



XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2010 – 22 a 26 de novembro

São Paulo - SP - Brasil

O Planejamento do Sistema de Distribuição Utilizando Tecnologia de Geoprocessamento

Fernando A. Gruppelli Jr.	Clayton Vidal Pinto	Marcos Anselmo Ribeiro
COPEL – Companhia Paranaense de Energia	COPEL – Companhia Paranaense de Energia	COPEL – Companhia Paranaense de Energia
fernando.gruppelli@copel.com	clayton@copel.com	mribeiro@copel.com

Thadeu Xavier Rodrigues	Sérgio Ferreira de Lima	Emerson José de Carli
COPEL – Companhia Paranaense de Energia	COPEL – Companhia Paranaense de Energia	COPEL – Companhia Paranaense de Energia
thadeu.rodrigues@copel.com	sergio.lima@copel.com	carli@copel.com

Julio Shigeaki Omori	Tarcisio Loddi	Mauricio Muller
COPEL – Companhia Paranaense de Energia	COPEL – Companhia Paranaense de Energia	LACTEC – Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento
julio.omori@copel.com	loddi@copel.com	muller@lactec.org.br

Marcio Rot Sans	Cesar João Andrezza
LACTEC – Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento	LACTEC – Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento
marcio.sans@lactec.org.br	cesar.andrezza@lactec.org.br

Palavras-chave

Geoprocessamento;
Planejamento da Distribuição;
Redes de Distribuição.

Resumo

Este trabalho tem a intenção de mostrar a experiência e os benefícios alcançados pela COPEL ao implementar uma solução baseada em Geoprocessamento para o processo de Planejamento da Rede de Distribuição de Energia Elétrica de 13,8kV e 34,5kV da concessionária.

A atividade de Planejamento do Sistema de Distribuição é uma tarefa complexa que procura atender o crescimento da carga de acordo com restrições econômicas, técnicas e de confiabilidade. Os

planejadores precisam garantir que o sistema irá atender a demanda: capacidade de subestações e alimentadores. Um planejamento realizado de forma adequada e otimizado pode gerar economia entre 5 a 10% dos investimentos totais de um sistema de distribuição. Os valores tornam-se elevados quando se leva em conta que os investimentos são da ordem de dezenas de milhões de reais por ano investido em obras nas redes de distribuição. Neste campo as ferramentas georreferenciadas surgiram como uma excelente opção para este tipo de aplicação.

1. Introdução

A Copel, com base nos aplicativos e dados georreferenciados utilizados para o cadastro da rede elétrica, desenvolveu sua primeira ferramenta computacional georreferenciada para aplicação em planejamento da distribuição em 1997. A partir dessa data diversas funcionalidades e inteligências foram sendo agregadas com objetivo de melhoria do processo. Durante os anos de 2005 e 2006, com o auxílio do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, foi realizado um substancial desenvolvimento: a conversão do sistema da plataforma Vision de propriedade da Autodesk, para uma solução de estado da arte em geoprocessamento da ESRI.

Com o desenvolvimento do novo sistema é possível planejar soluções técnicas, desenvolver estudos, simulações e alocar equipamentos com redução substancial de tempo, maior produtividade e de forma otimizada. A solução, denominada GISPLAN, pode, através dos dados de equipamentos elétricos da rede de distribuição, realizar diversos tipos de análises na rede existente e planejada: Análise de Curto-circuito, Load Flow, Cálculo de Perdas Técnicas, Aumento de Carga, Gerenciamento de Desligamentos, Estudos de Confiabilidade e outros. O GISPLAN é uma ferramenta poderosa que auxilia os planejadores tanto do sistema de 13,8kV como do sistema de 34,5kV a criarem cenários de estudos, realizarem simulações para avaliar o impacto das modificações na rede atual ou futura. Todas as simulações têm visualização fácil e rápida. A solução tem também interface com os sistemas corporativos mais importantes como: Sistema de Gerenciamento de Consumidores, Sistema de Previsão de Demanda, Sistema de Medição Automatizada e Sistema de Gerenciamento de Interrupções. Através desse desenvolvimento atingiu-se a integração de Banco de Dados, Mapas, Cálculos e Simulações em uma única ferramenta.

