



GRUPO VII

GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GPL

PLANEJAMENTO DA ÁREA LESTE DA REGIÃO NORDESTE UTILIZANDO ALGORITMOS DE OTIMIZAÇÃO DISPONÍVEIS NO PROGRAMA FLUPOT DESENVOLVIDO PELO CEPEL

Jurandir de Almeida Cavalcanti *

Murilo Lucena Pinto

João Alberto Passos Filho

CHESF

CHESF

CEPEL

RESUMO

Este estudo apresenta uma análise para atendimento ao mercado do novo pólo industrial de Suape, no horizonte 2016 [1]. Os pressupostos básicos desta análise são: 1) Postergar o esgotamento da transformação da subestação de Recide II da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF, 2) Atendimento ao novo pólo industrial de Suape, 3) Incertezas na previsão de mercado de Suape, e 4) Utilização de curvas QV e PV para validação dos resultados de otimização fornecidos pelo FLUPOT, para garantir a estabilidade de tensão da rede da área leste da região Nordeste do Brasil. A metodologia [2], apresentada no Anexo I, e utilizada neste estudo, contemplou o uso das funções objetivo para otimização do ponto de operação de uma rede elétrica, Máximos Carregamento - CMXC, e Mínima Alocação de Reativo – ASHN, disponíveis no programa FLUPOT, desenvolvido pelo CEPEL.

PALAVRAS-CHAVE

Estabilidade de Tensão, Algoritmos de Otimização, Planejamento de Redes Elétricas, Programa FLUPOT.

1.0 - INTRODUÇÃO

As funções objetivo de otimização disponíveis no programa FLUPOT, para resolver diversos problemas de uma rede elétrica, num total de quinze, utilizam a decomposição do problema de planejamento em dois subproblemas (caso base e contingências), e considera vários estados operativos de uma rede elétrica, obedecendo à hierarquia descrita a seguir.

- ✓ Subproblema de operação de caso base, onde o ponto de operação do caso base é otimizado, considerando as restrições de caso base;
- ✓ Subproblema de operação em contingências, onde a partir do ponto ótimo de operação do caso base, tenta-se viabilizar a operação para diversas emergências de rede, considerando as restrições de contingência.

O algoritmo proposto neste trabalho [2], que combina as funções objetivos Mínima Alocação de Reativo - ASHN, para definir um ponto de operação seguro, sob o ponto de vista de estabilidade de tensão, e Máximo Carregamento – CMXC, para calcular o esgotamento da rede elétrica - CMXC, está mostrado na Figura 1.1. Resumidamente estão apresentados a seguir os passos deste algoritmo.

1. Para cada alternativa analisada é calculado, inicialmente, o maior mercado que pode ser atendido no novo pólo industrial de Suape, considerando os pressupostos de regulação de tensão e limites térmicos de transformadores e linhas de transmissão da rede elétrica;

2. O ponto de operação obtido anteriormente é submetido ao processo de mínima alocação de reativo para garantir uma situação robusta em contingências da rede elétrica, sem déficit de potência reativa;
3. Os passos 1 e 2 são repetidos até não aparecer nenhum déficit de potência reativa. O caso obtido no passo 2, na última situação, que não apresentou déficit de potência reativa durante contingências, é gravado para que seja obtido o fluxo de potência do máximo carregamento da rede elétrica, para análise e validação no programa ANAREDE, desenvolvido pelo CEPEL.

