



**XX SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
GTL.YY  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

## **GRUPO -XV**

### **GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL**

#### **PLANEJAMENTO TÉCNICO E ECONÔMICO PARA A IMPLANTAÇÃO DE REDES DE TELECOMUNICAÇÕES SOBRE A INFRAESTRUTURA DE REDES DE ENERGIA ELÉTRICA**

**Heloisa Helena Müller(\*)**   **Carlos A. Fróes Lima**   **José Ricardo Portillo Navas**   **Loreno Menezes da Silveira**  
**KNBS**   **KNBS**   **KNBS**   **KNBS**  
**André L. Morelato França**  
**UNICAMP**

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta os resultados obtidos no Planejamento de Redes de Acesso para conexão à Internet em Banda Larga, utilizando a tecnologia *Powerline Communication* sobre a infraestrutura existente de redes de energia elétrica. Em um ambiente de simulação técnica e econômica, georeferenciado e com a visibilidade da estrutura da rede, podem ser realizados estudos de interconectividade e operação com estruturas de comunicação wireless e fibra. Permite-se a aplicação de modelos híbridos de telecomunicações e organização de redes. Foi elaborada uma metodologia de estudos para a caracterização da viabilidade, permitindo respostas para as condições de atendimento, sistemas e conectividade.

## **PALAVRAS-CHAVE**

PLC - Powerline-Communications, BPL - Broadband Powerline Communications, Energia Elétrica, Internet, Planejamento de Redes

### **1.0 - INTRODUÇÃO**

A idéia de se usar redes de energia elétrica para conduzir sinais de telecomunicações tem como atrativo aproveitar a sua capilaridade sem investimentos adicionais em estruturas físicas de distribuição e oferta de serviços como internet em banda larga, seja pelos fios, fibras ou wireless, em uma estrutura integrada de suporte as telecomunicações.

O grande desafio da tecnologia PLC banda larga é mostrar-se competitiva frente a outros meios de transmissão de informação. Embora tenha havido, na última década, significativo avanço nas técnicas de comunicação utilizadas em sistemas PLC banda larga, a resposta adequada a esse desafio depende fortemente dos objetivos a alcançar em termos de desempenho e abrangência dentro de áreas delimitadas (1) (2).

Em outras palavras, PLC banda larga pode ser competitiva ou não em determinada área em função de parâmetros de desempenho específicos e abrangência sócio-econômica. Para obter esse tipo de resposta de forma confiável, é necessário dispor de uma metodologia de planejamento de redes de acesso que permita uma análise de viabilidade técnico-econômica e ao mesmo tempo assegure a possibilidade de integração de tecnologias antes de se realizar os investimentos em implantação.

A tecnologia PLC tem sido cogitada para apoiar processos de automação, controle e medição na rede de energia elétrica, bem como em processos de utilização de Internet como uma alternativa de acesso e, em função destes aspectos, é vista como uma ferramenta de inclusão digital. Várias empresas concessionárias brasileiras e

(\*) R. Dr. Emílio Ribas, n° 174 – sala 92 - Bloco 1 – CEP 13.025-140 Campinas, SP, – Brasil  
Tel: (+55 19) 3295-3314 – Fax: (+55 19) 3253-4378 – e-mail: [muller@knbs.com.br](mailto:muller@knbs.com.br), [froes@knbs.com.br](mailto:froes@knbs.com.br);  
[navas@knbs.com.br](mailto:navas@knbs.com.br); [loreno@knbs.com.br](mailto:loreno@knbs.com.br); [morelato@dse.fee.unicamp.br](mailto:morelato@dse.fee.unicamp.br)

estrangeiras implantaram ou estão planejando implantar a transmissão de dados em banda larga via rede elétrica sob a ótica de novos negócios. Tem-se em vista a iminência de regulamentação pela ANATEL para tais serviços.

