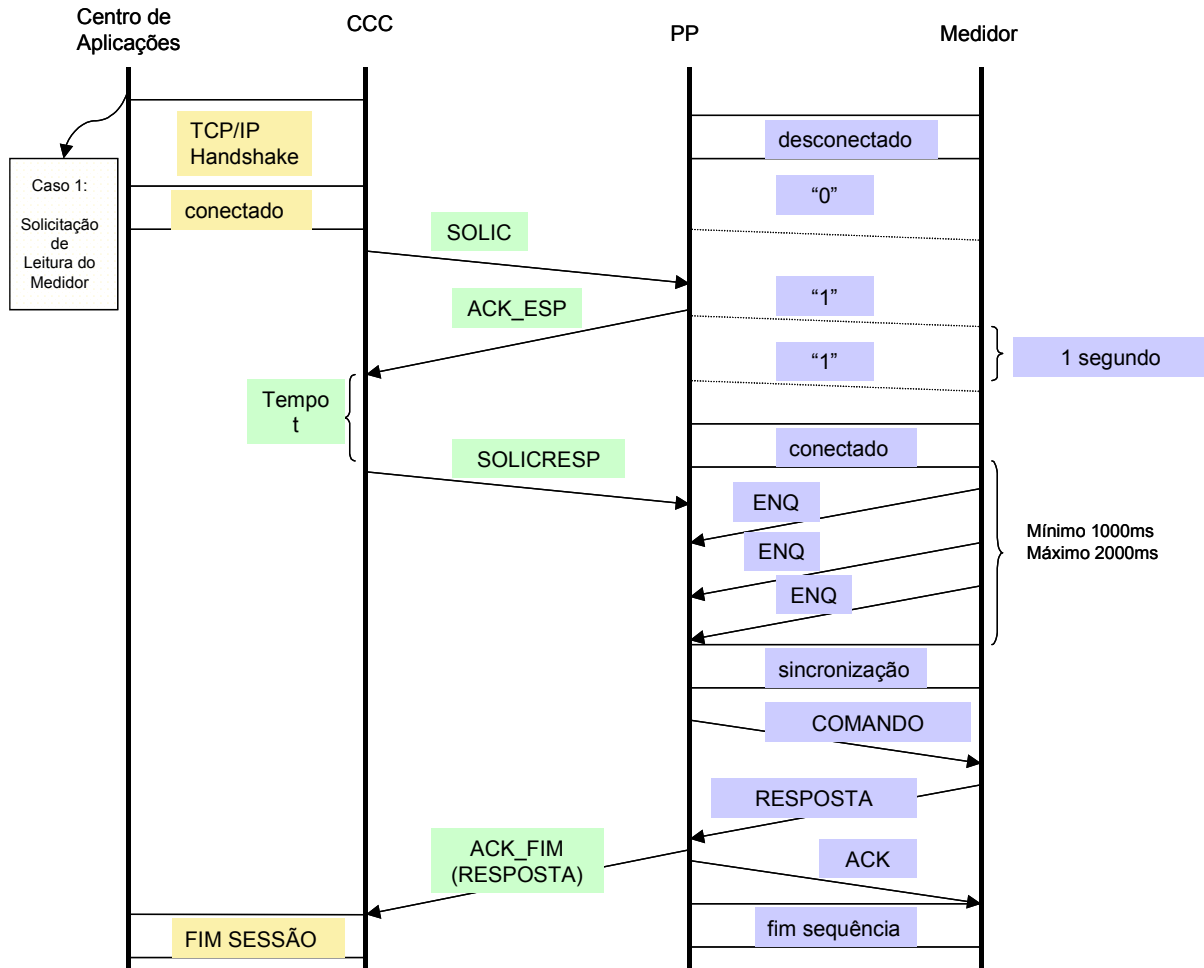


Figura 41 – Solicitação de Leitura do Medidor com Resposta Simples

Caso 2: Envio de programação

Nesse exemplo da figura 42, o Centro de Aplicações (CA) envia um comando de programação ao medidor. Todas as mensagens trocadas são equivalentes ao caso 1 já descrito.

