



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

UNIVERSIDADE ESTADUAL "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

Leandro Arthur Pinto

**Viabilidade Econômica da Implantação de
Compensadores Série Dinâmicos em Redes de
Distribuição de Energia Elétrica**

Ilha Solteira
2015



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

Leandro Arthur Pinto

**Viabilidade Econômica da Implantação de Compensadores Série
Dinâmicos em Redes de Distribuição de Energia Elétrica**

Prof. Dr. Dionízio Paschoareli Júnior
Orientador

Dissertação apresentada à Faculdade
de Engenharia - UNESP – Campus de
Ilha Solteira, para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Elétrica.
Área de Conhecimento: Automação.

Ilha Solteira
2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P659v Pinto, Leandro Arthur .
Viabilidade econômica da implantação de compensadores série dinâmicos em redes de distribuição de energia elétrica / Leandro Arthur Pinto. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2015
97 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Automação, 2015

Orientador: Dionizio Paschoareli Junior
Inclui bibliografia

1. Sistemas de energia elétrica. 2. Automação. 3. Viabilidade econômica.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Viabilidade Econômica da Implantação de Compensadores Série Dinâmicos em Redes de Distribuição de Energia Elétrica

AUTOR: LEANDRO ARTHUR PINTO

ORIENTADOR: Prof. Dr. DIONIZIO PASCHOARELI JUNIOR

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, Área: AUTOMAÇÃO, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. DIONIZIO PASCHOARELI JUNIOR
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. LUIS CARLOS ORIGA DE OLIVEIRA
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. WALMIR DE FREITAS FILHO
Departamento de Sistemas de Energia Elétrica / Universidade Estadual de Campinas

Data da realização: 28 de agosto de 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS por ter me orientado em todos os momentos.

A minha família, que sempre esteve do meu lado.

Ao meu orientador acadêmico, a Prof. Dionízio Paschoareli Júnior, pela paciência atribuída a mim.

Aos meus amigos de trabalho que tiveram muita paciência comigo me ajudando a concluir mais essa etapa em minha vida.

Por fim agradeço a todos que direta ou indiretamente me ajudaram na realização desse trabalho.

Obrigado a todos!

"Aqueles que se destacaram em uma multidão aprenderam que todo
aprendizado é autodesenvolvimento"

(Zig Ziglar)

RESUMO

O setor de distribuição de energia elétrica vem apresentando constantes mudanças para se adaptar à necessidade de atendimento das crescentes demandas com recursos financeiros e energéticos cada vez mais escassos.

Concessionárias têm buscado eficiência operacional em seus processos através de tecnologias que visam atender a um consumidor cada vez mais exigente por qualidade na utilização da energia elétrica.

Neste cenário, a utilização de equipamentos que flexibilizem a operação das redes de distribuição apresentam-se como alternativas menos onerosas quando comparadas com a realização de grandes investimentos na expansão.

O uso de equipamentos de flexibilização nas redes de distribuição possui peculiaridade específicas que prevê adaptações de natureza elétrica e física no sistema. O compensador série controlado a tiristores apresenta-se como uma alternativa a ser considerada para aplicação em redes de até 36kV.

Aspectos de robustez face a necessidade de flexibilização são discutidos de modo a analisar sua postergação de investimentos visando mitigar ou diminuir o impacto de grandes alterações em redes de distribuição. Tais adaptações são comparadas com a sua viabilidade econômica, a partir da adequação da relação custo-benefício. Os resultados das análises apontam para uma tendência favorável à utilização do compensador série controlado a tiristores na rede de distribuição (D-TCSC), quando considerados os valores de implantação, tempo de execução física, instituição de condições mais favoráveis para realização de manobras e retorno mais rápido na imobilização de cálculos de tarifas e retorno do capital investido.

Palavras Chave: Compensação série. Redes de distribuição. D-TCSC

ABSTRACT

The electrical distribution system has presented constant changes to adapt to the growth in power demand with reducing financial and energetic resources availability.

Utilities are looking for improvement in operating conditions using new technologies to attend to high power quality by the most demanding consumer.

The use of equipment to improve the flexibility of distribution systems is an alternative which postpone large investments in system expansion.

The thyristor-controlled series compensator is an attractive option for networks up to 36 kV.

In this work, flexible solutions are discussed to postpone investments. Economical viability of a series controlled compensator in a distribution system is presented. The results take in account the initial cost, time of implementation, return on invested capital, among others.

Keywords: Series compensation. Distribution networks. D-TCSC

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama do Circuito do Capacitor em Derivação em Redes de Distribuição	27
Figura 2-Esquema do DVR com Circuito Retificador	28
Figura 3-Função do DVR – Restaurador Dinâmico de Tensão.....	29
Figura 4-Efeito dos Capacitores no Perfil da Tensão	30
Figura 5-Efeito dos Reguladores de Tensão no Perfil da Tensão.....	31
Figura 6-Circuito Equivalente do TCSC	32
Figura 7- Capacitor Série Controlado a Tiristor	34
Figura 8-Aspectos Construtivos do TCSC com Dispositivos de Proteção Acoplados...	35
Figura 9-Exemplo de análise do nível de tensão	50
Figura 10-Diagrama Unifilar do Alimentador 01	62
Figura 11-Diagrama Unifilar do Alimentador 02.....	66
Figura 12-Comprimento do Alimentador 02	67
Figura 13-Curva PxV para o Sistema de Distribuição Objeto de Estudo.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Valores de Montagem da Estrutura do Banco de Capacitores Fixo.....	49
Tabela 2-Valores de Substituição do Condutor por Quilômetro de Instalação	51
Tabela 3-Valores de Simulação de Investimento na Subestação do alimentador 01	53
Tabela 4-Demanda/Comprimento do ramal chave 00419	68
Tabela 5-Demanda/Comprimento do ramal chave 01641	68
Tabela 6-Demanda/Comprimento do ramal chave 01473	69
Tabela 7-Demanda/Comprimento do ramal chave 00421	70
Tabela 8-Demanda/Comprimento do ramal chave 00423	70
Tabela 9-Demanda/Comprimento do ramal chave 00426	71
Tabela 10-Valores de entrada de caixa para a modalidade convencional	75
Tabela 11-Valores de entrada de caixa para a modalidade verde.....	76
Tabela 12-Valores de entrada de caixa para a modalidade azul.....	77
Tabela 13-Valores de entrada de caixa para o grupo tarifário B	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-Perfil da tensão na subestação (kV) no mês de junho de 2011	61
Gráfico 2-Perfil da corrente na subestação no mês de junho de 2011.....	61
Gráfico 3-Perfil da tensão na subestação (kV) no mês de julho de 2011	64
Gráfico 4-Perfil da corrente na subestação no mês de julho de 2011.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

D-TCSC -	Distribution Thyristor Controlled Series Compensator
FACTS -	Flexible Alternating Current Transmission Systems
FACDS -	Flexible Alternating Current Distribution Systems
IPFC -	Interline Power Flow Controller
SVC -	Static var Compensator
STATCOM -	Static Synchronous Compensator
SSSC -	Static Synchronous Series Compensator
TCSC -	Thyristor Controlled Series Capacitor
TSSC -	Thyristor Switched Series Capacitor
TCR -	Thyristor Controlled Reactor
TSC -	Thyristor Switched Capacitor
TIR -	Taxa Interna de Retorno
VPL -	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVO DO TRABALHO.....	17
1.1.1	Objetivo geral	17
1.1.2	Objetivos específicos	17
1.2	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	17
1.3	ESTRUTURA DA PESQUISA.....	18
2	SISTEMAS FLEXÍVEIS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO	20
2.1	INTRODUÇÃO.....	20
2.2	CONTROLADORES E SUA APLICAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO	21
2.3	COMPENSAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO.....	23
2.4	CARACTERÍSTICAS E FINALIDADES DOS COMPENSADORES EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO	24
2.5	EQUIPAMENTOS DE COMPENSAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO	24
2.5.1	Capacitores shunt	25
2.5.2	Dvr	25
2.5.3	Capacitores alocados em série com a rede de distribuição	27
2.5.4	Reguladores de tensão	30
2.6	COMPARATIVO ENTRE COMPENSADORES SÉRIE E DINÂMICOS.....	31
2.7	COMPENSADOR SÉRIE DINÂMICO TCSC APLICADO A REDES DE DISTRIBUIÇÃO	31
2.8	DEFINIÇÃO E APLICAÇÕES DO TCSC.....	33