Diante desse cenário percebeu-se a oportunidade de construção de um ambiente computacional de simulação que provesse recursos para realizar estudos comparativos de viabilidade econômica e técnica para implantação de sistemas de transmissão de dados em banda larga sobre determinada rede elétrica. Este trabalho descreve metodologias de organização de ambientes de telecomunicações, utilizando a rede elétrica como infraestrutura, permitindo sua extensão para modelos híbridos de comunicação. Criou-se um ferramental de visualização da arquitetura da rede, de mapeamento e alocação de recursos, de simulação de situações de uso de tecnologias complementares, de análise estruturada da rede e de tomada de decisões. O escopo do projeto foi estruturado sob um ambiente de pesquisa patrocinado pelo Programa de Inovação em Pequenas Empresas (PIPE) da FAPESP e contou com consultoria de pesquisadores da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) (4).

O ferramental inclui a modelagem e o armazenamento das informações (recursos físicos e lógicos das redes de energia elétrica e da rede de telecomunicações planejada sobre a rede elétrica) visando orientar processos que mantenham o controle do parque instalado e planejado. Permite assim, realizar o registro e controle de ativos das redes em estudo, formalizando o conhecimento dos elementos de rede e sua localização (4).

A filosofia básica de planejamento adotada consiste em selecionar uma área de estudo de uma rede elétrica e construir um cenário de atendimento de usuários de internet banda larga. Leva em conta requisitos mínimos de qualidade de serviço de telecomunicações, estrutura e elementos presentes na rede elétrica, parâmetros econômicos e sociais da área atendida, custo e desempenho de equipamentos PLC e barreiras técnicas à propagação de sinais de RF – rádio frequência na rede elétrica. Considerando-se esses fatores, analisam-se as condições de viabilidade técnica e econômica para a implantação do projeto.

## 2.0 - ARQUITETURA GERAL

O ferramental de planejamento, denominado Power PLC-PLAN, consiste em uma plataforma e ambiente de software orientados ao suporte de serviços. Permitem realizar os estudos da análise técnica e levantamento de custos da rede de acesso à internet em banda larga.

Foram concebidos aplicativos acoplados à uma plataforma chamada Power Business Suite – PBSUITE. Permite-se assim, o aproveitamento, reutilização e compartilhamento de componentes de software (5) (6).

Os recursos da plataforma PBSUITE consistem em uma base de dados de redes de energia elétrica, abrangendo subestações, equipamentos, circuitos, transformadores, postes, base de localidades, logradouros, lotes e endereços e CEP, base de dados de UC (Unidades Consumidoras) com interação para o faturamento. São ampliados com módulos específicos como:

- *mobility applications*, para o tratamento de aplicações realizadas em PDAs e redes celular;
- controle e auditoria de informações;
- módulo de segurança e controle de acessos, que trabalha em uma estrutura hierárquica estabelecida por concessão, região, localidade, empresa e usuário. Limita a atuação dentro de uma área geográfica e hierárquica na empresa (4).

Sobre a estrutura do PBSUITE é executada a aplicação Power PLC-PLAN, compartilhando a base de dados da rede de energia elétrica.

A plataforma PBSUITE foi projetada tecnicamente para operar em um ambiente de aplicações Web. Permite o mapeamento de objetos de forma georreferenciada e possui um módulo de carga automática de dados. A arquitetura funcional é apresentada na Figura 1.

É composta por seis módulos que dividem as responsabilidades e funcionalidades sistêmicas (4):

- *Power Admin*: módulo que trata a segurança de acesso da plataforma relativa às camadas empresa, área administrativa, área de concessão, área geográfica, usuário, e da população de metadados do sistema, como parâmetros de configuração e operação;
- *Power Manager*: módulo que controla os elementos da rede de distribuição de energia elétrica e suas características;
- *Power Reports*: módulo que controla os relatórios gerenciais e de inventário;
- *Power Geo*: módulo que controla a apresentação, tratamento das informações georreferenciadas e mapas temáticos;

- **Power PLC-Plan:** módulo de planejamento da rede de acesso à Internet em banda larga baseada na tecnologia PLC.
- **Power Loader:** módulo responsável pela carga de informações tabulares, georreferenciadas e estruturação do *datawarehouse* da PBSUITE.

Serão descritos nos itens seguintes as funcionalidades específicas do módulo Power PLC-Plan.

