



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

CB/GPL/21

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO VII

GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GPL

REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES E OS REATORES COM SATURAÇÃO NATURAL (RSN): ESTADO DA ARTE E PERSPECTIVAS DE UTILIZAÇÃO NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

**Marcelo José de
Albuquerque Maia(*)
Chesf**

**Luiz Antonio Magnata
de Fonte
UFPE**

**Vicente Ribeiro Simoni
Chesf**

**Fernando Edier França
Freitas
Chesf**

RESUMO

A implantação de Redes Elétricas Inteligentes (REI) busca especialmente a eficiência energética, a melhoria da qualidade da energia ofertada e o aumento da confiabilidade em sistemas elétricos. Sob esse enfoque, poder-se-ia caracterizar uma REI como sendo o conjunto de ações exercidas pelos agentes envolvidos, com o intuito de tornar eficiente, confiável e seguro o uso da energia elétrica. Nesse contexto, o artigo apresenta a aplicação dos Reatores com Saturação Natural (RSN), como uma tecnologia que visa auxiliar os sistemas elétricos de potência em alta tensão, como um elemento efetivo das REI.

Serão apresentados resultados de estudos elétricos para o Sistema Interligado Nacional – SIN que caracterizam de modo claro e efetivo os benefícios auferidos com o uso dos RSN em substituição aos Reatores Lineares (RL) atualmente instalados nas linhas de transmissão de 500 kV. As avaliações realizadas para as linhas de interligação das regiões Norte-Nordeste indicam benefícios significativos tanto do ponto de vista sistêmico (aumento de capacidade de transmissão), quanto do ponto de vista operacional (aumento das margens de segurança estática).

A substituição dos RL por RSN se torna especialmente importante quando se considera as contingências de linhas de interligação entre regiões. Nesse contexto o RSN, além de proporcionar a manutenção da integridade do sistema interligado (inclusive para contingências múltiplas, sem perda de sincronismo ou desligamentos), contribui para a manutenção do atendimento integral das demandas de potências transferidas entre regiões, não provocando, pois, cortes de cargas.

PALAVRAS-CHAVE

RSN – Reator Saturado – REI – Smart Grid - Planejamento – Estabilidade – Fluxo de Potência

1.0 - INTRODUÇÃO

O tema Redes Elétricas Inteligentes (REI) tem sido abordado frequentemente nas últimas décadas por uma significativa quantidade de pesquisadores, agentes públicos e concessionárias de energia, cada um com uma perspectiva própria. A diversidade de enfoques dificulta a adoção de uma definição única capaz de contemplar os diferentes interesses. Talvez, a alternativa mais indicada seja a definição dos objetivos pretendidos com a implantação de uma REI; a busca por uma maior eficiência energética, uma melhoria na qualidade da energia ofertada e uma elevação da confiabilidade do sistema como um todo. Sob esse prisma poder-se-ia caracterizar uma REI como sendo o conjunto de ações exercidas pelos agentes governamentais ou privados, empresas geradoras, transmissoras, distribuidores e o próprio consumidor, com o intuito de tornar eficiente, confiável e seguro o uso da energia elétrica [1].

Alguns países, em particular, tem se destacado por iniciativas pioneiras no que concerne a REI. A Tabela 1 fornece um quadro dos investimentos realizados e previstos para esses países.

(*) Rua Delmiro Gouveia, n° 333 – sala A-309 - Bloco A – CEP 50.761-901 Recife, PE, – Brasil
Tel: (+55 81) 3229-3536– Fax: (+55 81) 3229-2487 – Email: mjamaia@chesf.gov.br

Tabela 1 – Investimentos com as REI no mundo
(Fonte: IEA 2011a; European Commission, 2011b; Zpryme, 2012).