2.9	PROTEÇÃO DO TCSC	33
2.10	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
3	IMPLEMENTAÇÃO DE NOVOS MODELOS DE GESTÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	37
3.1	INTRODUÇÃO.....	37
3.2	REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – ADAPTAÇÃO ÀS NOVAS DEMANDAS.....	37
3.3	REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES.....	40
3.4	ADAPTAÇÃO ÀS NECESSIDADES DOS CONSUMIDORES	41
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
4	COMPENSAÇÃO SÉRIE EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO.	43
4.1	INTRODUÇÃO.....	43
4.2	CONCEITOS DA QUALIDADE DE ENERGIA APLICADOS AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	43
4.3	ASPECTOS NORMATIVOS – RETORNO DO INVESTIMENTO NA INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO... ..	44
4.4	LEGISLAÇÃO E DECRETO FEDERAL	46
4.5	REGULAMENTAÇÃO ANEEL	46
4.6	APLICAÇÃO DOS INVESTIMENTOS SOBRE AS TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA.....	46
4.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
5	ANÁLISE DOS IMPACTOS DA IMPLANTAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE COMPENSAÇÃO SÉRIE EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO.....	48
5.1	VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE COMPENSAÇÃO DINÂMICA (TCSC).....	48
5.2	REPOTENCIALIZAÇÃO DE ALIMENTADORES	49
5.3	REPOTENCIALIZAÇÃO DE SUBESTAÇÕES	52
5.4	IMOBILIZAÇÃO DE OBRAS NO ATIVO DA CONCESSIONÁRIA	54
5.5	VANTAGENS ECONÔMICAS DA UTILIZAÇÃO DO D-TCSC	56

5.6	DISPOSIÇÕES RELATIVAS A CONFORMIDADE DOS NÍVEIS DE TENSÃO.....	58
5.7	RETORNO DO INVESTIMENTO.....	58
5.8	BENEFÍCIOS NÃO MONETÁRIOS DO ESTUDO.....	59
5.9	ESTUDO DE CASO – MODELO ADOTADO POR UMA CONCESSIONÁRIA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	59
5.9.1	Caso: alimentador 01.....	60
5.9.1.1	Comparativo entre a robustez e flexibilização.....	63
5.9.1.2	Retorno do Investimento para o Capital Aplicado.....	644
5.9.2	Caso :alimentador 02.....	64
5.9.2.1	Comparativo entre a robustez e flexibilização.....	71
5.9.2.2	Disponibilidade de potência com a inserção do compensador dinâmico.....	72
5.9.2.3	Retorno do Investimento para o Capital Aplicado.....	73
5.9.2.4	Fluxo de Caixa	744
5.9.2.5	Viabilização de Contingência	78
5.9.2.6	Equipamento de transferência automática de cargas	80
5.10	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
6	CONCLUSÃO.....	84
	REFERÊNCIAS	88
	ANEXOS	92

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de distribuição apresentam complexidade no seu gerenciamento, uma vez que são levados em consideração os requisitos de qualidade, funcionalidade e confiabilidade exigidos em larga escala em uma projeção de médio prazo.

Para uma melhor gestão operacional, os controladores dinâmicos para sistemas de distribuição de energia elétrica - FACDS (Flexible AC Distribution Systems) - encontram aceitação para a melhoria do grau de flexibilidade dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

Devido à crescente demanda, os sistemas de energia elétrica apresentam margem de operação cada vez menores. Associado a esse fato, equipamentos que utilizam eletrônica de potência têm sido utilizados como ferramenta para controle e adequação do sistema.

Diversas tecnologias que visam atendimento a uma necessidade técnica de linhas de transmissão podem ser adotadas de modo específico em redes de distribuição de energia elétrica. Quando a compensação é levada em questão, busca-se suprir uma necessidade de atendimento a uma deficiência técnica momentânea que visem torná-los mais flexíveis e dinâmicas.

Levando-se em conta que medidas para implantação de controladores dinâmicos podem, em determinadas situações, adotar um caráter provisório, uma vez que o aumento de capacidade global da rede de distribuição em algum momento será necessário, o uso dos controladores visa adiar investimentos de grande porte, minimizar intervenções no sistema e otimizar e direcionar recursos humanos e materiais.

O conceito de redes elétricas inteligentes também permeia o objetivo da verificação da implantação de controladores dinâmicos, uma vez que apresenta as seguintes características: adaptação às variações da curva de carga dos consumidores, controle automático e transmissão de dados para o centro de operações de distribuição.

Este trabalho apresenta um estudo sobre a viabilidade econômica e financeira da implantação do equipamento de compensação série controlado a tiristor, em redes de distribuição de energia elétrica em 13,8kV.

1.1 OBJETIVO DO TRABALHO

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é um estudo da viabilidade econômica de implantação de um compensador série que opera em uma rede de distribuição de energia elétrica.

1.1.2 Objetivos específicos

Com a função de desenvolver o objetivo geral, os objetivos específicos deste trabalho foram definidos da seguinte forma:

- Analisar a viabilidade econômica da implantação de controladores dinamicamente controlados em redes de distribuição;
- Descrever os tipos de controladores dinâmicos existentes e utilizados;
- Analisar (com base nos alimentadores estudados) o índice de retorno de investimento e caixa com a implantação do controlador proposto neste trabalho.

1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

O intuito dos compensadores e controladores é tornar as redes elétricas de distribuição – neste contexto de estudo – mais confiáveis, com índice de qualidade maior e mais adequadas e possíveis mudanças ou variações na demanda. O presente estudo busca possibilitar um levantamento de diferentes aspectos a serem considerados sob o ponto de vista de ganho de eficiência operacional, quando a adoção dos equipamentos de compensação série – tipicamente utilizados em linhas de transmissão – passam a ser adotados em redes de distribuição.

Quando se observa o setor elétrico, verifica-se a existência de várias áreas de atuação para as concessionárias de distribuição. As organizações buscam sempre um processo de melhoria contínua, visando maximização de seu retorno bem como uma

diminuição de seus custos. Por outro lado, a flexibilização de redes de distribuição vem ganhando espaço como um importante tema no setor elétrico, uma vez que tem sido responsável por grande parte do tempo destinado ao planejamento técnico de redes das distribuidoras de energia elétrica. Diante desses fatores, é oportuno o desenvolvimento do presente trabalho, visto que os métodos de otimização na gestão de redes elétricas já são aplicados.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

No capítulo 2, será feito um estudo sobre a origem da necessidade de implantação de compensação série em redes de distribuição de energia elétrica, sua evolução bem como a aplicabilidade da adequação de um equipamento tipicamente utilizado em linhas de transmissão, visando a inserção em redes de distribuição de média tensão.

No capítulo 3, será realizado um estudo sobre a importância da análise de investimento para as empresas distribuidoras bem como seus parâmetros para continuidade da qualidade no atendimento. Será abordada as decisões de investimentos em robustez frente ao adiamento propiciado pela flexibilidade da compensação série. Buscou-se também entender a legislação pertinente ao setor, incidindo somente sobre a necessidade e obrigatoriedade da realização de investimentos em redes de distribuição para aumentar sua confiabilidade. A abordagem da sistemática de implantação de equipamentos de compensação série dinâmicos e sua operacionalização apresenta-se como item de encerramento do referido capítulo.

Nos capítulo 4, será apresentado um estudo de aplicação do equipamento de compensação série controlado a tiristor em rede de distribuição de uma concessionária. Na referida abordagem, buscou-se analisar o modelo estrutural de compensação adotado pelo distribuidora objeto de estudo. Buscou-se realizar um estudo da utilização de novas tecnologias em equipamentos e processos que visem aumento da confiabilidade e dinamismo das redes de distribuição. A vertente que busca discutir redes elétricas inteligentes, também é adotada como forma de aumentar a confiabilidade do sistema.

No capítulo 5 é analisada a viabilidade econômica da implantação do equipamento de compensação série frente ao adiamento de investimentos de grande

porte, para atendimento ao crescimento vegetativo ou não-programado das cargas conectadas ao sistema.

