

ESCOLA POLITÉCNICA
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
ENERGIA E AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS



Uso de Power Line Carrier
em Iluminação Pública

Érico Luis de San Vicente
Fredy Takao Aoyagui

PROJETO DE FORMATURA / 2004

**ESCOLA POLITÉCNICA
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
ENERGIA E AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS**



PROJETO DE FORMATURA / 2004

Uso de Power Line Carrier em Iluminação Pública

ALUNOS: Érico Luis de San Vicente / Fredy Takao Aoyagui

ORIENTADORES: José Aquiles Baesso Grimoni / Octávio Ferreira Affonso

COORDENADOR: Lourenço Matakas

SINOPSE:

O sistema público de iluminação é muito importante para uma cidade e seus moradores, por trazer incontestáveis benefícios econômicos e sociais. Além de realçar a beleza da paisagem noturna, a iluminação adequada das vias públicas contribui efetivamente para reduzir os acidentes de trânsito e a criminalidade dos centros urbanos, devendo, portanto, funcionar de modo eficiente. Todavia, é comum encontrarmos lâmpadas e/ou circuitos danificados, que ficam inoperantes durante a noite, ou ligados durante o dia todo. Além disso, as prefeituras no Brasil, que são encarregadas da manutenção destas redes, são cobradas pela energia consumida, considerando que todo o sistema funciona corretamente. A tecnologia Power Line Carrier, amplamente pesquisada em uso residencial, pode ser uma alternativa muito interessante para o sistema de iluminação pública, pois aumenta a sua eficiência, devido a uma manutenção mais rápida e a um preço mais justo, calculado com base na energia realmente utilizada. Este artigo busca explicar o funcionamento do sistema público de iluminação e analisar a viabilidade econômica do uso do PLC para tal fim.

**Aos meus colegas de Engenharia Elétrica da
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo, que tornaram a vida acadêmica uma
etapa muito feliz e agradável da minha
própria vida.**

Érico

AGRADECIMENTOS:

Agradeço a todos os fatores, sejam eles humanos ou naturais que de alguma forma, segundo o Teorema do Caos, auxiliaram a mim e ao meu companheiro de projeto a atingir os nossos objetivos.

Sumário:

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	9
2. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO	10
2.1 - Iluminação Pública	10
2.1.1 – Regulamentação do Mercado:	11
2.2 – O Sistema de Iluminação Pública:	12
2.2.1 Descrição dos componentes	13
3. PLC (POWER LINE CARRIER):	25
3.1 Características da tecnologia PLC	25
3.2 Regulamentação	25
3.3 Tecnologias atuais	26
3.3.1 X-10 PLC	26
3.3.2 Intellon CEBus	26
3.3.3 Echelon LonWorks	27
3.3.4 Adaptive Networks	28
3.3.5 PLUG-IN	28
3.4 PLC no mundo hoje	29
3.4.1 Projetos com PLC no Brasil	29
3.4.1.1 Iguaçu Energia	29
3.4.1.2 Projeto PLC CEMIG	31
3.4.1.3 Sistema de Controle e AMR da Powertech World Wide	34
3.4.2 Projetos com PLC no exterior	41
3.4.2.1 REMPLI	41
4. CONTEXTOS DOS SISTEMAS PLC	43
4.1 Modems PLC	44
4.1.1 High Tech Horizon	44
4.1.2 Itran Communications Ltd.	45
4.1.2.1 ITM1	45

4.1.2.2 ITMAC	46
4.1.2.2.1 ITC1 – Power Line Communications MAC (Media Access Controller)	46
4.1.2.2.2 SWM – Software MAC	46
4.1.3 nSine	46
4.1.4 Echelon	47
 5. PROJETO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM POWER LINE CARRIER (PLC):	 49
5.1 Arquitetura do sistema de iluminação utilizando o PLC.	49
5.2 O nó X	49
 6. VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE PLC NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA CIDADE DE SÃO PAULO	 51
6.1 Uso do PLC para a medição da energia.	51
6.2 Uso do PLC na manutenção da rede.	52
6.3 Considerações a respeito das contas acima efetuadas.	52
6.4 Estudo de viabilidade do PLC em sistemas propostos a partir da rede da cidade de São Paulo.	53
6.4.1 Agrupamento dos circuitos de iluminação pública.	53
6.4.1.1 Análise do uso do PLC na configuração proposta:	54
6.4.1.2 Observações a serem levadas em conta, com relação a esta estruturação do sistema de iluminação pública:	55
6.4.2 Agrupamento dos circuitos de iluminação pública e residencial de baixa tensão num mesmo transformador.	55
6.4.2.1 Funcionamento do sistema de iluminação para este caso:	57
6.4.2.2 Outros serviços disponibilizados nesta configuração.	57
6.4.2.3 Estudo Econômico	58
6.4.2.4 Observação	64
6.5 Novas possibilidades de uso de PLC.	64
 7. CONCLUSÃO	 67

8. ANEXO I	69
8.1 Modulação	69
8.1.1 Modulação de onda contínua	69
8.1.1.1 Modulação de onda contínua por amplitude	69
8.1.1.2 Modulação de onda contínua por ângulo	70
8.1.2 Modulação por pulsos	71
8.1.2.1 Modulação por pulsos analógica	72
8.1.2.2 Modulação por pulsos digital	72
8.2 Multiplexação do sinal	73
8.2.1 Spread Spectrum	74
8.2.2 OFDM	75
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	77

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Verificou-se nos últimos anos o desenvolvimento de tecnologias que permitem a troca de informações pela própria rede de distribuição elétrica. Inúmeros são os exemplos de pesquisas nessa área (realizadas por institutos, universidades, empresas e pelas próprias companhias de distribuição), visando não só aumentar a variedade de serviços fornecidos através da rede elétrica, como também, melhorar a eficiência no atendimento e reduzir as perdas provocadas por ligações clandestinas.

Este trabalho busca, por meio da utilização do PLC (Power Line Carrier), elaborar e analisar a viabilidade econômica de um sistema que permita controlar e verificar o correto funcionamento de um circuito de iluminação pública, que objetiva a redução dos gastos de prefeituras através da cobrança pelo consumo real de energia e não pelo número de lâmpadas em suas redes, bem como agilizar a correção de defeitos.

Levantamento de dados de sistemas típicos de iluminação pública e o estudo do funcionamento de diversos modelos de PLC serão efetuados antes do modelamento da alternativa selecionada.

A escolha deste tema foi motivada pela curiosidade dos alunos na utilização da rede de distribuição elétrica para outras finalidades, tornando-a muito mais útil e eficiente, tanto para as empresas responsáveis pelas mesmas, quanto para os governos e municípios.

2. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

2.1 - Iluminação Pública

O medo da escuridão é um sentimento muito primitivo. Desde os primórdios o homem utilizava-se de meios próprios para iluminar seus caminhos, sendo o fogo, o elemento principal.

A iluminação pública (IP) é essencial para a qualidade de vida da comunidade, sendo de fundamental importância para o desenvolvimento social e econômico do município e constitui-se num dos vetores para a segurança pública nos centros urbanos, no que se refere ao tráfego de veículos e de pedestres e à prevenção da criminalidade.

Esse tipo de iluminação valoriza e ajuda a preservar o patrimônio urbano, embeleza o bem público, propicia a utilização noturna de atividades diversas como: lazer, comércio, cultura e outras.

A IP corresponde a aproximadamente 7% da demanda nacional e a 3,5% do consumo total de energia no Brasil. Estima-se que as redes de IP possuam cerca de 14,5 milhões de pontos e totalizavam uma potência instalada de 2,471 MW, equivalente a um consumo anual de 10,674 GWh/ano, segundo dados do último balanço energético, da ELETROBRAS / PROCEL (2002).

Até 1988 as empresas de energia eram responsáveis totalmente pelos sistemas de iluminação pública, quando então a Nova Constituição Federal, em seu capítulo IV, artigo 30, inciso V, atribuiu poder aos municípios para legislar sobre a organização e a responsabilidade por prestar, manter e ampliar tais operações. As prefeituras, em geral, mantiveram os padrões adotados pelas empresas.

Os sistemas de iluminação pública das concessionárias baseiam-se nas regras construtivas estabelecidas pela norma ABNT – NBR 5101 – Iluminação Pública – abril/1992, sendo que cada empresa estabeleceu procedimentos técnicos e critérios básicos próprios para a elaboração de projetos de redes de distribuição urbanas situadas em suas áreas de concessão.

No caso da cidade de São Paulo e da Cidade Universitária, a concessionária é a AES-Eletropaulo. O sistema utilizado por esta empresa consiste em dois circuitos monofásicos de 240V com um condutor neutro em comum. Estes circuitos são intercalados, de modo que, no caso de falha em um deles, a via não fique totalmente às escuras, vide Figura 1.

A prefeitura da cidade universitária, por sua vez implementou na Avenida Professor Luciano Gualberto no ano de 2003 um sistema trifásico de baixa tensão, onde sob cada poste duas fases eram utilizadas para a alimentação das lâmpadas. Tais conexões também eram intercaladas. Exemplo: poste 1, fases AB; poste 2, fases BC; poste 3, fases CA, e assim sucessivamente.

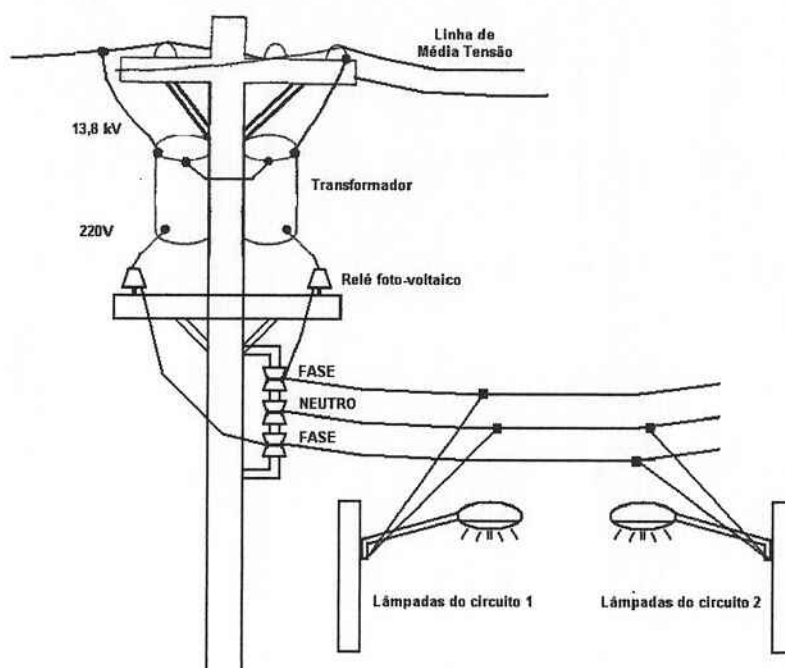


Figura 1 – Sistema de iluminação predominante da AES-Eletropaulo

2.1.1– Regulamentação do Mercado:

A Resolução ANEEL nº 456, de 29 de novembro de 2000, estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. Abaixo, encontram-se os principais artigos que definem o serviço de IP e ilustram a forma de pagamento da energia utilizada pelo mesmo:

Art. 20, VI – “O fornecimento de energia elétrica para iluminação de ruas, praças, avenidas, túneis, passagens subterrâneas, jardins, vias estradas, passarelas, abrigos de usuários de transportes coletivos e outros logradouros de condomínio público, de uso comum e livre acesso, de responsabilidade de pessoa jurídica de direito público ou por esta delegada mediante concessão ou autorização, incluindo o fornecimento destinado à iluminação de monumentos, fachadas, fontes luminosas e obras de arte de valor histórico, cultural ou ambiental, localizados em áreas públicas e definidos por meio de legislação específica, excluído o fornecimento de energia

elétrica que tenha por objetivo qualquer forma de propaganda ou publicidade”.

Art. 60, “Para fins de faturamento de energia elétrica destinada à iluminação pública ou iluminação de vias internas de condomínios fechados, será de 360 (trezentos e sessenta) o número de horas a ser considerado como tempo de consumo mensal, ressalvando o caso de logradouros públicos que necessitem de iluminação permanente, em que será de 24 (vinte e quatro) horas por dia do período de fornecimento”.

2.2 – O Sistema de Iluminação Pública:

O diagrama unifilar do sistema de iluminação pública típico pode ser visto na Figura 2. Existem algumas variantes desta instalação como a utilização de transformadores em paralelo e a conexão direta no circuito de baixa tensão da concessionária, mas estes não serão detalhados aqui. A lista dos componentes, numeradas de acordo com a figura é descrita abaixo:

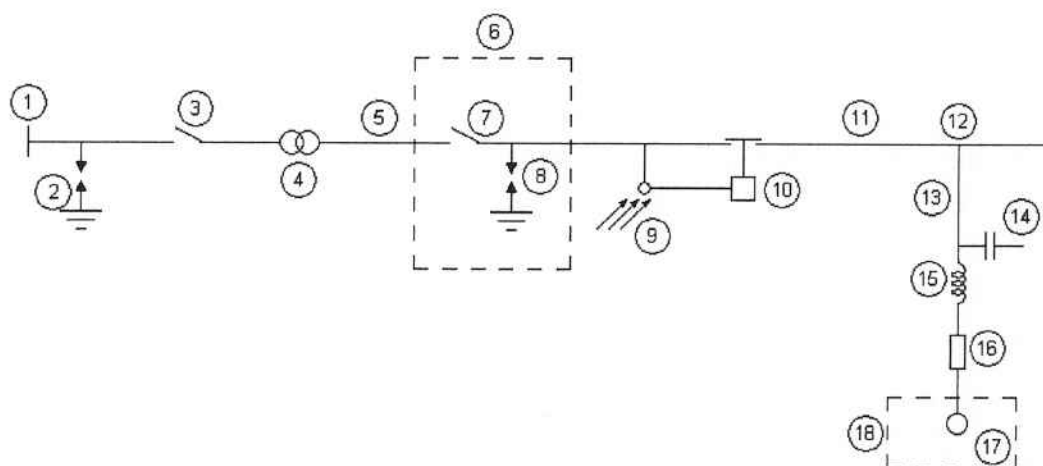


Figura 2 – Diagrama unifilar do sistema de iluminação típico.

1. Rede de distribuição de média tensão (3,8 ou 13,8 kV)
2. Pára-raio de linha de MT (média tensão)
3. Chave fusível de distribuição
4. Transformador
5. Cabo de saída
6. Proteção de IP

7. Disjuntor
8. Pára-raios de linha de BT (baixa tensão)
9. Relé fotoelétrico
10. Chave magnética
11. Cabos de alimentação do sistema
12. Conector de derivação
13. Cabo de derivação
14. Capacitor
15. Reator
16. Ignitor
17. Lâmpada
18. Luminária

2.2.1 Descrição dos componentes

1- Rede de distribuição de média tensão (MT)

A rede de distribuição pertence à concessionária de energia elétrica e tem a função de transportar a energia elétrica para as diferentes regiões da cidade. Opera em sistema trifásico com tensões de 3,8 kV (redes antigas) e 13,8 kV (redes novas ou remodeladas) na frequência de 60 Hz.

2- Pára-raios de linha de média tensão (MT)

O pára-raios é um equipamento de proteção, pertencente à concessionária, que tem por função limitar os impulsos de tensão que porventura ocorram na rede de MT, a um trecho da rede de MT e evitar que se propague pela rede de BT (baixa tensão). O dispositivo não elimina os efeitos do impulso, mas limita-os a valores aceitáveis.

3- Chave fusível de distribuição

A chave fusível de distribuição é também um dispositivo de proteção que tem por função interromper o circuito se ocorrerem sobrecorrentes. Também é de propriedade da concessionária.

4- Transformador

A partir deste equipamento as instalações pertencem ao município. A função deste equipamento é de reduzir a tensão de distribuição (13,8 ou 3,8 kV) para um valor de tensão adequado para utilização nos equipamentos do consumidor (240 V no caso).

Os transformadores utilizados são monofásicos, refrigerados por convecção natural de óleo e ar (ONAN) e com tensões primárias nominais de 2,19 kV e/ou 7,62 kV e tensão secundária de 240/120 V.

As potências adquiridas hoje são de 7,5, 10, 15 e 25 kVA, sendo que existem instalados na rede transformadores de 5 kVA.

5- Cabo de saída

Os cabos de saída são cabos de cobre de $25 \text{ mm}^2 - 0,6/1,0 \text{ kV} - 70^\circ\text{C}$ que fazem a interligação entre o transformador e a proteção de IP.

6- Proteção de IP

A proteção de IP tem a função de proteger o circuito de sobrecorrentes e descargas atmosféricas. Constitui-se de um invólucro de alumínio aonde são instalados um disjuntor e um pára-raios de baixa tensão de óxido de zinco, dotado de cabos para conexões com os cabos de saída e os cabos do comando de IP.

7- Disjuntor

Tem a função de proteger o circuito contra sobrecargas e curto-circuito. São bipolares com dispositivo térmico, para as sobrecargas, e magnético, para curto-circuito, com corrente de disparo entre 5 e 10 vezes I_n (corrente nominal). São utilizados nas correntes de 50, 70 e 100 A, para os transformadores de 7,5, 10 e 15 kVA respectivamente e, 2 x 70 A, para os transformadores de 25 kVA, todos com capacidade de curto-circuito (I_{cc}) de 5kA.

8- Pára-raios de linha de BT

Tem a função de proteger o circuito contra surtos de tensão, normalmente de origem atmosférica ou chaveamento. Exerce a mesma função do pára-raios de média tensão, operando em valores inferiores. Este componente deixou de ser utilizado há

algum tempo nos sistemas de iluminação pública.

9- Relé fotoelétrico

O relé fotoelétrico monitora a luminosidade do local e faz o acionamento da IP. Pelas características de operação existem dois tipos chamados de NA (normalmente abertos) e NF (normalmente fechados). Os relés NF mantêm os contatos fechados na ausência de luz enquanto que, os NA mantêm os contatos abertos. Constitui-se de uma célula fotoelétrica que, quando submetida à ação da luz, reduz a sua resistência, permitindo maior passagem de corrente. Esta corrente, por sua vez, aciona outros circuitos que podem ser de três tipos: eletromecânicos, térmicos e eletrônicos. O sistema eletromecânico é composto por uma bobina que sob a ação de um valor mínimo de corrente modifica a posição de uma chave, podendo ser ligado ou desligado conforme o tipo de relé. O sistema térmico é composto por lâminas bimetálicas que, quando percorridas por uma corrente, são aquecidas por efeito Joule e, na sua deformação, provocam a modificação da posição da chave. O sistema eletrônico monitora a corrente da fotocélula e, por meio de circuitos eletrônicos especialmente construídos, produz ou não uma saída de sinal.

O sistema eletromecânico tem uma resposta rápida às variações de corrente e, quando ocorrem alterações temporárias na luminosidade do local, provocam desligamentos ou acionamentos incorretos, como por ocasião da passagem de nuvens ou descargas atmosféricas. No sistema térmico, por apresentar uma maior inércia, estes casos ocorrem com uma frequência muito menor. O sistema eletrônico apresenta uma possibilidade praticamente ilimitada de manipulação da saída, mas, apresenta uma possibilidade de falha muito maior já que, as redes aéreas (a grande maioria dos circuitos de IP em São Paulo), estão sujeitas a sobretensões de origem atmosférica, por descarga direta ou indireta. Atualmente é utilizado o sistema térmico e estão sendo feitos testes de campo com os relés eletrônicos.

