



**XXI SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO - IX

GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GOP

**FERRAMENTA PARA ANÁLISE DA TRANSFERÊNCIA DE CARGA SEM INTERRUPÇÃO ENTRE CIRCUITOS
ATRAVÉS DE CHAVE SECCIONADORA**

**Marcos Rodolfo Cavalheiro
CTEEP**

**Helio Hanawa
CTEEP**

RESUMO

A ferramenta computacional que está sendo proposta visa facilitar a análise de transferências de carga sem pique entre dois circuitos distintos através da resolução automática do cálculo de fluxo de potência, facilitando as avaliações sobre a possibilidade de realização desta manobra, principalmente em Tempo Real. A ferramenta, desenvolvida em ambiente de programação orientada a objeto (Visual Basic), consiste na integração do aplicativo para Análise de Redes (ANAREDE) à formulação matemática para estimação do comprimento de arco elétrico gerado pelas manobras em seccionadores. O resultado desta integração é o próprio alcance do arco, que pode ser comparado às distâncias mínimas de isolamento dos equipamentos de manobra.

PALAVRAS-CHAVE

Transferência de carga, alcance, arco elétrico, manobra de seccionadores, Anarede

1.0 - INTRODUÇÃO

O Sistema de Transmissão da CTEEP é composto por subestações e linhas de transmissão integrantes da Rede Básica e das Demais Instalações da Transmissão (DITs). A Rede Básica é composta pelos equipamentos de 440, 345 e 230kV, além dos equipamentos com classe de tensão inferior a 230kV que possuem influência direta no desempenho da Rede Básica. Já as DITs são compostas pelos equipamentos da malha 138kV e abaixo.

Todas as subestações intermediárias conectadas à Rede Básica são dotadas de disjuntores para manobra de sua carga/geração. Já as DITs possuem uma característica bem peculiar de circuitos duplos, malhado e com várias conexões em derivação de ambos os circuitos através de chaves seccionadoras. Desta forma, quando da necessidade de desligamento de um dos circuitos de uma linha de transmissão das DITs, quase sempre é necessária a avaliação da possibilidade de transferência de carga entre os dois circuitos sem interrupção de fornecimento de energia às cargas. Sem a devida realização desta análise, a transferência de cargas só pode ser efetuada mediante interrupção de fornecimento às cargas, acarretando prejuízos aos clientes da região.

A princípio, as chaves seccionadoras não são fabricadas para interromper corrente. Porém, visto que a manobra de transferência de cargas estabelece continuidade de corrente através da chave seccionadora complementar, esta pode ser realizada desde que não ofereça perigo ou desgaste ao equipamento, principalmente com relação ao arco elétrico formado durante a manobra. O alcance do arco que se formará pode ser calculado em função da corrente a ser interrompida e da tensão que aparece entre os terminais da chave que, por sua vez, também é função da corrente a ser interrompida e da impedância do anel que está sendo aberto pela referida chave. No Item 2.0 são apresentadas as formas de cálculo para o alcance de arco.

Este tipo de estudo tem sido desenvolvido manualmente há mais de 15 anos nas subestações de derivação da CTEEP e das empresas de Distribuição conectadas às DITs da CTEEP e, apesar de não ser um estudo de precisão (pois as condições de temperatura, vento e umidade do ar influenciam diretamente no comportamento do arco), tem atingido excelentes níveis de confiabilidade com relação aos alcances de arco previstos e verificados durante as manobras, além de dar uma visão muito boa das medidas necessárias para reduzir o arco e possibilitar as manobras de transferência sem interrupção da carga.

Porém, como este estudo necessita do cálculo de fluxo de potência do sistema equivalente para determinar o fluxo pelas chaves seccionadoras quando do fechamento/abertura das mesmas, acaba gerando a necessidade de uma avaliação prévia e programada, não sendo aplicável à análise em Tempo Real.

Este artigo tem como objetivo apresentar uma ferramenta computacional que facilite a análise de transferência de carga sem pique em Tempo Real, auxiliando a tomada de decisões e a aplicação da análise também fora do horário comercial.

Esta ferramenta, desenvolvida em ambiente de programação orientada a objeto (Visual Basic), consiste na integração do aplicativo para Análise de Redes (ANAREDE) à formulação matemática para estimação do comprimento de arco elétrico gerado pelas manobras em seccionadores. O ANAREDE é utilizado pela ferramenta para convergência do caso de fluxo de potência e conseqüente determinação do fluxo de potência a ser interrompido pelas chaves seccionadoras em análise.

A rede elétrica a ser simulada é representada por um equivalente da região em que será realizada a manobra. Desta forma, para a estimação do arco elétrico gerado pela manobra, será necessário conhecer apenas as magnitudes de tensão e fluxo entre as barras adjacentes à manobra a ser realizada. Estes dados de tensão e carregamento podem ser obtidos através do Sistema de Supervisão, o que possibilita a análise em Tempo Real.