Para concluir a pesquisa, são apresentadas ainda, as considerações finais acerca do tema e ao final, apresentadas as referências bibliográficas. Os anexos são compostos por figuras de compensadores série em operação.

2 SISTEMAS FLEXÍVEIS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

2.1 INTRODUÇÃO

A expansão do sistema elétrico sempre esteve ligada a instalação de equipamentos de compensação, visando aumentar sua qualidade e confiabilidade. Seu controle de fluxo de potência e compensação são fatores que chamam a atenção para o seu uso em escala.

A necessidade do sistema elétrico de potência em adaptar-se às novas demandas figuram como objeto de estudo que propiciam a adequação das redes de modo rápido, flexibilizando e postergando o investimento no sistema. Recursos que apresentam investimento inicial consideravelmente pequeno são analisados frente a rápida necessidade de resposta para atendimento de novas cargas a serem conectadas.

Devido a um aumento da complexidade do sistema de gerenciamento de redes de distribuição no que diz respeito aos princípios de qualidade e confiabilidade quanto ao produto entregue, bem como inserções de auto-produtores e falta de regulação sobre fatores específicos, tornam o assunto passível de discussões sobre formas de melhor adaptá-lo as novas demandas dos consumidores.

Para comparação com uma perspectiva de cenário nos próximos anos, tem-se a necessidade de compactação de equipamentos, bem como necessidade de uma maior eficiência operacional para atendimento aos princípios de segurança e rápida resposta frente a possíveis anomalias operacionais.

Na perspectiva de futuro e inserção de novos tipos de cargas no sistema elétrico de distribuição, faz-se necessário a utilização de dispositivos que apresentem maior grau de flexibilidade, comunicação e interação com os equipamentos existentes em redes alimentadoras de energia elétrica.

Nessa condição, os controladores eletrônicos passam a assumir papel de importância em redes de distribuição – cuja necessidade por adaptação e redução de custos operacionais são primordiais – uma vez que sua aplicação demonstram espaço para utilização devido as características de redes de distribuição.

No cenário do desenvolvimento, as organizações buscam aprimorar e implantar dispositivos para compensação de redes visando aumentar sua capacidade, ou mesmo buscando adiamento de investimentos através de ferramentas que promovam a flexibilização de tais sistemas. Para um cenário de duas décadas a frente, a perspectiva de desenvolvimento esta circundada em materiais que apresentem maior condutividade compactação e confiabilidade, resultando assim em uma eficiência maior nos índices de qualidade de energia. Dentre alguns fatores que são vislumbradas mudanças em um período de médio prazo, podem ser destacadas:

- Tecnologias para construção de redes;
- Repotencialização de redes de distribuição;
- Automação de redes elétricas de distribuição (*smart grids*);
- Equipamentos mais eficientes para operação e manutenção;
- Novas metodologias para tarifação;
- Inserção de microgeradores;
- Intensificação da premissa de aplicação de qualidade de energia;

Verifica-se então no processo de evolução dos equipamentos, o aparecimento dos controladores eletrônicos como ferramenta alternativa à grandes obras ou reforços no sistema elétrico.

2.2 CONTROLADORES E SUA APLICAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A associação dos controladores que utilizam a da eletrônica de potência aos sistemas de distribuição de energia elétrica possibilita o aumento de capacidade de transferência de potência da rede e deixa as redes menos exposta a variações de curta duração. Questões como sobrecompensação e níveis elevados de tensão quando da saída de cargas do sistema também caracterizam-se como fatores motivadores de sua utilização (WATANABE, 1998).

A aplicação do conceito de compensadores e controladores em redes de distribuição de energia elétrica não pode ser tratada necessariamente como uma novidade. A necessidade de compensar ou mesmo sobrecompensar os valores de reatâncias indutivas visando compensação de reativos é fruto também da utilização de

compensadores convencionais, os quais não apresentam operacionalidades relacionadas a flexibilidade.

A compensação visa restabelecer a parcela de reativos, minimizando perdas e aumentando a amplitude da faixa de regulação de tensão (NASCIMENTO, 2007).

As alternativas comumente usadas pelas concessionárias de distribuição não são plenamente adequadas, quando se analisa o tempo de resposta a pequenas e rápidas transgressões ocorridas no sistema. Reguladores de tensão podem ser classificados como exemplos de equipamentos com resposta lenta aos transitórios.

Alguns fatores podem ser destacados como problemas ou dificuldades a serem contornadas quando se estuda a perspectiva da compensação série. A ressonância-subsíncrona e ferrorressonância destacam-se como dificuldades encontradas nas descrições técnicas e viabilidade de implantação (JESUS, 2003).

Quando implantados na rede de distribuição de média tensão, os controladores proporcionam a auto-regulação e aumento da capacidade de transporte da rede, com redução de perdas. Outro fator que chama a atenção para sua viabilidade é o seu baixo custo de implantação, quando comparado a medidas de aumento de robustez (CAPELLETTE, 2012).

Quando é levado em consideração a aplicação dos FACDS em sistemas de distribuição de energia elétrica, existe a necessidade de se analisar a complexidade do gerenciamento dos equipamentos instalados ao longo da rede elétrica. Com o avanço na demanda desses controles, aos quais visam proporcionar maior agilidade e precisão, verifica-se um crescente estudo objetivando sua adaptação. Essas análises caminham junto com o aumento da inserção de geração distribuída nos sistemas.

Especialmente no setor brasileiro, esta adaptação tem ocorrido de modo tímido devido a indefinições regulatórias, e discordância entre responsabilidades dos órgãos públicos e empresas privadas. Outro fator que mantém o atraso nestas tecnologias, é a forte dependência da importação das mesmas, visto a carência enfrentada pelo país neste setor.

Tecnologias internas enfrentam alguns desafios na construção dos equipamentos, tais como: materiais com melhor condutividade; adaptação dos equipamentos ao porte

da rede de distribuição; segurança e formas de armazenamento e transferência mais eficientes.

Com a necessidade do estabelecimento de um processo de comunicação eficaz entre equipamentos e central de operações, a necessidade de flexibilização dos sistemas de distribuição demandará o uso de tecnologias que envolvam corrente contínua, controladores eletrônicos e sistemas de proteção que considerem a geração distribuída (MACEDO, 2002).

2.3 COMPENSAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Com o decorrer dos anos e com a expansão do sistema elétrico brasileiro, alguns conceitos de compensadores foram associados à qualidade de energia, devido a diversidade de equipamentos conectados bem como a diversificação de perfil do consumidor a ser atendido pela rede de distribuição.

Algumas medidas corretivas devem ser analisadas sob a necessidade de inserção de compensadores em série ou derivação - visando estabelecimento de ações de mitigação dos efeitos.

Afundamentos de tensão na distribuição são amplamente estudados como problemas que causam constantes danos aos equipamentos dos consumidores conectados ao sistema de distribuição (NASCIMENTO, 2009).

As concessionárias de distribuição tem buscado alternativas para atendimento a tais não-conformidades no sistema elétrico, que podem ter sua origem na característica construtiva de rede de distribuição (grandes distâncias) ou mesmo dinamismo das cargas acopladas no sistema.

As variações de tensão tem sido objeto de estudo pela agência reguladora, uma vez que possui o objetivo de fiscalização para identificação de não-conformidades em determinadas grandezas elétricas, bem como determinação de prazos de correção e atendimento aos consumidores (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, 2008).

2.4 CARACTERÍSTICAS E FINALIDADES DOS COMPENSADORES EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

A qualidade de energia tem tido enfoque no cenário das distribuidoras de energia elétrica, uma vez que as mesmas são impactadas por órgãos reguladores que exigem um índice mínimo de qualidade no produto entregue ao consumidor. Algumas ações são adotadas através da inserção de equipamentos de compensação série ou derivação para correção dos valores de tensão em redes de tensão de 13,8kV ou 34,5kV (NASCIMENTO, 2009).

Os compensadores tidos como tradicionais, apresentam uma característica peculiar de atuação no sistema de distribuição de energia elétrica, uma vez que permanecem em modo estático independentemente do controle de tensão no sistema em função da demanda requerida (FELBER, 2010).

O planejamento para inserção de compensadores, seja de característica série ou em derivação, verifica uma condição de alocação em pontos de elevação e/ou redução dos valores de tensão. O horizonte de planejamento para instalação de compensadores fixos prevê uma perspectiva de 10 anos, fixando assim metas de investimentos e restabelecimento de fatores de qualidade de energia.