PAÍS	FOCO	INVESTIMENTOS	
		Realizados até 2010 (Milhões US\$)	Previstos (Bilhões US\$)
Austrália	Definição dos custos e benefícios das REI	360,00	240,00 (até 2030)
China	Eficiência energética e fontes renováveis	7.300,00	100,00 (até 2016)
Coréia do Sul	Integração REI-residências e parques eólicos	824,00	24 a 30,00 (até 2030)
EUA	Implantação de novas tecnologias nas redes elétricas	7.090,00	1.500,00 (até 2030)
Índia	Modernização do sistema de distribuição		26,00 (até 2016)
Japão	Utilização da energia solar	849,00	1.700,00 (até 2030)
União Européia	Renovação dos sistemas de geração, transmissão e distribuição.	1.760,00	1.880,00 (até 2030)

No Brasil, alguns marcos regulatórios pautam o processo de implantação das REI:

Portaria MME nº 440/2010 - Criou Grupo de Trabalho com o objetivo de analisar e identificar ações necessárias para subsidiar o estabelecimento de políticas públicas para implantação de um Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente – “Smart Grid” [2].

Chamada ANEEL nº 011/2010 - Torna público as características, os critérios para participação e os procedimentos para elaboração de proposta de Projeto Estratégico “Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente” [3].

Plano Inova Energia (2013) - Iniciativa destinada ao fomento e seleção de planos de negócios relativos a Redes Elétricas Inteligentes (Smart Grid), Transmissão em Ultra-Alta Tensão, Fontes Alternativas de Energia, Veículos Híbridos e Eficiência Energética Veicular, sob condução do BNDES, FINEP e ANEEL.

Alguns projetos pilotos se destacam na área de distribuição; Cidade do Futuro (CEMIG), Cidade Inteligente Búzios (Light), Parintins (Eletrobras Amazonas Energia), Smart Grid (AES Eletropaulo); ImovCity (EDP Bandeirante), Cidade Inteligente Aquiraz (Coelce / Endesa), Fazenda Rio Grande (Copel), Arquipélago de Fernando de Noronha (Celpe).

Neste contexto tão amplo, iniciativas de diferentes matizes têm sido adotadas pelas concessionárias do setor elétrico nacional com ênfase em aplicações integradas de infraestrutura avançada de medição, automação e telecomunicações da rede de distribuição. As oportunidades oferecidas pelo momento atual, onde a geração distribuída de natureza eólica e solar destaca-se de modo significativo.

Esse ‘boom’ na área de distribuição, em contrapartida, tem deslocado o foco dos outros setores do sistema elétrico, particularmente a geração e a transmissão, embora também estes sejam ricos em oportunidades para atendimento dos objetivos de uma REI. Este trabalho pretende justamente contribuir com medidas no âmbito da transmissão, capazes de contribuir com duas metas importantes de uma REI; eficiência e economicidade.

2.0 - FERRAMENTAS DA REI

Como é sabido, uma REI utiliza, para alcançar as suas finalidades específicas, produtos de ponta, tanto no que tange aos equipamentos como quanto aos serviços de informação e comunicação para o monitoramento. O medidor de energia inteligente é um exemplo típico de recurso desenvolvido especialmente para este fim. Na área da transmissão, foco deste trabalho, algumas estratégias já em uso podem ser denominadas de instrumentos ou equipamentos de REI, que são: SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition, SEP – Sistemas Especiais de Proteção (ERAC, PPS), FACTS – Flexible AC Transmission Systems e PMU – Phasor Measurement Units.

No presente trabalho será descrita uma aplicação inovadora de um produto, que mesmo não sendo de criação recente, oferece potencialidades particularmente relevantes no âmbito das REI. Trata-se do Reator com Saturação Natural (RSN).

O sistema elétrico brasileiro é pródigo em linhas de transmissão longas e uma das singularidades da transmissão em grandes distâncias é a precária regulação de tensão oferecida nas barras de consumo, tanto em regime permanente como durante transitórios. Para combater esse comportamento inadequado, é prática comum no setor elétrico brasileiro promover a compensação de reativos do sistema de transmissão por intermédio dos tradicionais reatores lineares. A desvantagem desse esquema de compensação reside na necessidade de um funcionamento contínuo desses reatores e, nessas circunstâncias, tais equipamentos passarão a exercer o papel de um consumidor permanente de potência reativa, reduzindo, conseqüentemente, a disponibilidade da transmissão para atendimento de cargas. Também as perdas no sistema de transmissão serão elevadas com a operação contínua dos reatores lineares.