10- Chave Magnética

A chave do relé fotoelétrico não possui capacidade de corrente para acionar diretamente o circuito de iluminação e faz-se necessária a utilização da chave magnética para o comando do circuito. Outro fator levado em consideração para a utilização deste dispositivo é evitar o desligamento da IP quando ocorre uma falha do

relé fotoelétrico. O dispositivo é construído de maneira que, quando da ocorrência da falha mencionada, o circuito permaneça ligado.

Constitui-se de uma chave bipolar, acionada por uma bobina que, por sua vez, é comandada pelo relé fotoelétrico. Inclui também a base para instalação do relé fotoelétrico e dos cabos para conexão com a proteção de IP e com os cabos de alimentação. O conjunto é de um único tipo, para a corrente de 100 A, para evitar a diversidade de estoques e permitir a flexibilidade na manutenção.

As perdas de potência neste dispositivo se resumem ao consumo da bobina (35 VA), que ocorre somente no período diurno.

Conforme dados obtidos do ILUME, cerca de 80% do sistema de iluminação pública da cidade de São Paulo possui os relés fotoelétricos e chaves magnéticas junto aos transformadores, ou seja, é um comando pontual do circuito. Nos outros 20% dos circuitos, cada luminária possui o seu próprio relé fotoelétrico que comanda a lâmpada diretamente.

11- Cabos de alimentação do sistema

Os cabos de alimentação do sistema têm a função de conduzir a energia até os pontos de consumo. Quando existe rede aérea da concessionária no local, são utilizados os postes da concessionária para instalar os cabos e, caso contrário, a rede será subterrânea. Nas redes aéreas são utilizados cabos de alumínio, com seção de 16 mm², isolados com PE – 70 ° C (polietileno) para 0,6/1,0 kV e, nas redes subterrâneas, cabos de cobre, com seções de 16,25 e 35 mm² isolados com PVC – 70° C (cloreto de polivinila) para 0,6/1,0 kV.

A perda de energia nos cabos de distribuição também é consequência do efeito Joule. Como a corrente é dependente da carga e, portanto, constante, as perdas são proporcionais à resistividade do material condutor, seções do fio e comprimento do circuito.

O cobre tem resistividade menor do que o alumínio, mas, nas linhas aéreas, utilizam-se condutores de alumínio em função de sua menor densidade. Justifica-se tal opção comparando-se um condutor de alumínio com um condutor de cobre, para capacidade de corrente similar e constata-se que o condutor de alumínio, mesmo com seção maior, tem menor peso, o que reduz a carga nos postes.

12- Conector de derivação

A função dos conectores de derivação é interligar eletricamente os cabos de distribuição com os cabos de derivação.

13- Cabo de derivação

Os cabos de derivação conduzem a energia da rede de distribuição até os equipamentos auxiliares da lâmpada.

São cabos de cobre com seção de $2 \times 2,5 \text{ mm}^2$, isolados com PVC para 450 / 750 V e capa também de PVC. São fornecidos em diversos comprimentos com tomadas padronizadas em uma das pontas.

A corrente no condutor é muito inferior à capacidade de corrente do condutor e o comprimento do cabo não excede a 25 m, o que resulta em pequenas perdas neste trecho.

14- Capacitor

O capacitor tem a função de elevar o fator de potência do circuito. A carga indutiva do circuito, representada pelo reator, produz uma defasagem entre a corrente e a tensão. Tal defasagem implica em solicitação adicional de corrente, que resulta numa potência ativa suficiente para abastecer a carga. Esta corrente adicional traz como consequência a elevação das perdas em todo o circuito a montante e uma elevação da potência aparente demandada.

São utilizados capacitores de filme de propileno metalizado autoregenerativos. A característica autoregenerativa faz com que, em caso de rompimento do dielétrico, a consequente descarga entre as placas produza a regeneração do isolamento e a segregação da região do problema, evitando assim o curto-circuito do capacitor, embora produza uma diminuição da capacitância.

A diminuição da capacitância ou abertura das conexões resulta numa diminuição do fator de potência e, conseqüentemente, a elevação da corrente do circuito. A falha individual não é detectada por nenhum dispositivo de proteção e, como a falha não afeta a operação da lâmpada, o problema só será identificado quando ocorrer falha idêntica em outros capacitores que produzam correntes suficientemente altas para sensibilizar o disjuntor da proteção de IP.

15- Reator

As lâmpadas à descarga têm como característica uma impedância que é reduzida com a elevação da corrente, exigindo a instalação de um limitador desta no circuito, pois, caso contrário, ela se elevaria até a destruição do componente. Este papel é desempenhado pelo reator que, além disso, mantém a lâmpada operando dentro dos limites adequados estabelecidos.

16- Ignitor

Diferentemente das lâmpadas a vapor de mercúrio, que possuem um eletrodo auxiliar para possibilitar a partida da lâmpada, as lâmpadas a vapor de sódio e metálicas, necessitam de um ignitor de partida. O ignitor tem a função de produzir um elevado pulso de tensão na lâmpada para que sejam ionizados os gases existentes no tubo de descarga, permitindo assim, o estabelecimento de uma corrente elétrica em seu interior.

17- Lâmpada

A cidade de São Paulo possui um dos maiores acervos de IP do mundo, segundo a Secretaria de Vias Públicas de São Paulo, com 460.000 unidades de iluminação ou 525 mil lâmpadas espalhadas por 47 mil ruas, praças e avenidas. Esse acervo totaliza 15 mil km de ruas, com uma potência instalada de 141 MW, e média de consumo na ordem de 50 GWh/mês ou 600 GWh/ano. Cerca de 150 mil lâmpadas são trocadas por ano, seja pela queima, destruição por vandalismo ou roubo das mesmas. A operação e a manutenção desse sistema mobilizam 90 equipes, que hoje realizam cerca de 10.000 intervenções de manutenção por mês. O gasto com energia representa a maior despesa da iluminação pública, contribuindo com 46%, em média, vindo em seguida a manutenção (O&M) do sistema com 39% e a ampliação do mesmo com 8%.

As lâmpadas atualmente utilizadas pelo ILUME são do tipo a vapor de sódio de alta pressão (12% do total), apesar de ainda haver um grande número de lâmpadas a vapor de mercúrio (87%), as quais, devido à alta toxicidade e características técnicas (metade da eficácia luminosa se comparadas com as lâmpadas a vapor de sódio), vêm sendo gradativamente substituídas pelas primeiras.

Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão:

A lâmpada de vapor de sódio de alta pressão HPS (“High Pressure Sodium”), é constituída de um tubo de descarga cilíndrico e translúcido, com um eletrodo em cada extremidade. O tubo de descarga é sustentado por uma estrutura mecânica, sob vácuo, no interior de um bulbo de vidro de borosilicado com formato ovóide ou cilíndrico. A figura 3 apresenta a estrutura interna de uma lâmpada HPS com bulbo cilíndrico.

O vácuo no interior do bulbo se torna necessário para manter a temperatura da parede do tubo de descarga constante, pois esta influi na distribuição espectral da luz emitida, eficácia luminosa e na tensão de arco da lâmpada.

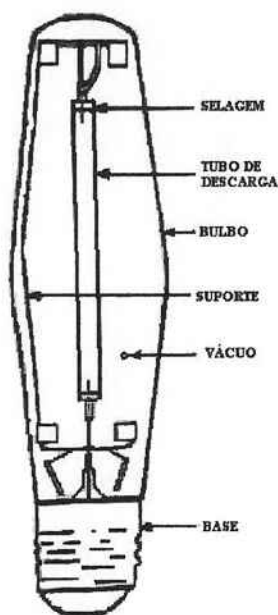


Figura 3 – Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão.

Em lâmpadas convencionais, o tubo de descarga contém de sódio a pressão de 0,13 atmosferas, além de pequenas quantidades de mercúrio a pressão de 0,5 a 2 atmosferas e xenônio, que atua como gás de partida, gerando calor para vaporizar o mercúrio e o sódio. O mercúrio, na forma de vapor e a uma pressão significativamente superior ao sódio, influi na distribuição espectral da luz emitida e reduz a tensão de arco da lâmpada.

O tubo de descarga possui uma secção reduzida, com espaço suficiente para alojar apenas um eletrodo em cada extremidade. O eletrodo, mostrado em detalhe na

figura 4, é construtivamente similar ao da lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão. A haste de tungstênio é fixada por solda no interior de um tubo passante de nióbio que funciona como uma camisa e oferece um grau de liberdade para o posicionamento do tubo de descarga no interior do bulbo.

O bulbo das lâmpadas HPS é em geral transparente. As lâmpadas apresentam um baixo índice de reprodução de cor ($20 < Ra < 25$), porém, uma elevada eficácia luminosa (120 lm/W para a lâmpada de 400W) e vida útil longa (24000 horas ou mais).

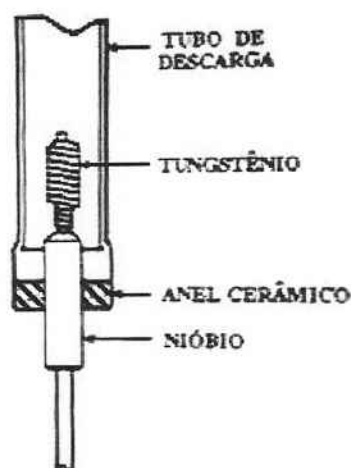


Figura 4 – Detalhes do eletrodo de uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão.

Para a estabilização da lâmpada, a utilização de reatores indutivos não regulados é atualmente a solução utilizada sob o aspecto técnico-econômico. Para a ignição da lâmpada, aplicam-se pulsos de tensão com amplitude de 1,8 a 5,0 kV e largura de 1ms a 15ms entre os seus eletrodos. Nas lâmpadas HPS convencionais, esta função é desempenhada por um dispositivo externo à lâmpada, conhecido por ignitor. Existem lâmpadas HPS especiais, as quais serão descritas no próximo item, que apresentam um dispositivo de ignição interno e que por isso são intercambiáveis com lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão.

Os pulsos de alta tensão são aplicados entre os eletrodos da lâmpada somente até que se estabeleça a circulação de corrente pelo tubo de descarga, devendo ser inibido em seguida. As normas internacionais especificam que o ignitor deve fornecer pelo menos um pulso a cada ciclo da rede (50 ou 60Hz), o qual deve

estar sobreposto à tensão da rede no instante de pico (máxima amplitude) da senóide, conforme mostra a figura 5.

A maioria dos ignitores comerciais utiliza basicamente quatro componentes: capacitores, resistores, um dispositivo eletrônico de chaveamento e um transformador elevador de tensão. Pulsos de baixa tensão são obtidos a partir da descarga de um capacitor sobre uma resistência de valor baixo, os quais estão amplificados por um transformador elevador de tensão, cujos terminais do seu enrolamento secundário (com elevado número de espiras) encontram-se ligados em série com a lâmpada.

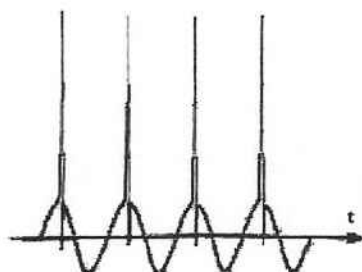


Figura 5 – Forma de onda típica de tensão de ignição aplicada nos terminais de lâmpadas HPS.

Os ignitores podem ser classificados em dois tipos:

- a) Ignitor conjugado, utilizado em conjunto com reator indutivo com derivação, conforme mostrado na figura 6a e;
- b) Ignitor independente do reator, apresentado figura 6b no anexo.

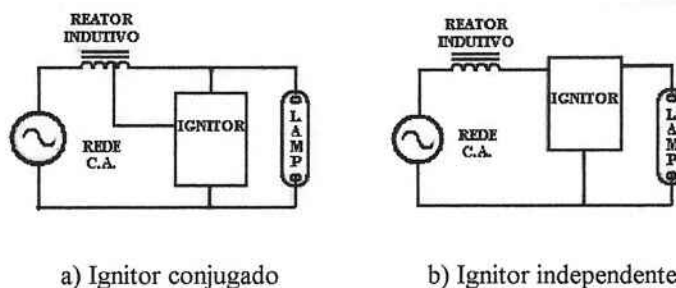


Figura 6 – Ignitores para lâmpadas HPS

O ignitor conjugado é utilizado em conjunto com um reator indutivo, cujo enrolamento apresenta uma derivação com características especificadas por norma,

que desempenha a função do transformador elevador de tensão.

Já a configuração independente possui um transformador com isolamento compatível incorporado ao ignitor. Desta forma o reator indutivo não fica submetido aos pulsos de alta tensão. Seu custo, porém é mais elevado e o comprimento da fiação que interliga o ignitor com a lâmpada não pode exceder um dado comprimento para evitar uma atenuação excessiva na amplitude dos pulsos gerados.

A tensão de arco da lâmpada é fortemente dependente da temperatura e aumenta naturalmente ao longo da sua vida útil. Portanto, as lâmpadas HPS necessitam de luminárias com características geométricas especiais, para limitar o aquecimento do tubo de descarga pela reflexão das componentes infravermelhas do espectro geradas pela lâmpada. Caso contrário, pode ocorrer aumento anormal da tensão de arco e uma redução significativa da vida útil da lâmpada.

Quando se desliga uma lâmpada HPS alimentada por um reator indutivo com ignitor convencional, a sua reignição só é possível após 3 a 7 minutos, intervalo de tempo necessário para o esfriamento da lâmpada.

A tabela a seguir apresenta as principais características de alguns modelos comerciais de lâmpadas HPS convencionais com bulbo em forma ovóide utilizadas em instalações de iluminação pública.

Potência (W)	70	150	250	400
Fluxo luminoso (lm)	6500	14000	25000	47000
Eficácia luminosa (lm/W)	93	93	100	117
Comprimento total (mm)	156	227	227	292
Diâmetro máximo (mm)	72	92	92	122
Vida útil (horas)	24000	24000	24000	24000

Tabela 1 – características de alguns modelos de lâmpadas HPS

Pode-se verificar que a eficácia luminosa da lâmpada HPS é quase o dobro da lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão. Por outro lado, o investimento inicial para uma instalação com lâmpadas HPS é significativamente superior, mas a economia de energia ao longo da vida útil viabiliza a instalação.

Lâmpada HPS com dispositivo de ignição interno

As lâmpadas HPS com dispositivo de ignição interno são projetadas para serem intercambiáveis com lâmpadas de vapor de mercúrio, ou seja, utilizando o mesmo reator e dispensando o ignitor.

O tubo de descarga é monolítico e similar ao da lâmpada HPS convencional. Geralmente adiciona-se argônio ou neônio para reduzir a tensão de ignição e utiliza-se uma concentração de mercúrio mais elevada, para se obter uma tensão de arco próxima à da lâmpada de mercúrio de alta pressão.

O dispositivo de ignição, ilustrado pela figura 7, é constituído de uma chave térmica (disjuntor bimetálico), inicialmente em curto-circuito e uma espiral de fio envolvendo o tubo de descarga. A circulação de corrente elétrica pela espiral impõe uma distribuição de potencial eletrostática no interior do tubo de descarga, que reduz a tensão de ignição da lâmpada. Após a ignição, o tubo de descarga aquece e a espiral é eletricamente desconectada do circuito pelo disjuntor térmico.

As lâmpadas HPS com ignitor incorporado de 110W, 210W e 350W podem ser utilizadas no lugar das lâmpadas de mercúrio de alta pressão de 125W, 250W e 400W respectivamente. A eficiência da lâmpada HPS com ignitor interno é similar à da HPS convencional, porém, sua vida útil é no mínimo 30% inferior.

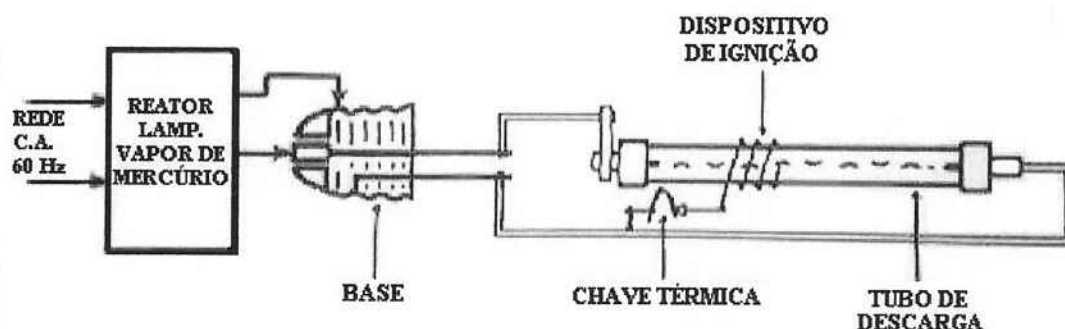


Figura 7 – Estrutura interna da lâmpada HPS com ignitor incorporado.

18 Luminária

A luminária exerce 3 funções que são: prover meios para instalação da lâmpada e seus componentes elétricos, manter as condições ambientais adequadas para operação dos componentes e distribuir o fluxo luminoso proveniente da lâmpada.

Uma luminária possui:

- um conjunto ótico composto de um refletor, um difusor e um dispositivo para fixação do soquete e posicionamento da lâmpada;
- o alojamento do equipamento, quando previsto a instalação interna deste;
- um **sistema** de fixação da luminária no poste ou suporte e;
- um invólucro, destinado a dar o grau de proteção exigido.

3. PLC (POWER LINE CARRIER):

3.1 Características da tecnologia PLC

A principal vantagem do PLC sobre as outras tecnologias é a utilização de uma infra-estrutura física já existente, a rede elétrica, para a transmissão de dados. Isto permite conectar um computador ou qualquer outro dispositivo na tomada e receber um sinal. Nenhum cabo adicional é necessário.

Por outro lado, as linhas de potência são um dos meios mais inóspitos à comunicação de dados, apresentando as seguintes desvantagens:

- Atenuação de acordo com a frequência: divisores de tensão, acoplamento entre fases;
- Atraso;
- Ruído impulsivo: interruptores, aparelhos domésticos, motores, *dimmers*.
- Falta de segurança.

Além disto, as primeiras empresas interessadas em desenvolver a tecnologia lidaram com outros tipos de problemas: alto custo de desenvolvimento, falta de regulamentação, limitação de banda.

3.2 Regulamentação

Países da União Européia, Japão e Estados Unidos já possuem uma certa regulamentação sobre a tecnologia PLC. Questões como ruídos e radiações eletromagnéticas vêm sendo discutidas em congressos e seminários sobre PLC. Um exemplo de problema foi o caso de um sistema desenvolvido pela Nor. Web no Reino Unido ainda no início da tecnologia. Esse sistema emitia um ruído nas ondas de radio na banda de 1-30MHz, que resultou em interferências nos sinais da agência de radio do governo britânico. Conseqüentemente o Departamento de Indústria e Comércio do Reino Unido proibiu o uso de PLC, o que contribuiu para a que a Nor.Web se retirasse do mercado.

A segunda geração de PLC vem usando a tecnologia OFDM, pois reduz a interferência nas ondas de rádio graças à diminuição da densidade espectral da potência transmitida. A modulação OFDM espalha o sinal em uma largura de banda grande, reduzindo a quantidade de potência injetada sobre uma única frequência. Mais detalhes sobre modulação no Anexo I.

3.3 Tecnologias atuais

As primeiras tecnologias PLC começaram a surgir há mais de vinte anos e algumas existem até hoje. Inicialmente foram soluções simples, destinadas ao controle de dispositivos domésticos e apresentavam bastantes restrições de taxas de transferências, custos, etc. A seguir serão apresentadas algumas dessas tecnologias.