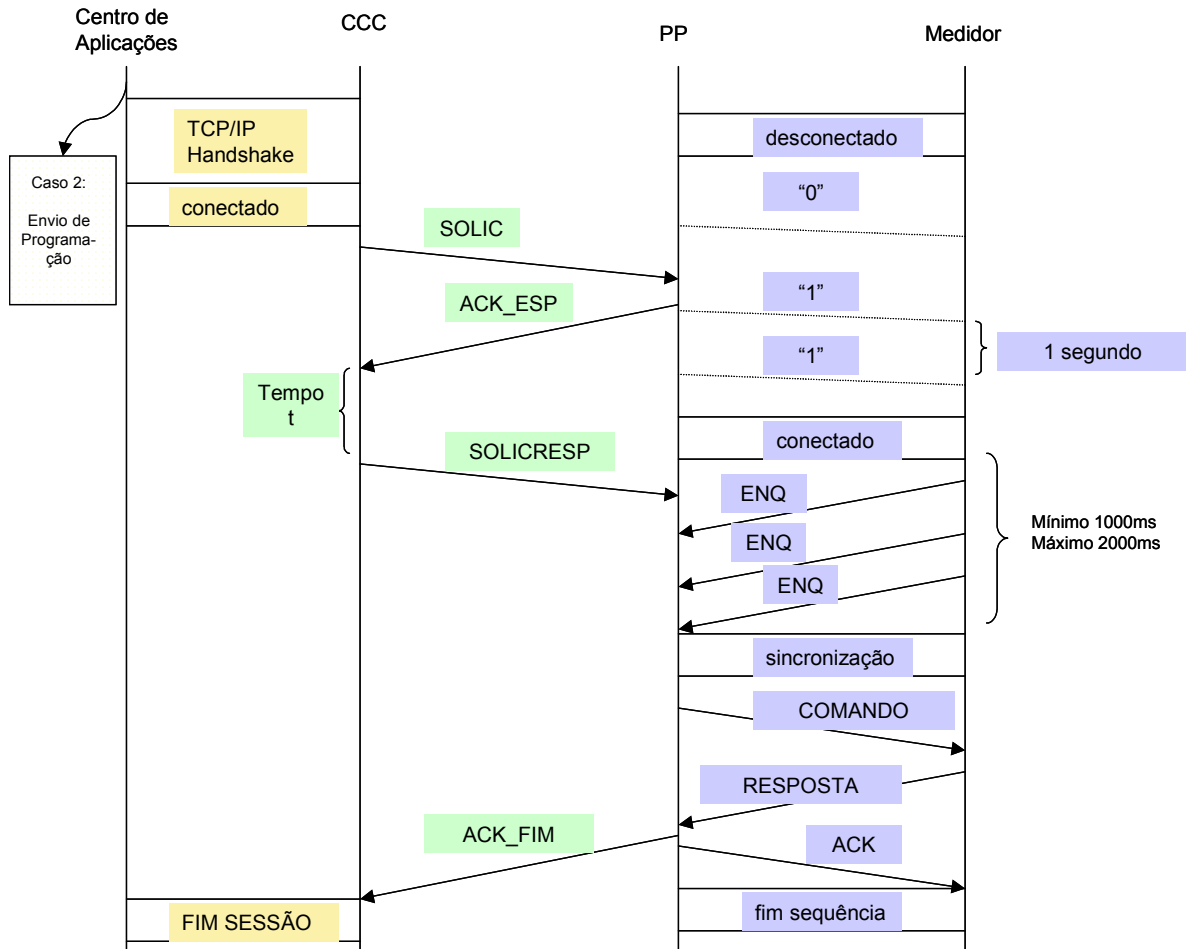


Figura 42 – Envio de Programação para o Medidor

Caso 3: Reset PP

Nesse exemplo da figura 43, o Centro de Aplicações (CA) envia um comando de reset ao Ponto de Presença. Note que neste caso não existe uma comunicação com o medidor, pois o comando é para o PP.