Os RSN, por outro lado, por exibirem a característica operacional da Figura 1, demandam uma potência irrisória do sistema nas tensões mais baixas e, por conseqüência, disponibilizará toda a capacidade da linha de transmissão exclusivamente para o atendimento das cargas. Desta maneira, os investimentos programados para expansão da transmissão poderão ser postergados para uma ocasião mais oportuna, ensejando economicidade ao sistema elétrico. Além desse ganho, a redução do consumo de potência reativa pelo uso dos RSN produzirá redução nas perdas, tornando o sistema mais eficiente.

É evidente, pois, que dois dos requisitos mais apregoados para uma REI, eficiência e economia no uso da energia elétrica, são atributos próprios dos RSN, o que torna esse tipo de equipamento uma ferramenta de grande importância para este fim

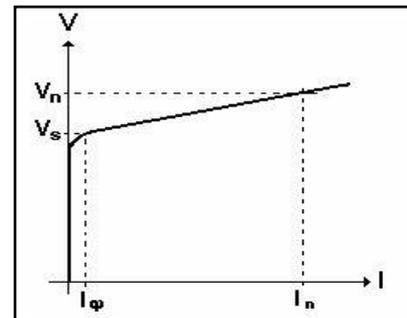


Figura 1
Característica operacional do RSN

3.0 - ESTADO DA ARTE

Os RSN tiveram origem na década de 50, fruto dos experimentos conduzidos pelo pesquisador Erich Friedlander da GEC – General Electric Company no campo dos multiplicadores magnéticos de frequência [4]. As propriedades de regulação de tensão observadas nessa oportunidade para determinadas arquiteturas desses multiplicadores estimulou a implementação dos mesmos para uso em sistemas de potência, sendo esta a gênese dos RSN.

Com base nos resultados dessas e de outras investigações realizadas posteriormente, a GEC passou a produzir comercialmente os RSN com diferentes finalidades [5, 6, 7]:

- Combater as variações rápidas de tensão (Flickers) como aquelas registradas nos fornos a arco dos complexos siderúrgicos;
- Atenuar as variações de tensão de curta duração (VTCD) provocadas pela operação cíclica de cargas de grande porte;
- Reduzir as distorções harmônicas produzidas por dispositivos com controles a base de eletrônica de potência;
- Regulação da tensão e compensação de reativos em sistemas de potência.

Entre os anos de 1964 e 1980, a GEC forneceu 32 equipamentos desse tipo, conectados em barras do sistema de potência de até 220 kV e com potência nominal alcançando 150 Mvar. Em especial, destacam-se entre esses fornecimentos as unidades em operação na APERAM, antiga ACESITA. Tratam-se de RSN para combate aos VTCD produzidos pela usina em Timóteo-MG, com potência de 53 Mvar e operando em 13,8 kV.

Ressalta-se que a despeito do sucesso com os RSN, a GEC optou, a partir de 1980, pela produção de dispositivos a base de eletrônica de potência, não se dispondo, desde então, do registro de qualquer novo fornecimento de RSN [8].

Coincidentemente, nesse mesmo período, os órgãos de pesquisa da extinta União Soviética mostraram grande interesse pelos RSN por conta da grande demanda de potência reativa requerida pelas linhas compactas de transmissão em alta tensão. Novos aperfeiçoamentos foram implementados nos equipamentos originais da GEC, habilitando-os para aplicação em extra-alta-tensão [9].

É relevante salientar que os RSN exibem uma estrutura semelhante a um transformador de múltiplos enrolamentos, de sorte que a construção dos mesmos obedece aos mesmos ditames deste tipo de equipamento, o que autoriza qualquer empresa do ramo de transformadores ao fabrico e comercialização dos mesmos. Tanto isso é verdadeira que no ano de 2008 a CELPE colocou em operação comercial um RSN de 4 Mvar fabricado pela CEMEC, empresa do estado do Ceará, em funcionamento regular até a presente data [10].