Em uma outra etapa de seu planejamento de inserção no sistema elétrico de distribuição, leva-se em consideração a condição de localização e infraestrutura, ou seja, o aspecto de configuração do sistema, bem como a quantidade de equipamentos ligados em um mesmo segmento da rede de distribuição, são fatores acolhidos na definição de localização e potência dos equipamentos.

2.5 EQUIPAMENTOS DE COMPENSAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

A compensação em redes de distribuição pode ser entendida como correção de fator de potência para manutenção dos valores de tensão. Sua principal função visa restabelecer o índice de potência ativa na rede de distribuição.

As concessionárias de distribuição utilizam este recurso para manutenção dos índices de tensão em redes de distribuição de média tensão, além de tratar-se de uma opção de menores custos de implantação. Fatores como facilidade de execução e pouca

inserção de recursos materiais nos alimentadores, são justificativas pela opção de implantação dos equipamentos de compensação série.

Neste tópico serão abordados os principais equipamentos que são aplicados em redes de distribuição de média tensão.

2.5.1 Capacitores *shunt*

Os equipamentos de compensação conectados em derivação com a rede de distribuição tem por finalidade a melhoria do fator de potência, e conseqüentemente a correção de índices de tensão (JANNUZZI, 2007).

Visando obtenção de resultados rápidos em aumentar ou mesmo corrigir os níveis de tensão em redes de 13,8kV, a concessionária de distribuição possui um plano anual de investimento, cuja materialização resulta em instalação de bancos de capacitores fixos em alimentadores tronco ou mesmo sub-troncos, previamente escolhidos em estudos de planejamento de expansão. Para a escolha dos locais de implantação, alguns pontos como grandezas elétricas, limites máximos e atendimento a legislação são observados. Fatores estes, que serão expostos a seguir.

Os limites adequados, precários e críticos para os níveis de tensão em regime permanente estão apresentados como fatores fundamentais para o início de um planejamento de inserção de equipamentos em redes de distribuição

A verificação da tensão se dá por métodos diretos (registradores) e indiretos (estudos analíticos, cálculos de queda de tensão, etc.). As tensões medidas devem ser referenciadas a valores nominais ou valores contratados. Os valores nominais são aqueles definidos para o sistema de distribuição de modo que haja compatibilidade com os níveis e projetos dos equipamentos elétricos de uso final. Os valores contratados devem estar situados dentro de uma faixa em torno da tensão nominal.

Devem também ser pactuados entre os agentes ou entre estes e as unidades consumidoras no respectivo contrato de conexão. O valor usado para comparação com as tensões medidas, ou seja, o nominal ou o contratado, que é denominado “tensão de referência”.

Quando em procedimento de verificação de tensão (medição amostrais e processo de reclamação de tensão), forem constatadas violações dos limites estabelecidos pela regulamentação, ações serão propostas para adequação.

O planejamento da expansão do sistema elétrico deve evitar a ocorrência de tais violações, e critérios são estabelecidos de modo a determinar com antecedência as ações necessárias.

O banco de capacitores é utilizado para correção do baixo fator de potência. As consequências do baixo fator de potência são:

- Limitação da capacidade dos transformadores;
- Quedas e flutuações de tensão;
- Sobrecarga nos equipamentos de manobra, limitando sua vida útil;
- Aumento das perdas elétricas na linha de distribuição pelo efeito Joule;
- Necessidade do aumento da capacidade dos condutores e dos equipamentos de manobra e proteção.

No entanto, é necessário análise nos quatro patamares de carga (madrugada, manhã, tarde e noite) para verificar se sua aplicação não resultará em sobretensão no sistema elétrico.

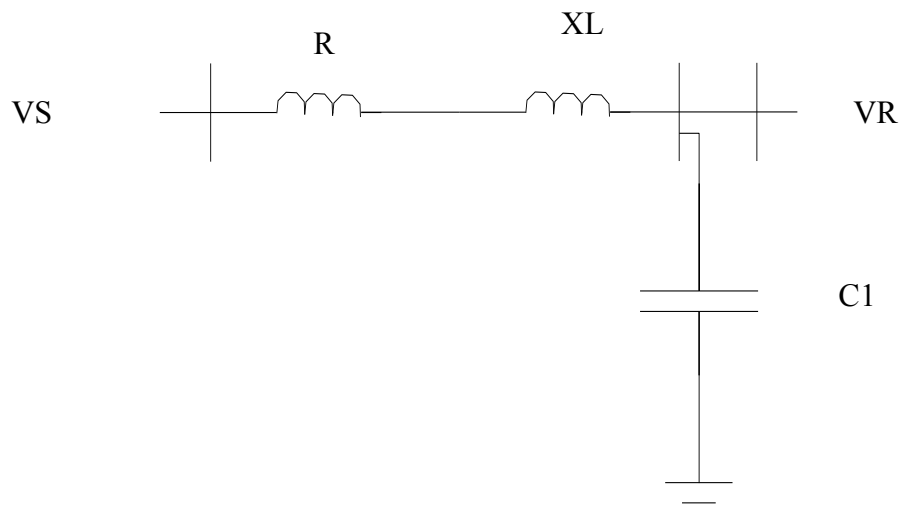
A opção por utilização dos capacitores em redes de distribuição de tensão 13,8kV, passa também por fatores financeiros, uma vez que pode-se realizar um comparativo de valores obtidos através de preços médio móvel aplicado pelos fornecedores de materiais utilizados pela empresa objeto de estudo.

Os valores são obtidos por medianas executadas por compras realizadas em fornecedores homologados. Os equipamentos (neste caso de compensação fixa) apresentam valores atraentes quando se é realizado o planejamento de redes de distribuição, uma vez que postergam investimentos de grande monta pela organização.

Tal definição pode ser melhor entendida com a aplicação de capacitores em derivação (*shunt*), conforme exemplo a seguir.

A figura 01 reporta uma representação de alocação de um banco de capacitores em redes de distribuição de energia elétrica.

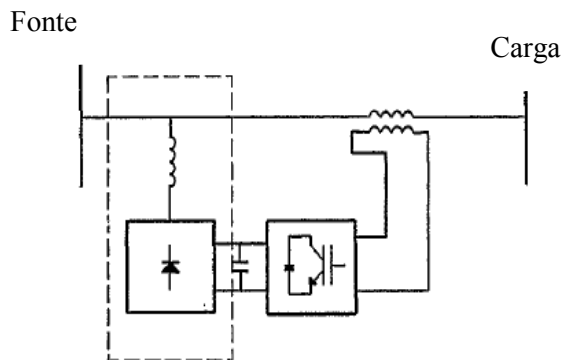
Figura 1 - Diagrama do circuito do capacitor em derivação em redes de distribuição



Fonte: Adaptado de Bianchin et al. (2008).

2.5.2 DVR

O DVR apresenta-se como um equipamento que utiliza a eletrônica de potência para minimização de distúrbios (afundamentos) nas redes de distribuição, reduzindo as tensões transitórias – protegendo assim equipamentos de possuem alta sensibilidade de falhas operacionais, conforme demonstrado na figura 02.

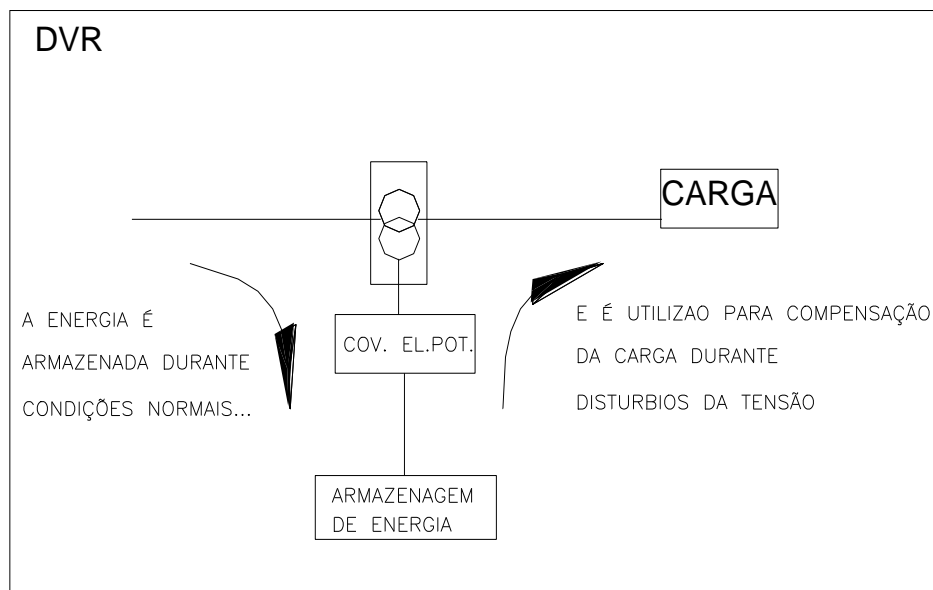
Figura 2 - Esquema do DVR com circuito retificador

Fonte: Divan (2007).