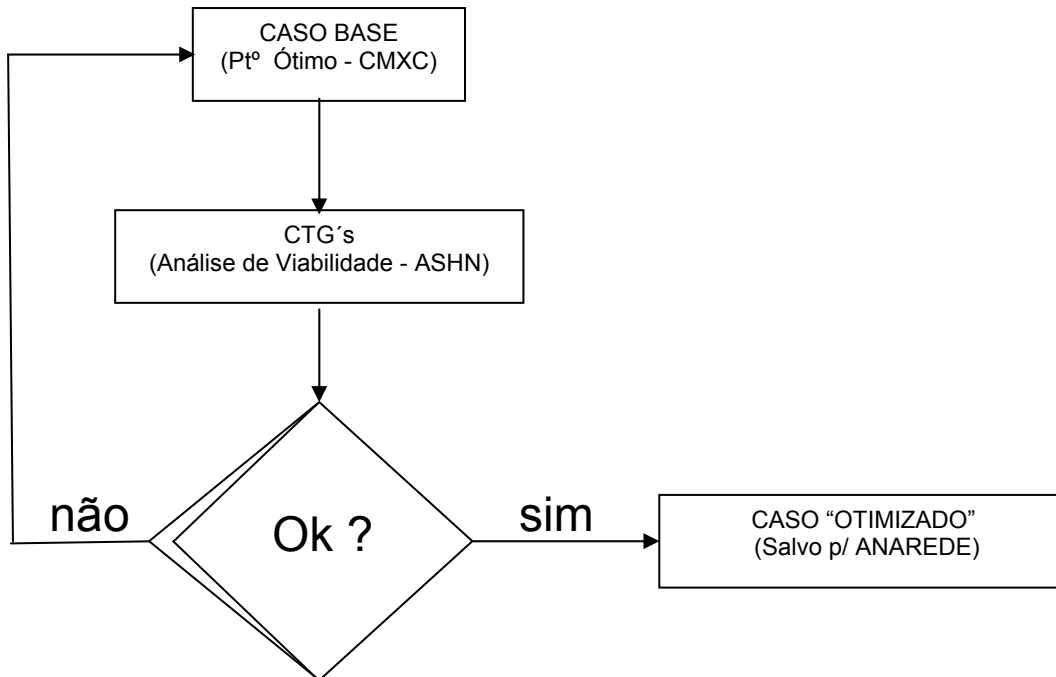


Figura 1.1 - Algoritmo que combina as funções objetivos de otimização, Máximo Carregamento - CMXC de uma rede elétrica e Mínima Alocação de Reativo – ASHN.

2.0 - CONCEPÇÃO E DESEMPENHO DAS ALTERNATIVAS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos neste estudo. Nas análises realizadas foram contempladas três alternativas, para o atendimento ao mercado do pólo industrial de Suape. Estas alternativas estão descritas a seguir, e o desempenho elétrico das mesmas detalhado nos itens subseqüentes.

- ✓ Alternativa S1 – LT em 500kV Derivação-Suape;
- ✓ Alternativa S2 – Duas LT's em 230kV Ribeirão - Suape;
- ✓ Alternativa S3 – Uma LT em 500kV Recife II - Suape.

2.1 Alternativa S1

Esta alternativa é formada pelo seccionamento da LT em 500kV Messias – Recife II, a dezessete quilômetros da subestação de Recife II, e a construção de dois circuitos em 500kV, com extensão de vinte e cinco quilômetros, até a nova subestação de 500/230kV de Suape. Esta subestação terá, inicialmente, dois autotransformadores de 500/230/13.8kV-600MVA, com previsão de expansão para quatro unidades transformadoras. O barramento de 230kV vai seccionar as duas LT's em 230 kV Pirapama - UTEPE, a dezoito quilômetros da subestação elevadora da Usina Térmica de Pernambuco - UTEPE, localizada na área industrial de Suape.

A análise foi feita no ano 2016, na condição de carga pesada. Utilizou-se a configuração do Plano Decenal de Transmissão - PET 2007/2016, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Neste horizonte de estudo só ficou definido pela EPE o programa de obras de Transmissão, ficando pendente a necessidade de compensação reativa fixa ou variável, para garantir o controle de tensão em regime permanente, na condição normal de operação e durante emergência na rede elétrica. O fluxo de potência na região de Suape, para a alternativa S1, referenciada anteriormente, está apresentado na Figura 2.1.1.

A compensação reativa necessária para garantir um ponto de operação estável, sob o ponto de vista de estabilidade de tensão, durante contingência na rede elétrica da área leste da região Nordeste do Brasil, sugerida neste trabalho, está apresentada abaixo.

- ✓ Correção do fator de potência para um valor unitário, utilizando bancos de capacitores em módulos de 21.3Mvar, em alguns barramentos de 69kV da CHESF;
- ✓ Bancos de capacitores em módulos de 50Mvar, nas subestações de Ribeirão 230kV-50Mvar, C. Grande 230kV-(+)50Mvar, Natal III 230kV-2x50Mvar;
- ✓ Utilização de três compensadores estáticos, um na subestação de 230 kV de Stª Rita - (0, 150Mvar), outro no 230kV de Maceió - (0, 200Mvar), e outro na subestação de 230kV de Urbana - (0, 200Mvar).