3.3.1 X-10 PLC

A tecnologia X-10 PLC (*Power Line Carrier*) existe há mais de vinte anos e foi criada inicialmente para integrar baixo custo e controle de equipamentos [10].

Originalmente unidirecional, hoje em dia é possível encontrar equipamentos bidirecionais. Os módulos transmissores do X-10 são adaptadores que conectados à tomada de luz enviam sinais aos módulos receptores para controlar equipamentos simples: interruptores, controles remoto, sensores de presença, entre outros.

A modulação utilizada é por amplitude (AM – *Amplitude Modulation*). Para diferenciar os símbolos, a portadora utiliza a passagem por zero volt da onda senoidal (60Hz ou 50 Hz) da linha elétrica de corrente alternada (CA), tanto no ciclo positivo quanto no negativo. A transmissão na passagem por zero justifica-se por ser este o instante de menor ruído e interferência de outros equipamentos ligados à rede.

O ‘um’ binário é representado por um pulso de 3 a 5V, com duração de aproximadamente 1ms, no primeiro ponto do cruzamento pelo zero e pela ausência desse pulso no segundo zero [9]. O ‘zero’ binário é um inverso: ausência de pulso no primeiro pulso e presença no segundo. Dessa forma, cada bit precisa de um ciclo completo de 60Hz para ser transmitido, limitando a taxa em 60 bits por segundo.

Um comando completo do X-10 consiste de dois pacotes com um intervalo de 3 ciclos entre eles, e cada pacote leva 11 ciclos para ser transmitido. No total são necessários 47 ciclos para se transmitir um comando, o equivalente a 0,8s. Essa limitação de velocidade acabou restringindo a tecnologia ao controle de aplicações simples como iluminação e segurança.

3.3.2 Intellon CEBus

A Intellon é uma empresa privada que produz equipamentos de acordo com o padrão CEBus (*Consumer Electronic Bus*). O CEBus é um padrão aberto [15], [17], desenvolvido pela Associação das Indústrias de Eletrônica (EIA) desde 1984. A

primeira especificação saiu em 1992 e apresenta as características da camada física para a comunicação por linhas de potência, par trançado, cabo coaxial, infravermelho, RF e fibra ótica.

O CEBus também inclui uma linguagem para as aplicações (CAL – *Common Application Language*), que permite aos dispositivos enviar comandos e solicitações de status usando uma sintaxe e um vocabulário comuns a todos (padrão EIA-600).

Utiliza o modelo de comunicação ponto-a-ponto e adota a técnica CSMA/CDCR (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection and Resolution*) para evitar colisão dos dados.

A tecnologia da Intellon tem como objetivo prover capacidade de controle a redes residenciais e consiste de dois componentes: um *transceiver* implementando *spread spectrum* e um microcontrolador para executar o protocolo. Os pacotes são transmitidos a uma taxa de 10 Kbps. As desvantagens da Intellon são o custo, que afasta de consumidores residenciais, e a pouca oferta de produtos CEBus.

3.3.3 Echelon LonWorks

LonWorks é uma tecnologia da empresa Echelon [11] que tem como objetivo oferecer uma infra-estrutura para a operação de rede local denominada LON (*Local Operating Network*). Está baseada no protocolo de comunicação proprietário LonTalk (ANSI 709.1), e está embarcado no chip Neuron, também proprietário.

Este sistema pode ser usado através de par trançado, cabo coaxial, RF, infravermelho, fibra ótica e rede elétrica. O sistema PLC apresenta comunicação *peer-to-peer*, adotando o protocolo CSMA como estratégia de acesso ao meio, funcionando a uma taxa de 10 Kbps. A tecnologia *spread spectrum* é utilizada para modulação das mensagens.

O alto custo da tecnologia é influenciada pelo chip Neuron, que possui três processadores de 8 bits, com até 10 Kbytes de RAM e até 10 Kbytes de ROM. Por essa razão e pela existência de soluções mais baratas para a automação residencial, a implementação massiva da tecnologia se deu em ambientes comerciais e indústrias, afastando-se de usuários domésticos.

3.3.4 Adaptive Networks

A Adaptive Networks também utiliza a tecnologia *spread spectrum*, mas oferece chip sets com taxas de 19,2Kbps e 100Kbps. O acesso ao meio é feito através de um “*hybrid token passing*”, que minimiza *tokens* desnecessários em ambientes com cargas leves e preserva integridade do *token* em situações de muita carga.

Apesar de possibilitar taxas de transmissão maiores que as anteriormente mencionadas, a tecnologia da Adaptive não é adequada para aplicações de banda larga como compartilhamento de arquivos, voz digital e transmissão de vídeo.

Assim com a Echelon e a Intellon, seus *chip sets* ainda são muito caros para serem incorporados a produtos destinados a consumidores residenciais ou de pequenos escritórios.

3.3.5 PLUG-IN

A tecnologia PLUG-IN foi desenvolvida pela Intelogis, Inc. [10] e está baseada na implementação de vários protocolos: PLUG-IN *Intelogis Commom Application Language* (iCAL), o PLUG-IN *Power Line Exchange* (PLX) e o PLUG-IN *Digital Power Line* (DPL).

Ao contrário da maioria das linguagens para as aplicações do CEBus que utilizam o tipo de comunicação *peer-to-peer*, o iCAL utiliza cliente-servidor. Esta configuração permite armazenar a inteligência de cada nó da rede em um nó central (Servidor de Aplicações) como, por exemplo, um computador. As tarefas que exigem grande processamento, inteligência e armazenamento são realizadas por este nó central, deixando os nós clientes com a mínima inteligência e circuito necessário para executarem suas funções. Conseqüentemente, o custo do sistema cai enormemente. O PLX tem como principal função definir o protocolo de controle de acesso ao meio (MAC). Este protocolo utiliza dois mecanismos independentes: DSMA (*Datagram Sensing Multiple Access*) e CTP (*Centralized Token Passing*). O servidor atual da rede é um nó que foi inserido com a utilização do DSMA e é responsável pelo gerenciamento do *token*.

O PLUG-IN DPL é um conjunto de regras que definem como a informação é transmitida pelos componentes (*transceivers*) da rede. A modulação utilizada é FSK (*Frequency Shift Keying*), cujo valor de custo é bastante inferior ao custo de produção dos circuitos para modulação por *spread spectrum*. As taxas de transmissão

chegam a 350 Kbps. Estas características fazem com que esta tecnologia seja muito bem aceita em aplicações comerciais e residenciais.

3.4 PLC no mundo hoje

No que diz respeito ao mercado, já estão disponíveis desde circuitos integrados a produtos completos e kits de desenvolvimento prontos para serem ligados na tomada e transmitirem dados. Apesar de algumas empresas já estarem desenvolvendo produtos para banda larga, não há uma padronização para a tecnologia PLC. Umas usam modulação com uma portadora (GMSK, CDMA), com velocidades de 2Mbps e outras utilizam modulação com múltiplas portadoras (OFDM), com taxas mais elevadas (45Mbps).

3.4.1 Projetos com PLC no Brasil

Nos últimos três anos algumas empresas brasileiras começaram a investir em pesquisas de tecnologias PLC. A maioria consiste de empresas de geração e distribuição de energia elétrica interessadas em fornecer novos serviços, principalmente de telemetria, aos consumidores finais. A seguir serão explicados dois projetos que utilizam sistemas PLC.

3.4.1.1 Iguaçu Energia

A Iguaçu Distribuidora de Energia Elétrica Ltda., localizada no estado de Santa Catarina, iniciou em 2002 um projeto para testar a capacidade e o comportamento da tecnologia PLC para transmissão de dados, voz e imagem na sua rede de distribuição de energia elétrica [16].

O projeto teve como objetivo inicial integrar serviços de acesso à internet e telefonia ao sistema de distribuição de energia elétrica. Sua arquitetura propõe o uso do chamado Centro de Gerência, que além de administrar os clientes PLC e o Backbone (rede de acesso e Interligação), visa oferecer diversos outros serviços como vídeo e música sob demanda (*stream* de vídeo e áudio), TV por assinatura, sistemas de segurança, de telemetria e etc. A Figura 8 mostra as interconexões planejadas no projeto. Os consumidores finais (residências e estabelecimentos comerciais) são agrupados em unidades transformadoras, denominadas Células PLC, onde é instalado um equipamento do tipo Master chamado *Head End Router* ou

Roteador Injetor de Sinais.

Este roteador é responsável por controlar as prioridades e acessos dos usuários daquela célula, sendo também o “gerador” e o “injetor” dos sinais PLC na célula, capaz de modular sinais de imagem e voz recebidos do Backbone.

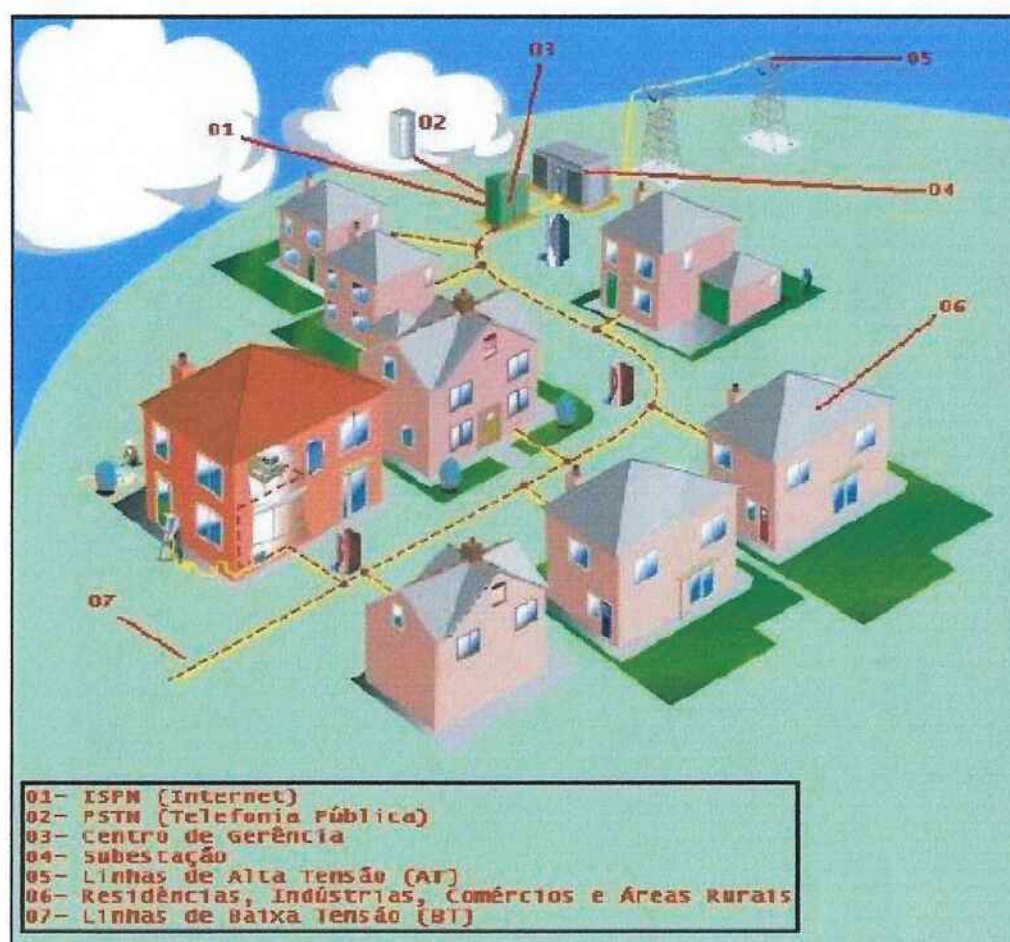


Figura 8 - Interconexões no projeto PLC da Iguazu Energia

Está prevista a necessidade de um repetidor de sinal, denominado *Home Gateway*, para locais distantes do *Head End Router* e também para aumento do número de usuários de uma Célula PLC. A Figura 9 ilustra as conexões dos equipamentos nas residências.



Figura 9 - Conexões de equipamentos do projeto PLC nas residências

O equipamento Modem PLC mostrado na Figura 9 é conectado a uma tomada comum de energia elétrica que além da função de alimentá-lo, também capta os sinais modulados pelo *Head End Router*, ou pelo *Home Gateway*, injetados na rede elétrica e os converte em sinais de rede de dados (padrão Ethernet - Protocolo TCP-IP).

Até o momento da conclusão deste documento não foram encontradas informações sobre a fase atual de implementação do projeto ou sobre resultados.

3.4.1.2 Projeto PLC CEMIG

O projeto PLC CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) foi um projeto piloto, implementado desde novembro de 2001 e tendo seus resultados publicados em janeiro de 2003 [18]. O projeto previa o acesso à Internet em banda larga através da rede secundária de distribuição elétrica sem a necessidade de utilizar a rede de telefonia, da seguinte forma:

- 1- Uma empresa operadora de telecomunicações, fornecedora de acesso à Internet em banda larga, disponibilizava um ponto de terminação na rua onde era conectado um equipamento denominado Master PLC.

- 2- O Master PLC injetava o sinal nas fases e no neutro do circuito

secundário, ficando este sinal disponível a todos os consumidores (em média 50) que estivessem ligados no circuito elétrico deste transformador. Em alguns casos foi necessário instalar um repetidor no medidor de energia para reforçar o sinal.

3- Finalmente, o sinal era captado em uma tomada elétrica por um modem PLC e disponibilizado em uma porta padrão Ethernet ou USB (Universal Serial Bus) para ligar na placa de rede do computador na casa do usuário.

A configuração típica do projeto pode ser visualizada na Figura 10.

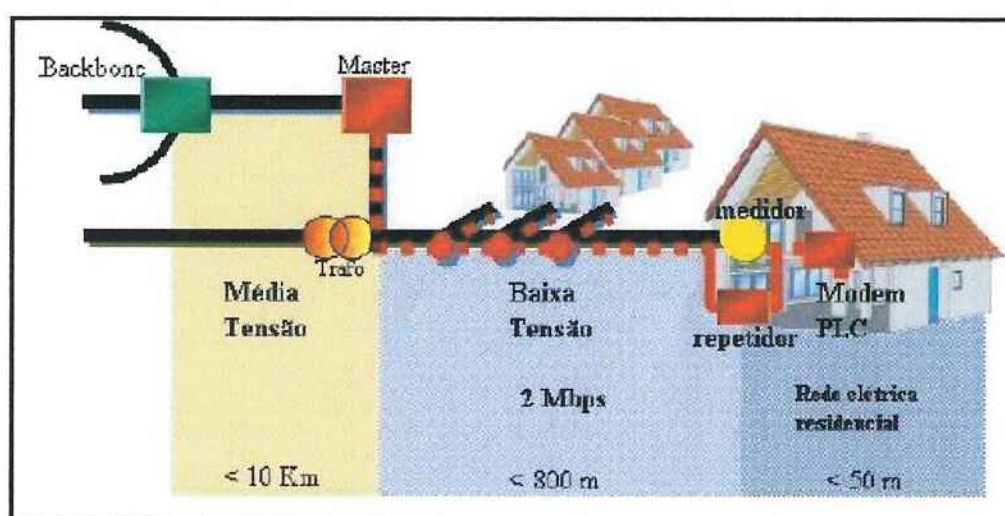


Figura 10 - Configuração típica do projeto da CEMIG

Neste projeto, o sistema PLC foi concebido para trafegar nos circuitos secundários de distribuição, cobrindo trechos de 600m em média, a partir do transformador (portanto, um sistema de acesso para vencer a última milha).

O acesso à Internet em banda larga foi implementado com o uso da tecnologia *cable modem* (Figura 11), sendo a velocidade máxima compartilhada por todos os consumidores ligados no mesmo transformador. Qualquer outra estrutura de telecomunicações poderia ter sido usada: fibra óptica, rádio e etc, desde que possuíssem em suas terminações as interfaces padronizadas compatíveis com o hardware PLC.



Figura 11 - Ligação de um *cable modem* a um Master PLC

As características deste projeto foram:

- Equipamentos – ASCOM - banda larga;
- Serviços implementados – Internet banda larga;
- Bairros monitorados – Vila Paris e Belvedere;
- Locais – apartamentos, casas e escola pública;
- Pontos ativados – 40;
- Tempo de implementação – 30 dias;
- Taxa nominal – 2 Mbps;
- Tempo de funcionamento – 360 dias;
- Início de suporte ao usuário – 16/12/2001;
- Início de avaliação via web CEMIG – Dez/2001;
- Formulários de avaliação enviados – 420.

Como resultado final do projeto ficou clara a influência da carga da rede no desempenho do sistema: quanto maior a carga, maior a degradação nos acessos dos usuários. Essa situação está diretamente relacionada ao perfil do usuário, sendo necessário o desenvolvimento de técnicas de correção dinâmica para compensar as variações da carga na rede.

Os resultados foram publicados em janeiro de 2003 e desde então não se

têm informações sobre a atual situação ou se haverá outro projeto em continuação.

3.4.1.3 Sistema de Controle e AMR da Powertech World Wide

Este sistema proposto pela Powertech World Wide mede e controla a energia consumida nas residências.

Os medidores de energia instalados em cada consumidor estão habilitados a realizar a leitura do consumo, armazenar esta informação e enviá-la a um equipamento concentrador, instalado junto ao transformador de distribuição ou subestação.

O equipamento concentrador periodicamente solicita aos medidores o envio dos dados sobre o consumo de energia de cada usuário. A frequência da solicitação destas informações é uma vez por mês. Assim, o concentrador recebe as medições do consumo de todos os usuários alimentados por um determinado transformador de distribuição. A comunicação entre os medidores de energia e o equipamento concentrador é realizada através da própria rede elétrica de baixa tensão, por meio da tecnologia Power Line Carrier. Tanto o medidor pode enviar informações ao concentrador, quanto o concentrador pode enviar comandos ao medidor, como, por exemplo, o corte ou religamento do fornecimento de energia de um determinado usuário.