2. Desenvolvimento

O GISPLAN, como mencionado anteriormente, é uma ferramenta de geoprocessamento desenvolvida para auxiliar o planejamento do sistema de distribuição de 13,8 kV e 34,5kV da COPEL sendo criado em cima da plataforma ArcGis da empresa americana ESRI. A ferramenta computacional reúne informações, selecionadas pelo planejador, de subestações, alimentadores, transformadores, chaves, reguladores de tensão, capacitores e trechos da rede primária, sendo todas estas informações georreferenciadas. Além disso, outros dados provenientes dos bancos de dados da concessionária são carregados pela ferramenta, sendo possível, ainda, a manipulação de todas essas informações, sejam elas georreferenciadas ou não, com a finalidade de simular as diversas situações em que pode se encontrar o sistema, sendo assim possível estudar aumentos de cargas solicitados por consumidores, manobras na rede de distribuição, planejamento do sistema de distribuição ao longo de 10 anos, cálculo das perdas técnicas, alocação de banco de capacitores e reguladores de tensão.

2.1. Migração de Plataforma

Devido à descontinuidade do aplicativo de geoprocessamento Vision pela Autodesk, a Copel Distribuição, após de diversas análises, resolveu adotar a plataforma ArcGis da ESRI para os sistemas

de geoprocessamento da companhia. Um dos primeiros aplicativos migrados pela companhia foi o Planejamento da Distribuição de 13,8 kV e 34,5kV, que além de possuir todas as funcionalidades antigas do sistema, teve ainda incorporadas novas atividades que acabaram por facilitar o trabalho dos planejadores.

A arquitetura da solução baseada no Vision tinha como principal característica a existência de um servidor para a aplicação, o qual era responsável por armazenar os estudos realizados pelos funcionários. Quando um planejador desejava realizar um estudo numa área, era necessário requisitar os dados para atualizar a base de dados do servidor onde encontrava-se o aplicativo de planejamento da distribuição, tarefa a qual demorava pelo menos 1 dia.

O sistema desenvolvido na da plataforma ArcGis tem como característica principal a criação dos estudos para o planejamento na máquina do usuário do sistema, sendo que a base de dados referente a área que o usuário gostaria de trabalhar pode ser importada em tempo real do próprio cadastro da rede elétrica da Copel, eliminando assim o servidor espelho que era utilizado para a criação dos estudos no sistema anterior.

2.2. Fluxograma de Funcionamento

O GISPLAN funciona conforme o fluxograma da Figura 1. É importante ressaltar que depois de criar um estudo, ou mesmo para abrir um estudo existente, o planejador não necessita estar conectado a nenhum banco de dados ou numa rede da COPEL, ou seja, o GISPLAN funciona de maneira offline apenas com os dados importados para a própria máquina do usuário. Ao se trabalhar de maneira offline o GISPLAN fica impossibilitado de gerar alguns poucos relatórios que necessitam de informações dos bancos de dados da COPEL.