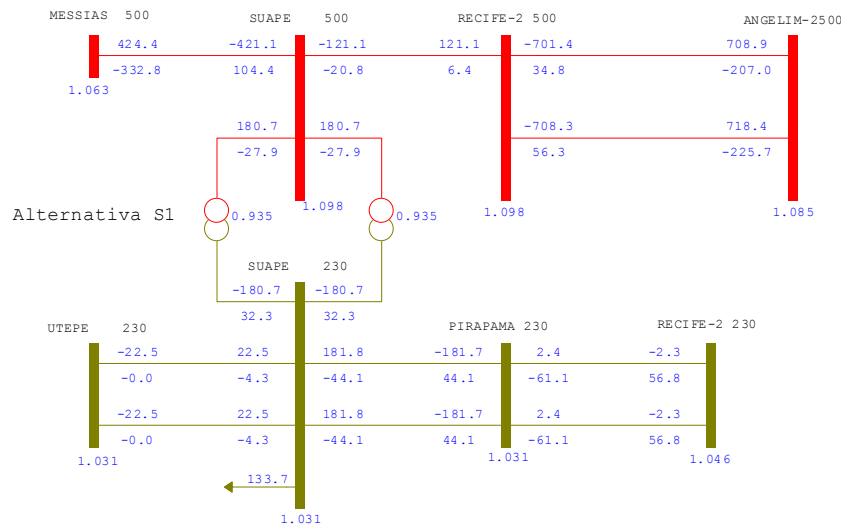


Figura 2.1.1 – Atendimento ao pólo industrial de Suape na alternativa S1, em condições normais de operação.

A compensação reativa supracitada foi necessária para atender a perda da LT em 500kV Luís Gonzaga-Pau Ferro, identificada como a contingência mais severa, dentro de um elenco de 20 contingências, consideradas neste estudo. A função de otimização utilizada nesta análise, disponível no programa de otimização FLUPOT, foi a Mínima Alocação de Reativo – ASHN. Contemplando esta compensação reativa na Rede Básica da área leste da região Nordeste do Brasil, a estabilidade de tensão na subestação de 69kV de Tacaimbó, que apresentou a maior queda de tensão, na contingência supracitada, está apresentada na Figura 2.1.2. Trata-se, portanto, de um ponto de operação estável, e que apresenta neste barramento uma reserva de potência reativa de 38Mvar, em relação à tensão mínima de 0.95pu.

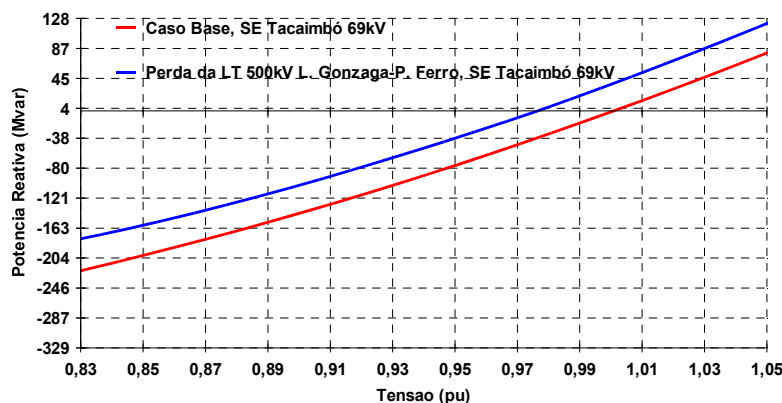


Figura 2.1.2 – Estabilidade de tensão na subestação de 69kV de Tacaimbó, na emergência da LT em 500kV L. Gonzaga-Pau Ferro.

O mercado considerado nesta análise para o pólo industrial de Suape foi de 133MW, que poderá ser alimentado através do barramento de 230 kV desta subestação. Como existe uma perspectiva de um crescimento mais acentuado do mercado neste pólo industrial, foi calculada, nesta análise, a máxima carga que poderá ser atendida, na alternativa S1. Para tal, foi considerada a função de otimização Máximo Carregamento – CMXC,

disponível no programa FLUPOT. Este novo carregamento no barramento de 230kV de Suape, nesta alternativa, foi de 500MW. O fluxo de potência na região de Suape, para esta nova situação, está apresentado na Figura 2.1.3. A estabilidade de tensão na subestação de 69kV de Tacaimbó está apresentada na Figura 2.1.4.