Na empresa distribuidora, ferramentas de hardware e software permitem o recebimento e o devido tratamento das informações provenientes dos concentradores instalados ao longo da rede. A comunicação entre os concentradores e o *Centro de Gestão do Sistema* pode ser realizada através de diferentes sistemas de telecomunicação, como linha discada, modems dedicados (xDSL, Cable-Modem), enlaces de rádio, etc. A figura 12 a seguir ilustra este sistema:

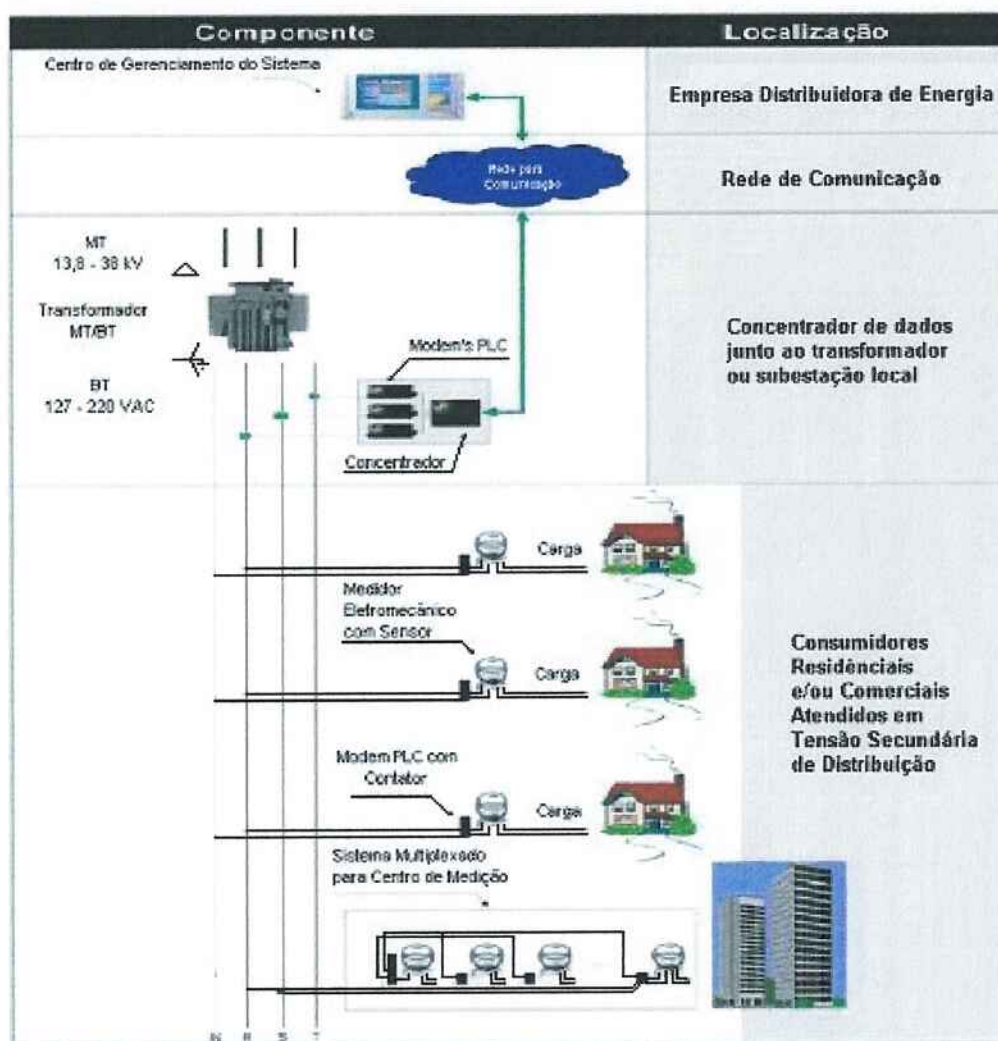


Figura 12 – Arquitetura do Sistema de Medição Automática e Controle de Residências

O sistema utiliza os seguintes equipamentos:

Unidade MET STD (Standard):



Figura 13 - Unidade MET STD

Esta é instalada junto ao medidor de energia elétrica e possibilita a comunicação do mesmo com o equipamento *Concentrador* (CET). O módulo *MET STD* é composto por:

- Unidade microprocessada, que armazena as informações referentes ao consumo dos usuários;
- Modem PLC (*Power Line Carrier*) para comunicação via rede elétrica, especialmente desenvolvido para aplicações de AMR;
- Interface para controle da *Unidade de Comutação*

A unidade MET STD tem como características principais:

- *Aplicação*: Próprio para instalações individuais/residenciais
- *Interfaces*:
 - 1 porta RJ 11 (configuração local através do terminal de programação);
 - 1 porta RJ 45 (comunicação com a *Unidade de Comutação*).
- Alimentação: 110-220 Vca (50-60 Hz)
- Temperatura: 0 ~ 50°C
- Umidade: 10% ~ 90%

Unidade MET MX-8 (Multiplexador)



Figura 14 - Unidade MET MX-8

A unidade *MET MX-8* é o módulo do sistema que permite gerenciar até 8 medidores de energia elétrica instalados em um mesmo quadro. Esta unidade foi concebida para usuários agrupados em centros de medição, topologia típica de edifícios, condomínios e centros comerciais. O *MET MX-8* é composto por:

- Unidade microprocessada, que armazena as informações referentes ao consumo dos usuários;

- Modem PLC (*Power Line Carrier*) para comunicação via rede elétrica, especialmente desenvolvido para aplicações de AMR;
- Interface para controle das *Unidades de Comutação*;
- Módulo multiplexador, que permite uma importante otimização dos recursos para a implementação do sistema.

Características principais:

- *Aplicação*: Próprio para instalações em centros de medição
- *Interface*:
 - 1 porta RJ 11 (configuração local através do terminal de programação)
 - 8 portas RJ 45 (comunicação com os clientes)
- Alimentação: 110-220 Vca (50-60 Hz)
- Temperatura: 0 ~ 50°C
- Umidade: 10% ~ 90%

Os módulos MET STD e *MET MX-8* podem também receber informações de outros medidores, como hidrômetros ou medidores de gás, bastando apenas que estes sejam dotados de saída de pulso.

Assim, o sistema de gerenciamento pode também monitorar dados referentes ao consumo de água e gás dos usuários, sem custos de operação, estendendo as funcionalidades do sistema.

Unidades de Comutação SW-1, SW-2, SW-3



Figura 15 - Unidade de Comutação

As *unidades de comutação* são módulos do sistema de gerenciamento que

permitem realizar, remotamente, operações de corte e reconexão do fornecimento de energia aos consumidores da rede de baixa tensão. As operações remotas de corte e religamento de usuários possibilitam às empresas distribuidoras implementar sistemas pré-pagos de fornecimento de energia ou políticas de interrupção do fornecimento em caso de inadimplência ou consumos acima de determinados valores de carga pré-definidos. As *unidades de comutação* possuem relés magnéticos de alta capacidade de interrupção de corrente, e são concebidas em três versões (*SW-1*, *SW-2*, *SW-3*), próprias para instalações em usuários monofásicos, bifásicos e trifásicos, respectivamente.

Características principais:

- *Instalação*: Individualmente, junto a cada medidor de energia
- *Aplicação*: Em consumidores individuais e em consumidores agrupados em centro de medição
- *Interface*: 1 porta RJ 45 (comunicação com as unidades *MET STD* ou *MET-MX-8*)
- *Relé*: Magnético - tipo biestável - de alta capacidade de interrupção de corrente
- Capacidade de Interrupção de Corrente: até 100 A (máxima tensão de comutação: 440 V)

Unidade CET (Concentrador)



Figura 16 - Unidade CET

A *Unidade CET* é instalada junto a cada subestação ou transformador de

distribuição de MT/BT. Esta unidade é responsável por armazenar todas as informações relativas ao consumo dos usuários alimentados por um determinado transformador, comunicando-se com as unidades *MET STD* e *MET-MX8* utilizando a própria rede elétrica de baixa tensão como canal de comunicação. A *Unidade CET* apresenta um equipamento com características específicas para instalação em ambientes hostis, ou exposto a intempéries.

Características Principais:

- *Aplicação*: Próprio para instalações em postes ou em subestações
- *Interface*:
 - 3 portas (Serial - comunicação com os medidores totalizadores)
 - 2 portas (Ethernet - comunicação com o *Centro de Gestão do Sistema*)
- Alimentação: 110-220 Vca (50-60 Hz)

Os componentes da unidade CET são:

- 3 medidores eletrônicos de energia monofásicos (para totalização da energia entregue por cada uma das fases do transformador);
- 3 módulos para comunicação com as unidades *MET STD* e *MET-MX-8*, via rede elétrica;
- 1 Fonte de alimentação;
- Hardware computacional.

Módulo Registrador de Qualidade de Serviço

Instalado em pontos específicos da rede de distribuição, com o intuito de monitorar distintos parâmetros referentes ao fornecimento de energia elétrica em tensão secundária.

Esta unidade registra e armazena as informações relativas às ocorrências e distúrbios de rede pré-configuradas, transmitindo estas informações até o elemento Concentrador de Dados (CET), através da rede elétrica, por meio de um MODEM AMR integrado.

Características principais:

Tipo de instrumento	Medidor de Tensão – <i>True RMS</i>
Capacidade	1 canal de registro
Tensão de Operação	150 ~ 265 V (versão 220V) 70 ~ 140 V (versão 110V)
Frequência do Registro Programável	<i>Período mínimo: 1 segundo</i> <i>Período máximo: 1.000 minutos</i>
Registro de Eventos (Definição de três níveis de <i>Micro-Corte</i>)	<i>Intervalo mínimo: 1 segundo</i> <i>Intervalo máximo: 1.000 minutos</i>
Capacidade de Armazenamento	Registros de medição – Máximo = 20.000 Registros de eventos – Máximo = 2.500
Memória	NVRAM - Smart Batery Operação em modo FIFO- 22 Kbytes para dados (Configurável pelo usuário)
Manutenção dos Registros	Até 10 anos sem alimentação AC
Consumo	Máximo de 1,2 W
Modo do Registro	Valor True RMS
Resolução e Exatidão	Mínimo de 0,13 Volts - Superior a 1%
Display	LCD com 16 caracteres (opcional)
Interfaces	MODEM PLC e fonte integrados

Outras aplicações em estudo:

- Monitoração remota da residência através de acesso a câmeras pela internet;
- Automação residencial, isto é, controlar eletrodomésticos pela internet;
- Televisão digital;
- Vídeo e Áudio “on demand”;

3.4.2 Projetos com PLC no exterior

3.4.2.1 REMPLI

REMP LI (*Real-time Energy Management via Powerlines and Internet*) [13], [19] é um projeto de pesquisa financiado pela Comunidade Européia e que congrega empresas e universidades de países como França, Áustria, Portugal e Alemanha. O projeto tem duração de 3 anos, tendo iniciado suas atividades em março de 2003. O objetivo principal desse projeto é desenvolver uma infraestrutura para aquisição de dados distribuídos e controle remoto de operações, usando a rede elétrica como meio físico, e visando a economia de energia em redes de distribuição em larga escala: residências dentro de uma cidade, ambientes de produção, etc.

A primeira aplicação do projeto seria a telemetria, com uma alta resolução de tempo (tempo real), onde os objetos de medida seriam as diferentes fontes de energia: energia elétrica, gás, água, entre outros. Os usuários do sistema (companhias distribuidoras de energia) teriam como benefício uma informação mais detalhada sobre como a energia é consumida pelos usuários finais, proporcionando um controle maior na distribuição e até a detecção de falta de energia. A base do sistema é a comunicação pela rede elétrica, como pode ser visto na Figura 17.

A arquitetura proposta usa o sistema de comunicação pela rede elétrica de forma cascadeada. Na maioria dos casos, a comunicação entre média tensão e baixa tensão é do tipo mestre/escravo. A *bridge* BT-MT que faz a conexão entre o escravo de alta tensão e o mestre de baixa tensão é instalada na segunda estação transformadora.

A transição entre PLC e TCP/IP é realizada pelo Ponto de Acesso REMPLI, instalado na primeira estação transformadora. Além disso, o Ponto de Acesso também é responsável por outras aplicações específicas, como concentração de informação, histórico, detecção de falhas e procedimentos de manutenção.

O servidor SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) obtém as informações do Ponto de Acesso REMPLI através de linhas de comunicação TCP/IP privadas (Rede Privada da Figura 17). Este servidor também aceita requisições de controle de funções dos clientes SCADA, que são os terminais com os quais trabalham os operadores das companhias distribuidoras.

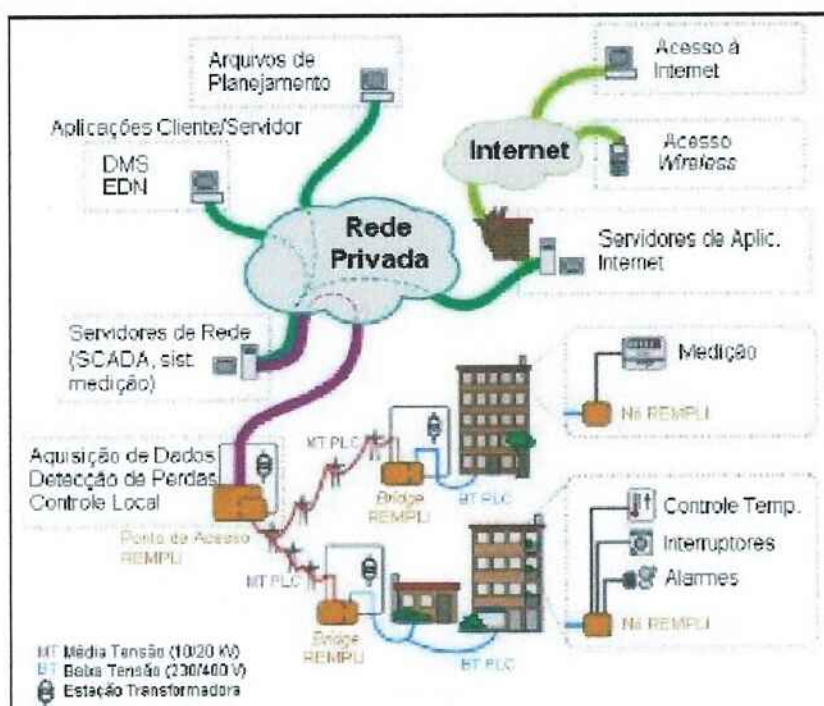


Figura 17 - Infraestrutura de comunicação do projeto REMPLI.

A outra parte da infraestrutura de comunicação do projeto é composta basicamente de Nós REMPLI, cada um conectado a um escravo de baixa tensão. O Nó REMPLI é instalado na casa do consumidor e pode ser equipado com relés que permitem ligar e desligar o abastecimento de gás, água, energia elétrica, de acordo com os comandos da companhia de distribuição respectiva.

A infraestrutura baseada em PLC e a arquitetura dos pontos de acesso garantem ao projeto REMPLI ser uma plataforma de comunicação aberta, possibilitando a integração de vários serviços: telemetria, gerenciamento de energia, aplicações na área de domótica e até alarmes de segurança.

4. CONTEXTOS DOS SISTEMAS PLC

Uma análise dos sistemas PLC apresentados na seção anterior permite a identificação de quatro grupos distintos onde a informação pode trafegar: redes de alta tensão (transmissão), redes de média tensão (subtransmissão), redes de baixa tensão (distribuição) e ambientes residenciais. A Figura 18, retirada de [14] mostra esta divisão.

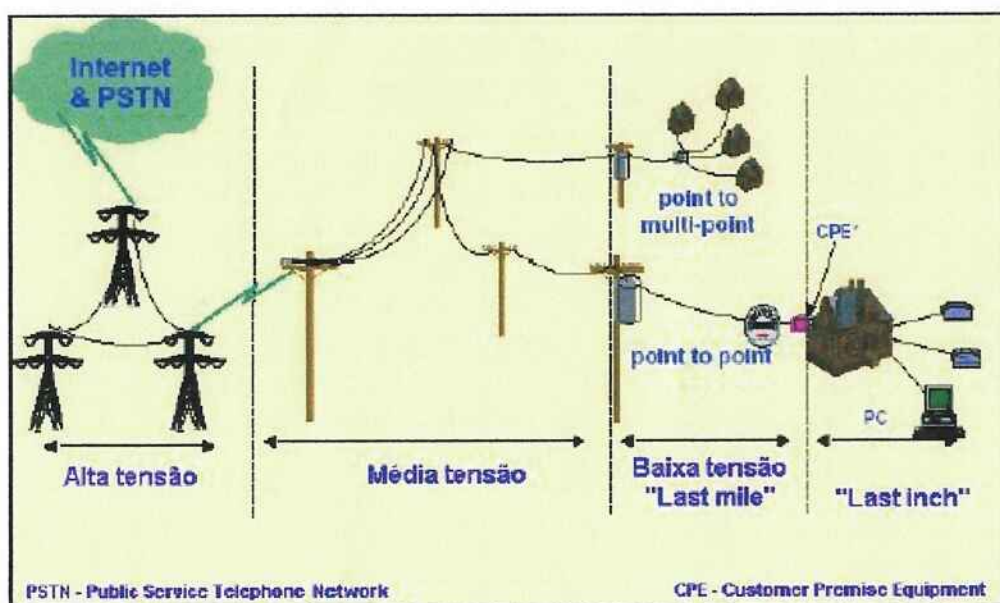


Figura 18 - Áreas de aplicação de comunicação PLC

O grupo das redes de alta e de média tensão é onde se concentra a maioria dos projetos que visam implantar serviço de Internet sobre as linhas de potência. Já o grupo das redes de distribuição é o principal foco das aplicações de telemetria e de controle de informações. No ambiente residencial a tecnologia PLC encontra uma grande variedade de aplicações voltadas principalmente à automação residencial, onde se pode destacar controle de calefação e ar condicionado, alarmes, iluminação, segurança, e até mesmo, para permitir a criação de redes locais de computadores pela própria rede elétrica.

Um exemplo de projeto de pesquisa, recentemente aprovado, que investiga soluções para tele-medição é o projeto de parceria entre pesquisadores do DELET/UFRGS e as empresas CEEE e Elo. A integração entre estas diferentes áreas seria uma solução que apresenta vários benefícios. Por exemplo, os medidores residenciais tradicionais de energia elétrica dariam lugar a medidores eletrônicos, os

quais se comunicariam com uma central de distribuição responsável por controlar e gerenciar o consumo de energia elétrica (controle ativo de demanda). A companhia também passaria a oferecer serviço de Internet em banda larga e toda a comunicação seria feita através da rede elétrica.

Todo projeto ou sistema que utiliza tecnologia PLC só é viável pela presença de um componente “vital” capaz de fazer a “tradução” dos sinais que trafegam pela rede elétrica em informação útil: o Modem PLC. Na seção seguinte serão apresentados e comparados alguns modelos de modems PLC.

4.1 Modems PLC

4.1.1 High Tech Horizon

O produto desta empresa chama-se Power Line Modem PLM-24, cujas características são:

- . Taxas de 110-2400 bps para recepção e transmissão.
- . Comunicação *half-duplex*.
- . Comunicando a 2400 bps o PLM-24 é 40 vezes mais rápido que o X-10.
- . 230 VAC/50 ou 60 Hz ou 110 VAC/50 ou 60 Hz.
- . Usa FSK (mais imune ao ruído que o ASK).
- . Pode coexistir com um equipamento X-10.
- . Dimensões: PCB 54 x 38 mm.
- . Interface com um MCU ou PC através de no mínimo 3 linhas: Rx/D (*receive data*), Tx/D (*transmit data*) and Rx/Tx *control*. As linhas de I/O são compatíveis com TTL/CMOS.
- . Função de watch dog.
- . Detecção de portadora.
- . Compatível com as especificações CENELEC EN 50065-1 (EU) e FCC (US).

Esta empresa oferece também o kit de desenvolvimento PLM-24 (PLM-24 *DevBoard Kit*), 110VAC/60Hz ou 230VAC/50Hz. O kit inclui: placa de circuito impresso, manual com instruções de montagem, esquemas e exemplos de como conectar o PLM-24 a uma porta serial de um PC e a um microcontrolador tal como BASIC Stamp, PIC e 8051.

4.1.2 Itran Communications Ltd.

O modem PLC da Itran chama-se PLNET52 e suas características são:

- . Taxas de até 2.5Mbps no nível físico e de até 2.0 Mbps no nível UDP.
- . Comunicação *full* e *half duplex*.
- . 90-240V AC (50/60Hz).
- . Detecção da qualidade do canal e controle da taxa de dados automáticos.
- . Algoritmo de correção de erros.
- . Interfaces USB1.1 e Ethernet 802.3.
- . Suporte a TCP e UDP/IP.

Este modem é composto por circuitos integrados que implementam as interfaces para a camada física (ITM1) e para o nível MAC (ITMAC). A Figura 19 mostra como fica essa configuração.