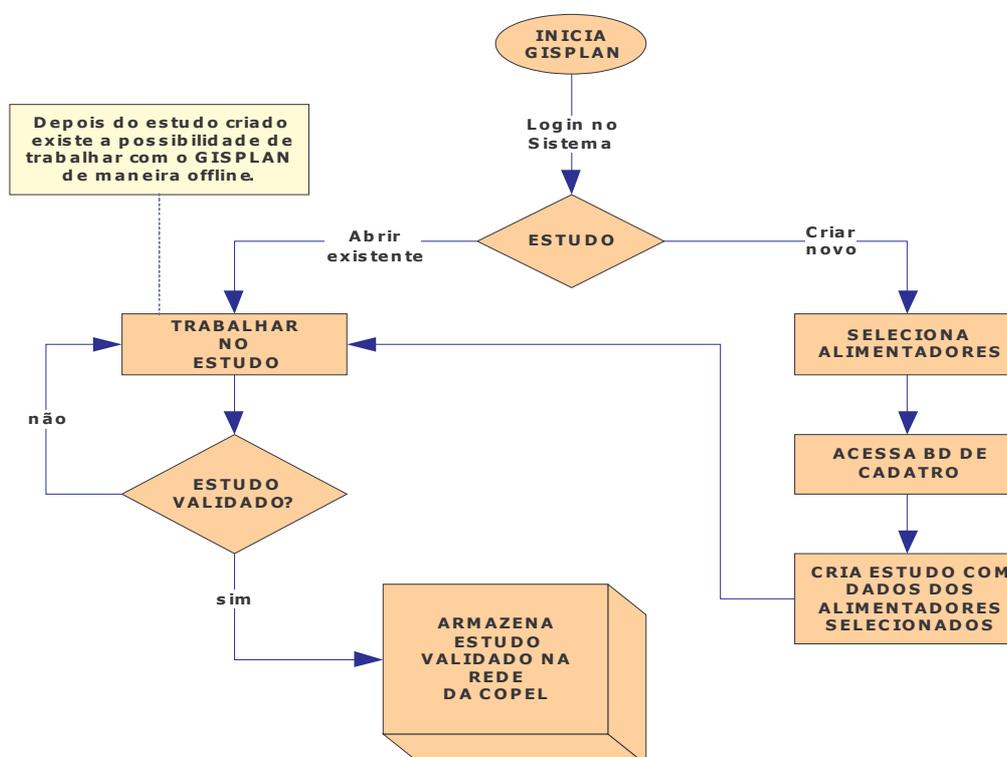


Figura 1 – Fluxograma de Funcionamento

2.3. Funcionalidades

O Gisplan possui inúmeras funcionalidades que auxiliam no planejamento de uma rede elétrica, algumas das quais estarão explicitadas abaixo como forma de demonstrar a facilidade de utilização e manipulação dos dados que o planejador possui.

2.4. Criar Estudo

A criação de um novo estudo possibilita ao planejador selecionar um ou mais alimentadores para estudo, conforme Figura 2, sendo possível incluir alimentadores de diferentes subestações, permitindo a simulação de manobras entre subestações, por exemplo. Na criação de um estudo o aplicativo recupera as informações geográficas e alfanuméricas dos elementos elétricos dos alimentadores selecionados.

Numero	Nome	Verificado	Tensão
817760011	RIO QUATI		13800
817760013	NEVA		13800
817760015	COMIL		34500

Figura 2 – Tela de Seleção dos Alimentadores

2.5. Curva de Carga do Alimentador

Para realizar o estudo em cima de um alimentador o primeiro passo é verificar a curva de carga do mesmo. A curva de carga típica do alimentador que alimenta o GISPLAN é retirada do sistema de Gerência de Subestações Automatizadas, que fornece a corrente, potências ativas e reativas e tensão nas barras das subestações, minuto à minuto e hora à hora. A Figura 3 mostra um exemplo de curva de carga já modelado no programa GISPLAN.

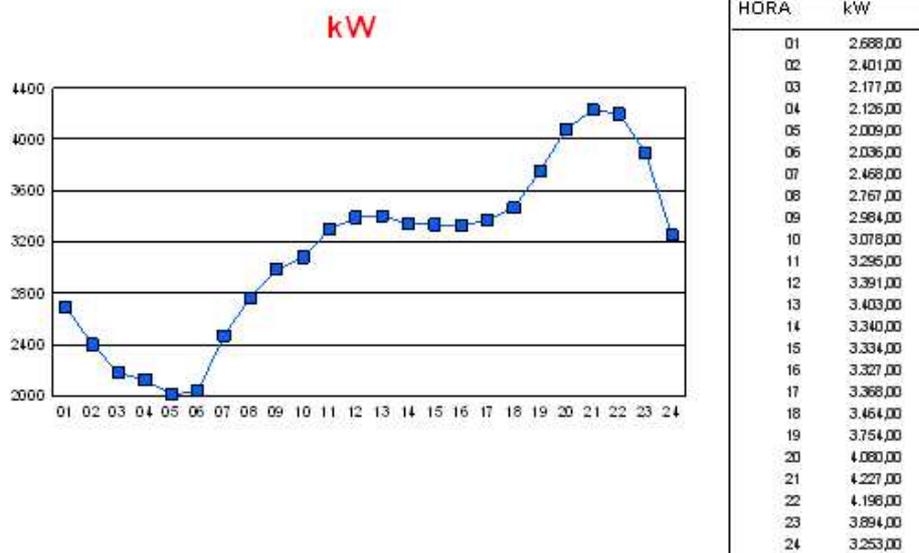


Figura 3- Curva de Carga de um Alimentador no GISPLAN

2.6 Cargas do Alimentador

Além de verificar a demanda do alimentador outra verificação que pode ser feita pelo aplicativo é o levantamento das cargas as quais o alimentador esta submetido. A Figura 4 mostra o relatório de cargas de um alimentador com os postos de transformação, número operacional, coordenadas, potência nominal e demandas ativas e reativas.