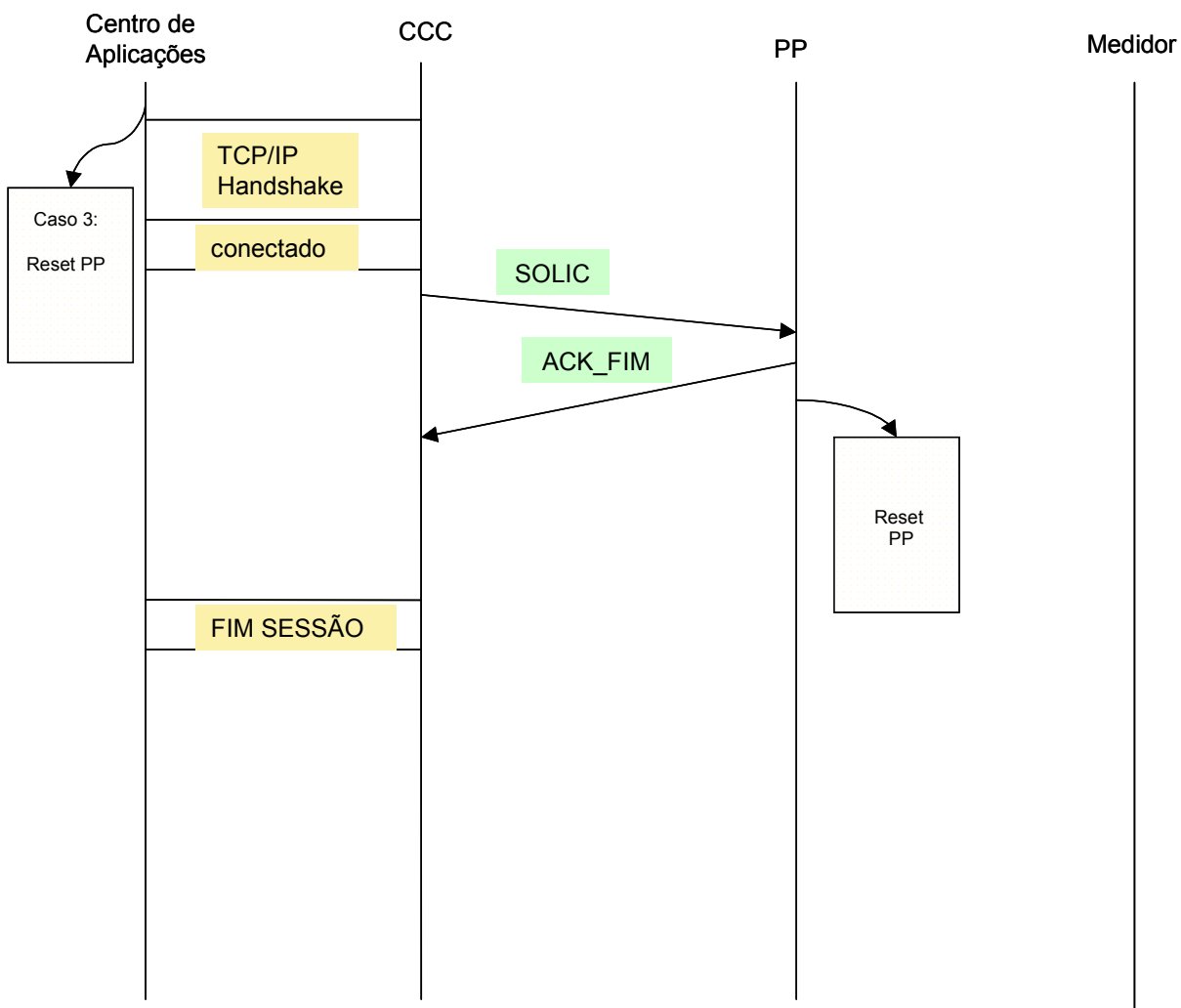


Figura 43 – Reset do Ponto de Presença

Caso 4: Sincroniza relógio PP

Nesse exemplo da figura 44, o Centro de Aplicações (CA) envia um comando de sincronização do relógio ao Ponto de Presença. Note que neste caso não existe uma comunicação com o medidor, pois o comando é para o PP.