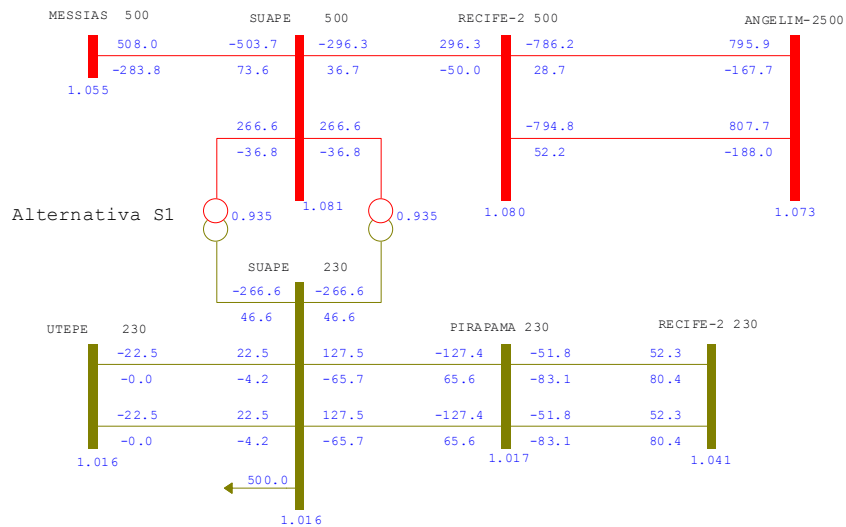


Figura 2.1.3 – Máximo carregamento no barramento de 230kV de Suape, na alternativa S1, em condições normais de operação.

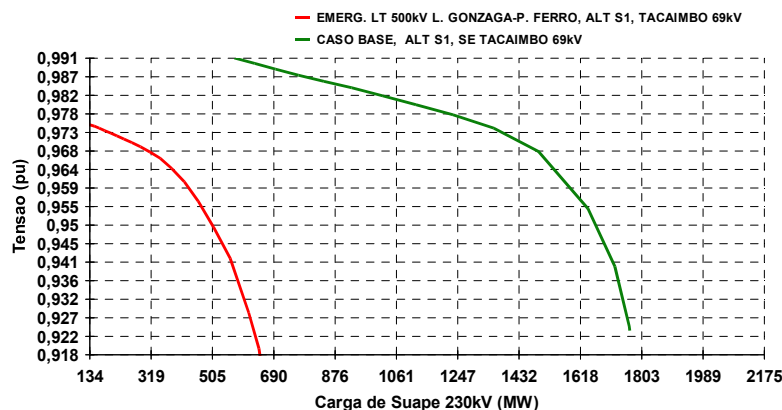


Figura 2.1.4 – Estabilidade de tensão na subestação de 69kV de Tacaimbó, na emergência da LT em 500kV L. Gonzaga-Pau Ferro, para uma carga de 500MW no barramento de 230kV de Suape.

2.2 Alternativa S2

Esta alternativa é formada por um circuito duplo em 230kV Ribeirão-Suape, com extensão aproximada de sessenta quilômetros, até a nova subestação de 230kV de Suape. O barramento de 230kV vai seccionar as duas LT's em 230 kV Pirapama - UTEPE, a dezoito quilômetros da subestação elevadora da Usina Térmica de Pernambuco - UTEPE, localizada na área industrial de Suape.

A alternativa S2 foi construída a partir da alternativa S1, mantendo-se as mesmas premissas e condicionantes de estudo, referenciadas no subitem anterior. O fluxo de potência na região de Suape, para esta alternativa, está apresentado na Figura 2.2.1. Observa-se, que o atendimento ao mercado do pólo de Suape, nesta alternativa, a partir da subestação de 230kV de Recife II, é bem maior, 2x143MW, contra apenas 2x3MW da alternativa S1.

A estabilidade de tensão na subestação de 69kV de Ribeirão, que apresentou a maior queda de tensão, na contingência da LT em 500kV L. Gonzaga-Pau Ferro, está apresentada na Figura 2.2.2. Trata-se, portanto, de um ponto de operação estável, e que apresenta neste barramento uma reserva de potência reativa de 43Mvar, em relação à tensão mínima de 0.95pu.