4.0 - APLICAÇÕES

A aplicação de RSN em sistemas elétricos tem sido alvo de pesquisa da Chesf e da UFPE desde o início dos anos 2000. Os principais benefícios identificados nessas investigações foram:

- Elevação da potência por corredores de transmissão em operação com vistas a evitar as conseqüências das interrupções em contingências e para postergar investimentos com novas linhas de transmissão;
- Controle adequado da tensão em redes elétricas;
- Aumento da estabilidade de tensão quando de contingências múltiplas em linhas de transmissão;

Alguns desses estudos estão sumarizados a seguir.

4.1 – Elevação da Potência Transmitida [11]

Configurações do Sistema - A LT 500 kV Colinas – Ribeiro Gonçalves - São João do Piauí – Sobradinho foi concebida para transportar 1.200 MW para a região Nordeste e na configuração original requereu, para efeito de compensação, a inserção de capacitores em série e de reatores lineares em derivação, tal como assinala a Figura 1. Os trechos entre Colinas e São João do Piauí são compensadas com reatores lineares de 180 Mvar em cada extremidade e ainda dois reatores de barra, chaveáveis, de 180 Mvar na subestação de Ribeiro Gonçalves. No trecho São João do Piauí - Sobradinho foram utilizados reatores de 100 Mvar, sendo dois destes localizados no terminal de Sobradinho, um dos quais é chaveado. Essa configuração foi denominada A1 para efeito da investigação.

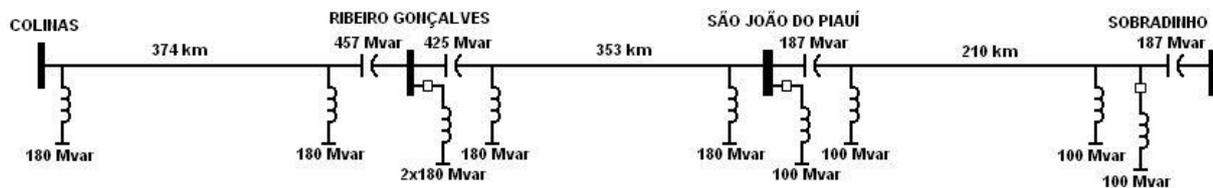


Figura 2 – Configuração A1 – Arranjo original da LT 500 kV Colinas - Sobradinho

Na configuração A2, os reatores lineares fixos localizados nas barras de Colinas, Ribeiro Gonçalves, São João do Piauí e Sobradinho foram substituídos por RSN, dimensionados de modo a fornecer a mesma potência nominal dos reatores lineares. Com essa orientação pretendeu-se atingir o mesmo nível de compensação do sistema obtido com os reatores lineares, haja vista que, optando por tais regras de projeto, o fluxo de potência será exatamente o mesmo nas configurações com os dois tipos de reatores. Os RSN utilizados foram concebidos com uma característica tensão×corrente que exibiu uma variação de 5% na tensão entre a operação em vazio e a plena carga.

Metodologia de Análise - A estratégia empregada para estabelecer a máxima potência transferida consistiu em, utilizando o ANAREDE:

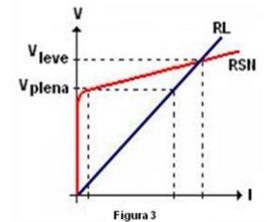
- Iniciar com o sistema em carga leve;
- Elevar gradualmente a carga ativa na barra Luiz Gonzaga, mantendo as demais invariáveis;
- Cessar a simulação quando a tensão numa das barras de carga alcançar 0,95 p.u., valor mínimo tolerado.

Resultados - A aplicação dos procedimentos descritos proporcionou, para o limite de transferência de potência das regiões Norte e Sul para o Nordeste, os valores constantes da Tabela 2 sem qualquer infração ao critério de tensão mínima de 0,950 p.u. em qualquer das barras de cargas do sistema. É evidente de um exame desses dados que a substituição dos reatores lineares por RSNs logrou uma elevação significativa da potência entregue à região Nordeste, aproximando-se da potência natural das linhas em questão, 1.200 MW.