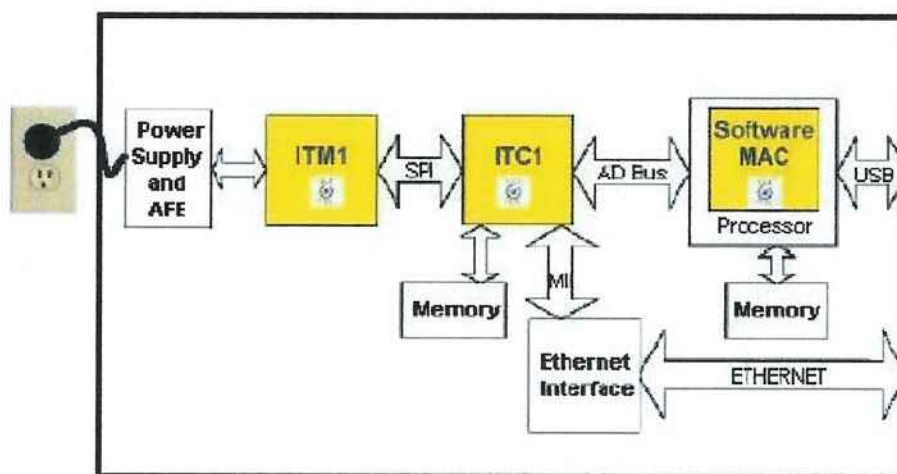


Figura 19 - Diagrama de blocos do PLNET52 da Itran

4.1.2.1 ITM1

A interface ITM1 implementa um modem PLC de 2,5 Mbps através de modulação ACSK (*Adaptive Code Shift Keying*). Utiliza três canais de frequência, cabeçalho de CRC-8 e *payload* CRC-16. Apresenta também uma interface SPI/SCI e tempo de *backoff* programável. Além disso, tem alta imunidade à queda do sinal, ruído, impedância e distorção de fase, com controle da taxa de dados e qualidade do canal automáticos.

4.1.2.2 ITMAC

Essa interface para o nível MAC está dividida em uma implementação em hardware (chip ITC1) e uma implementação em software que roda em microprocessadores.

4.1.2.2.1 ITC1 – Power Line Communications MAC (Media Access Controller)

- Interface para ITM1 power line modem PHY, MII e P8
- RAM
- Interfaces USB1.1 e Ethernet
- CSMA/CD
- RTS/CTS e transmissão de pacotes pequenos sem RTS/CTS
- Baixo overhead
- Transporte de pacotes com ARQ
- Transmissão Unicast e broadcast

4.1.2.2.2 SWM – Software MAC

- Análise de pacotes
- Passagem de pacotes
- QoS – prioridades de acesso aos canais, controle de admissão, reserva de largura de banda e monitoramento de canal

4.1.3 nSine

A empresa nSine desenvolveu um produto chamado DSK300 – Powerline Networking. Esse kit de desenvolvimento contém três nós que aceitam placas do Powerline Modem (incluídas no kit), formando uma Interface de Rede Powerline (PNI).

Cada nó também contém uma interface serial RS232 para se conectar com outros equipamentos ou microcontroladores.

O kit também contém uma placa de rede 10/100 Mbps, um acoplador de teste para conectar 50 ohm na linha de alimentação, cabos RJ45 e RJ11, além de CD ROMs do Windows e do Linux com drivers e softwares de desenvolvimento. A taxa de dados é de 2,5 Mbps e *payload* de 1,5 Mbps. Utiliza a modulação OOK/GFSK

Wideband Adaptive Multitone. A Figura 20 mostra como os nós podem ser interligados.

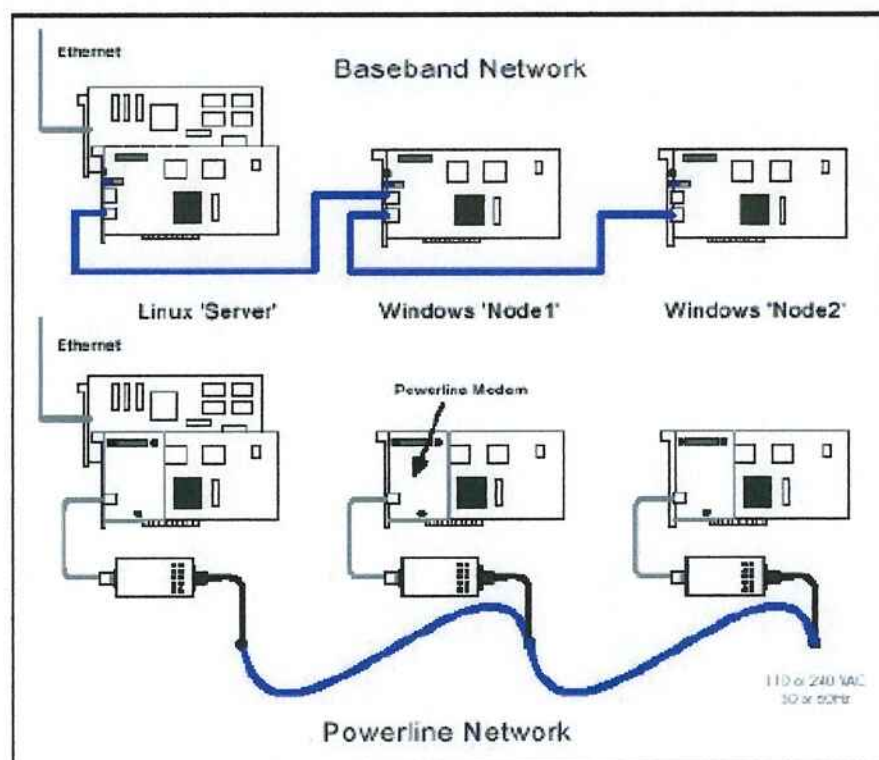


Figura 20 - Interligação de nós PLC da Nsine

4.1.4 Echelon

Os produtos da Echelon para comunicação PLC são os chamados Smart Transceivers PL 3120 e PL 3150. Esses *transceivers* integram um processador Neuron 8-bit, usam duas frequências para comunicação, implementam algoritmos de correção de erros (FEC) e CRC. Além disso, os *transceivers* alcançam taxas de até 5,4 kbps utilizando a modulação BPSK.

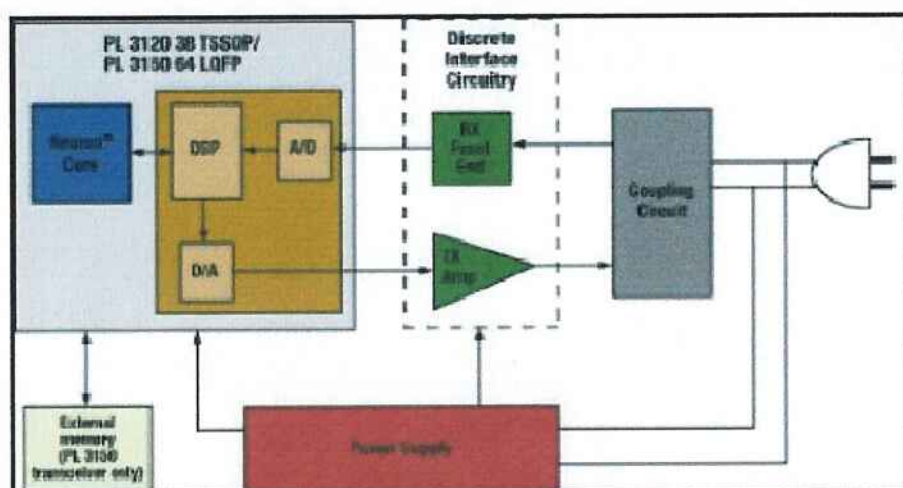


Figura 21 - Esquemático de um sistema para comunicação PLC utilizando um Smart Transceiver

5. PROJETO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM POWER LINE CARRIER (PLC):

O projeto proposto para o sistema de Iluminação Pública é muito parecido com aquele proposto para o sistema residencial desenvolvido para o PLC da POWERTECH (item 3.4.1.3), com algumas mudanças. A arquitetura do sistema será vista no item subsequente.

5.1 Arquitetura do sistema de iluminação utilizando o PLC.

A arquitetura do sistema PLC utilizado em conjunto com a iluminação pública pode ser vista na figura 22. O funcionamento do mesmo é descrito a seguir:

As informações são coletadas do circuito de iluminação pública e transmitidas para o sistema de média tensão no ponto denominado de nó X. Os dados são transmitidos pela linha, percorrendo vários quilômetros até alcançar a subestação. Para não haver perda da informação por meio da atenuação do sinal, que ocorre devido à longa distância, em intervalos de centenas de metros são posicionadas estações repetidoras (nós R), que nada mais são do que modems do mesmo tipo do que o encontrado no nó X. As informações seguem até a subestação (nó S), onde são concentradas em um equipamento denominado, obviamente, de concentrador e este, por meio de uma interface de comunicação (via telefone, rádio, celular), mantém contato com a central de controle da rede, fornecendo as informações do sistema a esta e transmitindo as ordens de quando as contadoras devam atuar.

Convém detalhar a conexão do circuito no nó X, pois é nele que se encontrarão ligados os principais equipamentos do sistema para aquisição de dados:

5.2 O nó X

Entre o transformador e a chave magnética, figura 23, é instalado um medidor de energia convencional com saída digital. Os sinais do medidor e da chave (ligado/desligado) são enviados ao modem PLC que por sua vez está conectado à rede de média tensão por meio de um acoplador. Este mesmo modelo de acoplador é utilizado no nó R para acoplar o modem repetidor à rede de média tensão e no nó S da subestação (vide figura 22), para que o concentrador receba as informações de todo o sistema e possa transmiti-las para o centro de gerenciamento do sistema, e

vice-versa.

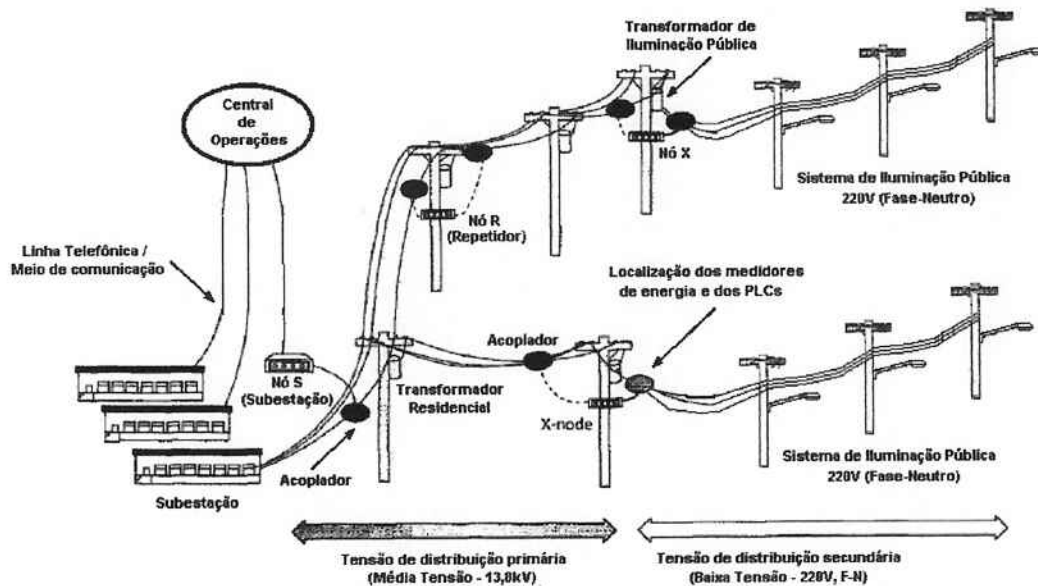


Figura 22 - Arquitetura do sistema PLC para iluminação pública

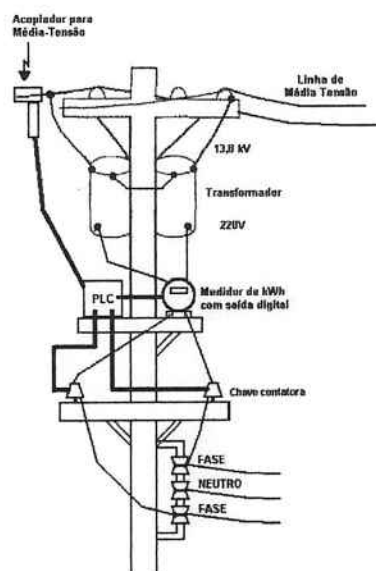


Figura 23 - Representação do posicionamento do modem PLC junto ao sistema de Iluminação Pública.

6. VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE PLC NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA CIDADE DE SÃO PAULO

O modelo adotado para a análise de viabilidade econômica equivale ao da figura 22 vista anteriormente.

Poucos são os fabricantes de sistemas PLC que fornecem todos os componentes necessários ao projeto e por isso mesmo algumas simplificações na análise serão efetuadas para indicar os limites econômicos para a adoção do equipamento.

6.1 Uso do PLC para a medição da energia.

Para o nosso estudo, vamos utilizar os dados fornecidos no item 2.2.1 (Descrição dos componentes – 17 Lâmpadas), como base, onde consta que na cidade de São Paulo são trocadas, todos os anos, cerca de 150 mil lâmpadas da rede de iluminação pública.

Hipóteses simplificadoras:

- A substituição de uma lâmpada leva em média 2 dias;
- Lâmpadas de 250W (potência média);
- Segundo a resolução 456 da ANEEL, 12 horas por dia de consumo, sendo que, para o caso em estudo, a iluminação está inoperante;
- Tarifa de iluminação pública de R\$ 150,96 por MWh (tarifa referente ao mês de junho de 2004) [27];
- Desconsiderar as perdas no sistema.

Realizando os cálculos do custo da energia não consumida devido à falha das lâmpadas no período de 1 ano:

Energia não consumida = N° lâmp. defeituosas x Pot. [W] x 12 horas x n° de dias

$$\text{Energia não gasta} = 150.000 \times 250 \times 12 \times 2$$

$$\text{Energia não gasta} = 900 \text{ MWh por ano.}$$

Isto equivale a 0,15% da energia total consumida pelo sistema de iluminação da cidade num ano (aproximadamente 600GWh).

Utilizando-se o sistema de PLC apenas para a medição, e com a tarifação baseada somente na energia consumida (e não a resolução 456 da ANEEL), a prefeitura não pagaria por essa energia.

Utilizando a tarifa de iluminação pública descrita acima (R\$ 150,96 por MWh) [27], essa energia equivale a R\$ 135 864,00 anuais.

6.2 Uso do PLC na manutenção da rede.

Através do uso do sistema PLC, a manutenção corretiva da rede de iluminação pública será efetuada com maior agilidade (as falhas serão identificadas mais rapidamente e com maior precisão na localização), e assim, o tempo necessário para a troca das lâmpadas será reduzido de 2 para 1 dia, em média. Utilizando a equação (1) para 1 dia, teremos:

$$\text{Energia não consumida} = 150.000 \times 250 \times 12 \times 1$$

$$\text{Energia não consumida} = 450 \text{ MWh por ano.}$$

Utilizando a tarifa de iluminação pública de R\$ 150,96 por MWh [27], essa energia equivale a R\$ 67 932,00 anuais.

Comparando-se a economia obtida com o aumento da velocidade de detecção e correção da falha, devido ao uso do PLC, constata-se que esta chega a 50% do valor pago atualmente pela municipalidade.

6.3 Considerações a respeito das contas acima efetuadas.

Como os custos relacionados à queima das lâmpadas e à troca mais rápida das mesmas são bastante reduzidos se comparados com o gasto total com iluminação pública na cidade de São Paulo (abaixo de 0,2% do valor total), fica impraticável utilizar o sistema PLC para as finalidades supracitadas, pois:

- Custo unitário do modem: R\$5000,00;
- Número de modems necessários: 15.000*

* O valor acima foi utilizado a partir da idéia de que dois circuitos de iluminação, um de 10kVA e outro de 15kVA (com os transformadores e o sistema de

acionamento localizados num mesmo poste), seriam comandados por um modem de oito canais:

- dois deles utilizados para coletar as informações dos medidores de energia (um para cada circuito)
- outros dois para o controle do sistema de acionamento, sobrando assim quatro canais.

Modems utilizados como repetidores são desconsiderados.

$$\text{Custo de investimento inicial} = 5000,00 \times 15.000 = \text{R\$ } 75.000.000,00$$

Comparando-se o gasto anual da prefeitura devido ao pagamento de energia não consumida (por causa das lâmpadas queimadas) com o custo total resultante apenas da compra dos modems do sistema, verificamos que este não se pagaria, o que torna a adoção do PLC inviável.

6.4 Estudo de viabilidade do PLC em sistemas propostos a partir da rede da cidade de São Paulo.

Tomando-se o sistema de iluminação pública da cidade de São Paulo como base de estudos (no que diz respeito ao número de lâmpadas e potência instalada) faz-se a seguir uma análise de outras possíveis configurações deste, visando com isso verificar a viabilidade técnico-econômica da tecnologia PLC.

6.4.1 Agrupamento dos circuitos de iluminação pública.

Conforme dados obtidos, a iluminação pública na cidade de São Paulo é, em geral, realizada por dois circuitos monofásicos a 220V (conforme Figura 23, item 5.2), sendo um deles alimentado por um transformador de 10 kVA e o outro por um transformador de 15 kVA, totalizando, então, 25 kVA.

Estes dois transformadores seriam substituídos por um único transformador trifásico com a seguinte relação, 15kV - 380V [30] e desse modo, aumentaríamos o número de circuitos monofásicos de iluminação a 220V de dois para três (três condutores fase e um neutro), conforme mostrado na Figura 24 a seguir.

Como a potência destes transformadores varia de 15 a 150 kVA (segundo o catálogo do fabricante [30]), os circuitos monofásicos atuais seriam agrupados, de modo que um único transformador trifásico substituiria de três a cinco conjuntos de 25 kVA (transformadores de 75 kVA e de 150 kVA, respectivamente). Analisando-

se esta possibilidade cuidadosamente, verifica-se que, um transformador trifásico poderia substituir de 6 a 10 transformadores monofásicos, ou em outras palavras, 3 circuitos monofásicos de maior capacidade substituiriam de 6 a 10 circuitos menores, assim sendo, os 30000 circuitos originais seriam substituídos por 9000 a 15000 circuitos de maior potência instalada.

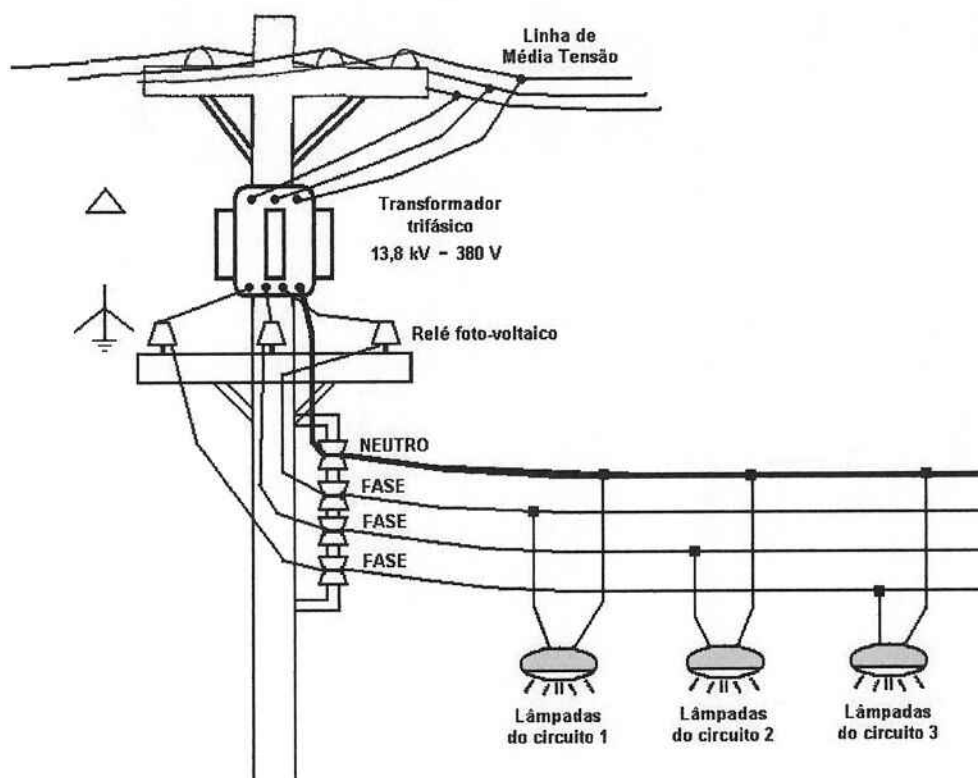


Figura 24 – Sistema de iluminação pública formado por três circuitos alimentados por um único transformador trifásico.