Dentre as características conceituais do DVR, está a capacidade de manter a potência ativa ou reativa, visando suprir quedas de tensão relativamente pequenas. Sua fonte de potência ativa pode ser obtida da própria rede de distribuição ou de fonte externa. Neste último caso, baterias acumuladoras ou mesmo bancos condensadores. Sua construção pode estar associada a uma conjunção do equipamento VSC, no qual aplica uma tensão alternada em série com a rede de distribuição através de um transformador de acoplamento.

A figura 3 representa o restaurador dinâmico de tensão.

Figura 3 - Função do DVR – Restaurador Dinâmico de Tensão



Fonte: Barbosa (1995).

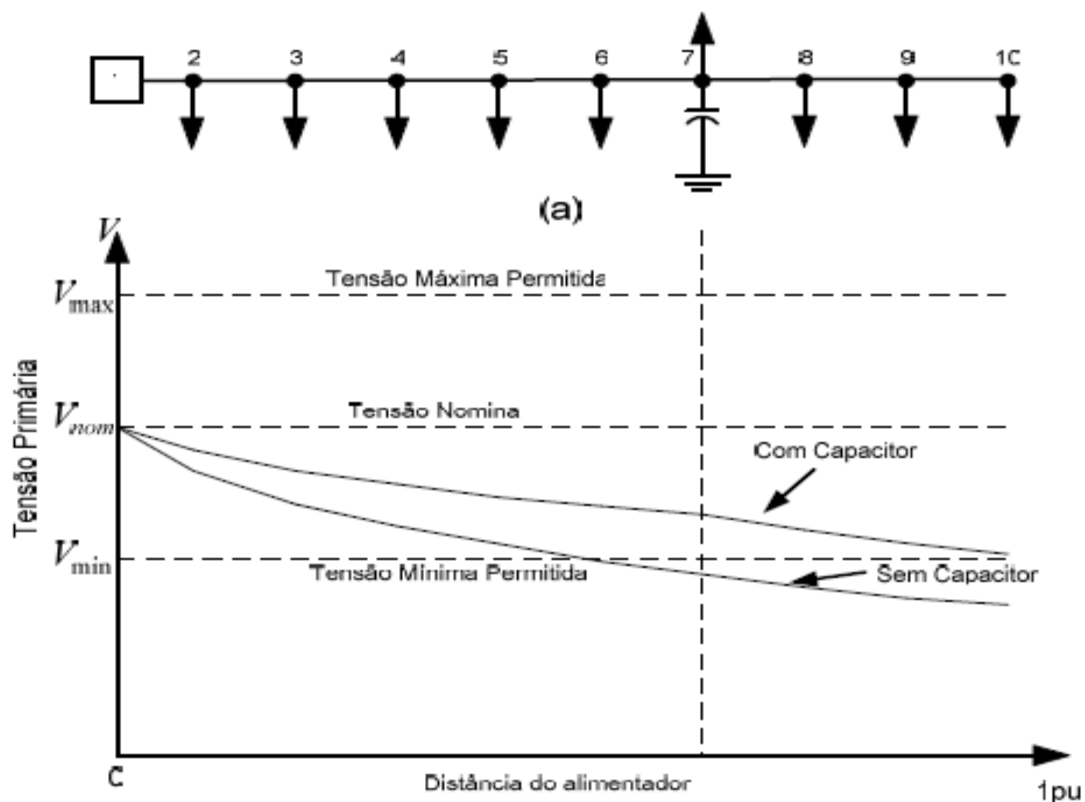
Em redes de distribuição o DVR também assume a função de compensar afundamentos mais severos de tensão por um período de tempo mais longo. Portanto sua recomendação se faz para redes que possuam cargas mais sensíveis, tornando-se assim uma medida mais econômica e eficaz (ROGERS, et al., 2008)

2.5.3 Capacitores alocados em série com a rede de distribuição de energia elétrica

Os capacitores alocados em série remontam como sua origem as linhas de transmissão, onde uma de suas principais finalidades é o aumento da capacidade de transferência de potência e melhorias no fator de perdas na referida linha.

Os capacitores alocados em série com a rede de distribuição tem por objetivo o restabelecimento dos níveis de tensão em valores adequados para a distribuição.

Figura 4 - Efeito dos capacitores no perfil da tensão



Fonte: Barbosa (1995).

Quando é analisada a sua aplicação em redes de distribuição de energia elétrica, observa-se sua aplicabilidade para sobrecompensar a rede nas suas parcelas de reatância indutiva (BIANCHIN; et al, 2008).

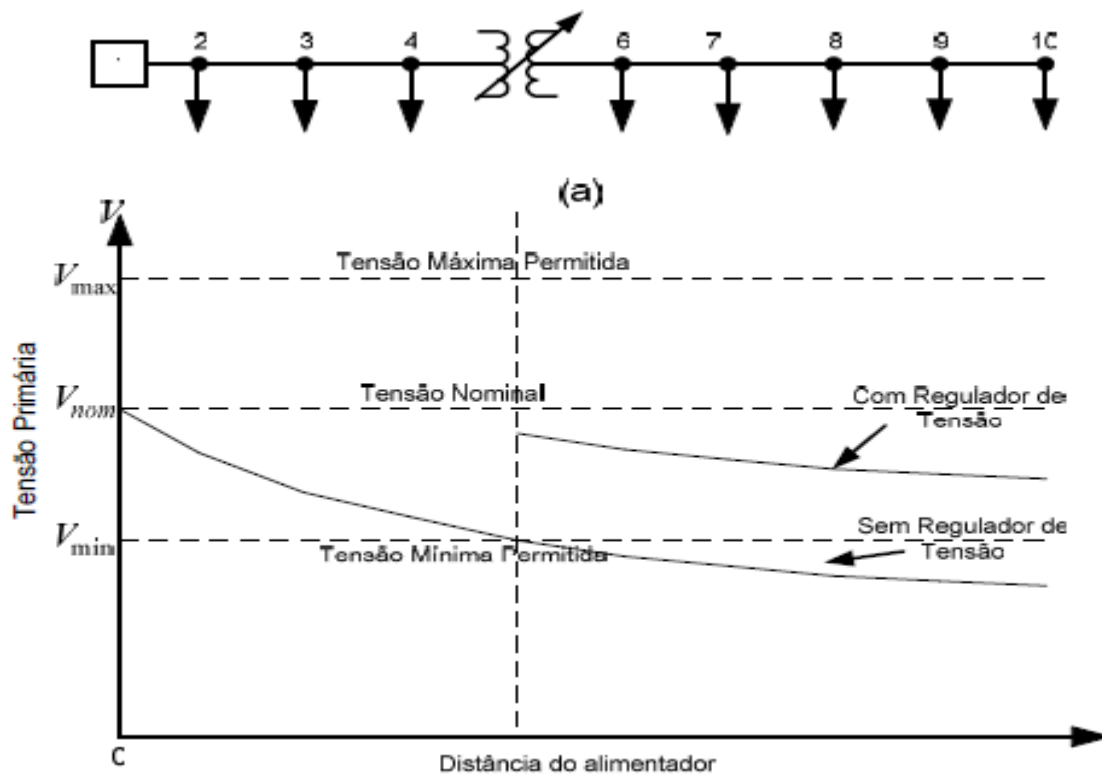
2.5.4 Reguladores de tensão

Os reguladores de tensão são equipamentos destinados a instalação em redes de distribuição de 13,8kV ou mesmo subestações abaixadoras, e tem por finalidade compensar a queda de tensão melhorando o seu perfil.