Tabela 2 – Carregamento máximo para o subsistema compensado por reatores lineares e RSN

	FORNECIMENTO (MW)			CARGA Luiz Gonzaga (MW)	TRÂNSITO NAS LINHAS (MW)		
	Boa Esperança	Imperatriz	Miracema		Colinas R.Gonçalves	R.Gonçalves S.J.do Piauí	S.J.do Piauí Sobradinho
CONFIG. A1	271,58	404,50	304,26	970,00	700,55	688,97	528,09
CONFIG. A2	408,00	607,60	495,19	1433,00	1093,04	1066,19	806,71

O mecanismo responsável pelo notável crescimento observado está relacionado com a característica operacional dos RSN, diferentemente da característica dos RL, a qual produz uma importante redução da potência solicitada pelos mesmos à medida que a tensão do sistema diminui com a evolução da carga, o que também é verificado nos reatores lineares, porém numa escala bem menor, Figura 3.



4.2 - Controle de Tensão [12]

Simoni et al. [12] simulou um SVC (Static Var Compensator) constituído por um RSN conectado em paralelo com um banco de capacitores para o controle de tensão em sistemas padrões de testes do IEEE com 30, 57 e 118 barras respectivamente. Para avaliação do desempenho do SVC assim constituído, a carga desses sistemas foi feita variar numa larga faixa, desde 0,8 a 1,20 p.u. para os sistemas de 30 e 57 barras e entre 0,9 e 1,20 p.u. para aquele de 118 barras. Inicialmente, com esses sistemas na sua formação original, foi levantada a barra com a regulação mais pobre de tensão quando das variações descritas para carga. Posteriormente, exatamente nessa barra de pior comportamento em cada sistema foi instalado um SVC a base de RSN e, outra vez, promoveu-se a mesma variação na carga. A tensão verificada nessa barra antes e após a conexão do SVC pode ser apreciada na Tabela 3 nas condições limites de carregamento dos sistemas correspondentes.

Tabela 3 – Comportamento da tensão em p.u. na barra dos sistemas testes com e sem SVC a base de RSN

CARGA	SISTEMA DE 30 BARRAS		SISTEMA DE 57 BARRAS		SISTEMA DE 118 BARRAS	
	Sem SVC	Com SVC	Sem SVC	Com SVC	Sem SVC	Com SVC
Mínima	1,0248	1,0071	1,0043	1,0123	1,0128	1,0176
Máxima	1,0010	1,0050	0,9717	0,9935	0,9833	1,0027

Na Tabela 4 encontra-se registrada a variação observada na tensão das barras de prova de cada sistema e, como se evidencia, o SVC a base de RSN possibilitou um controle fino de tensão nessas barras, variações inferiores a 2%, contra 7% para o caso sem o SVC.

Tabela 4 – Variação da tensão em p.u. na barra dos sistemas testes e em porcentagem com e sem SVC a base de RSN

SISTEMA TESTE	Sem SVC (pu)	Com SVC (pu)	Sem SVC (%)	Com SVC (%)
30 barras	0,0238	0,0021	2,40	0,21
57 barras	0,0326	0,0188	7,34	1,89
118 barras	0,0295	0,0049	3,00	1,48

4.3 – Estabilidade de tensão.

O estudo da estabilidade de tensão foi efetuado na malha de 500 kV da interligação Norte-Nordeste compreendida entre as subestações de Presidente Dutra, São João do Piauí e Colinas. A base de dados para essa investigação fundamentou-se naquela utilizada para o Parecer de Acesso do PAR 2018/2020, referente a condição de carga leve do ano 2020, e consistiu em confrontar o desempenho dessa malha na configuração atual, compensada por reatores lineares (RL), com a mesma malha dispondo de RSN em substituição aos RL.