COPEL

Companhia Paranaense de Energia 25-março-2008 16:14

Relatório de Cargas Usuário: C023066

Subestação: 74130 BATEL Hora: 14,00

Alimentador: 823620130 - SHOPPING CURITIBA Conjunto: 12259

Coordenadas X/Y	Núm. Operacional	kVA NOM	kW	kVAr	FC	CRESC %
673321 / 7184615	82362C9688	112,50	17,78	11,30	1,41	0,00
673336 / 7184586	82362C7084	112,50	22,39	14,23	1,41	0,00
673211 / 7185020	82362C6992	112,50	22,39	14,23	1,41	0,00
673281 / 7184507	82362Y1423	150,00	3,60	2,29	1,41	0,00
673261 / 7184971	82362C3114	112,50	20,28	12,89	1,41	0,00
673209 / 7185097	82362C6993	75,00	18,16	11,54	1,41	0,00
673275 / 7184935	82362C3116	112,50	22,66	14,40	1,41	0,00
673256 / 7185075	82362Y0556	6.975,00	2.112,15	1.342,45	1,41	0,00
673201 / 7185043	82362CK107	150,00	12,10	7,69	1,41	0,00

Total de carga no alimentador (kW) : 2.251,50
(kVAr) : 1.431,02

Demanda medida no alimentador (kW) : 3.153,00
(kVAr) : 2.004,00

Figura 4 – Relatório de Cargas

Com o relatório de cargas do alimentador é possível verificar se existe alguma discrepância dos dados.

2.7. Correção de Demanda de Alimentadores

O planejador tem a possibilidade de alterar os valores das demandas dos alimentadores da maneira que lhe for necessária para simular situações no seu estudo ou mesmo para corrigir problemas de leitura no sistema de automação das subestações. A Figura 5 mostra a ferramenta para acerto da curva de carga dos alimentadores.

Demandas		kW	kVAr	kW	kVAr		
<input type="checkbox"/>	Hora 1	2688,0000	778,0000	<input type="checkbox"/>	Hora 13	3403,0000	1217,0000
<input type="checkbox"/>	Hora 2	2401,0000	797,0000	<input type="checkbox"/>	Hora 14	3340,0000	1167,0000
<input type="checkbox"/>	Hora 3	2177,0000	831,0000	<input type="checkbox"/>	Hora 15	3334,0000	1202,0000
<input type="checkbox"/>	Hora 4	2126,0000	734,0000	<input type="checkbox"/>	Hora 16	3327,0000	1330,0000
<input type="checkbox"/>	Hora 5	2009,0000	800,0000	<input type="checkbox"/>	Hora 17	3368,0000	1249,0000
<input type="checkbox"/>	Hora 6	2036,0000	700,0000	<input type="checkbox"/>	Hora 18	3464,0000	1242,0000
<input type="checkbox"/>	Hora 7	2468,0000	556,0000	<input type="checkbox"/>	Hora 19	3754,0000	973,0000
<input type="checkbox"/>	Hora 8	2767,0000	958,0000	<input type="checkbox"/>	Hora 20	4080,0000	824,0000
<input type="checkbox"/>	Hora 9	2984,0000	806,0000	<input type="checkbox"/>	Hora 21	4227,0000	778,0000
<input type="checkbox"/>	Hora 10	3078,0000	1014,0000	<input type="checkbox"/>	Hora 22	4198,0000	739,0000
<input type="checkbox"/>	Hora 11	3295,0000	1225,0000	<input type="checkbox"/>	Hora 23	3894,0000	919,0000
<input type="checkbox"/>	Hora 12	3391,0000	1219,0000	<input type="checkbox"/>	Hora 24	3253,0000	657,0000

Figura 5 – Tela de Ajuste de Curva de Alimentador

Além dos alimentadores, os transformadores possuem a mesma funcionalidade de alteração de potência ativa e reativa, assim como os capacitores tem a possibilidade de alterar as potências reativas como o planejador desejar.