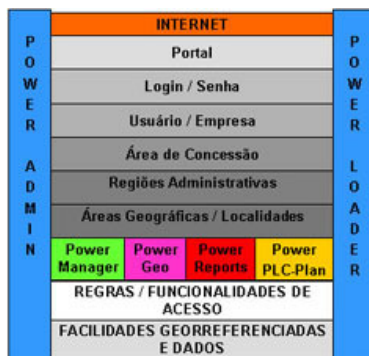


FIGURA 1 – Power Business Suite e Power PLC\_PLAN

### 3.0 - METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO

A metodologia foi concebida para propiciar a criação de projetos de planejamento de redes de transmissão de dados baseados em tecnologia PLC, capazes de responder questionamentos sobre condições de viabilidade técnica e econômica. Foram definidas duas situações para a realização desses projetos (4):

- a primeira, quando a concessionária possui os dados referentes à rede devidamente cadastrados em um sistema com recursos de georreferência, quanto às redes de alimentação e de distribuição, ampliando-a com equipamentos auxiliares;
- a segunda possibilidade é a região de planejamento estar em uma área nova, onde não se possui os registros organizados, organizando-os em um formulário com uma entrada resumida dos dados.

Em ambas as situações, a análise foi estrategicamente dividida para representar as redes primária (MT - Média Tensão) e secundária (BT - Baixa Tensão). Esse recurso permite uma simplificação da análise e a criação de projetos híbridos. É possível, por exemplo, usar a rede PLC na baixa tensão com outro recurso de telecomunicação para levar os sinais até uma central, com equipamentos com tecnologia WI-MAX ou fibra óptica.

No processo de análise de viabilidades, a estrutura Power PLC-PLAN oferece aos usuários as seguintes opções:

- Selecionar uma área para simulação e planejamento;
- Extrair do e/ou incluir no *datawarehouse*, as características físicas, topológicas, econômicas e sociais relativas à área geográfica determinada para análise;
- Quantificar e avaliar a viabilidade de atendimento de usuários compartilhados;
- Qualificar as soluções e formas de integração de distintas tecnologias de comunicação;
- Levantar os custos da solução viável capaz de atender aos padrões da qualidade de serviço;
- Analisar a sensibilidade da solução em relação a parâmetros selecionados;
- Avaliar globalmente e eleger a solução técnico-econômica mais adequada sobre a área escolhida.

A metodologia proposta para fazer a análise de viabilidade técnica e econômica de redes de acesso PLC banda larga baseia-se na verificação das condições de atendimento de usuários compartilhados, obedecendo a critérios de qualidade de serviço (QoS) previamente definidos. Os maiores problemas que degradam a qualidade de serviço são a latência (ou atraso) e a perda de pacotes, sendo que os principais fatores que influenciam tais

problemas são a taxa de transmissão disponível (capacidade de canal) e o número de usuários compartilhados (usuários conectados compartilhando mesma capacidade de canal ao mesmo tempo).

Trabalha-se com uma entrada de dados quantitativa, simplificada e rápida para a criação de um projeto de redes de comunicação. Outra opção é trabalhar com o uso de dados geográficos da rede elétrica, permitindo-se uma visibilidade mais detalhada e diferenciada das informações.

São disponibilizadas funções relativas à análise da QoS, considerando aspectos limitantes técnicos das topologias da rede elétrica em análise. Entre essas funcionalidades podemos enumerar os cálculos de: atenuação, nível de ruído, distribuição de frequências, cálculo de banda disponível, nível de potência dos equipamentos PLC para cada um dos circuitos envolvidos.

São estimados quais equipamentos deverão ser instalados no projeto, de acordo com as premissas de rede fornecidas. Também é permitida aos usuários da ferramenta a seleção e inclusão de equipamentos complementares fora do processo de cálculo automático.

São tratados os dados econômicos dos projetos, onde é possível fazer comparativos financeiros entre diversas soluções de diversos fabricantes, e com diferentes orçamentos. Os projetos geram histórico de alterações e controle de versões, permitindo-se estimar e planejar diversas alternativas de implantação.

#### 4.0 - CICLO DA METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO

Sabe-se das dificuldades dos analistas de negócios em construir, planejar, simular, organizar e decidir sobre novas redes sejam de telecomunicações como de energia elétrica. Estas dificuldades estão ficando ainda maiores na interligação dos dois negócios. Assim, é importante um ferramental de suporte ao planejamento que direcione o processo de apoio a tomada de decisões nas ações do entendimento da abrangência da solução, na concepção de premissas e/ou requisitos, na formulação de hipóteses técnicas e econômicas e na estruturação de relatórios comparativos de possibilidades.