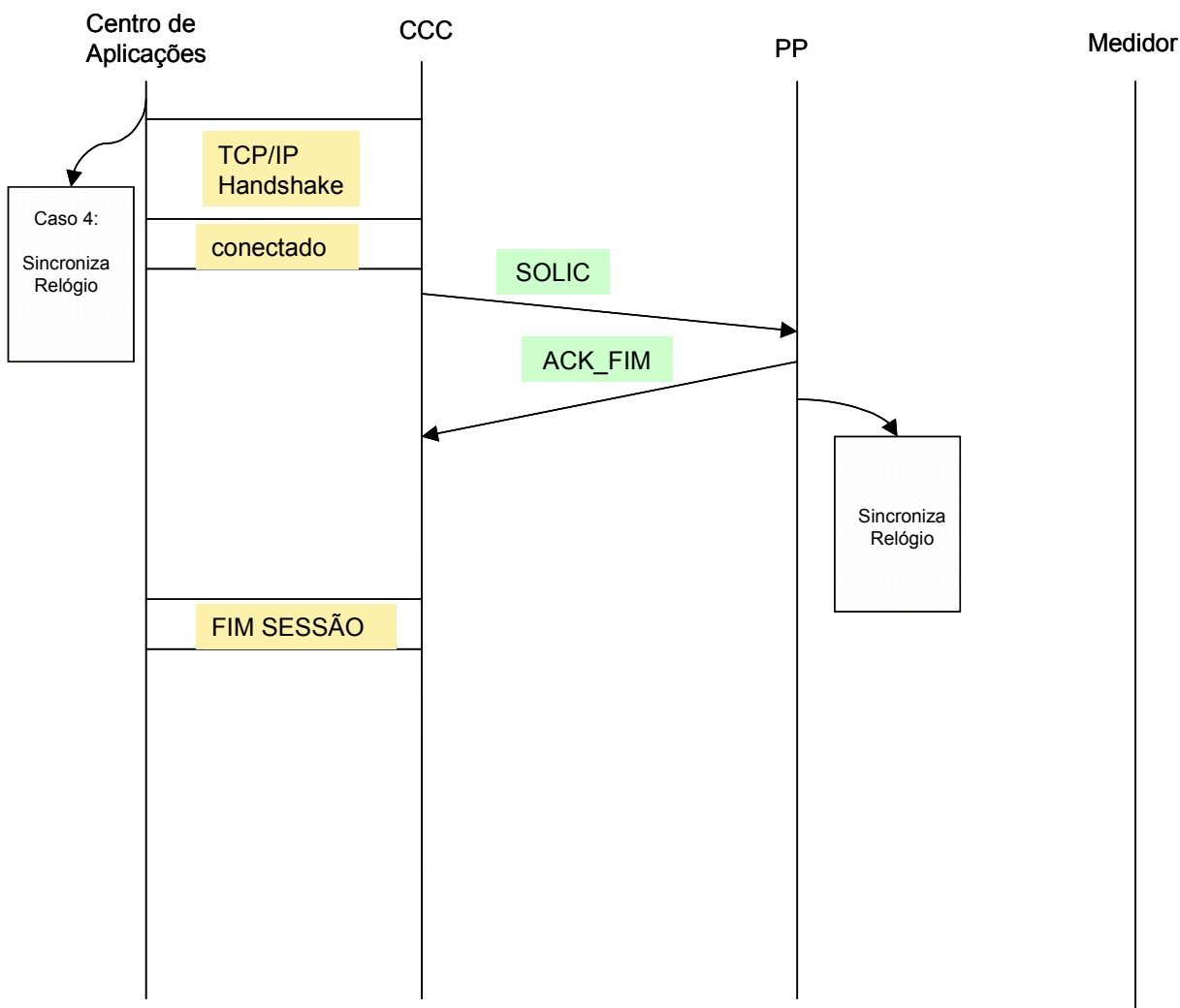


Figura 44 – Sincronização do Relógio do Ponto de Presença

Caso 5: Corte e Re-ligamento

Nesse exemplo da figura 45, o Centro de Aplicações (CA) envia um comando de corte ao medidor. O comando é enviado à chave de corte de energia do medidor.