Os reguladores de tensão mais aplicados em redes de distribuição de energia elétrica são aqueles dotados em sua constituição por autotransformador monofásico imerso em óleo isolante. Sua regulação é realizada por degraus que regulam os níveis de tensão aplicada ou níveis de compensação (INSTITUTO DE ENGENHEIROS

ELETRICISTAS E ELETRÔNICOS-IEEE, 2009). Sua representação é demonstrada na figura 05.

Figura 5 - Efeito dos reguladores de tensão no perfil da tensão



Fonte: Barbosa (1995)

Sua alocação demonstra a atuação dos bancos de reguladores de tensão no perfil da tensão em uma rede de distribuição, levando em consideração os níveis mínimos de tensão a serem permitidos. Demonstra também o ponto correto a ser instalado o banco de reguladores de tensão.

Cada degrau de tensão insere valores de tensão ao sistema por meio de uma chave mecânica e um comutador de derivação em carga, possibilitando assim, sua operação sem suspensão do fornecimento de energia.

2.6 COMPARATIVO ENTRE COMPENSADORES SÉRIE FIXOS E DINÂMICOS.

Conforme simulações realizadas e apresentados em estudos anteriores, ambos os equipamentos poderiam realizar a função de elevação do percentual de fator de potência

da rede de distribuição, aumentando conseqüentemente seus valores de potência ativa entregues.

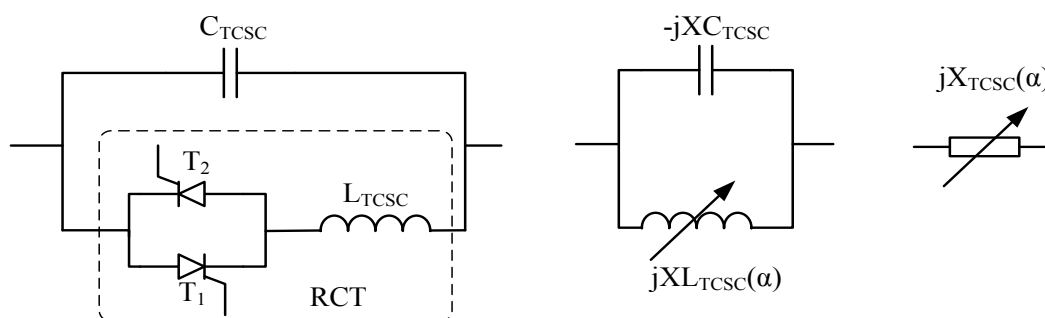
A premissa de distinção entre os compensadores série fixos e os eletronicamente controlados, é a regulação dinâmica da tensão no ponto de acoplamento de cargas. Quando é analisado a inserção de equipamentos de compensação série no alimentador, a sua dinâmica pode ser observada pela atuação instantânea com inserções e retiradas de carga.

O dinamismo apresentado pelo equipamento pode ser demonstrado quando da redução da inserção de cargas pelo principal cliente conectado a este alimentador, o que de forma direta contribuirá para manutenção de níveis de tensão adequados nos outros consumidores que também compartilham o alimentador em estudo.

2.7 COMPENSADOR SÉRIE DINÂMICO TCSC APLICADO A REDES DE DISTRIBUIÇÃO

O Capacitor Série Controlado a Tiristor é um equipamento que utiliza a eletrônica de potência em sua construção para o chaveamento dos tiristores, que controlam a corrente nos reatores que compõe o compensador. Possui em sua formação reatores e capacitores que são conectados em série com as fases do sistema elétrico (HINGORANI, 1999). Na figura 06, o circuito equivalente do TCSC é demonstrado na sua íntegra.

Figura 6 - Circuito Equivalente do TCSC



Fonte: Dados do próprio autor

O TCSC é composto por um capacitor conectado em paralelo com um reator controlado a tiristor. O controle de corrente no indutor via ângulo de disparo dos tiristores faz variar a reatância indutiva, e por consequência controlar a impedância equivalente do TCSC. Tal impedância pode ser escrita nas equações de 1 a 6 como o paralelo das reatâncias capacitiva e indutiva. Também são apresentadas as reatâncias equivalente do TCSC em função do ângulo de disparo dos tiristores (α).

$$jX_{TCSC}(\alpha) = (-j.X_{C_{TCSC}}) // (j.X_{L_{TCSC}}(\alpha)) = j \cdot \frac{X_{C_{TCSC}}}{\left(\frac{X_{C_{TCSC}}}{X_{L_{TCSC}}(\alpha)} - 1\right)} \quad (1)$$

$$X_{TCSC}(\alpha) = -X_{C_{TCSC}} + C_1 \left[2(\pi - \alpha) + \text{sen}(2(\pi - \alpha)) \right] - C_2 \cos^2(\pi - \alpha) \left[\omega \tan(\omega(\pi - \alpha)) - \tan(\pi - \alpha) \right] \quad (2)$$

$$X_{LC} = \frac{X_{C_{TCSC}} \cdot X_{L_{TCSC}}}{X_{C_{TCSC}} - X_{L_{TCSC}}} \quad (3)$$

$$C_1 = \frac{X_{C_{TCSC}} + X_{LC}}{\pi} \quad (4)$$

$$C_2 = 4 \cdot \frac{X_{LC}^2}{\pi \cdot X_{L_{TCSC}}} \quad (5)$$

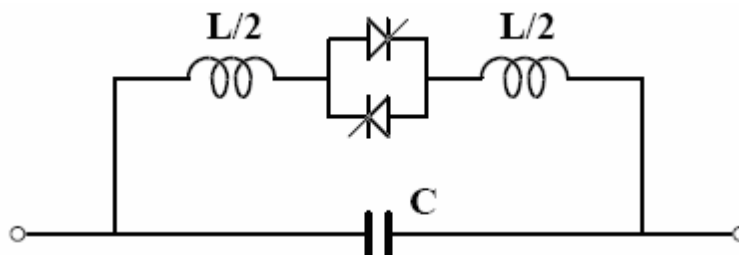
$$\omega = \sqrt{\frac{X_{C_{TCSC}}}{X_{L_{TCSC}}}} \quad (6)$$

2.8 DEFINIÇÃO E APLICAÇÕES DO TCSC

Para linhas de transmissão, a principal função da compensação série é a diminuição da reatância, proporcionando desta forma, um aumento da capacidade de transferência de potência. A margem de estabilidade também é alterada pela característica desta compensação (FESTRAITS; COLVARA, 2002). No caso de linhas de distribuição, cujas reatâncias indutivas não são significativamente maiores que a própria resistência da linha, o efeito da compensação série é observado principalmente nos níveis das tensões.

O conceito geral do TCSC, baseia-se na concepção de controle de fluxos de potência em corrente alternada, tendo como função principal aumentar a capacidade de transferência de potência de um sistema elétrico em trechos específicos. Sua constituição retratada na figura 07 é basicamente realizada por um reator ordenado por tiristores (NASCIMENTO, 2007).