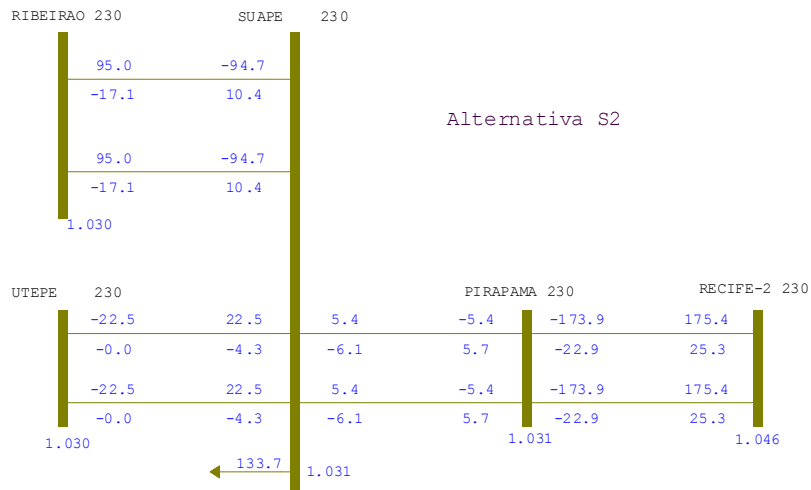


Figura 2.2.1 – Atendimento ao pólo industrial de Suape na alternativa S2, em condições normais de operação.

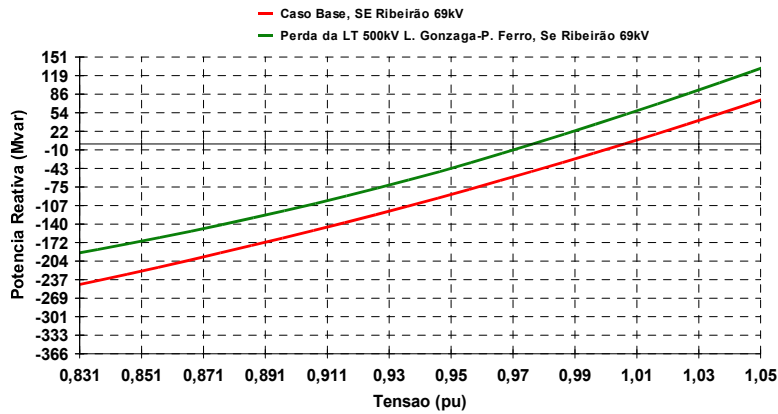


Figura 2.2.2 – Estabilidade de tensão na subestação de 69kV de Ribeirão, na emergência da LT em 500kV L. Gonzaga-Pau Ferro.

Da mesma maneira que foi considerada na alternativa S1, foi calculada, nesta análise para a alternativa S2, a máxima carga que poderá ser atendida em Suape. Este novo carregamento no barramento de 230kV de Suape, nesta alternativa, foi de 360MW. O fluxo de potência na região de Suape, para esta nova situação, está apresentado na Figura 2.2.3. A estabilidade de tensão na subestação de 69kV de Ribeirão está apresentada na Figura 2.2.4, tanto para alternativa S2, como para a alternativa S1.

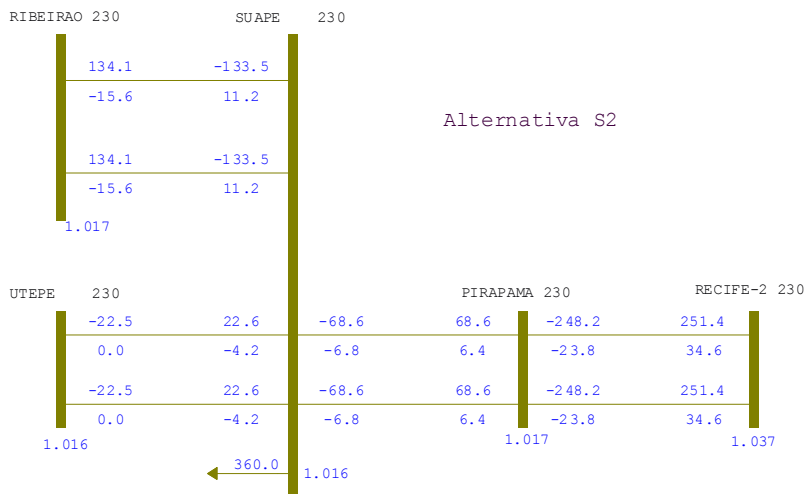


Figura 2.2.3 – Máximo carregamento no barramento de 230kV de Suape, na alternativa S2, em condições normais de operação.