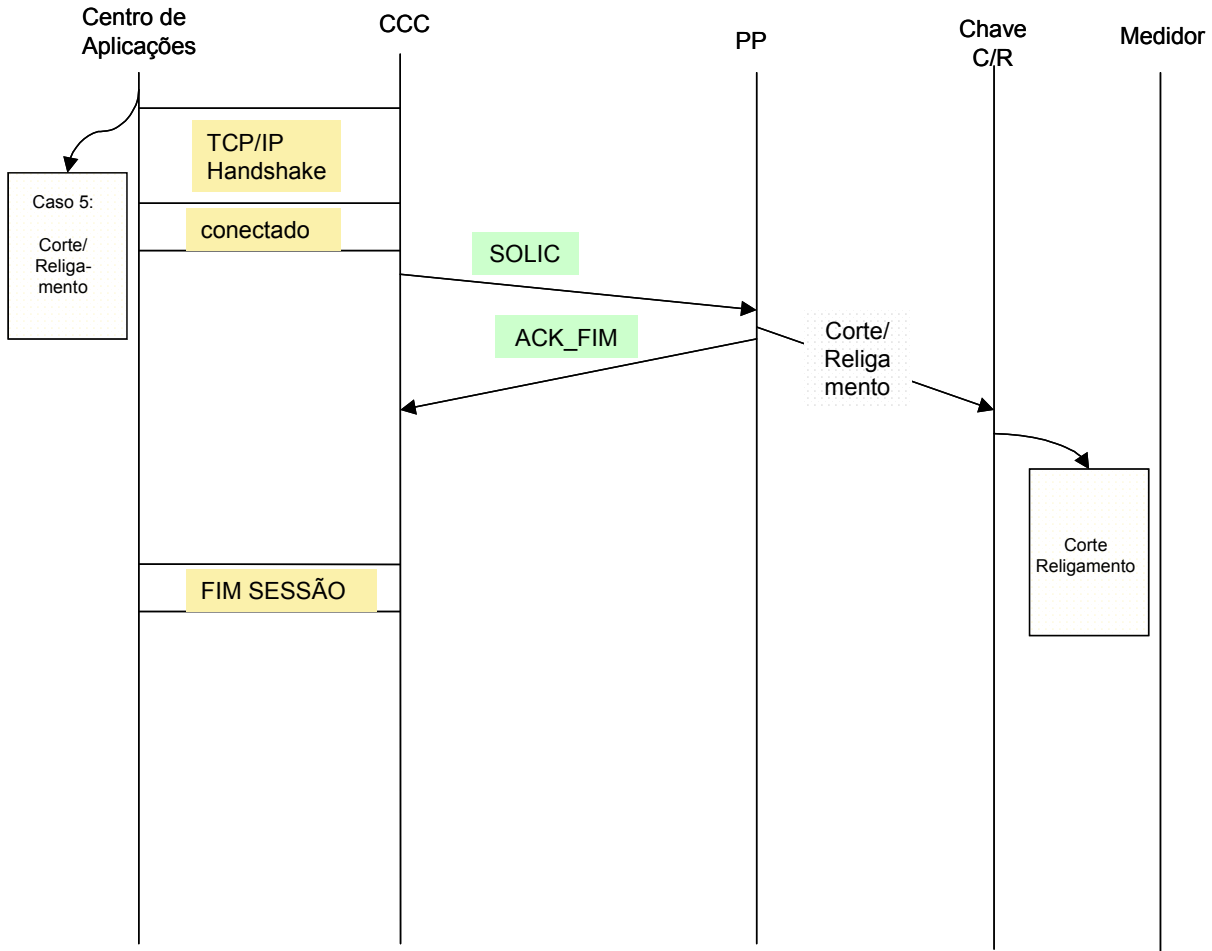


Figura 45 – Corte e Re-ligamento

Caso 6: Solicitação de leitura do medidor com resposta composta

Nesse exemplo da figura 46, o Centro de Aplicações (CA) solicita uma leitura do medidor porém com várias respostas (resposta composta). Os pacotes trocados são os mesmos entre o CA e CCC, porém o retorno de um comando SOLICRESP do PP ao CCC que será feito com várias respostas é através da mensagem ACK_COM para cada comando RESPOSTA recebido do medidor.

A cada mensagem ACK_COM recebida, o CCC envia um COM_ACK ao PP.