6.4.1.1 Análise do uso do PLC na configuração proposta:

Têm-se três circuitos monofásicos de 220V para controle e medição de potência por transformador. Isto significa que serão utilizados seis canais do PLC (três para medição da energia consumida e três para o controle do acionamento do sistema). Estudando o caso com 3000 transformadores trifásicos no sistema de iluminação pública (9000 circuitos), tem-se que serão necessários 3000 PLCs. Efetuando as contas com o custo de uma unidade de PLC a R\$ 5000,00:

$$3000 \times \text{R\$ } 5000,00 = \text{R\$ } 15.000.000,00$$

Ou seja, a instalação do sistema PLC nesta configuração é mais econômica

em relação ao que seria adotado na cidade de São Paulo na razão de um quinto. Além disso, o número de medidores de energia e de chaves magnéticas seria reduzido em três décimos.

6.4.1.2 Observações a serem levadas em conta, com relação a esta estruturação do sistema de iluminação pública:

- Como este sistema apresenta potência e comprimento dos circuitos maiores do que os utilizados em São Paulo, as seções dos cabos, conseqüentemente, serão maiores do que as atuais (estas variam de 16 a 35mm²);
- Os medidores de energia e as chaves magnéticas devem ser mais robustos a fim de suportar correntes até cinco vezes maiores que as atuais, isto se deve à maior potência dos circuitos;
- Os circuitos poderiam ser comandados de modo independente, permitindo assim ligar e desligar cada circuito monofásico seqüencialmente de acordo com as condições de luminosidade ou da circunstância.
- No caso de falha num transformador deste sistema, uma área muito maior (se comparada com a do sistema atual) ficaria sem iluminação pública.

6.4.2 Agrupamento dos circuitos de iluminação pública e residencial de baixa tensão num mesmo transformador.

Ao invés de circuitos com transformadores distintos, poder-se-ia utilizar um mesmo transformador para abastecer os dois sistemas em paralelo, o residencial de baixa tensão e o de iluminação pública.

Como o número de transformadores de distribuição (cerca de 200.000) é bem maior do que o número de transformadores de iluminação pública (cerca de 30.000), os circuitos de iluminação seriam divididos em circuitos menores de 10 a 20 lâmpadas cada e então conectados na mesma fase dos circuitos residenciais. Vide figura 25.

Apesar da carga acrescida ao transformador não ser muito grande (entre 2500W a 5000W) deverá ser realizado um estudo em cada equipamento a fim de se verificar a necessidade de troca do mesmo devido à possibilidade de sobrecarga, a qual influi na vida útil deste componente.

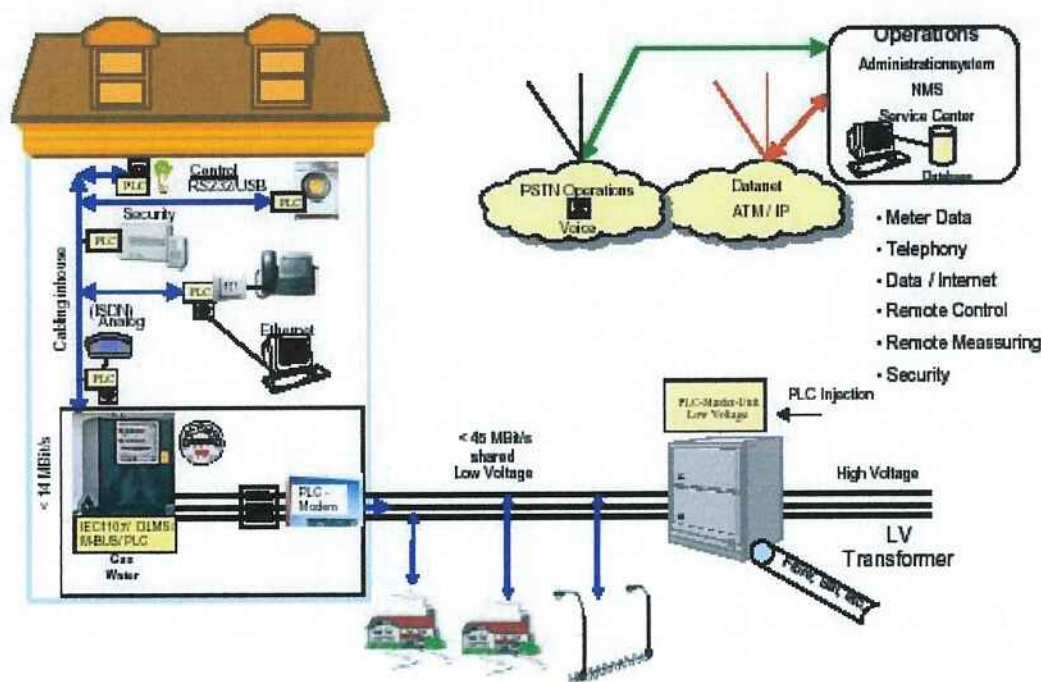
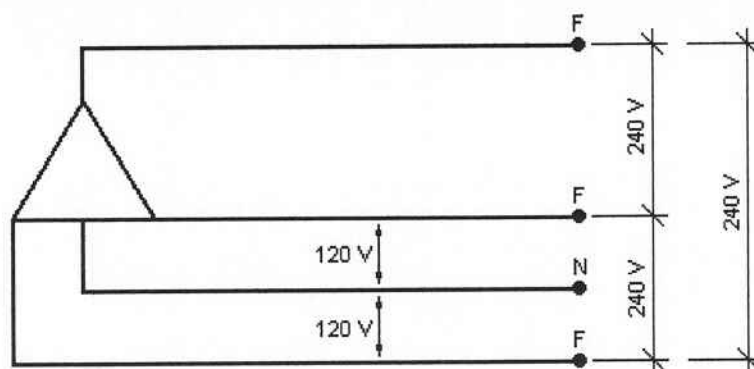


Figura 25 – Agrupamento dos circuitos de iluminação pública e residencial de baixa tensão num mesmo transformador

A comunicação de dados será realizada pela rede elétrica de baixa tensão. Junto ao transformador de distribuição será instalada uma unidade Master PLC que será responsável por transmitir o sinal proveniente da rede de baixa tensão para uma rede de comunicação já existente (fibra ótica, telefonia, satélite ou TV a cabo). Vide figura 25.

Dependendo do tipo da rede de comunicação, equipamentos como roteadores ou conversores de mídia serão necessários para fazer a interface do sinal com o modem PLC. Por exemplo, pontes hierárquicas digitais síncronas (SDH) serão necessárias para realizar a interconexão do ramal de fibra ótica.

Como em São Paulo é comum o sistema de distribuição em delta aberto, as lâmpadas serão conectadas entre duas fases, conforme indicado na figura 26.



As lâmpadas serão conectadas entre as fases (240 V)

Figura 26 – Posicionamento das lâmpadas no secundário.

6.4.2.1 Funcionamento do sistema de iluminação para este caso:

A central que controlará o sistema de iluminação manda a informação para a atuação da chave magnética de acionamento das lâmpadas. Este comando será transmitido através da rede de comunicação existente até a unidade Master PLC que por sua vez modulará o sinal na rede elétrica. Enquanto isso os medidores de energia mandam pela rede de baixa tensão em direção ao PLC os sinais referentes à potência consumida pela iluminação pública.

6.4.2.2 Outros serviços disponibilizados nesta configuração.

Esta configuração permite ao consumidor residencial o acesso à rede de comunicação, portanto oferece serviços como: Internet de banda larga, medição automática do consumo de água, luz e gás (AMR), vídeo e áudio on demand, automação residencial, controle do fornecimento de energia a residências, entre outras.

Atualmente, os modems conseguem transmitir informações na velocidade de até 200 Mbps. Todavia, a velocidade do acesso de banda larga dependerá do número de usuários conectados simultaneamente e do tipo da estrutura de comunicação conectada à unidade Master PLC.

6.4.2.3 Estudo Econômico

A viabilidade econômica deste tipo de configuração dependerá de:

- Quantidade de serviços oferecidos, e,
- Número de usuários do sistema.

Neste estudo, considera-se somente o serviço de internet de banda larga, e o preço dos seguintes equipamentos.

Equipamento	Preço Unitário em USD*	Preço Unitário em R\$
Unidade Master PLC	USD 2.500,00	R\$ 6.500,00
Repetidor PLC	USD 2.500,00	R\$ 6.500,00
Chave magnética com interface PLC	USD 80,00	R\$ 208,00
Medidor de Energia	USD 25,00	R\$ 65,00

*Valores obtidos através de pesquisas com os fabricantes.

A quantidade de repetidores depende da unidade de Master PLC até o usuário final mais longe, pois a cada 500 metros o sinal precisa ser amplificado devido à atenuação do mesmo. Estima-se que em média 2 repetidores são suficientes.

Então, considerando somente os equipamentos necessários para o controle e medição da Iluminação Pública e para o serviço de internet de banda larga, tem-se para cada transformador: 1 unidade Master PLC, 2 repetidores, 1 chave magnética com interface PLC e 1 medidor de energia.

Considerando que o custo dos equipamentos produzidos em grande escala diminui em 20%, e que o custo de instalação é cerca de 5% do custo do equipamento, o custo total do sistema por transformador de distribuição será de:

Equipamento	Quantidade	Preço Unitário em USD*	Preço Unitário em USD para Produção em Grande Escala
Unidade Master PLC	1	USD 2.500,00	USD 2.000,00
Repetidor PLC	2	USD 2.500,00	USD 2.000,00
Chave magnética com interface PLC	1	USD 80,00	USD 64,00
Medidor de Energia	1	USD 25,00	USD 20,00
Subtotal			USD 4.084,00
Custo de instalação			USD 204,20
Total em USD			USD 4.288,20
Total em R\$			R\$ 11.149,32

*Valores obtidos através de pesquisas com os fabricantes.

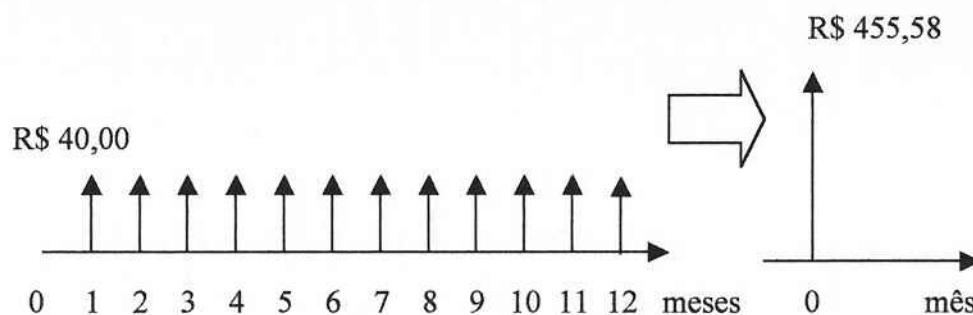
Para estimar o número de consumidores em cada transformador, considera-se que cada consumidor utiliza em média 1,5 kVA. Portanto, teremos:

Potência do transformador (kVA)	Número de consumidores
75	50
112,5	75
150	100

A média da mensalidade para o serviço de internet de banda larga é R\$ 40,00. Considera-se que o número de usuários deste serviço é igual ao número de consumidores por transformador de distribuição.

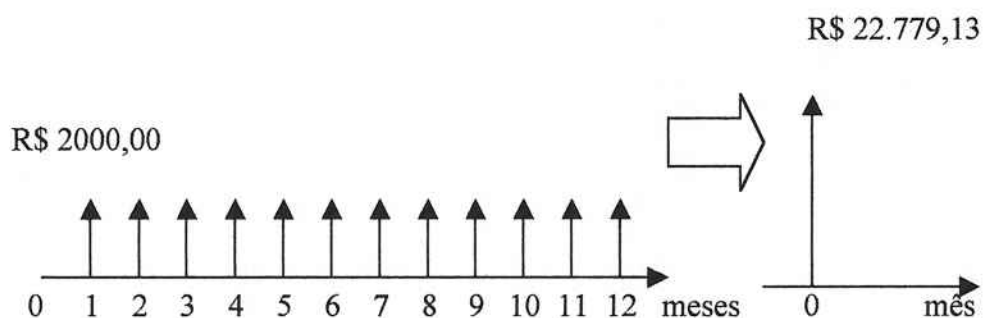
Taxa de Juros de Longo Prazo

Utilizando-se a Taxa de Juros de Longo Prazo de 9,75% ao ano, ou 0,8125% ao mês (valor de fevereiro de 2005), que é a taxa de juros praticada pelo BNDES nos programas FINAME para máquinas e equipamentos, e FINEM (Financiamentos a Empreendimentos), converte-se o valor das mensalidades cobradas em um ano para o valor presente, considerando que não há grande variação deste.

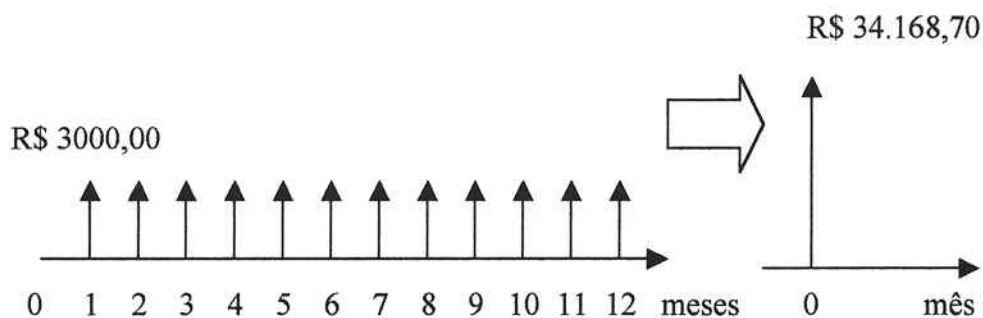


Considerando, casos otimistas em que todos os consumidores de cada transformador utilizarão o serviço de internet de banda larga, teremos:

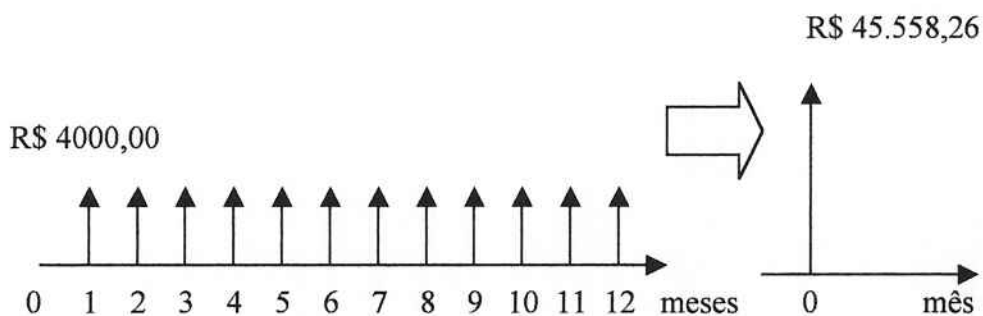
Em transformadores trifásicos de 75 kVA com 50 usuários:



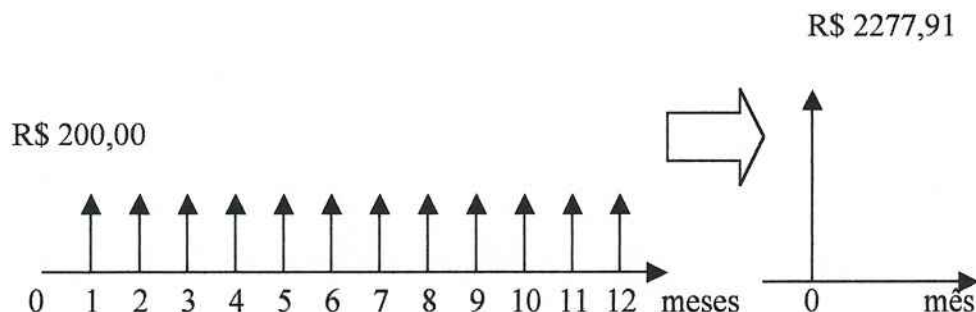
Em transformadores trifásicos de 112,5 kVA com 75 usuários:



Em transformadores trifásicos de 150 kVA com 100 usuários:

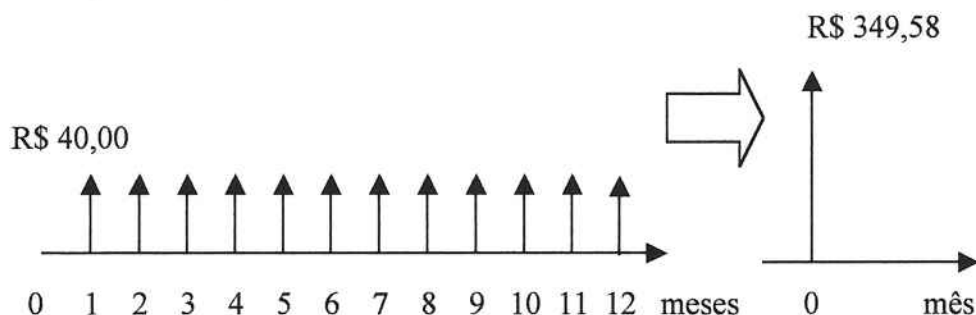


Para um caso pessimista, supondo que apenas 5 consumidores residenciais utilizarão o serviço de internet de banda larga através do PLC, pois estão satisfeitos com o acesso oferecido por outros meios (telefonia, tv a cabo, etc):



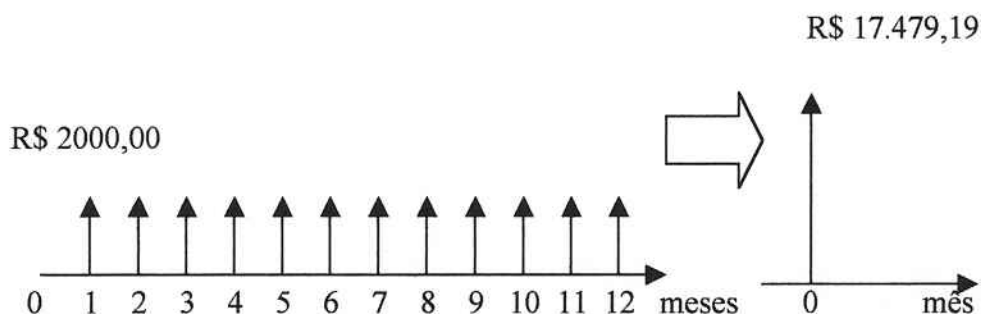
Taxa de Juros para Crédito Pessoal

Utilizando a média da taxa de juros de 5,25 % ao mês praticadas pelos bancos (conforme pesquisa feita em 02 a 03/02/2005 pelo site do jornal O Estado de São Paulo <http://www.estadao.com.br/ext/financas/credito/credito pessoal.htm>), converte-se o valor das mensalidades cobradas em um ano para o valor presente, considerando que não há grande variação deste.