2.8. Alteração na Configuração das Subestações de 34,5/13,8kV

Como o sistema de 34,5kV da Copel tem a característica de além de realizar a distribuição, também realizar a transmissão de energia ate subestações de 34,5kV que rebaixam a tensão para 13,8kV para então realizar a distribuição. Se fez necessário a criação de um procedimento para ser possível a operação e mudança de configuração e de equipamentos dentro destas subestações. Para tanto foi criado do Diagrama Interno Simplificado da Subestação, conforme indicado na figura 6 .

Neste digrama o planejador tem a possibilidade de implementar/alterar os valores da carga da subestação, as potências dos transformadores, as potências dos bancos de capacitores, reguladores de tensão de 34,5kV ou 13,8kV.

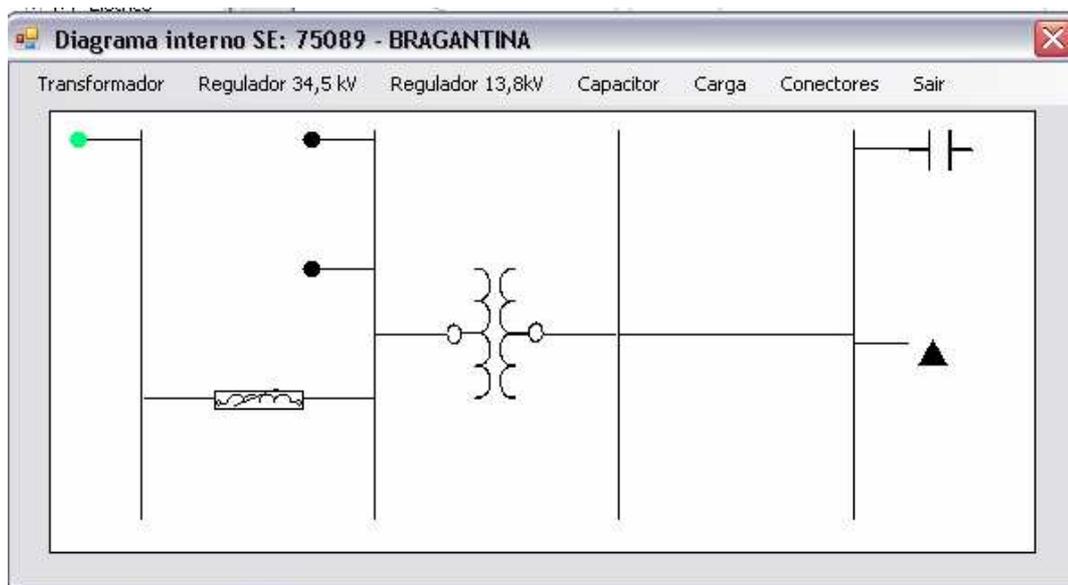


Figura 6 – do Diagrama Interno Simplificado da Subestação

Através dos pontos conectores também é possível realizar manobras de reconfiguração dos circuitos de 34,5kV que passam pela subestação possibilitando a sua mudança de fonte alimentadora. Conforme mostrado na figura 7.

Figura 7 – Tela de Edição do Ponto Conector

2.9. Simplificação dos Alimentadores de 34,5kV

Como já mencionado anteriormente o sistema de 34,5kV da Copel pode ser de distribuição e de transmissão sendo comumente chamado subtransmissão. Devido a esta característica os alimentadores podem abranger uma área muito grande e com muitos consumidores de pequeno, médio e grande porte instalados no mesmo circuito o que gera um grande volume de dados a serem analisados nos relatórios de fluxo de potência destes circuitos, com mostrado na figura 8.

Para minimizar essa dificuldade, foi criada uma ferramenta que faz com que o circuito fique com uma visualização simplificada tornando a análise mais rápida. O processo de simplificação de alimentadores pode ser dividido em etapas:

- Identificação de pontos notáveis – após a recuperação dos elementos do cadastro da rede elétrica da distribuição, são identificados e marcados os pontos notáveis no alimentador. São pontos notáveis: reguladores de tensão, pontos de entrada e saída de subestação, chaves utilizadas para manobras (chaves normalmente abertas, chave disjuntor, chave à óleo, chave a gás manual, religador automático, chaves seccionadoras);
- Alocação de cargas de consumidores especiais – são selecionadas unidades consumidoras com demanda acima de uma demanda pré-estabelecida. Baseado nessa seleção são identificados e marcados como pontos notáveis os postos transformadores onde essas unidades consumidoras estão ligadas;