A cada RESPOSTA recebida pelo PP, é enviada uma mensagem ACK ao medidor.

Esse processo continua até a última resposta que é sinalizada pelo PP ao CCC pela mensagem ACK_FIM. O processo termina como descrito no caso 1.

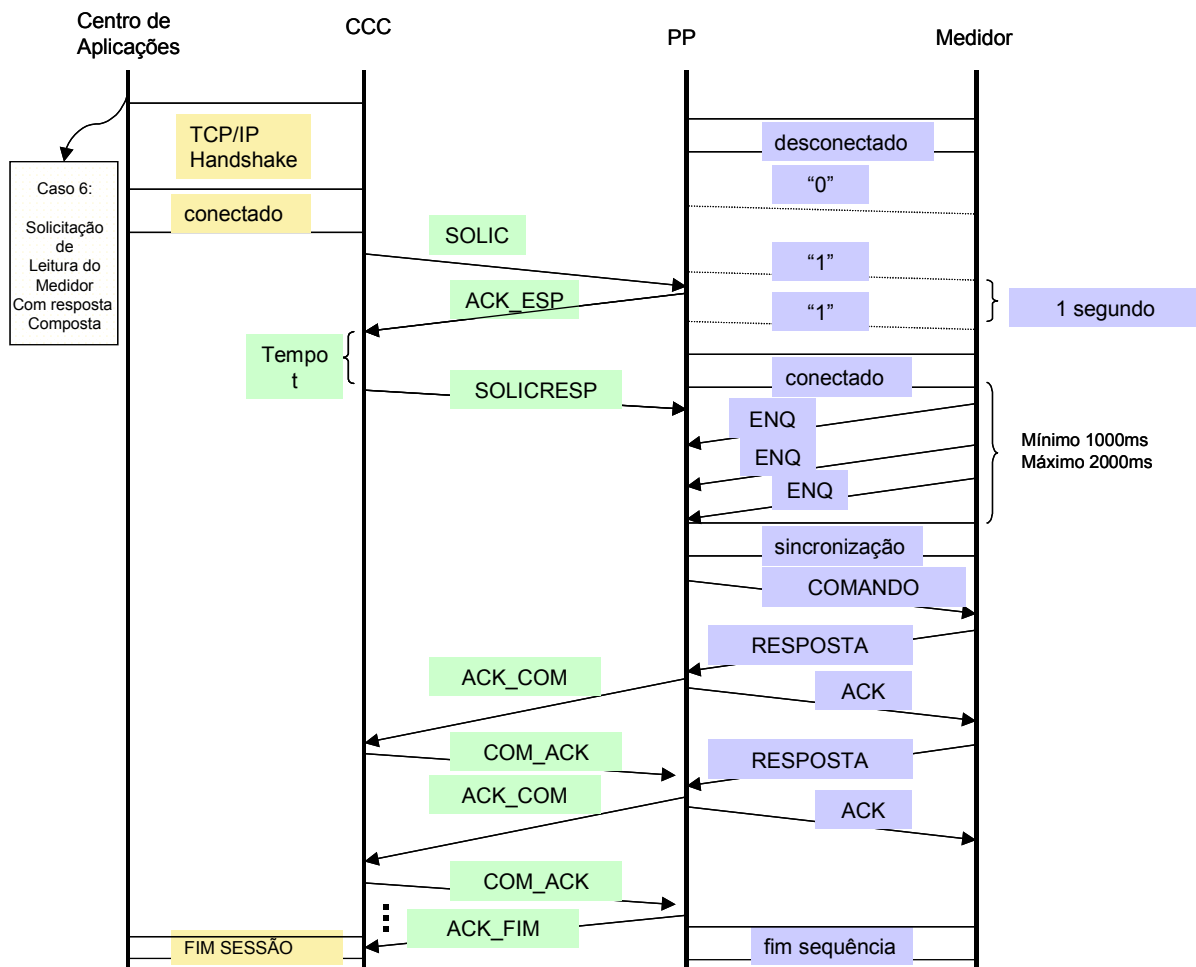


Figura 46 – Solicitação de leitura do medidor com resposta composta

Anexo V - Comandos NBR 14522

Os Comandos a seguir são implementados para comunicação com o medidor:

Parâmetros

- 29 – Alteração da data
- 30 – Alteração da hora
- 31 – Alteração do Intervalo de demanda
- 32 – Alteração dos feriados nacionais
- 33 – Alteração das constantes de multiplicação
- 35 – Alteração dos segmentos horários
- 36 – Alteração do horário reservado
- 37 – Alteração da condição de ocorrência do registrador
- 38 – Inicialização do registrador
- 53 – Inicialização da carga de programa
- 54 – Transferência de programa
- 55 – Finalização de carga de programa
- 63 – Alteração da condição da reposição de demanda automática
- 64 – Alteração do horário de verão
- 65 – Alteração do conjunto 2 de segmentos horários
- 77 – Alteração dos segmentos horários dos sábados, domingos e feriados
- 78 – Alteração do horário composto
- 79 – Alteração da condição de visualização dos códigos do mostrador
- 39 – Informação de comando não implementado
- 40 – Informação de ocorrência no registrador
- 47 – Alteração da forma de cálculo de demanda máxima
- 66 – Alteração das grandezas de canais
- 67 – Alteração de tarifas de reativos
- 90 – Alteração do modo de apresentação de grandezas no display

Leitura

- 20 – Leitura de parâmetros com reposição de demanda

- 21 – Leitura de parâmetros sem reposição de demandas atuais
- 22 – Leitura de parâmetros sem reposição de demandas anteriores
- 51 – Leitura de parâmetros sem reposição de demanda, com leitura de memória de massa.
- 23 – Leitura de registradores após a última reposição de demanda
- 24 – Leitura de registradores relativos à última reposição de demanda
- 25 – Leitura de períodos de falta de energia
- 26 – Leitura de contadores da memória de massa desde a última reposição de demanda
- 27 – Leitura de contadores da memória de massa anteriores à última reposição de demanda
- 52 – Leitura dos contadores de memória de massa
- 28 - Leitura dos registros de alterações
- 41 – Leitura de registradores parciais anteriores do canal 1
- 44 – Leitura de registradores parciais atuais do canal 1
- 42 – Leitura de registradores parciais anteriores do canal 2
- 45 – Leitura de registradores parciais atuais do canal 2
- 43 – Leitura de registradores parciais anteriores do canal 3
- 46 – Leitura de registradores parciais atuais do canal 3

Anexo VI - Temporizadores do sistema

Os temporizadores descritos a seguir são implementados para suportar os protocolos de comunicação descritos no documento [5] e no anexo V, referente à arquitetura do sistema.

1. Temporizadores de camada 2 - enlace:

Tempo de transmissão:

- Pacotes do canal de envio: os pacotes no canal de retorno devem ser enviados de forma tal que :
 1. Não existam 2 bytes no pacote que estejam separados por um tempo maior que **3ms**.
 2. O pacote todo deve ser transmitido dentro de **120%** do menor tempo para aquele quadro. O menor tempo é definido como o tempo de transmissão de um pacote sem nenhum espaço entre os bytes.
- Pacotes do canal de retorno:
 1. A transmissão do primeiro byte da mensagem do PP deve iniciar em uma janela entre **2 e 5** vezes o byte depois que a potência de energia de transmissão atingir **90%** de seu valor final.
 2. Os pacotes do canal de retorno devem ser transmitidos de forma que não existam 2 bytes no pacote que estejam separados por um tempo maior que **260µs** (tempo de 1 byte). Não devem existir espaços entre os bits dentro de um byte.

Tempo de resposta dos quadros:

- O campo MSGSEQ deve ser incrementado por quem originou o número. O número de seqüência deve ser incrementado quando:
 1. Uma resposta é recebida com o mesmo número de seqüência originado ou
 2. Excedeu o número máximo permitido de tentativas de transmissão (retransmissões). O MSGSEQ não muda se a mensagem deve ser retransmitida, situação que ocorre somente quando a resposta ou reconhecimento (ack) não foi recebido dentro de um período de tempo **de 15ms** e não excedeu número máximo de retransmissões para essa mensagem.