Na Figura 4 é apresentado o comportamento dinâmico da tensão no barramento de 500 kV da subestação S. J. do Piauí com RL (curva vermelha) e RSN (curva azul), quando da perda dos dois circuitos Colinas – S. J. Piauí 500 kV. Constata-se, que o perfil de tensão é menor e mais oscilante na alternativa de aplicação do RL em relação a utilização de RSN. Essa alteração no perfil de tensão foi provocada por uma dinâmica diferente de requisito de potência reativa nos RL e RSN, motivada pela diferença da característica V_{xl} , como apresentada na Figura 3. Esse aspecto será apresentado em detalhes no caso a seguir.

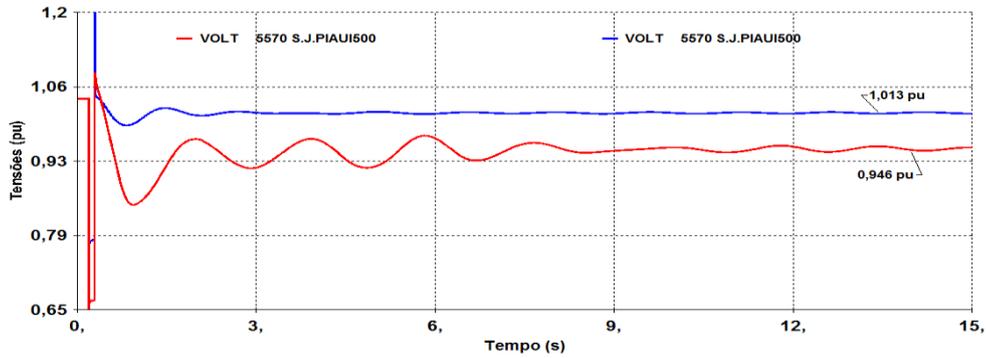


Figura 4 – Estabilidade de tensão na Simulações Dinâmicas - Perda Dupla do Circuitos em 500 kV S.J.Piauí – Sobradinho 500 kV

Na Figura 5 é apresentado o requisito de potência reativa em alguns dos reatores saturados supracitados quando da perda dos dois circuitos Colinas – S. J. Piauí 500 kV. Observa-se uma mudança muito importante no requisito de potência reativa nos RSN, aspecto esse responsável pela melhor performance na estabilidade de tensão da subestação de S. J. Piauí da interligação Norte Nordeste observada na Figura 4.

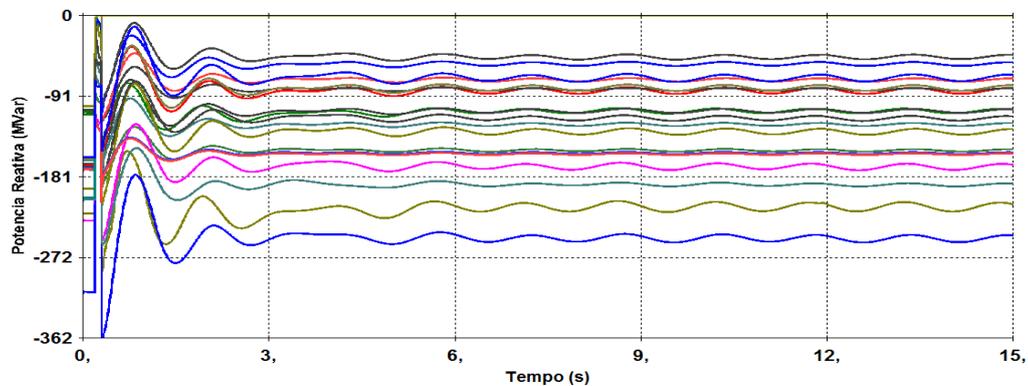


Figura 5 - Simulações Dinâmicas da Perda Dupla do Circuitos S. J. Piauí – Sobradinho 500 kV (Requisito de Mvar nos RSN)

A Figura 6 apresenta o requisito de potência reativa em alguns dos reatores saturados referenciados anteriormente quando da perda Tripla dos dois circuitos Colinas – R. Gonçalves e do circuito B. Esperança - S. J. Piauí. De modo semelhante ao que foi observado no caso anterior, os RSN mudam o ponto de operação durante o distúrbio na rede elétrica. Nesse caso para alguns dos RSN o requisito se torna nulo e esse aspecto evitou o colapso de tensão que ocorreria na alternativa com RL.