O processo foi formalizado em um ferramental, metodologicamente estruturado, apresentado a seguir.

##### 4.1 Seleção de Área para Planejamento

O início do planejamento começa com a criação de um projeto, que poderá ser com dados georreferenciados ou apenas com uma entrada simplificada de informações. A seleção da área a ser planejada compreende a escolha de uma localidade e a pontuação de atributos para que seja iniciado um projeto de rede PLC. Para efeitos ilustrativos será apresentado o ciclo completo de um projeto com dados tabulares apenas lembrando que os mesmos conceitos são aplicados aos projetos com dados georreferenciados.

Na criação de projetos, o planejador deve definir alguns parâmetros básicos referentes a sua identificação, código, prazo e escopo, orçamento e versão do projeto, além de outros dados cadastrais relevantes. O projeto possui controle de versão e prazo para análise sendo que estas informações são controladas, ou seja, conforme altera-se qualquer informação no projeto altera-se a sua versão, embora o código continue o mesmo, conforme ilustra a Figura 2.

Modelos	Editar Projeto PLC	
Equipamentos	Versões : Versão 1.4	Encerrar Projeto Cancelar Projeto
Projetos	Dados Georreferenciados	Dados Tabulares
Dados Georreferenciados	Dados Confeitos	Dados Administrativos
Dados Tabulares	Dados Estatísticos	Rede Elétrica
Mantenção	Distribuição de Banda	Distribuição de Rede
Equip. em Projeto	Projeto PLC	Análise Econômica
Exclusão de Projeto	Análise Técnica	
Efetivar Projeto		
Relatórios		
Modelos Equip.		
Equipamentos em Projeto		
Detalhe Projeto		
Distribuição de UC		
Distância Poste		
Postes / Trafo		
	Gerente: DOUGLAS ASSUNÇÃO MATEUS	
	Responsável: BERNARDO MAREGA	
	Código: PPE	
	Descrição: PROJETO CENTRO CINEMA	
	Versão: 1.4	
	Data de Solicitação: 29/01/2009	
	Data de versão: 2009-02-17 18:07:14.0	
	Período de Análise: 300 dias	
	Orçamento: 100.000,00	
	Tipo de Análise: ESTATÍSTICO	
	Status: ABERTO	
	Validade: ATIVO	
	Salvar Cancelar	

FIGURA 2 – Criação de Projetos de Rede

### 4.2 Montagem dos Cenários

Selecionada a área objeto de planejamento, precisam ser definidas pelo usuário quais as características físicas, topológicas, econômicas e sociais relevantes ao projeto relacionadas à região geográfica onde ele será realizado, bem como as informações relativas às características quantitativas e métricas básicas dos elementos de rede. Estas informações serão úteis na estimativa de equipamentos PLC relacionados aos elementos da rede elétrica, conforme ilustra a Figura 3.