2.0 - CÁLCULO DO ALCANCE DE ARCO

Diversas metodologias são empregadas atualmente para a modelagem de arcos elétricos e esta modelagem é função de diversos fatores como temperatura, umidade do ar, velocidade do vento, etc. Embora as manobras de fechamento de seccionadores sejam menos restritivas do que as de abertura, a literatura existente sobre o assunto [1] recomenda que sejam utilizados os mesmos critérios para ambos os casos.

As manobras de seccionadores podem acarretar problemas devido ao alcance do arco que se formará, que é função da corrente a ser interrompida e da tensão que aparece nos terminais da chave. Já a tensão por sua vez, também é função da corrente a ser interrompida e da impedância do anel que está sendo aberto pela referida chave.

O gráfico abaixo mostra um exemplo de várias curvas de alcance de arco, calculadas em função da corrente interrompida e da impedância do anel que está sendo aberto. Ver Gráfico 1.

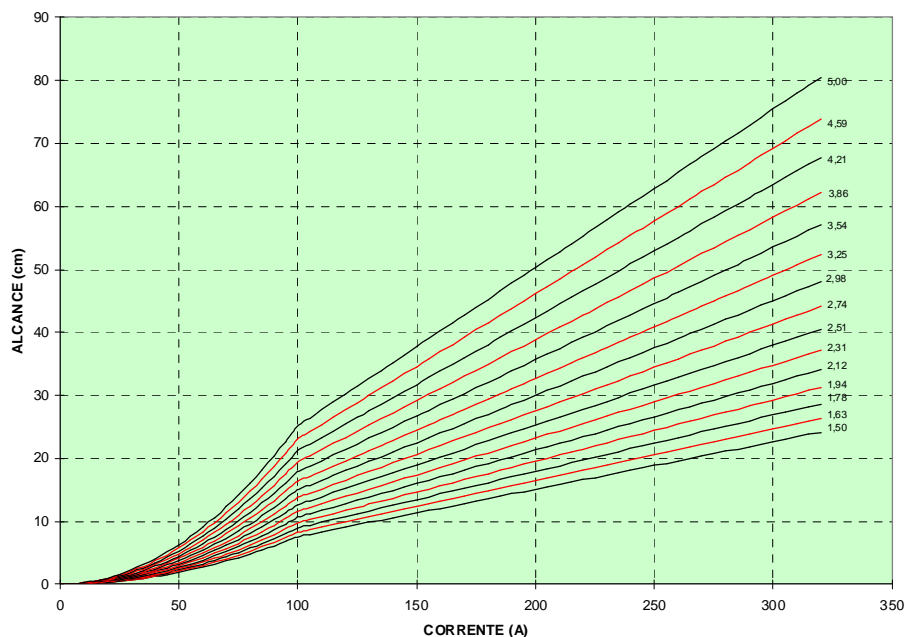


Gráfico 1 – Exemplos de curvas de alcance de arco

Pode-se verificar que as curvas são quadráticas até 100 A e lineares a partir de 100 A, em função das equações empíricas nos permitem calcular o alcance do arco que se formará quando da abertura da chave:

$A = 502,92 \cdot 10^{-6} Z I^2 \rightarrow$ para correntes até 100A inclusive

$A = 50,292 \cdot 10^{-3} Z I \rightarrow$ para correntes maiores que 100A

Onde :

I é a corrente interrompida, em Amperes

Z é a impedância do anel que está sendo aberto, em ohms

A é o alcance do arco, em centímetros

Para a definição das máximas correntes possíveis de interrupção consideramos que o alcance máximo do arco ocorrerá no prolongamento da lâmina da chave manobrada. Desta forma estaremos sendo conservadores, trabalhando a favor da segurança do equipamento. A figura 1 ilustra esta consideração. Ver figura 1.

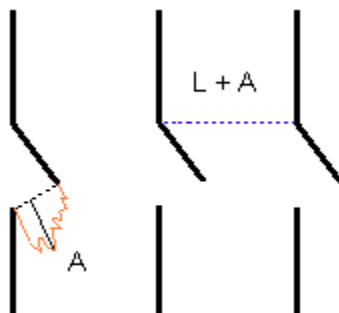


Figura 1 – Consideração de alcance de arco

Onde:

A = Alcance do arco

L = Comprimento da lâmina da chave

Assim, para se manobrar o referido seccionador, basta verificar a menor distância entre a extremidade da lâmina e a outra fase, ou qualquer outra estrutura metálica. Através da formulação descrita acima, determina-se a corrente máxima para a execução da manobra com segurança.