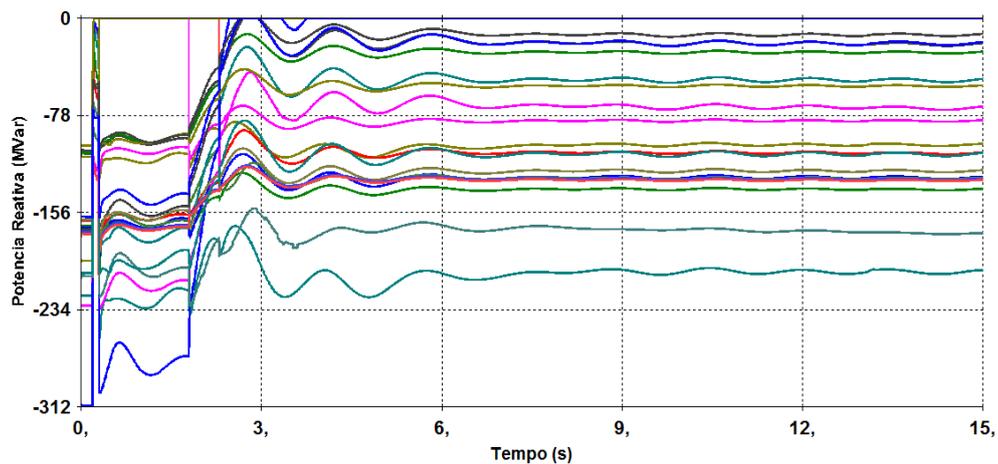


Figura 6 - Simulações Dinâmicas - Perda Tripla Circuitos Colinas – R. Gonçalves – seguido da perda do circuito B.Esperança – S. J. Piauí (Requisito de Mvar nos RSN)

Esses estudos apontam que a aplicação de RSN apresenta, quando das perdas duplas ou triplas de linhas de transmissão da interligação Norte Nordeste, requisitos menores de potência reativa quando confrontado com os RL e que esse aspecto melhora a estabilidade de tensão da rede elétrica, evitando colapso de tensão durante tais distúrbios.

5.0 - CONCLUSÕES

Os casos-estudos apresentados habilitam definitivamente o RSN como uma ferramenta de REI, pois como ficou demonstrado, os três objetivos fundamentais pretendidos com essa metodologia; elevação da eficiência energética, melhoria da qualidade da energia ofertada e aumento da confiabilidade foram, de fato, alcançados com a aplicação dos RSN.

Os benefícios identificados com o uso do RSN em sistemas elétricos, particularmente nas malhas de interligação entre as grandes regiões do país, são de fato expressivos e deverão ser alvo de estudos de planejamento mais abrangentes envolvendo todo o SIN. Acredita-se que, particularmente no momento atual do estado brasileiro, esta seja uma medida de grande valia para postergar os investimentos previstos de expansão, concedendo um “fôlego” adicional ao sistema existente para atender com segurança a demanda de carga. Ainda dentro deste mesmo contexto, o fim de vida útil verificado em grande parte da compensação reativa (RL) da rede nacional oferece uma oportunidade ímpar para a implantação de RSN como uma estratégia de REI.