- Agrupamento de cargas de consumidores não especiais em localidades – as cargas das unidades consumidoras com demanda abaixo da demanda pré-estabelecida, são agrupadas em localidades. Localidades podem ser bairros, vilas, povoamentos, entre outras. É localizado o centro de carga de cada localidade atendida pelo alimentador e nessa coordenada é incluído um posto transformador contendo o somatório das cargas para aquela localidade;
- Inclusão do posto transformador de localidade a rede de distribuição – cada posto transformador de localidade é marcado como ponto notável no alimentador. É identificado também qual o trecho da rede primária está mais próximo do posto transformador. Cria-se então novo trecho primário com mesmo material e bitola utilizado no trecho mais próximo, ligando esse trecho ao posto da localidade.
- Identificação de pontos notáveis de tronco - a partir de cada ponto notável retorna-se à montante até a primeira derivação principal e essa derivação é marcada também como ponto notável.
- Simplificação dos trechos primários – à montante dos pontos notáveis identificam-se e agrupam-se trechos primários conectados com mesmo material e bitola. Calcula-se e cria-se um trecho equivalente ao conjunto de trechos avaliados (coordenadas início e fim, comprimento total e impedâncias) esse trecho é marcado como ponto notável. O ponto onde a existe mudança do tipo do material e da bitola é marcado também como ponto notável.
- Eliminação de pontos não notáveis – eliminam-se os elementos não marcados como pontos notáveis

A figura 9 indica como o circuito da figura 8 é mostrado após a sua simplificação.