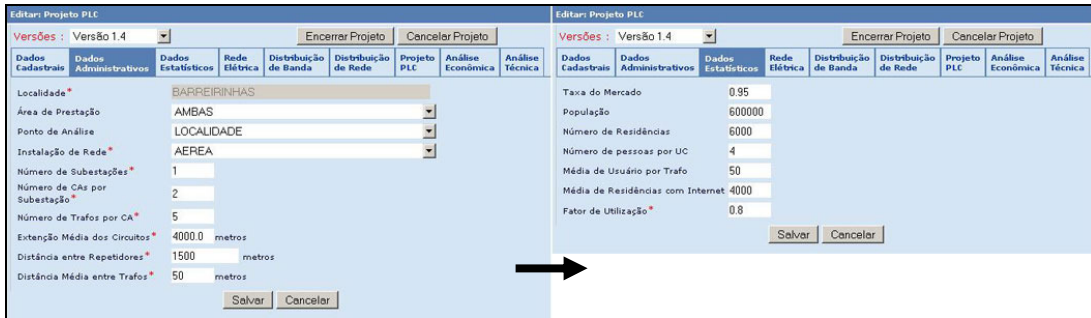


FIGURA 3 - Dados Administrativos e Estatísticos

Como a entrada das informações é simplificada, pode-se pontuar tabularmente os elementos da rede elétrica que participarão do projeto PLC, e usar distribuições estatísticas ou atribuições de percentuais para estimar estatisticamente a porcentagem de participação de cada elemento de rede. Essas distribuições estatísticas podem ser configuradas e fazem parte do conjunto de metadados do Power PLC-PLAN. Após distribuir pelos transformadores a quantidade de UC que serão contempladas com a rede PLC, realiza-se a distribuição de banda e de velocidades que também é feita estatisticamente conforme mostra a Figura 4.



FIGURA 4 - Dados Tabulares da Rede Elétrica e Distribuição Estatística

### 4.3 Análise de Viabilidade

A análise de viabilidade considera que o projeto possui um orçamento e assim pode-se, antes mesmo da análise técnica de atendimento baseada na QoS, verificar a viabilidade econômica e fazer comparações com outras versões. Após assinalar os elementos da rede elétrica envolvidos e o número de UC contempladas, o projetista poderá alocar os modelos de equipamentos e escolher com quais fabricantes deseja trabalhar. O Power PLC-PLAN possui um modelo onde é possível criar dinamicamente tipos de equipamento de comunicação e os valores financeiros associados, bem como informações técnicas detalhadas sobre os equipamentos que serão utilizados na análise de viabilidade.

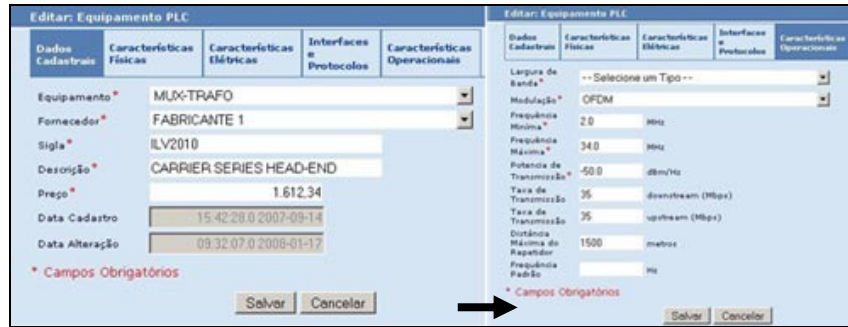


FIGURA 5 – Modelo de Equipamentos de Comunicação

O Power PLC-PLAN instancia os equipamentos da tecnologia PLC que devem ser utilizados no projeto conforme ilustra a Figura 6.



FIGURA 6 – Designação de Equipamentos PLC

Posteriormente o projetista pode interferir retirando ou adicionando outros equipamentos à solução básica conforme seu entendimento, como mostra a Figura 7.



FIGURA 7 – Inclusão de Outros Equipamentos de Telecomunicações no Projeto

A análise de viabilidade técnica consiste na determinação das larguras de banda necessária e disponível em cada equipamento PLC localizado no transformador para atender aos usuários conectados, na estimativa do nível de ruído de modo a garantir a relação sinal-ruído especificada, na distribuição de frequências, e no cálculo do nível de atenuação.

Além disto, avalia-se o nível de potência dos equipamentos de transmissão PLC em termos de sua densidade espectral de potência (*Power Spectral Density-PSD*). Em caso do valor de PSD do equipamento transmissor escolhido não ser suficiente para o cenário apresentado, será necessário promover a instalação de repetidores ou substituição de equipamentos.

O cálculo de ruído pode ser realizado utilizando a aleatoriedade, o aspecto preditivo através de redes neurais artificiais, ou ainda a forma determinística pontuado pela área de engenharia. A Figura 9 mostra o cálculo de banda por equipamento PLC no transformador e o cálculo de ruído por UC.