Tendo em vista que o maior arco se forma no momento de abertura da chave, com tendências a se deslocar para cima, devido ao movimento do ar provocado pelo seu aquecimento, não devem ser consideradas as distâncias entre lâmina e base da chave. Cuidados especiais devem ser tomados na determinação destas distâncias, caso a seccionadora não seja montada no plano horizontal; e também com relação a condições climáticas adversas (vento forte, alta umidade do ar) que podem alterar significativamente o alcance e o deslocamento do arco. Estando o alcance do arco dentro das distâncias mínimas de isolamento da equipamento, consideramos possível a realização da manobra. É sempre importante considerar uma margem de segurança neste ponto de forma a acomodar as alterações possíveis de meio ambiente no momento da manobra (velocidade do vento, umidade do ar, etc).

3.0 - DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA

A ferramenta consiste numa interface gráfica contendo as diversas subestações da CTEEP em que existe a necessidade de avaliação do alcance de arco voltaico decorrente de uma manobra. Ver Figura 2.

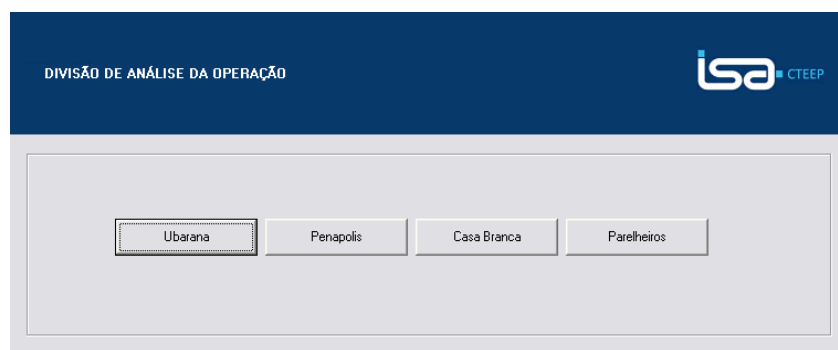


Figura 2 – Tela Principal

A interface gráfica da localidade é então disponibilizada ao Operador de Sistema para a inserção das grandezas elétricas (Potência ativa e reativa nos circuitos e tensão das barras em estudo). As grandezas poderão ser obtidas do Sistema de Supervisão em Tempo Real ou valores obtidos de casos de referência de fluxo de potência. Na figura abaixo é demonstrado um exemplo para a transferência de carga sem pique da Subestação Ubarana. Ver Figura 3.

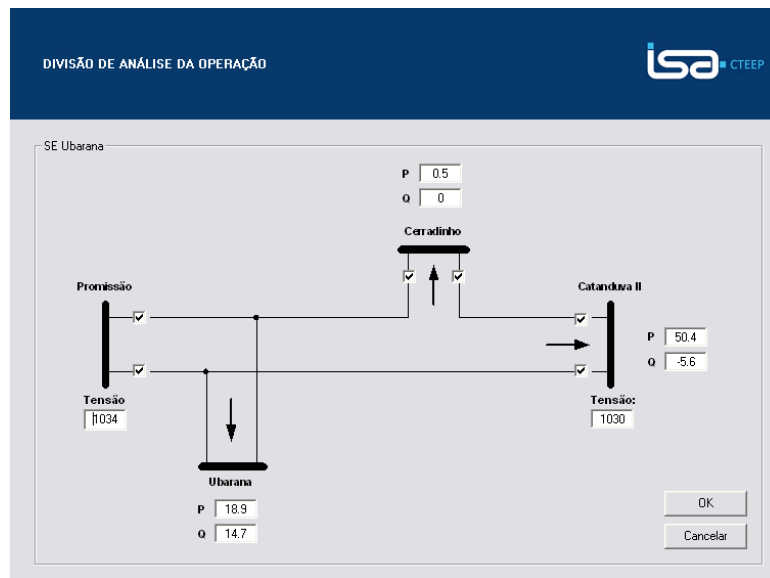


Figura 3 – Interface gráfica da SE Ubarana

Para cada localidade é modelada uma rede elétrica equivalente para a realização do cálculo de fluxo de potência em cada ramo do circuito. O modelo reduzido permite a seleção de disjuntores ligados e desligados, alterando dessa forma a impedância do circuito (Z_{Loop}) e influenciando diretamente no resultado do alcance de arco esperado.

Uma das barras do sistema equivalente é considerada a barra de referência para a resolução do fluxo de potência, e nela será feito todo o fechamento de potência necessário em função dos valores de carregamento e de tensão carregados inicialmente para as outras barras/linhas. No caso mostrado na Figura 3, a barra de referência do sistema equivalente é a barra da SE Promissão.

A ferramenta interpreta automaticamente caso a barra de referência utilizada seja ilhada (no caso da Figura 3 seria o correspondente a abrir os dois disjuntores de saída da SE Promissão), alterando a barra de referência para outra barra do sistema equivalente.