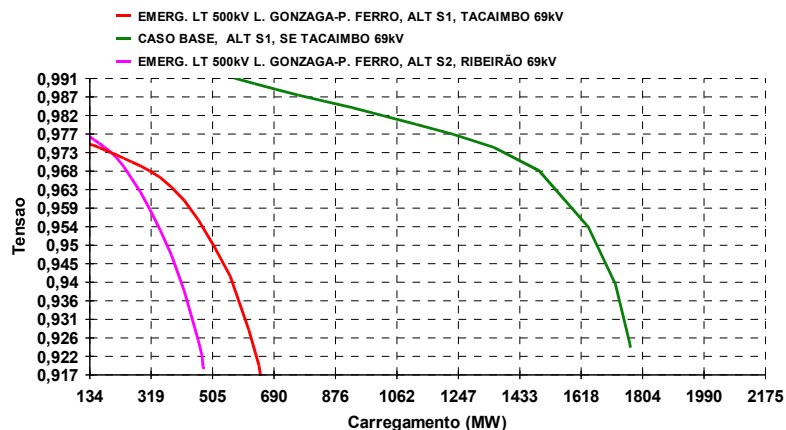


Figura 2.2.4 – Estabilidade de tensão na subestação de 69kV de Ribeirão, na emergência da LT em 500kV L. Gonzaga-Pau Ferro, para uma carga de 360MW no barramento de 230kV de Suape.

2.3 Alternativa S3

Esta alternativa é formada por um circuito simples em 500kV Recife II - Suape, com extensão aproximada de cinquenta quilômetros. Esta subestação terá, também, dois autotransformadores de 500/230/13.8kV-600MVA, com previsão de expansão para quatro unidades transformadoras. O barramento de 230kV vai seccionar as duas LT's em 230 kV Pirapama - UTEPE, a dezoito quilômetros da subestação elevadora da Usina Térmica de Pernambuco - UTEPE, localizada na área industrial de Suape.

A alternativa S3 foi construída a partir da alternativa S1, mantendo-se as mesmas premissas e condicionantes de estudo, referenciadas no subitem 2.1. O fluxo de potência na região de Suape, para esta alternativa, está apresentado na Figura 2.3.1. Observa-se, que o atendimento ao mercado do pólo de Suape, nesta alternativa, a partir de subestação de 230kV de Recife II, é maior, 2x33MW, contra apenas 2x3MW da alternativa S1.

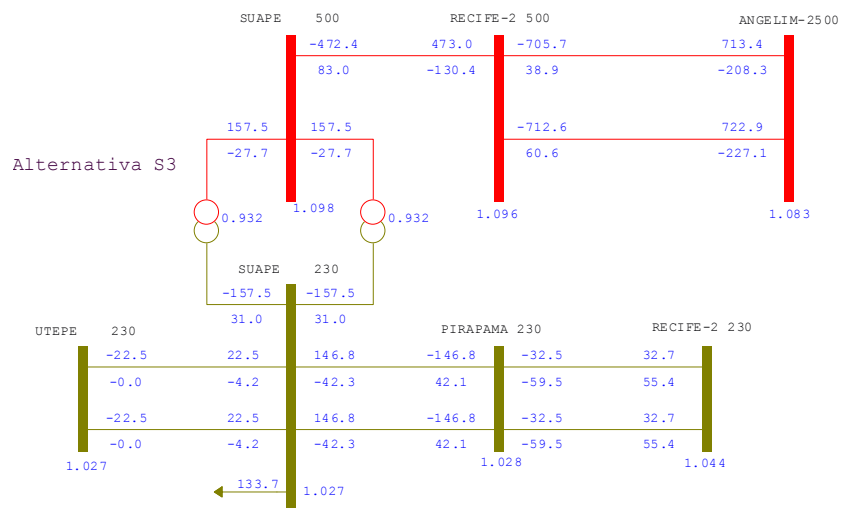


Figura 2.3.1 – Atendimento ao pólo industrial de Suape na alternativa S3, em condições normais de operação.

A estabilidade de tensão na subestação de 69kV de Pirapama, que apresentou a maior queda de tensão, na contingência da LT em 500kV L. Gonzaga-Pau Ferro, está apresentada na Figura 2.3.2. Trata-se, portanto, de um ponto de operação estável, e que apresenta neste barramento uma reserva de potência reativa de 51Mvar, em relação à tensão mínima de 0.95pu.