Figura 7 - Capacitor Série Controlado a Tiristor

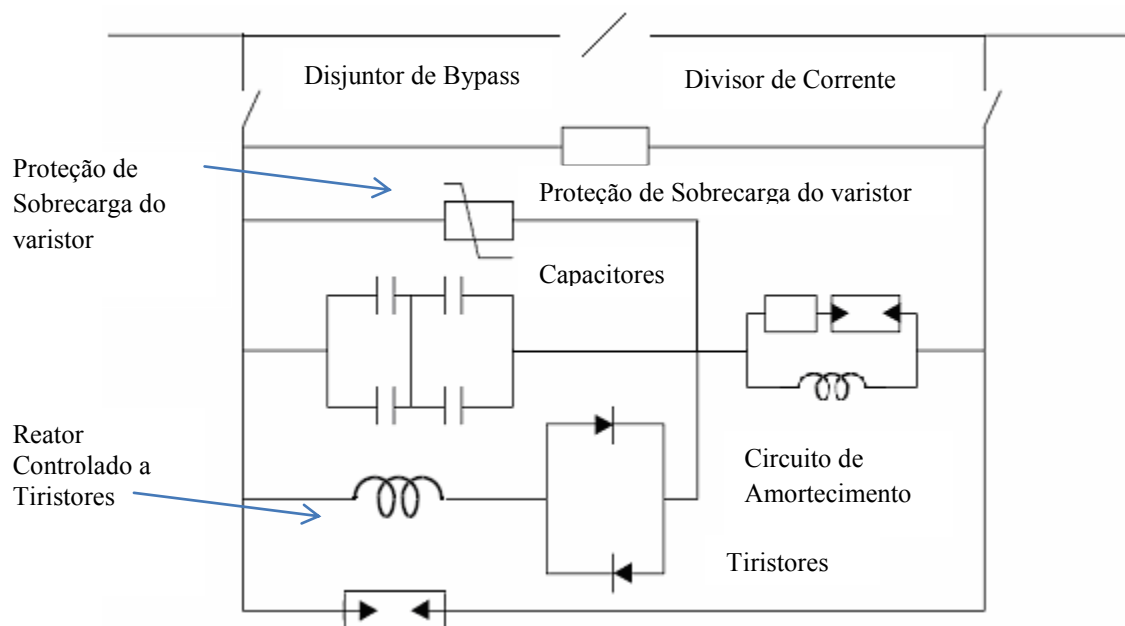


Fonte: Dados do próprio autor

O dimensionamento do banco de capacitores, leva em conta os níveis de tensão e de corrente operando em regime permanente, onde características que apresentem sobretensões e curto-circuito elevados, demonstram-se como inviáveis para a aplicação (CARVALO FILHO; GOMEZ; WANDERLEY, 1999).

A figura 8 apresenta as características construtivas do equipamento, bem como suas proteções:

Figura 8 - Aspectos construtivos do TCSC com dispositivos de proteção acoplados



Fonte: Dados do próprio autor

2.9 PROTEÇÃO DO TCSC

Um dispositivo de proteção tem por finalidade principal retirar um equipamento do sistema, de modo que a anomalia apresentada pelo mesmo não interfira de forma significativa na integridade do sistema elétrico. Parte do princípio de um ajuste seletivo de modo a operar em consonância com os outros dispositivos inseridos na rede elétrica (FELTRIN 2005; GIGUER 1988).

2.10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente capítulo foram abordados os conceitos dos compensadores FACDS, bem como sua distinção por características. Sua conceituação foi definida por diversos autores bem como seu destaque para o compensador TCSC.

O presente capítulo buscou entender suas definições bem como sua convergência para aplicação em redes de distribuição de energia elétrica, e também suas

principais características, que fazem referência aos princípios aplicados em linhas de transmissão.

3 IMPLEMENTAÇÃO DE NOVOS MODELOS DE GESTÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A mudança da necessidade do consumidor, bem como o advento de novas tecnologias, são fatores fundamentais para a busca de novos modelos de gestão na forma de gerenciamento de redes de distribuição de energia elétrica. Neste capítulo serão apresentados a evolução do conceito, bem como seu estágio atual.

3.1 INTRODUÇÃO

A globalização da economia e aumento constante da competitividade empresarial, faz com que as empresas busquem constantemente a eficiência operacional através de melhorias no desempenho de seus processos e metodologias. A necessidade de revisão de procedimentos e implantação de novos modelos de gerenciamento de redes elétricas de distribuição, apresentam-se como fatores para uma busca constante de melhoria contínua.

Uma das causas preponderantes para a iniciação de um processo de mudança na administração da expansão do sistema elétrico, são as novas necessidades dos consumidores, que em regra geral, buscam aspectos básicos de continuidade e cobrança justa nos valores tarifários.

O presente capítulo tem por objetivo promover um levantamento evolutivo da utilização dos equipamentos de compensação série, bem como a franca adesão na utilização dos compensadores FACDS, os quais podem se tornar uma ferramenta estratégica para as distribuidoras de energia elétrica frente a um ambiente de constante mudança.

3.2 REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – ADAPTAÇÃO ÀS NOVAS DEMANDAS

A necessidade de contínua adaptação das redes de distribuição faz gerar uma crescente expectativa nas concessionárias de distribuição na busca de melhores práticas de gestão de seus modelos. Visando esse objetivo, as mesmas buscam sempre novas

tecnologias implementando assim uma política de *benchmarking*, estando portanto envoltas em processos de busca por melhores práticas.

Seu planejamento técnico e financeiro devem contemplar perspectivas de médio e longo prazo, visando um investimento adequado à períodos de equivalência em necessidades. Tal distribuição pode ser compreendida em aportes realizados na preservação e expansão do sistema.

Ferramentas de avaliação são constantemente utilizadas pelas companhias para monitoramento e rápida resposta quando anomalias são detectadas. A investigação de preceitos de qualidade no fornecimento, reincidência e recorrência de reclamações de clientes, são pontos de partida para uma análise quantitativa e qualitativa mais profunda.

Avaliando a perspectiva de mudanças na forma de gerenciamento de redes de distribuição de energia elétrica, além da necessidade de remodelagens no âmbito administrativo, faz-se necessário também uma formatação que visem melhoria no controle de fluxo de potência, bem como garantir que premissas que envolvam qualidade de energia elétrica sejam asseguradas (HINGORANI, 1991).

A eletrônica de potência, neste contexto traduzida por equipamentos de compensação série, representam um grande avanço nas funções exercidas pelos equipamentos aplicados em redes de distribuição, dentre elas, pode-se destacar:

- Eliminação de variações de tensão;
- Controle de impedância, corrente e tensão;
- Eliminação da limitação de corrente.

Um importante passo no formato de gerenciamento de redes de distribuição foi a implantação das concessões ocorridas no final da década de 90, onde setores específicos de geração, transmissão e distribuição, foram concedidos a iniciativa privada para exploração. Para os agentes que detém a concessão, o modelo baseou-se em exploração do setor mediante regulação governamental.

Com a criação de uma agência reguladora, originou-se devido a um processo de globalização da economia, ao qual demandou um processo de intensa reestruturação do setor visando adequações de novas necessidades e demandas dos consumidores.

Tal ação permitiu a fiscalização e regulação de concessionárias de distribuição de energia elétrica, onde o investimento e novas tecnologias, desenvolvimentos de projetos de pesquisa e desenvolvimento e melhor alocação de recursos e investimentos, foram itens que passaram a ter grande destaque na pauta da agência (PUERTA; ARCELUZ, 1995).

Outros fatores são importantes nesse processo de mudança que o ambiente de distribuição de energia elétrica está passando, um dos mais importantes está diretamente relacionado ao próprio conceito de globalização, que é o grande avanço das tecnologias tanto de informação, como de produção, capitaneadas pelas tecnologias de transmissão de dados e informações, como por exemplo, a internet. Outro aspecto importante diz respeito ao surgimento de um novo perfil de cliente, cada vez mais exigente, demandando produtos e serviços com maior qualidade (MINADEO, 2001).

Devido a constante exigência em personalização e adequação às necessidades de entrega dos consumidores, grandes investimentos são realizados no processo de automação das redes de distribuição. Tais ações devem ocorrer primando pelo atendimento a minimização de distorções na entrega, bem como garantir que interrupções não-programadas deixem de ocorrer.

A necessidade de flexibilização do setor elétrico, neste contexto, direcionado às redes de distribuição de energia elétrica, passou a ser ponto de atenção das concessionárias, uma vez que novos agentes passam a ter interferência em suas redes, tais como geração distribuída e autoprodutores.

Do conceito de equipamentos de compensação série ao de redes inteligentes, a sua adoção por parte das concessionárias de redes de distribuição requer além de procedimentos internos, uma regulamentação específica que pode ser impulsionada por necessidades dos consumidores. Sua atenção na correta oferta de benefícios e custos associados a implantação podem refletir para as concessionárias um acréscimo em suas tarifas em um período de médio prazo (ALMEIDA NETO et al.; 2013).

Sob a ótica da sociedade, primando pela viabilidade econômica, estão relacionados aos critérios de custo e vida útil dos equipamentos dentre outras que podem ser destacadas na quantificação dos benefícios (ALMEIDA NETO et al.; 2013).