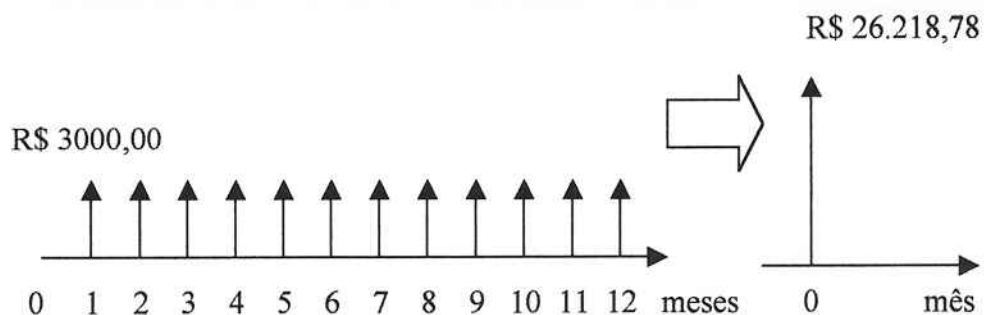


Considerando, casos otimistas em que todos os consumidores de cada transformador utilizarão o serviço de internet de banda larga, teremos:

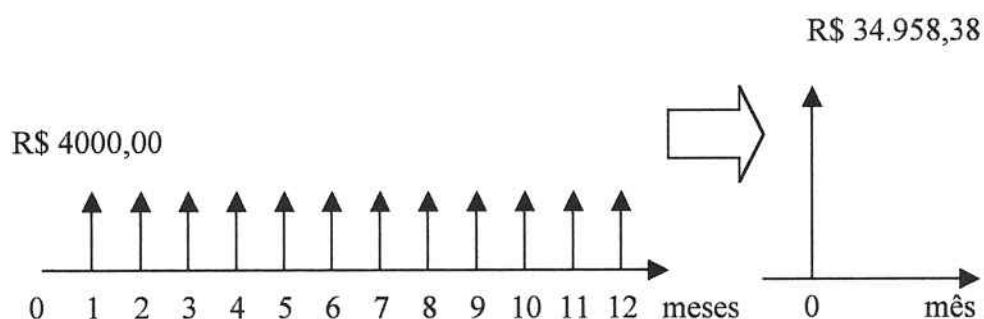
Em transformadores trifásicos de 75 kVA com 50 usuários:



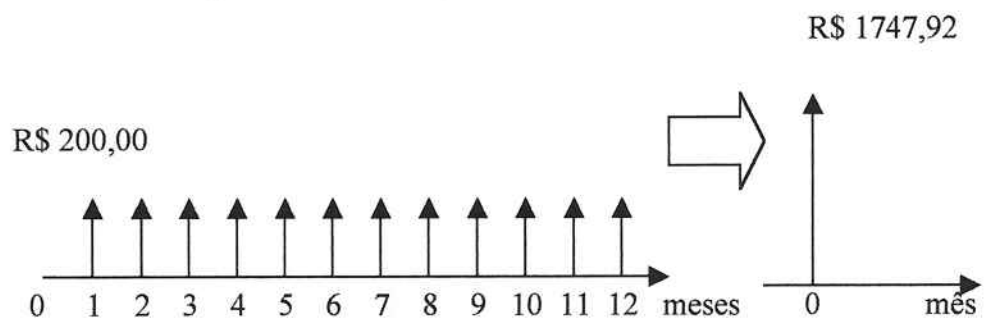
Em transformadores trifásicos de 112,5 kVA com 75 usuários:



Em transformadores trifásicos de 150 kVA com 100 usuários:



Para um caso pessimista, supondo que apenas 5 consumidores residenciais utilizarão o serviço de internet de banda larga através do PLC, pois estão satisfeitos com o acesso oferecido por outros meios (telefonia, tv a cabo, etc):



As tabelas a seguir resumem o dados do estudo de viabilidade econômica.

Potência do Transformador Trifásico (kVA)	Quantidade de Consumidores	Valor Presente das Mensalidades de um ano de Internet de banda larga	
		Taxa de Juros de Longo Prazo (0,8125% a.m.)	Taxa de Juros de Crédito Pessoal (5,25% a.m.)
75	50	R\$ 22.779,13	R\$ 17.479,19
112,5	75	R\$ 34.168,70	R\$ 26.218,78
150	100	R\$ 45.558,26	R\$ 34.958,38

Tabela 1 – Para casos otimistas: todos os consumidores utilizam o serviço de internet de banda larga através do PLC.

Quantidade de Consumidores	Valor Presente das Mensalidades de um ano de Internet de banda larga	
	Taxa de Juros de Longo Prazo (0,8125% a.m.)	Taxa de Juros de Crédito Pessoal (5,25% a.m.)
5	R\$ 2.277,91	R\$ 1.747,92

Tabela 2 – Para um caso pessimista: apenas 5 consumidores utilizam o serviço de internet de banda larga.

Custo do Sistema para cada Transformador	R\$ 11.149,32
--	---------------

Tabela 3 – Custo do sistema.

Nos casos otimistas, o valor presente das mensalidades de internet de banda larga é maior que o custo estimado do sistema para cada transformador logo no primeiro ano. No caso mais pessimista, todavia, o retorno do investimento será em 8 ou 10 anos. Torna-se, então, necessário um estudo mais aprofundado desta possibilidade (junto aos consumidores) para se verificar uma estratégia comercial, a fim de atrair o maior número de usuários possível para esta proposta.

É necessário que o sistema implementado seja capaz de oferecer um serviço (acesso à internet de banda larga, neste caso) melhor e mais barato para que se consiga convencer os consumidores de outros meios (telefonia, TV a cabo, etc) a mudar para o sistema com PLC, e convencer também os que não possuem acesso a internet de banda larga.

6.4.2.4 Observação

É necessário um estudo técnico aprofundado da rede de distribuição antes da implementação. Como nesta parte da rede há muitas cargas (motores, lâmpadas de descarga) e conseqüentemente muito ruído, a informação a ser transmitida pode ser prejudicada. Utilizando-se a modulação OFDM pode-se resolver este problema, conforme explicado no item 8.2.2.

Outro ponto negativo desta configuração é que caso ocorra um defeito no transformador, não só o abastecimento residencial fica comprometido, mas também a iluminação pública.

Conforme dito no item 6.4.2, é preciso estudar a carga de cada transformador a fim de se verificar a necessidade de troca do mesmo devido à possibilidade de sobrecarga, a qual influi na vida útil deste componente. Além disso, a implementação do sistema poderá ser feita à medida que os transformadores sejam substituídos por outros de maior capacidade, o que pode retardar a implementação do sistema PLC.

6.5 Novas possibilidades de uso de PLC.

Como expresse anteriormente, a implementação do PLC somente para a iluminação pública na cidade de São Paulo consiste num investimento altamente dispendioso e inviável no presente momento, mesmo porque, se compararmos o gasto anual da prefeitura com a energia não consumida devido ao tempo necessário para a troca das lâmpadas queimadas (R\$ 135.864,00) com o número de habitantes da cidade (10.000.000 aproximadamente), isso corresponderia a um custo de pouco mais de um centavo de Real (R\$ 0,014) por munícipe.

Mesmo nos circuitos alternativos propostos e avaliados acima, verificou-se um custo considerável, além do que, se a alternativa tecnicamente mais viável (com um mesmo transformador alimentar o sistema residencial e uma parcela das lâmpadas do sistema de iluminação pública) fosse implementada, haveria de se esperar pela saturação da carga num dado circuito de alimentação residencial para promover a troca do transformador por um modelo de maior capacidade e que seria então responsável também por alimentar parte de um circuito do sistema de iluminação pública. Esta possibilidade levaria muitos anos para ser aplicada a todos os sistemas da cidade.

Observou-se também que os projetos existentes de utilização do PLC, no Brasil e no mundo, possuíam elevado custo para as empresas e para os usuários.

Todavia, pode-se aproveitar a grande variedade de recursos disponibilizados por esta tecnologia (como descrito nos capítulos anteriores) para diversificar seu uso e com isso dividir os gastos com outras empresas prestadoras de serviços (companhias telefônicas, elétricas, operadoras de TV a cabo, empresas de segurança, agências de pesquisas, consultorias, órgãos governamentais e entidades civis).

Nos equipamentos mais recentes, por exemplo, a taxa de transmissão de dados chega a 200 Mbps, o que viabiliza os serviços de Internet, sinais de televisão a cabo, sinais de vídeo, sistemas de medição à distância, entre outros, e assim o uso do PLC torna-se muito mais eficiente.

Os gastos relacionados com a passagem de cabos, aluguel pago pelo uso da estrutura fornecida pelos postes da companhia de distribuição, seriam reduzidos apenas para o aluguel da rede de distribuição de energia (13,8 kV) na transmissão dos sinais.

Alternativas, já em fase de testes em algumas cidades, consideram a combinação das tecnologias PLC e GSM, utilizando-se estações remotas de controle para monitorar circuitos de lâmpadas. A comunicação da estação remota às lâmpadas é realizada via PLC e da central de controle à estação remota é feita via GSM. O esquema abaixo mostra alguns exemplos de arquiteturas que empregam essas tecnologias para a gestão telecomandada da Iluminação Pública.

Algumas empresas estão desenvolvendo e testando modernos sistemas de controle e supervisão de Iluminação Pública, empregando tecnologias PLC e GSM. Alguns deles são dotados de recursos para controle do consumo de energia mediante o processo de dimerização (redução do fluxo luminoso, e, por conseguinte, da energia consumida pelas lâmpadas). Os sítios (sites) referentes a estas empresas podem ser encontrados na Referência Bibliográfica.

Durante a pesquisa de campo, referente à coleta de dados sobre o sistema de Iluminação Pública da cidade de São Paulo e à manutenção do mesmo, o consultor em gestão de iluminação pública, engenheiro José Luiz Pimenta Pinheiro mostrou-se interessado na possibilidade de uso do equipamento para supervisão do sistema de distribuição de energia da cidade devido ao grande prejuízo referente ao roubo de cabos. Segundo dados fornecidos pelas concessionárias brasileiras este valor chega a

R\$ 10 milhões por dia.

A idéia seria adaptar o controle do sistema de iluminação pública utilizado na capital francesa, Paris. Neste, um sinal de 170 Hz de pequena amplitude é introduzido na rede elétrica durante o período noturno, fazendo as chaves magnéticas atuarem, ligando assim a iluminação pública. O sinal de 170Hz não produz interferências ou harmônicos de intensidade elevada na rede de distribuição, que opera em 50Hz.

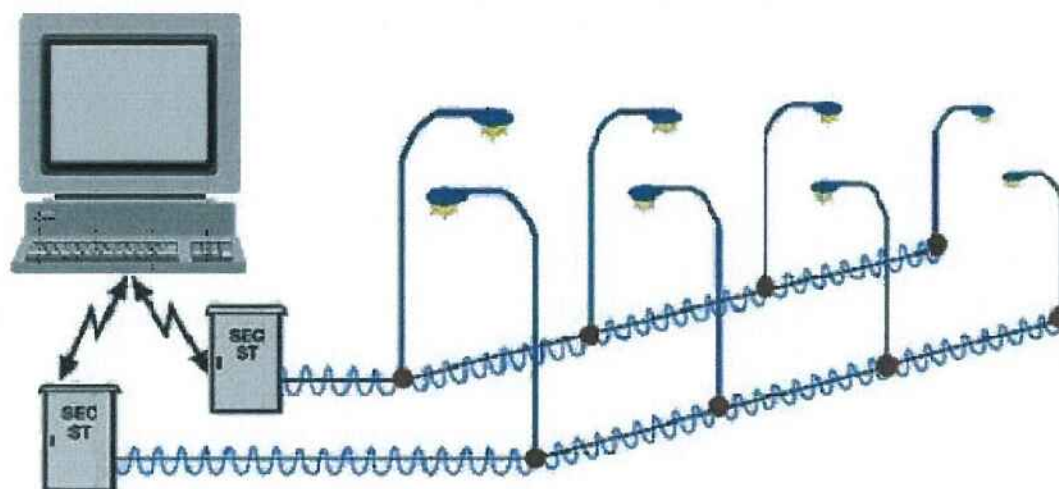


Figura 27 – Sistema de controle da iluminação pública utilizada na cidade de Paris.

A modificação proposta seria a de se testar a viabilidade de emprego deste tipo de sistema no Brasil, inclusive com a possibilidade de empregar este sinal de referência como portador para outros sinais, os quais seriam utilizados de modo a fazer uma varredura na rede. Cada sinal de controle estaria relacionado a um componente localizado no final de um circuito de iluminação pública que por sua vez transmitiria a informação a uma central de controle. A inexistência de uma resposta poderia ser um indício de descontinuidade na rede de distribuição a qual seria solucionada prontamente mediante o envio ao local de uma equipe de manutenção para inspecionar o sistema.

Numa análise preliminar desta possibilidade, considera-se que a mesma seja viável devido à menor quantidade de componentes e, portanto, menor complexidade de montagem e de manutenção. Todavia, estudos mais profundos de viabilidade técnica devem ser efetuados.

7. CONCLUSÃO

Por meio deste trabalho, verificamos a possibilidade de uso do sistema de distribuição de energia para uma tarefa totalmente diferente da qual ele tem sido utilizado desde seus primórdios. Essa nova função, de transmissão de dados, possibilita o aumento da funcionalidade do sistema de iluminação pública (com manutenções corretivas efetuadas de modo mais ágil) e a economia por parte das prefeituras (e conseqüentemente dos municípios) com os gastos relacionados a estes sistemas. No entanto, devido às características da rede de iluminação pública, quanto à eficiência de sua manutenção, o uso do PLC mostrou-se inviável devido à demora no retorno do investimento inicial. Das configurações alternativas avaliadas, a única que mostra viabilidade econômica (para o caso mais otimista, em que todos os consumidores adotam o uso da nova tecnologia) é o sistema que une os circuitos residencial e de iluminação pública, possibilitando aos consumidores o acesso à internet de banda larga. Entretanto, no caso mais pessimista (apenas 5 usuários por transformador utilizando-se do acesso de banda larga através do PLC) o retorno do investimento estende-se por até 10 anos, dificultando a implementação do sistema. Para diminuir o tempo de retorno do investimento é necessário que se agregue mais serviços além da internet de banda larga (AMR de luz, água e gás, automação residencial, etc). Para aumentar o número de usuários do sistema, os serviços oferecidos devem ter menor preço e maior qualidade, se comparados com os já existentes no mercado.

Informações mais recentes sobre a tecnologia PLC permitiram ampliar o escopo de ação do equipamento, visto que a taxa de transferência dos novos aparelhos é muito superior às observadas nos produtos até então disponíveis no mercado. A partir destes dados, a divisão de custos entre empresas de diferentes setores que podem se beneficiar do uso dos PLCs (companhias de telecomunicação, TV a cabo, segurança e as próprias concessionárias de serviços públicos) permitiriam a aplicação destes equipamentos para a finalidade inicialmente proposta.

Um fato que se pode comprovar é que há muitas empresas espalhadas pelo mundo interessadas nas possibilidades e facilidades propostas pela utilização do sistema PLC, seja ele para o interior de construções ou para uso externo em redes de média e alta tensão. Apesar de alguns problemas que ainda faltam ser resolvidos, (como a interferência provocada em sistemas de comunicação; a interferência

provocada por motores ou pelas próprias lâmpadas de descarga ou a necessidade de repetidores de sinais localizados a pequenas distâncias, um do outro) esta nova tecnologia promete nos próximos anos incrementar, e muito, a utilidade dos sistemas de distribuição de energia.

A pesquisa de campo sugeriu uma nova idéia de uso do equipamento (e que se mostra promissora): supervisionar a rede de distribuição de energia com a finalidade de se evitar o furto de cabos, que é a maior fonte de prejuízo das empresas do setor elétrico.

8. ANEXO I

Neste anexo são abordados aspectos relativos a fundamentos de comunicação de dados que formam a base da tecnologia PLC. Serão discutidos conceitos de modulação e multiplexação.

8.1 Modulação

O desenvolvimento da tecnologia PLC só foi possível com o avanço das técnicas de modulação, isto porque a modulação consiste no processo de transformar um sinal em uma forma adequada para transmissão através de um determinado meio físico (canal).

No processo de modulação que ocorre no transmissor, algum parâmetro da onda portadora é modificado de acordo com a mensagem a ser enviada pelo canal de transmissão. O receptor recria a mensagem original a partir do sinal recebido através do canal (processo de demodulação). Entretanto, a presença de ruído e a distorção no sinal recebido impossibilitam a recriação exata da mensagem original. A degradação do sinal no sistema, como um todo, é influenciada pelo tipo de modulação usado, sendo algumas técnicas mais sensíveis a ruídos e distorções que outras.

A modulação pode ser classificada em: modulação de onda contínua e modulação por pulsos.

8.1.1 Modulação de onda contínua

A modulação de onda contínua é a forma analógica de modulação que usa uma onda portadora senoidal para transmitir a informação. Existem duas famílias de sistemas de modulação de onda contínua: modulação por amplitude e modulação por ângulo.

8.1.1.1 Modulação de onda contínua por amplitude

Nesse tipo de modulação a amplitude da onda portadora é variada de acordo com o sinal a ser transmitido. A Figura 28 mostra um sinal a ser transmitido e o seu equivalente após a modulação em amplitude.

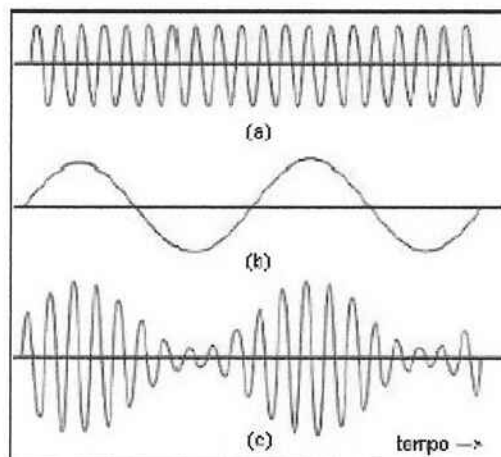


Figura 28: Modulação de onda contínua em amplitude:

(a) Onda portadora; (b) Sinal a ser transmitido; (c) Sinal modulado em amplitude.

A vantagem da modulação em amplitude é a sua simplicidade. Entretanto, suas desvantagens são:

- Desperdício de potência: a onda portadora usada é independente da informação e é transmitida junto com o sinal gastando mais potência;
- Desperdício de banda: as bandas laterais superior e inferior do espectro da onda modulada são simétricas em relação à frequência da onda portadora.

Essas desvantagens podem ser superadas utilizando formas lineares de modulação em amplitude (*Double Sideband-Suppressed Carrier-DSB-SC*, *Single Sideband-SSB*, *Vestigial Sideband-VSB*), mas que acarretam uma complexidade maior ao sistema.

Essas modulações não serão vistas nesse trabalho, pois fogem do escopo do mesmo. Detalhes podem ser encontrados em [8].

8.1.1.2 Modulação de onda contínua por ângulo

Nesse tipo de modulação o ângulo da onda portadora é variado de acordo com o sinal a ser transmitido. Os dois métodos mais comuns desse tipo de modulação são: modulação em fase (*Phase Modulation-PM*) e modulação em frequência (*Frequency Modulation-FM*).