Tempo de entre o retorno de ACK ESP do PP e o envio de uma SOLICRESP pelo CCC: este tempo foi criado de forma a possibilitar a um ganho de tempo e melhor racionamento do mesmo para resposta do PP quando não estiver pronto a responder no momento do primeiro comando enviado pelo CCC.

Esse tempo está especificado em **1seg**.

Referências Bibliográficas

- [1] <http://www.telecom.ksu.edu/cable/history.html> - Learn about the beginning and development of Cable TV (último acesso 2006).
- [2] República Federativa do Brasil; *Lei do Cabo*; Lei nº 8.977, de 6 de janeiro de 1995.
- [3] Donald Raskin e Dean Stoneback; *Return Systems for Hybrid Fiber/Coax Cable Networks* - Prentice Hall 1998.
- [4] Walter Ciciora, James Farmer, David Large; *Modern Cable Television*; Morgan Kaufman; 1999.
- [5] Larry Peterson et al; *Computer Networks*, Morgan Kauffman, 1996.
- [6] Estudo da Viabilidade de um Sistema de Automação de Medição de Energia Elétrica via Cabos - SAMEEC® – Parte I - Etapa 2: Pesquisa e análise tecnológica e regulatória para a comunicação em redes físicas - Relatório 2 - Avaliação das Soluções (Redes x Tecnologias) Outubro 2002.
- [7] Estudo da Viabilidade de um Sistema de Automação de Medição de Energia Elétrica via Cabos - SAMEEC® – Parte I - Etapa 3. Novembro 2002.
- [8] ABNT / CB-03 Comissão de estudo de medidores eletrônicos de energia elétrica – NBR 14522 – Intercâmbio de Informações para sistemas de medição de energia elétrica – Padronização.
- [9] ABNT, NBR14519 – Medidores eletrônicos de energia elétrica (estáticos) – Especificação; maio 2000.
- [10] SCTE – HMS – Hybrid Fiber Coax Outside Plant Status Monitoring - Physical Layer (PHY) Specification V1.0 <http://www.scte.org/documents/pdf/ANSISCTE2512001HMS005.pdf> (último acesso 2006)
- [11] SCTE – HMS - Hybrid Fiber Coax Outside Plant Status Monitoring – Media Access Control Layer(MAC)Specification V1.0. <http://www.scte.org/documents/pdf/ANSISCTE2522001HMS004.pdf> (último acesso 2006)
- [12] ANEEL, Resolução No. 456 de 29 de novembro de 2000.
- [13] Dória R. (1998); Um projeto piloto de tarifa amarela; a experiência da COPEL. Anais do Efficientia 98 – Seminário nacional de combate ao desperdício de energia elétrica.
- [14] Alves, T. M. M. (1998); Um projeto piloto de tarifa binomial; a experiência da CEMIG. Anais do Efficientia 98 – Seminário nacional de combate ao desperdício de energia elétrica.
- [15] ANEEL, Qualidade em Energia Elétrica - Sistema de Monitoração da Qualidade de Energia Elétrica - www.aneel.gov.br – Distribuição de Energia/Qualidade de Serviço (último acesso em 12/05/2006)
- [16] Estudo da Viabilidade de um Sistema de Automação de Medição de Energia Elétrica via Cabos - SAMEEC® – Parte I - Etapa 5. DEZEMBRO 2002.
- [17] Estudo da Viabilidade de um Sistema de Automação de Medição de Energia Elétrica via Cabos - SAMEEC® – Parte I - Etapa 7. MAIO 2003.
- [18] Estudo da Viabilidade de um Sistema de Automação de Medição de Energia Elétrica via Cabos - SAMEEC® – Parte I - Etapa 3: Especificação da Arquitetura e protocolos do sistema - Relatório R3 - Abril 2004.
- [19] www.plcforum.org - Fórum Power Line Communication (último acesso 2006)
- [20] www.ist-opera.org - site do projeto OPERA (Open PLC European Research Alliance) (último acesso 2006)
- [21] www.copel.com – site da COPEL (Companhia Paranaense de Energia). (último acesso 2006)
- [22] Artigo gerado pelo projeto no site do Citenel III - <http://citenel.aneel.gov.br/anais/arquivos/71.pdf> (último acesso 2006)