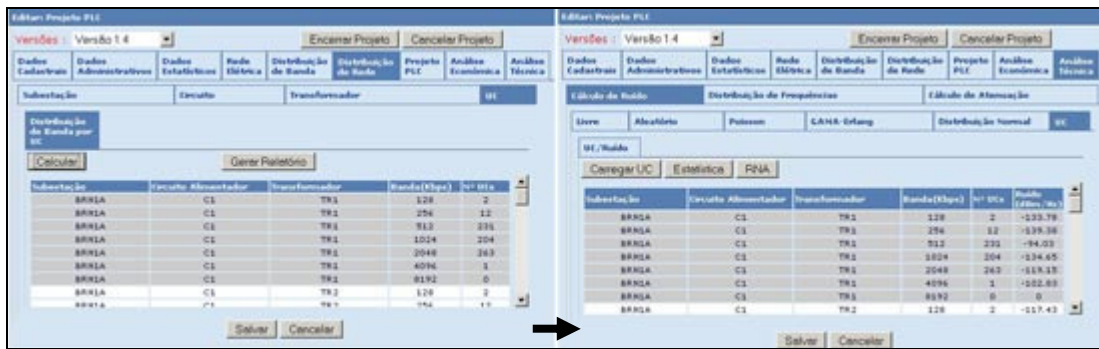


FIGURA 8 – Cálculo de Banda e Cálculo de Ruído

A atribuição de frequências é realizada considerando as faixas indicadas pela ANATEL na consulta pública N° 38 de Agosto/2008 (3) e o algoritmo de distribuição que procura otimizar a sua alocação considerando intervalos e os canais a serem utilizados e a faixa admitida pelo equipamento escolhido para o transformador. Também podem ser feitas intervenções para modificação das frequências pré-atribuídas. A Figura 9 mostra a distribuição de frequência e o cálculo de atenuação que depende do valor da frequência.

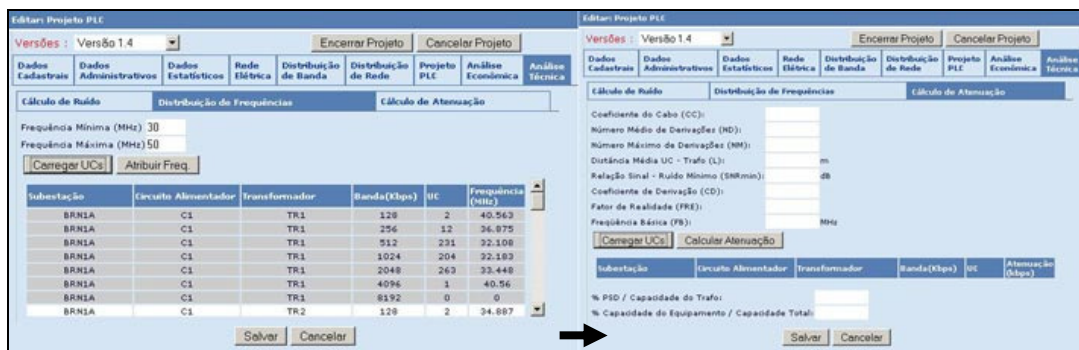


FIGURA 9 – Distribuição de Frequência e Cálculo de Atenuação

O cálculo da capacidade do canal e do PSD é realizado para a baixa tensão considerando o agrupamento das UC e seus indicadores por transformador (1) (2). Um raciocínio análogo se aplica à média tensão para a análise do circuito considerando o resultado por transformador. As equações a seguir mostram os cálculos e a formulação utilizada, que pode ser configurada, todavia, conforme requisitos específicos da área de engenharia da concessionária.

$$AT_i^j = CC \sqrt{FB_i} \cdot L_i + CD \cdot ND_i$$

$$SNR_i^j = SNR \min + AT_i^j$$

$$CAP_i^j = FRE \cdot Banda_i \cdot \log_2(1 + SNR_i^j) \quad [kbps]$$

$$CAP_j = \sum_{i=1}^{NUC} CAP_i^j \quad [kbps]$$

$$AT_i^{\max} = CC \sqrt{FB_i} \cdot L_i^{\max} + CD \cdot ND_i^{\max}$$

$$PSD_i = SNR \min + NR_i^{\max} + AT_i^{\max} \quad [dBm / Hz]$$

Onde:

$i$  =  $i$ -ésima UC

$j$  =  $j$ -ésimo transformador

$NUC$  = quantidade de UC

$FRE$  = fator de realidade de utilização de banda disponível

$Banda$  = banda destinada à UC

$SNR$  = relação sinal ruído

$AT$  = atenuação

$CC$  = constante do cabo de rede elétrica

$CD$  = coeficiente de derivação

$ND$  = número de derivações da UC até o transformador

$CAP$  = capacidade de canal total exigida

## 5.0 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO

A ferramenta de planejamento Power PLC-PLAN foi utilizada, em novembro de 2007, na Fase 2 do Projeto Barreirinhas no Estado do Maranhão, projeto-piloto de implantação de internet banda larga, coordenado pela APTEL (Associação de Empresas Proprietárias de Infraestrutura e Sistemas Privados de Telecomunicações).