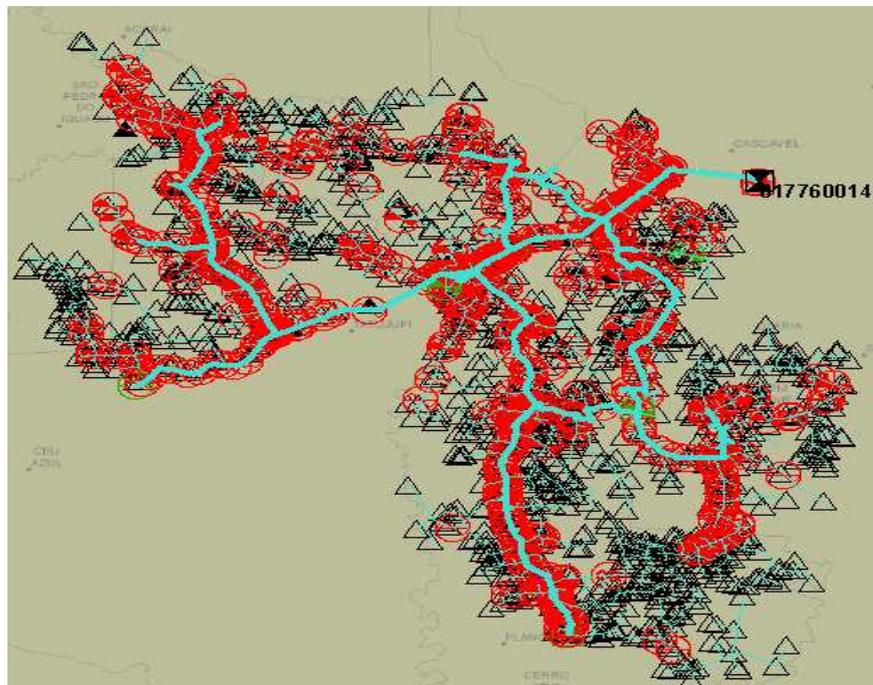


Figura 8 – Alimentador Completo

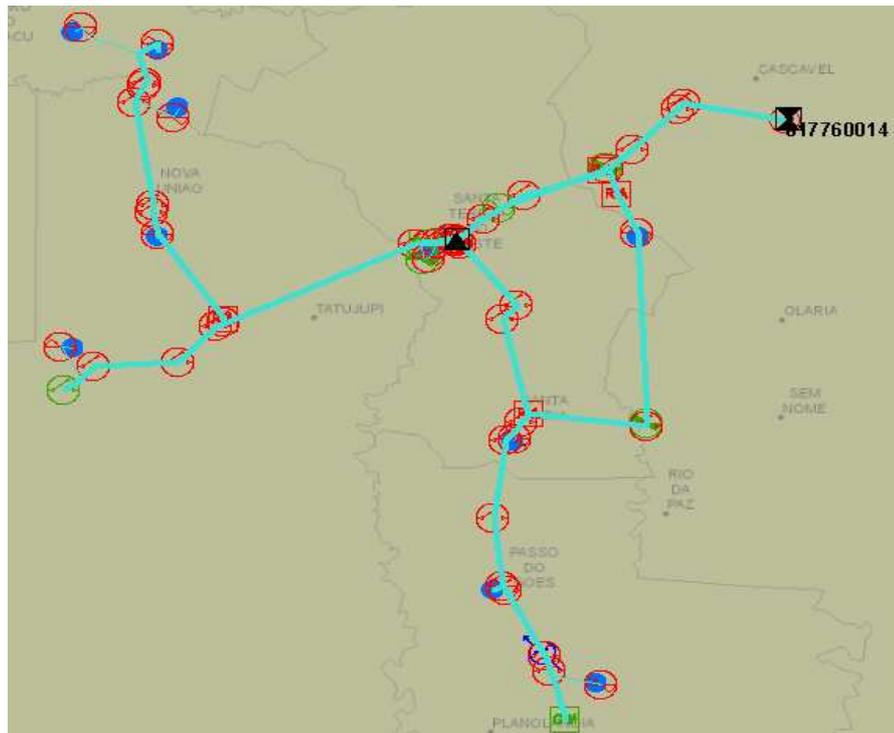


Figura 9 – Alimentador Simplificado

2.10. Simulação do Fluxo de Potência

Após serem realizados os ajustes necessários no alimentador, como alteração de demanda do alimentador, de transformadores ou a inclusão de novos trechos de rede, simula-se o fluxo de potência do alimentador tendo como resultado um relatório do fluxo conforme a Figura 10.

RELATORIO RESUMIDO DA REDE PRIMARIA

Condições de carregamento no alimentador - 872720004

Somatoria de Cargas Ativa	: 3748.00	kW	Comprimento rede trifasica	: 43.00	km
Capacitores instalados	: 1		Comprimento rede bifasica	: 34.00	km
Demanda dos capacitores	: 1200	kvar	Comprimento rede monofasica	: 1.00	km

Numero de consumidores resid.	: 5537
Consumo Residencial	: 596752 kWh
Numero de consumidores comerc.	: 299
Consumo comercial	: 456208 kWh
Numero de consumidores industr.	: 109
Consumo industrial	: 736356 kWh
Consumo de iluminacao publica	: 0 kWh

Corrente de carga media	: 164 A (A 164 / B 164 / C 164)
Carregamento maximo	: 76 %
Tensao normal de operacao	: 13800 KV
Tensao maxima	: 0.9999 pu
Tensao minima	: 0.9481 pu
Queda de Tensao maxima	: 5.19 %
Analise de contingencia	: carga pesada
Perdas	: 3.9773 %
Fluxo Emitido kVA	: 3912.22
Fluxo Emitido kW	: 3903.24

	Numero de Postos	KVAN	Numero de Consumidores
URBANO	169	9395	5731
RURAL	70	2023	154
PARTICULAR	13	6855	12
CLIC-RURAL	27	265	47
EXCLUSIVO	1	15	1
Total :	280	18552	5945

Figura 10 – Resumo do Relatório de Fluxo de Potência

Após o fluxo de potência ser executado, a base de dados do aplicativo é atualizada com informações de queda de tensão e carregamento de trechos e postos. Para visualizar estas informações sempre úteis para o planejador o aplicativo dispõe de ferramentas específicas que alteram o modo de apresentação da simbologia.

Caso seja escolhida a visualização por queda de tensão o aplicativo apresenta-se conforme a Figura 11. Quando o trecho se encontrar em determinada faixa de tensão a simbologia é alterada, além de ser apresentada às potências dos transformadores.