Determinada a configuração operativa da rede elétrica, é então gerado um arquivo de simulação (deck) contemplando as grandezas elétricas de potência e tensão bem como situação dos disjuntores do modelo. Este arquivo de simulação é então disponibilizado para o cálculo de fluxo de potência.

Internamente, o cálculo de fluxo de potência é realizado pelo software ANAREDE-Cepel, o qual determina o fluxo de potência ativa e reativa em cada ramo, considerando as susceptâncias próprias das linhas envolvidas. Ver Figura 4.

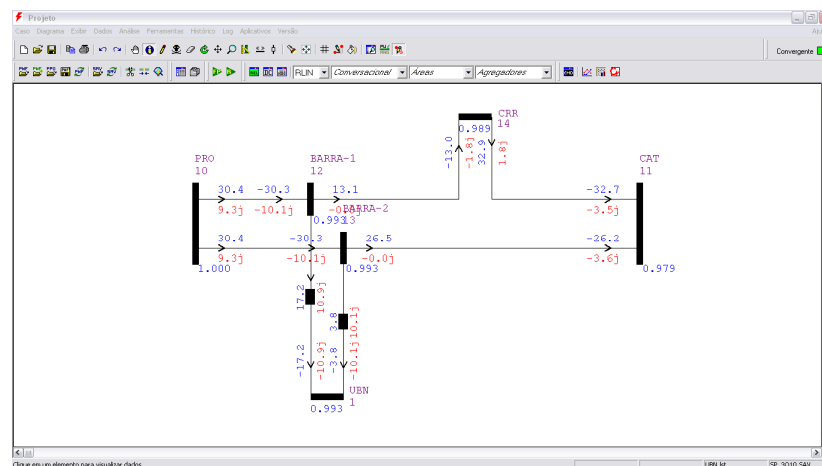


Figura 4 – Resolução do Fluxo de Potência no Programa ANAREDE-Cepel

Os resultados obtidos do software ANAREDE-Cepel são disponibilizados na interface de saída de resultados. É visualizado a potência conduzida por cada Seccionador, a impedância do circuito equivalente conforme a disposição dos disjuntores no modelo inicial, bem como a tensão na barra em que será realizada a manobra. Com base nas potência de condução em cada Seccionador, é utilizada a formulação matemática apresentada no item 2.0 para determinação do alcance de arco. Ver Figura 5.

Figura 5 – Interface de resultados

O resultado da análise permite ao Operador de Sistema saber se é ou não viável a realização das manobras necessárias em Tempo Real, e a determinação da melhor configuração operativa para a realização destas manobras em determinadas condições de carregamento do sistema.

4.0 - CONCLUSÃO

Até então, as manobras de transferência de carga sem interrupção de energia só poderiam ser implementadas se previamente analisadas, devido à necessidade de utilização do programa de fluxo de carga para cálculo dos fluxos passantes nos seccionadores a serem manobrados. Com a utilização desta ferramenta, as análises podem agora ser feitas em Tempo Real, somente com base nas informações adquiridas através de nosso Sistema de Supervisão.

Com os resultados obtidos após mais de 15 anos utilizando desta técnica, e após validação dos resultados do programa com a metodologia manual utilizada anteriormente, é possível avaliar que a ferramenta proporciona grande praticidade nas análises de transferência de carga sem pique, inclusive em Tempo Real.

A metodologia aqui implantada, também pode ser utilizada na avaliação de energização/desenergização/colocação de transformadores em carga através de chaves seccionadoras.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] A complementar.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Marcos Rodolfo Cavalheiro graduou-se em engenharia elétrica em 2006 na Universidade São Francisco (Itatiba/SP). Está cursando Mestrado na área de Sistemas de Potência da Faculdade de Engenharia Elétrica e da Computação (FEEC) na UNICAMP desde 2006, desenvolvendo tese na área de Estabilidade de Tensão. Ingressou na CTEEP em 1998 como menor aprendiz do SENAI, atuando como técnico na área de Manutenção de Equipamentos e, posteriormente, na Operação da SE Cabreúva 440/230/138/13,8kV. Desde 2007 tem atuado como Engenheiro na Área de Estudos de Operação e Proteção da CTEEP, inclusive fazendo parte da equipe de acompanhamento dos estudos de sistema relacionados ao bipolo 2 da Transmissão HVDC do Madeira.

Hélio Hanawa graduou-se em engenharia elétrica em 1990 na Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho (UNESP-Bauru). Especializou-se em Sistemas Elétricos de Potência na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI-MG) em 2007. Ingressou na CTEEP em 1995 na área de Proteção/Teleproteção e atualmente desenvolve atividades na Área de Estudos de Operação e Proteção, voltados à área de estabilidade eletromecânica e de transitórios eletromagnéticos.