Foram utilizados os módulos *Power Manager*, *Power Geo* e *Power Loader* do PBSUITE para importar os dados da rede de distribuição de energia elétrica da CEMAR para o município de Barreirinhas. Em seguida, foi realizada a construção de cenários de teste e respectiva documentação para a implantação da rede de acesso à Internet banda larga com a tecnologia PLC sobre a rede de energia elétrica. A Figura 10 ilustra a aplicação cujo desempenho mostrou conformidade com o planejado.

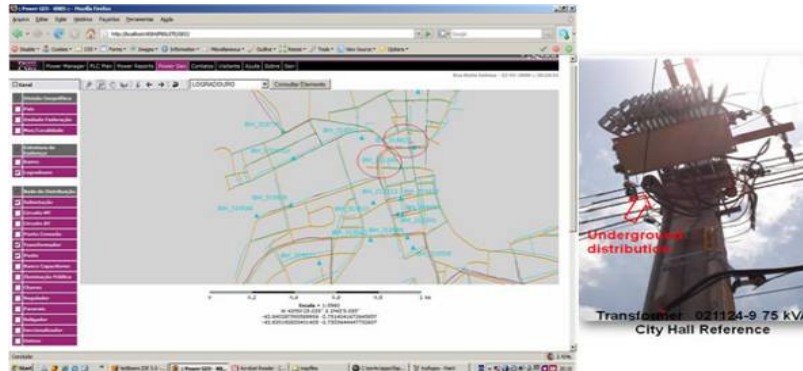


FIGURA 10 - Projeto Barreirinhas Power PLC-Plan

## 6.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma visão geral do desenvolvimento de um ferramental de planejamento técnico e econômico para implantação de redes de acesso à internet em banda larga sobre a infra-estrutura de redes elétricas. Foi considerado o mapeamento de necessidades de atendimento e oferta de novos serviços, permitindo a criação de cenários, simulações, definição de estratégias e planejamento. Neste ambiente busca-se apoiar o trabalho realizado pelos analistas de negócios e planejadores, oferecendo condições técnicas objetivas para avaliar a viabilidade, vantagens e dificuldades na prestação do serviço de acesso à rede internet com qualidade adequada.

Finalmente, como indicação de usos futuros, aderente as tendências de mercado de energia elétrica e de telecomunicações, esta plataforma está em ampliação para o planejamento de aplicações *Intelligent Grid*, sensoriamento remoto e telemedição.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Dostert, Klaus M. Power Lines as High Speed Data Transmission Channels- Modelling the Physical Limits, IEEE 5<sup>th</sup>. Int'l Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, pp. 585-589, Sept. 1998.
- (2) Zimmermann, M., Dostert, K. A multipath model for the powerline channel, IEEE Transactions on Communications, vol. 50, n.4, April 2002
- (3) <http://sistemas.anatel.gov.br/SACP/Contribuicoes/TextoConsulta.asp?CodProcesso=C1199&Tipo=1&Opcao=andamento#> : ANATEL – Consulta Pública no. 38, agosto de 2008.
- (4) Fapesp Relatório Técnico do Projeto PIPE FAPESP Ferramenta de Planejamento de sistemas de transmissão de dados em banda larga via infraestrutura da rede de energia elétrica, Campinas – KNBS Telecomunicações e Informática Ltda, fev. 2008
- (5) Fundamentals of Data Warehouses, Matthias Jarke, Maurizio Lenzerini, Yannis Vassiliou, and Panos Vassiliadis, Hardcover - Jan 17, 2003.
- (6) BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R.A. Principles of geographical information systems. Oxford, Oxford University Press, 1998.