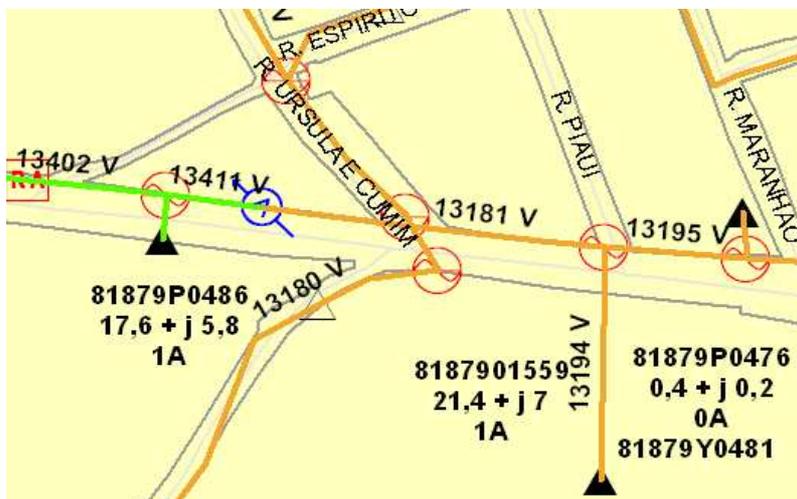


Figura 11 – Indicação Visual por Faixa de Tensão

Quando o modo de visualização for por *carregamento*, Figura 12, os trechos apresentarão o percentual explicitando, além de mudar de cor dependendo da faixa de carregamento em que se encontra.

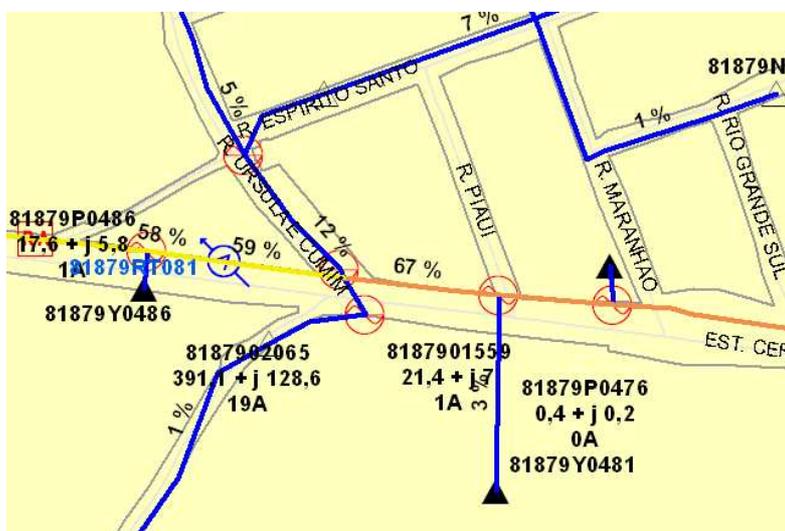


Figura 12 - Indicação Visual por Carregamento

2.11. Funcionalidades Gerais

Sendo um aplicativo baseado em geoprocessamento, o GISPLAN possui ferramentas para criar, editar e apagar elementos gráficos e não gráficos que são necessários para realizar um planejamento de rede. Os elementos gráficos que fazem parte do GISPLAN são: Transformador, Capacitor, Regulador de Tensão, Trecho de rede, Chave, Alimentador e Subestação. Existem ainda elementos gráficos que

servem para auxiliar o planejador como Mapa Viário, Logradouros, Orto-Fotos, porém estes servem apenas para visualização.

3. Conclusão

O sistema Gisplan fornece um controle total da rede de distribuição, proporcionando ao usuário do planejamento uma visão completa do sistema de distribuição geoprocessado, com a situação de cada alimentador quanto aos níveis de tensão e carregamento, mostrando os pontos críticos no ano corrente e no futuro.

Todo esse processo poderá ser realizado num espaço curto de tempo, agilizando o planejamento e, como consequência, otimizando o orçamento do Programa de Obras da Distribuição, com previsão de obras nos pontos onde realmente está ocorrendo ou ocorrerão violações dos critérios de fornecimento de energia.

O sistema também realiza a possibilidade de estudos de atendimento a consumidores e de estudo de desligamentos, levando em conta as cargas atuais e permitindo trabalhar com previsão de cargas ao longo dos anos.

Outro diferencial do sistema Gisplan é poder trabalhar com o sistema de 34,5kV e de 13,8kV em uma mesma plataforma computacional e georeferenciada.

Em particular para o estudo do Sistema de Distribuição em 34,5kV temos dois grandes diferenciais . o primeiro é a simplificação do alimentador de 34,5KV, que uma facilidade na interpretação do estudo. O segundo diferencial é o Diagrama Unifilar Simplificado das subestações de 34,5/13,8kV, que possibilita trabalhar o fluxo de potência dentro da mesma.