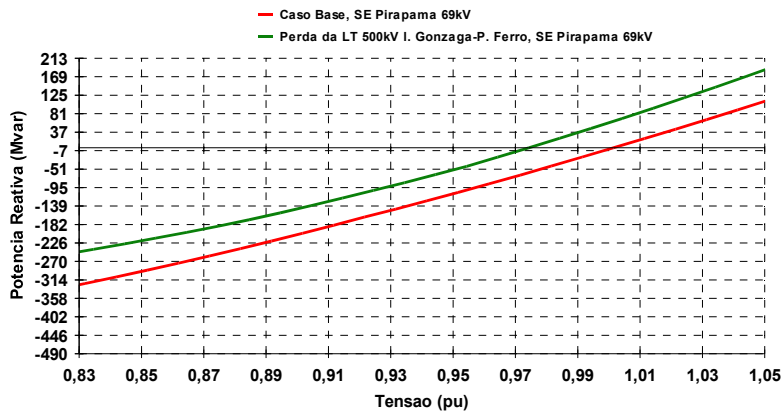


Figura 2.2.2 – Estabilidade de tensão na subestação de 69kV de Pirapama, na emergência da LT em 500kV L. Gonzaga-Pau Ferro.

Da mesma maneira que foi considerada nas alternativas S1 e S2, foi calculada, nesta análise para a alternativa S3, a máxima carga que poderá ser atendida em Suape. Este novo carregamento no barramento de 230kV de Suape, nesta alternativa, foi de 430MW. O fluxo de potência na região de Suape, para esta nova situação, está apresentado na Figura 2.3.3. A estabilidade de tensão na subestação de 69kV de Pirapama está apresentada na Figura 2.3.4, tanto para alternativa S3, como para as alternativas S1 e S2.

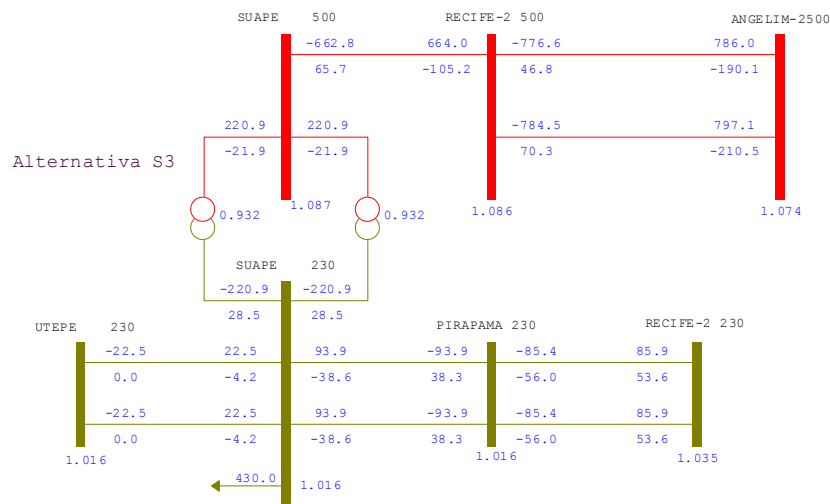


Figura 2.2.3 – Máximo carregamento no barramento de 230kV de Suape, na alternativa S3, em condições normais de operação.

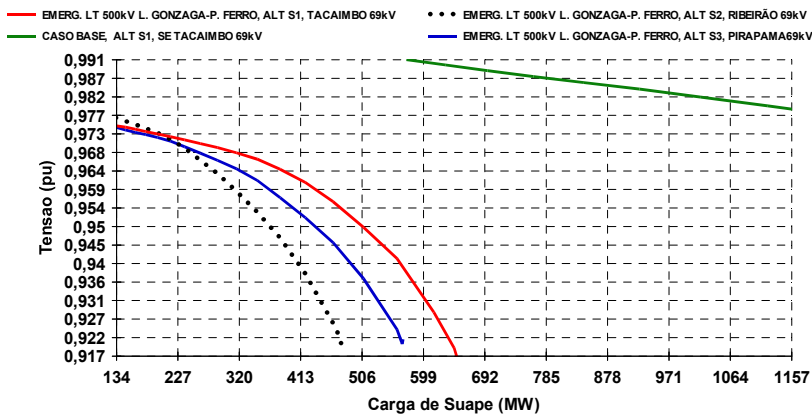


Figura 2.3.4 – Estabilidade de tensão na subestação de 69kV de Pirapama, na emergência da LT em 500kV L. Gonzaga-Pau Ferro, para uma carga de 430MW no barramento de 230kV de Suape.