A modulação em fase consiste em variar linearmente o ângulo do sinal modulado, enquanto a modulação em frequência varia, conforme o nome diz, a frequência do sinal modulado. Um sinal FM pode ser obtido de um sinal PM e vice-

versa. Portanto, todas as propriedades de um sinal FM podem ser deduzidas das propriedades de um sinal PM.

A Figura 29 mostra o resultado de uma modulação em frequência.

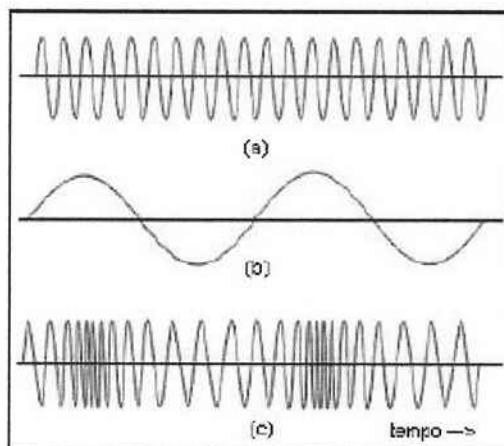


Figura 29: Modulação de onda contínua em frequência:

(a) Onda portadora. (b) Sinal a ser transmitido. (c) Sinal modulado em frequência.

Uma consequência de se fazer o ângulo dependente da mensagem a ser transmitida é que o cruzamento em zero do sinal PM ou FM perde a sua regularidade no espaçamento. O cruzamento em zero é o instante de tempo em que a onda muda do positivo para o negativo e vice-versa. Esta característica distingue as modulações por amplitude das modulações por ângulo. Outra diferença é que o envelope (forma de onda) do sinal PM ou FM é constante e igual à amplitude da onda portadora, enquanto o envelope do sinal AM é dependente da mensagem a ser transmitida.

8.1.2 Modulação por pulsos

A modulação por pulsos é forma digital de modulação. Aqui, ao contrário de uma onda senoidal, um trem de pulsos é usado para transmitir informação. A base desta modulação é o processo de amostragem.

O processo de amostragem consiste em amostrar-se um sinal analógico em determinados instantes de tempo gerando uma sequência de amostras, normalmente uniformemente espaçadas no tempo. É necessário que a taxa de amostragem seja escolhida adequadamente, de forma que a sequência de pulsos gerada defina unicamente o sinal analógico original. O Teorema de Nyquist estabelece que essa

taxa deve ser maior do que o dobro da frequência do sinal a ser amostrado para que se possa recuperar o sinal original a partir de suas amostras.

Entretanto, para sinais que não possuem banda limitada, pode haver sobreposições de componentes de alta frequência sobre os de baixa frequência (*aliasing*), tornando necessário o uso de filtros no processo de amostragem (os chamados filtros *antialiasing*).

Pode-se distinguir duas famílias de modulação por pulsos: analógica e digital.

8.1.2.1 Modulação por pulsos analógica

Esse tipo de modulação utiliza um trem de pulsos periódico como onda portadora e varia-se alguma propriedade de cada pulso de acordo com o valor amostrado correspondente do sinal da mensagem. As variações nos pulsos podem ocorrer na amplitude (Figura 30), na duração e na posição. A informação é transmitida de forma analógica, mas em instantes de tempo discretos.

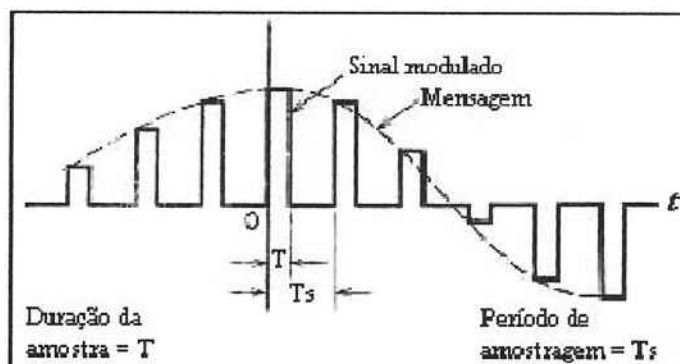


Figura 30: Modulação por pulso em amplitude

8.1.2.2 Modulação por pulsos digital

Nesse tipo de modulação, a mensagem é representada de tal forma que é discreta tanto na amplitude quanto no tempo, permitindo, então, a sua transmissão de forma digital como uma sequência de pulsos de código. Código é uma representação discreta de um conjunto de valores discretos. Cada valor dentro de um código é chamado símbolo. Em um código binário, por exemplo, cada símbolo pode ter um de dois valores: ausência ou presença de pulso.

Existem diversos tipos de modulação por pulsos digital: unipolar sem

retorno a zero (NRZ), polar sem retorno a zero (NRZ), unipolar com retorno a zero (RZ), bipolar com retorno a zero (BRZ) e Código Manchester. A Figura 31 mostra alguns exemplos desses tipos de modulação. Maiores detalhes podem ser encontrados em [8].

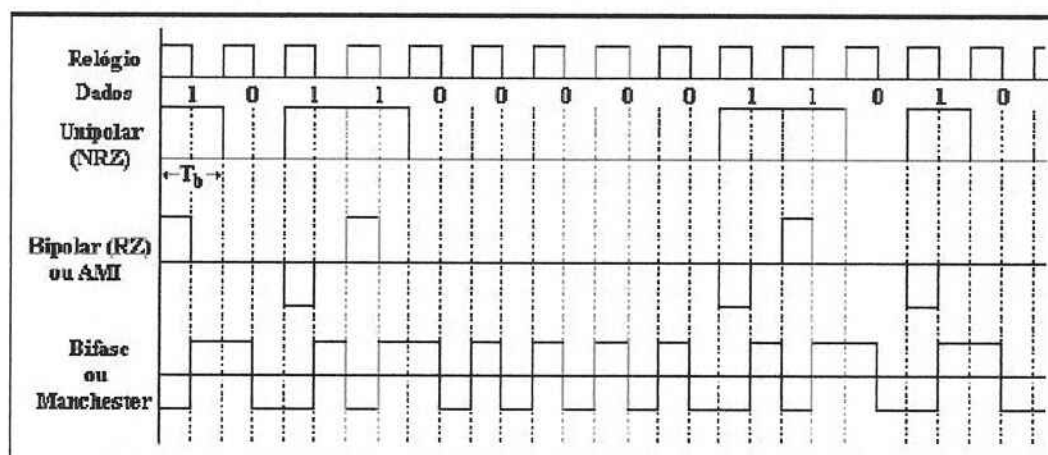


Figura 31: Exemplos de modulação por pulsos digital

8.2 Multiplexação do sinal

O uso da modulação põe em foco outro importante requisito da transmissão de informação: a multiplexação. Multiplexação é o processo de combinar vários sinais para a transmissão simultânea sobre o mesmo canal. Dentre os métodos básicos de multiplexação pode-se citar:

- *Frequency-Division Multiplexing* (FDM): usa modulação por onda contínua para colocar cada sinal em uma frequência específica da banda. No receptor são usados vários filtros para separar os diferentes sinais e prepará-los para demodulação.
- *Time-Division Multiplexing* (TDM): usa modulação por pulsos para posicionar os sinais em diferentes fatias de tempo.
- *Code-Division Multiplexing* (CDM): no qual cada sinal é identificado por uma sequência (código) diferente.

Essas técnicas de modulação são base para outras mais robustas utilizadas na comunicação pela rede elétrica: a *spread spectrum* (espalhamento espectral) e a OFDM.

8.2.1 Spread Spectrum

Esta técnica de modulação é caracterizada pela habilidade de rejeitar interferências na transmissão de informação. Segundo [8], uma modulação *spread spectrum* satisfaz duas definições:

- é uma forma de transmissão na qual a informação ocupa uma banda maior que a banda mínima para transmiti-la
- o espalhamento do espectro é realizado antes da transmissão através do uso de um código independente da informação. O mesmo código é usado pelo receptor para recuperar a informação original.

Esta modulação “sacrifica” a eficiência em termos de banda e potência em prol da segurança nas transmissões em ambientes hostis. Quando o sinal é espalhado no espectro de potência, ele fica com a aparência de um sinal de ruído, podendo ser transmitido pelo canal sem ser detectado por quem possa estar monitorando a comunicação. A Figura 32 mostra como fica o espectro de potência para um sinal espalhado e um sinal de banda base.

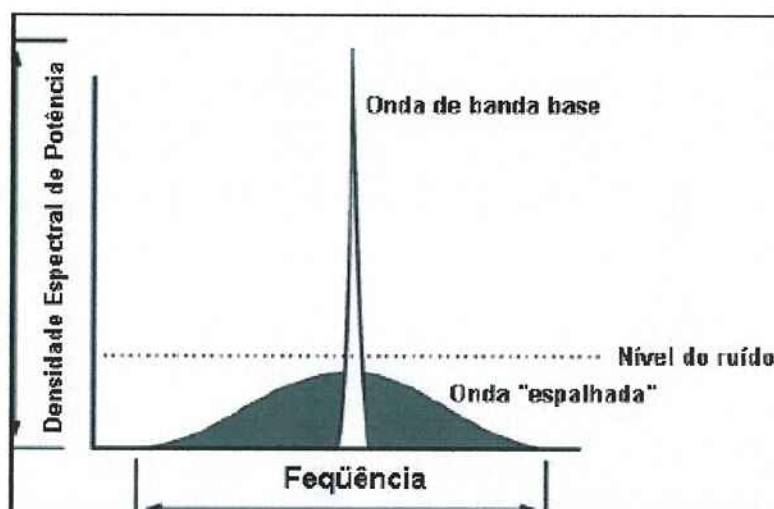


Figura 32: Densidade espectral de um sinal em banda base e um sinal “espalhado”

As vantagens desse tipo de modulação são:

- Baixa densidade espectral de potência
- Rejeição a interferências
- Privacidade: o código usado para o espalhamento tem baixa ou nenhuma correlação com o sinal e é único para cada usuário, sendo impossível separar do sinal a informação que está sendo transmitida sem o conhecimento do código utilizado

Quanto aos tipos de sistemas spread spectrum, pode-se citar:

- FH-SS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*). A banda total do canal de transmissão é dividida em diversos subcanais de banda estreita e o sistema comuta rapidamente entre eles segundo uma sequência aleatória, conhecida, tanto pelo transmissor como pelo receptor.

- DS-SS (*Direct Sequence Spread Spectrum*). Utiliza um canal de banda larga ($>1\text{MHz}$) onde todos transmitem a uma alta taxa de chips (símbolos binários) segundo uma sequência que segue um código aleatório predefinido (pseudo ruído). Este pseudo ruído é um sinal binário produzido a uma frequência muito maior que o dado a ser transmitido, espalhando o sinal no domínio frequência.

Na recepção o sinal é filtrado segundo a mesma sequência.

- Sistema híbrido DS/FH. A banda é dividida em subcanais e em cada um deles um pseudo ruído é multiplicado com o sinal de dados. Um endereço é a combinação da sequência das frequências e o código do pseudo ruído.

8.2.2 OFDM

A técnica de multiplexação OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) foi criada visando minimizar a interferência entre canais de frequência próximos uns aos outros e está baseada na propriedade da ortogonalidade entre sinais. Dois sinais são ditos ortogonais, quando a multiplicação de um pelo outro resulta em zero.

A tecnologia é complexa e exige processamento digital de sinais múltiplos. Consiste na divisão do canal em vários canais de banda estreita de diferentes frequências (Figura 33). A diferença entre a técnica convencional FDM está na forma como os sinais são modulados e demodulados, garantindo a ortogonalidade dos sinais na OFDM.

Os benefícios dessa técnica de modulação são: maior número de canais para uma mesma faixa espectral quando comparado com a técnica FDM (vide Figura 29), resistência à interferência RF e pouca distorção causada por caminhos múltiplos. Isso é importante porque em um típico cenário de broadcast os sinais transmitidos chegam ao receptor através de vários caminhos de diferentes comprimentos (*multipath-channels*). Como versões múltiplas de um sinal interferem umas com as outras (*inter symbol interference (ISI)*) torna-se extremamente difícil extrair a

informação original. OFDM foi a técnica escolhida para a televisão digital da Europa, Japão e Austrália, assim como para serviços de áudio em broadcast na Europa. Também vem sendo amplamente utilizada em transmissões sem fio (*wireless*).

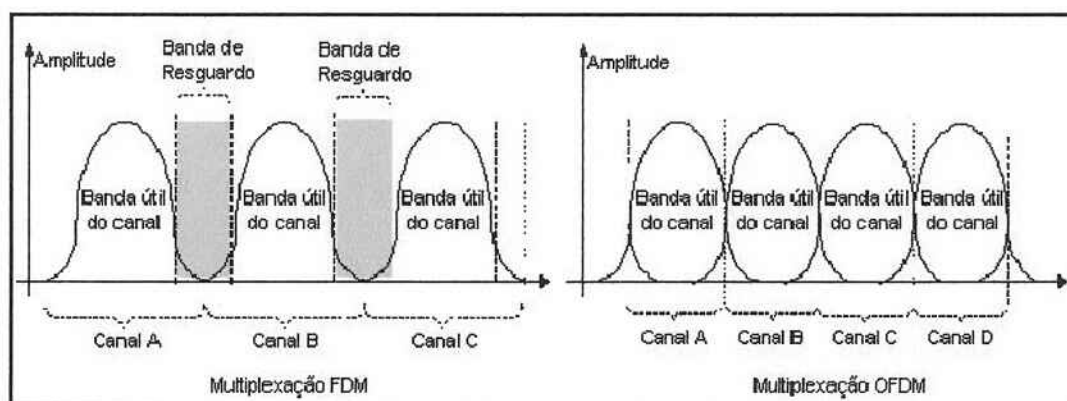


Figura 33: Divisão de canais segundo FDM e OFDM

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Manuais de Sistemas PLC;

Sítios (sites) de fabricantes:

- <http://www.ebaplc.com/>;
- <http://www.itrancomm.com/>;
- <http://www.wiplug.com.br>;
- <http://www.powertechww.com/en/index.html>

Sítios (sites) de empresas que estão desenvolvendo e testando modernos sistemas de controle e supervisão de Iluminação Pública, empregando tecnologias PLC e GSM.

www.mpes.it

www.umpi.it

www.telemics.com

http://www.afeisa.es/iluminacion/ulux_elite.htm

Artigos sobre aplicação de PLC:

- [1] SIGED – Sistema Integrado de Gerência e Demanda – Luís Fernando Arruda / Murilo Prado Badaró – Comissão de Integração Energética Regional – IV CIERTEC – Seminário Internacional sobre Automação de Redes de Distribuição e Centros de Controle;
- [2] Demonstration of the Technical Viability of PLC Systems on Medium – and Low-Voltage Lines in the United States – George Jee / Ram Das Rao and Yehuda Cern – IEEE Communication Magazine – 05/2003;
- [3] On the development of a MODEM for data transmission and control of electrical household appliances using the low-voltage power-line – Sara Escalera, Carlos M. Domínguez-Matas, J. Manuel García-Gonzales, Oscar Guerra and Angel Rodriguez-Vázquez – Instituto de Microelectrónica de Sevilla (IMSE-CNM-CSIC) – IEEE – 2003;
- [4] IT800D Power Line Communication Modem Data Sheet – IT800-DS-017-R1.0 – ITRAN Communications Ltd;

- [5] Sistema PowerNet[®] “Gerenciamento de Energia em Tensão Secundária de Distribuição” versão 1.0 – janeiro 2004 – EBA PLC Corp.;
- [6] SMALLWOOD, C.L. Power Quality Issues Relating to Power Line Carrier Automated Meter Reading Technology –;
- [7] An American National Standard IEEE Guide for Power-Line Carrier Applications - Power System Communications Committee of the IEEE Power Engineering Society - Approved March 15, 1979 - IEEE Standards Board - Approved July 6, 1982 - American National Standards Institute;
- [8] HAYKIN, S. Communication Systems, 4th Ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2001;
- [9] ARAUJO, J. J. Protocolos de Comunicação para Sistemas de Automação Predial, 2002, 55f. Trabalho individual (Mestrado em Ciências da Computação) – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.
- [10] INTELOGIS, INC. Intelogis PLUG-IN Technology – power line communication white paper, [S.1.:S.n.], 1998.
- [11] ECHELON CORPORATION. The Lon Works Network Platform – A Technology Overview. Disponível em:
- [12] <http://www.echelon.com/products/lonworks/default.htm>;
- [13] REMPLI. Application Requirements Report – Derivable 1.1, [S.1.:S.n.], 2003;
- [14] ROGAI, S. PLC Forum. Power Line Communication – Story, Perspectives, Open Issues. Milão, 2003.
- [15] CEBus INDUSTRY COUNCIL, Inc. Bringing Interoperability to Home Networks. Disponível em: <http://www.cebuse.org/index.html>.
- [16] IGUAÇU ENERGIA. Projeto PLC. Disponível em: <http://www.ienergia.com.br>.
- [17] Casadomo – El portal de la domótica. CEBus – Protocolos y Estándares. Disponível em: <http://www.casadomo.com>.
- [18] CEMIG. Projeto Piloto PLC. Site indisponível atualmente.
- [19] REMPLI. Real-time Energy Management via Powerlines and Internet. Disponível em: www.lanergy.com/index.php?menu=3#
- [20] Celg e Eletropaulo se unem pela inclusão digital – 30 de junho de 2004 – Disponível em:

http://www.celg.com.br/Sala_Imprensa_x.jsp?IDartigoFr=art_535740464233

- [21] SP investe em Internet pela rede elétrica – 26 de novembro de 2004 – Disponível em:

<http://informatica.terra.com.br/interna/0,,OI429609-EI553,00.html>

- [22] TOPFER, PAUL Technology Review of Powerline Communications (PLC) technologies and their use in Australia – Final Report – PB Associates – 07 de outubro de 2003. Disponível em:

http://www.dcita.gov.au/_data/assets/pdf_file/8420/Technology_Review_of_Powerline_Communications_Technologies_and_Their_Use_in_Australia_-_Final_Report.pdf

Artigos sobre Iluminação Pública

- [23] Projeto – Iluminação Pública – Documento 3670 - CPFL energia – 04/2003;
- [24] BURINI, E.C.; PIMENTA J.L.; FLORA A.L.; SODERO L.C.B., Tecnologia, Conservação de Energia e Eficiência da Iluminação Pública, Revista Eletricidade Moderna, n.8, p.76-95.
- [25] CAMBRAIA, M.S., Proposta de um Sistema de Gestão da Iluminação Pública para Municípios de Pequeno a Médio Porte.
- [26] ANEEL, Resolução n°. 456: Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica, novembro de 2000.
- [27] JEE, G.; RAO R.D.; CERN Y., Demonstration of the Technical Viability of PLC Systems on Medium and Low-Voltage Lines in the United States.
- [28] Oliveira J.G.; Borges M.L.; Lopes L.C., Iluminação Pública nos Programas de P&D no Brasil REVISTA Lumière, edição 60, Eletricidade & Iluminação, ano 5, p.119, abril 2003.
- [29] Apostila do Laboratório de Instalações Elétricas – PEA 2401 – Experiência 4 – Visão e Iluminação – Fontes Luminosas – 2002;
- [30] Tarifa de Iluminação Pública - <http://www.aneel.gov.br>
- [31] SIEMENS Ltda. Transformadores TUSA – Transformadores trifásicos de distribuição – impresso de setembro de 2000.