É relevante mencionar que a tecnologia de fabricação de RSN está acessível a qualquer empresa do segmento de transformadores, uma vez que trata-se de um equipamento com uma estrutura eletromagnética similar e, deste modo, exigindo uma infraestrutura de produção idêntica. Vale a pena mencionar que, conforme [7], um RSN para aplicação em 13,8 kV já foi construído no Brasil e posto em operação comercial com pleno sucesso em Setembro de 2008.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CGEE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Redes Elétricas Inteligentes: contexto nacional, Série Documentos Técnicos, Dezembro/2012 – Nº 16, <http://www.cgee.org.br/atividades/redirect/8050>
- (2) MME, Ministério de Minas e Energia, Smart Grid – Relatório do Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes, Portaria Nº 440 de 15/04/2010, http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256641/Relatxrio_GT_Smart_Grid_Portaria_440-2010.pdf/3661c46c-5f86-4274-b8d7-72d72e7e1157
- (3) DUTRA, J. C. et al., Redes Elétricas Inteligentes no Brasil – Subsídios para um Plano Nacional de Implantação, Projeto Estratégico ANEEL, Chamada nº 011/2010, Livro, 2013.
- (4) FRIEDLANDER, E., Principle and Analysis of a Stabilized Phase Multiplier Type of Magnetic Frequency Converter, *Electrical Energy*, vol.1, October 1956, pp.55-66.
- (5) FRIEDLANDER, E., Static Network Stabilization: Recent Progress in Reactive Power Control, *GEC Journal*, vol.33, no.2, 1966, pp.58-65.
- (6) FRIEDLANDER, E. e JONES, K. M., Saturated Reactors for Long Distance Bulk Power Lines, *Electrical Review*, vol.184, June 1969, pp.940-943.
- (7) THANAWALA, H. L. e YOUNG, D. J., Saturated Reactors : Some Recent Applications in Power Systems, *Energy International*, vol.17, no.11, November 1970.
- (8) THANAWALA, H. L., Static Var Compensators for Transmission Systems, *GEC Review*, vol.1, no.2, 1985.
- (9) YARVIK, J. e TELLINEN, J., High Power Saturable Reactors for AC Power Transmission Lines, *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, vol.4, no.4, 1998, pp.243-263.
- (10) M. A. Carvalho Jr., L. A. M. da Fonte, W. B. dos Santos, Aplicação de um protótipo de um supressor magnético rápido de flutuação de tensão na rede elétrica da CELPE, SBSE 2010.
- (11) M. J. A. Maia, J. A. Cavalcanti, M. A. Carvalho Jr., L. A. M. da Fonte, A. C. Oliveira, Análise comparativa entre reatores convencionais e reatores saturados – Estudo de caso para a LT Colinas-Sobradinho, XVIII SNPTEE, Curitiba 2005.
- (12) SIMONI, V. R.; TORRES, G. L.; CARVALHO, M. A. de; FREITAS, F. E. F.; FONTE, L. A. M. da. Modeling and analysis of naturally saturated reactors in optimal power flow studies. In: Power Systems Conference and Exposition (PSCE), 2011 IEEE/PES. 2011. p. 1–8.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Marcelo José de Albuquerque Maia: Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (1978), pós-graduado em Engenharia Elétrica pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá (1980) e MBA em Administração de Empresa pela Fundação Getulio Vargas - RJ (1997). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Planejamento da Transmissão de Energia Elétrica e Transitórios Eletromagnéticos, atuando principalmente nos seguintes temas: Transitórios de chaveamento, controle de tensão, compensação de reativos, reator saturado e para-raios.

Luiz Antônio Magnata da Fonte. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (1969), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (1997) e doutorado em Processamento da Energia pela Universidade Federal de Pernambuco (2004). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Geração e Transmissão de Energia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: controle de tensão, reator saturado, compensação de reativos, reatores lineares, transformadores e máquinas rotativas. Email: magnata@ufpe.br

Vicente Ribeiro Simoni. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (2008), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (2010) e doutorado pela Universidade Federal de Pernambuco (2014). Sua área de estudo concentra-se principalmente em otimização aplicada a sistemas de potência e planejamento da expansão de rede elétricas. Email: vicentes@chesf.gov.br.

Fernando Edier França Freitas. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (2005) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (2010). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas de Potência, atuando principalmente nos seguintes temas: transitórios eletromagnéticos, reator saturado, compensação de reativos, reatores lineares e transformadores. Email: fefranca@chesf.gov.br