3.0 - CONCLUSÃO

Destaca-se a importância da utilização de algoritmos de otimização no planejamento de redes elétricas, pela rapidez e pela qualidade dos resultados obtidos neste estudo, ilustrados na constatação mostrada a seguir.

- ✓ Na Figura 3.1 é ilustrada a máxima carga que pode ser atendida no barramento de 230kV de Suape, para as três alternativas consideradas neste estudo, obtida a partir da utilização da função objetivo, Máximo Carregamento - CMXC, disponível no programa de otimização FLUPOT, desenvolvido pelo CEPEL. Os resultados obtidos mostram que na Alternativa S1, o valor do mercado de Suape é de 500MW, no máximo. Na Alternativa S2 o mercado tem que ser reduzido para apenas 360MW. Por último, na Alternativa S3, o mercado máximo será de 430MW. A alternativa S1 foi selecionada, para o atendimento ao mercado futuro do pólo industrial de Suape, por apresentar o melhor desempenho técnico e econômico [1].

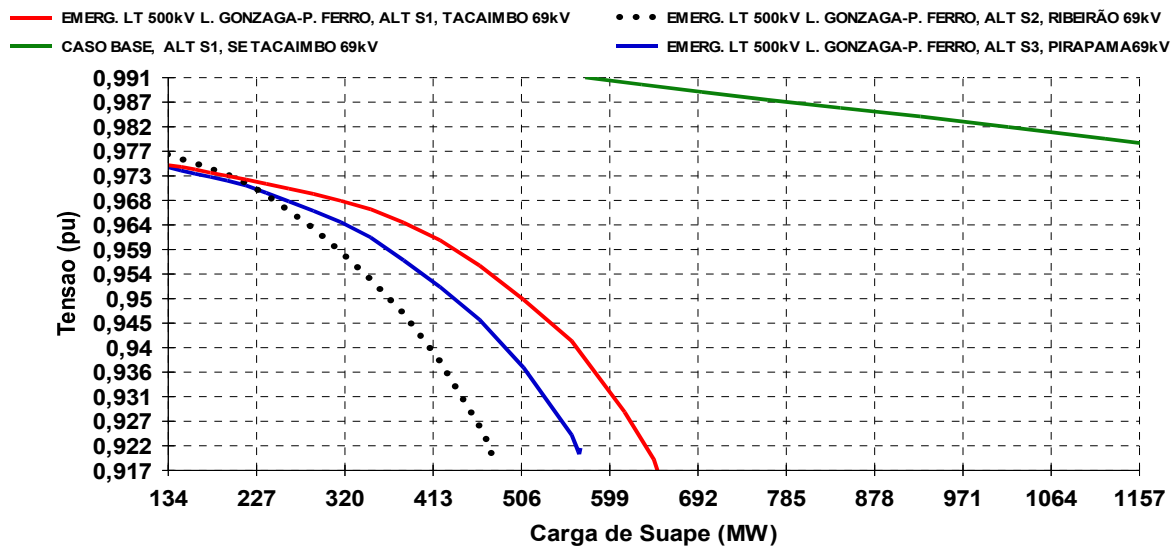


Figura 3.1 – Estabilidade de tensão nas subestações de 69kV da rede Rede Básica da região nordeste do Brasil, na emergência da LT em 500kV L. Gonzaga-Pau Ferro, para as três alternativas de atendimento ao pólo industrial de Suape.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Jurandir Cavalcanti, "Planejamento da Área Leste da Região Nordeste do Brasil, Utilizando Algoritmos de Otimização", CHESF, 2007, Recife, Brasil.
- (2) Jurandir Cavalcanti, "Curso de Análise de Sistema de Potência, Utilizando Algoritmos de Otimização Disponíveis no Programa FLUPOT", CHESF, 2007, Recife, Brasil.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



JURANDIR CAVALCANTI

Nasceu em Garanhuns, PE, em 1954. Graduação (1978) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Pós-Graduação em Sistema de Controle de Redes Elétricas (1985) na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, MBA em Finanças Empresarias (2004) pela Fundação Getúlio Vargas - FGV, Curso de Especialização de Engenharia e Segurança do Trabalho CEEST (2005) na Universidade de Pernambuco - UPE, Trabalha na Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF, desde 1978, no Planejamento da Expansão da Transmissão.