Nesse contexto as distribuidoras de energia elétrica procuram formular políticas de desenvolvimento de novas tecnologias para adaptarem-se a um mercado extremamente competitivo. A implementação de modelos e ferramentas de gestão operacional mais inovadores e com foco na redução de custos atrelados, como por exemplo, na aplicação de equipamentos de compensação série, são utilizados como alternativa frente aos grandes investimentos necessários quando a robustez é levada em consideração. Questão que vai ser explorada nas próximas etapas desse estudo.

3.3 REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES

Os sistemas elétricos buscando um aumento em sua performance, buscam adaptar-se a um processo crescente em sua demanda. O controle dinâmico, automático e assertivo das redes elétricas tem contribuído para o aumento da sua eficiência, agregando dessa forma, maior valor a companhia e seus clientes. Partindo dessa premissa, observa-se o conceito de redes elétricas inteligentes as quais buscam proporcionar um maior grau de automação ao sistema, através de equipamentos que proporcionem tempo de resposta rápida frente a eventos programados ou não-programados.

A tecnologia que contempla os recursos *Smart Grids* caracterizam-se basicamente pela forma de controle remota da operação de equipamentos, extração de dados elétricos em tempo real e resposta rápida a eventos que influenciem em sua operação. Os recursos das redes inteligentes buscam um maior aproveitamento dos recursos disponibilizados na rede elétrica, proporcionando uma economia de tempo e recursos da concessionária (AMIN, 2005).

A infraestrutura do setor elétrico de modo geral, apresenta um grau de atraso (em termos de tecnologia) quando comparada às novas demandas dos consumidores em termo de qualidade e continuidade no fornecimento. Sua gestão, em grande parte, é realizada adotando-se uma premissa de curto prazo, o que inviabiliza assim um pensamento com vistas a ganhos futuros (GUENUL, 2012).

Dentre as dificuldades analisadas quando se toma a decisão de implantação metodologias aplicadas a redes elétricas inteligentes, estão o tempo baixo de resposta atrelados a chaves eletromecânicas, baixa capacidade de armazenamento de dados e planejamento executado de modo falho (GUENUL, 2012).

Novos desafios são atribuídos às redes inteligentes, de modo a englobar necessidades de como interação com geração distribuída e necessidade de atendimento instantâneo das necessidades dos consumidores.

Portanto, redes inteligentes podem ser caracterizadas por uma maneira eficiente de gestão e operação dos ativos da distribuição de energia elétrica. As principais premissas da adoção de sua tecnologia possui foco na redução dos impactos de deslocamento, transferências de cargas, leituras remotas, controle dinâmico e monitoramento de informações em tempo real.

Considerando o ponto de vista das entidades de classe, o cenário das redes elétricas inteligentes são carentes de investimentos e modernização, onde não conseguem lidar bem com problemas de qualidade e perdas não-técnicas, denegrindo assim a premissa de bom relacionamento com o mercado consumidor. Possuem a percepção de que o governo possui papel fundamental na coordenação e definição de diretrizes, tomando assim a dianteira no processo de conscientização e implantação junto a sociedade.

3.4 ADAPTAÇÃO ÀS NECESSIDADES DOS CONSUMIDORES

Quando a questão trata da percepção dos consumidores, elencando aspectos como importância, o nível de conhecimento e percepção dos benefícios - o conceito é elencado a níveis baixos, o que explicita a pouca divulgação de uma possível necessidade de adaptação. Porém os benefícios diretos que as redes elétricas inteligentes podem proporcionar, são fatores elencados como desejo de uma classe de consumidores em constante expansão. Os pontos de conformidade mais elencados por esse público pode ser definidos como rapidez, qualidade, controle de valores e menores custos com desperdício (ALMEIDA NETO et al., 2013).

Outro fator a ser levado em consideração remonta aos aspectos econômicos atrelados ao crescente aumento por demanda de energia elétrica, fator este que desencadeia uma necessidade de realização de um planejamento que leve em consideração cenários de curto médio e longo prazo, de modo a garantir sua confiabilidade e atendimento ao crescimento natural das cargas (SILVA; BRAEGGER; SILVA, 2005).

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tomando por base os dados apresentados neste capítulo (representação de equipamentos série ou *shunt*) os mesmos podem não apresentar os resultados esperados quanto se pretende utilizar um dinamismo e controle de tensão e fluxo de potência. Tais fatores podem ser explicados por fatores como as extensões das redes de distribuição (MARAFÃO et al., 2004). Tal premissa faz com que as concessionárias de distribuição de energia elétrica adotem fatores ou alternativas para dinamizar as redes. Em uma outra alternativa – frente a flexibilização - esta a robustez que visa aumentar sua capacidade por intermédio de inserção de novas subestações rebaixadoras, e alimentadores de média tensão.

Frente a este cenário, alternativas de flexibilização dos sistemas de distribuição como o D-TCSC, apresentam-se como ferramentas para evitar problemas típicos de compensadores convencionais, como a ferorressonância e ressonâncias subsíncronas. A utilização do compensador dinâmico remete a um amortecimento de oscilações e promoção da estabilidade transitória.

A seguir (Capítulo 4) será abordado aspectos sobre a compensação série em redes de distribuição de energia elétrica, bem como uma perspectiva financeira da sobre o cenário.

4 COMPENSAÇÃO SÉRIE EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Neste capítulo, serão demonstrados os conceitos preliminares de retorno do investimento em redes de distribuição, tomando por premissa a utilização de compensadores série.

4.1 INTRODUÇÃO

A compensação série nos sistemas de distribuição visa proporcionar um aumento de sua capacidade de atendimento, objetivando uma adaptação ao crescimento natural das cargas ao longo dos anos bem como inserção de novos consumidores ao sistema.

Uma análise mais aprofundada sobre os aspectos de aporte financeiro frente o aumento da capacidade de transferência de potência de um sistema elétrico, ou mesmo buscar medidas temporárias de adequação às novas demandas oriundas de um processo de flexibilização, podem ser levadas em consideração para a confecção de um parecer sobre sua viabilidade.

Os recursos e metodologias de estudo e implantação de equipamentos de compensação série, ou mesmo promoção de obras de reforço de grande porte, são abordados de uma maneira analítica, tendo como base histórico de variações de grandezas, prognósticos de médio prazo de novas conexões e preservação da expansão do sistema.

Neste capítulo são apresentados os conceitos acerca dos principais aspectos relativos aos equipamentos de compensação série aplicados às redes de distribuição de energia elétrica. A abordagem compreende aspectos relativos aos conceitos de qualidade de energia aplicados a redes de distribuição.

4.2 CONCEITOS DA QUALIDADE DE ENERGIA APLICADOS AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Considera-se qualidade de energia elétrica, sob a visão do consumidor, alguns fatores distintos que nem sempre possuem correlação direta com as características técnicas da entrega. Na formação da opinião de índices de qualidade, entram na base de

construção do quesito, além de índices de fornecimento, preços das tarifas e o atendimento e agilidade de ocorrências quando da suspensão por falhas de origem mecânica.

Porém em estudos de planejamento e continuidade do fornecimento, fatores fundamentais como valores e índices de grandezas elétricas, assumem maior forma na análise das distribuidoras de energia elétrica (PASERBA, 2009).

Considera-se como preceito fundamental do conceito de qualidade de fornecimento de energia elétrica, alguns itens fundamentais que refletem a continuidade e constância do produto a ser entregue aos consumidores. Dentre alguns principais fatores, podem ser elencados:

- Formatos senoidais adequados da tensão e corrente;
- Frequência com formato senoidal adequado;
- Tensão em regimes nominais constantes;
- Fator mínimo de desequilíbrio;
- Fator de potência em níveis altos;
- Quantidade mínima de perdas técnicas;

Porém não há consenso no conceito de qualidade de energia elétrica em todos as partes do mundo, fator este que dificulta uma unificação do termo qualidade. Fatores como necessidades de fornecimento contínuo e pureza de tensão, são premissas que divergem em função do tipo de carga e característica de consumidores.

Em uma análise de termos que tangem a qualidade de energia elétrica, um conceito que mais se aproxima do termo real é a minimização dos distúrbios no sistema elétrico. Neste contexto, distúrbio pode ser definido como qualquer situação não-programada que provoque degradação de condições normais no fornecimento, fator este que infere diretamente no conceito de qualidade (DECKMANN, 1994).

4.3 ASPECTOS NORMATIVOS – RETORNO DO INVESTIMENTO NA INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

O setor elétrico brasileiro é em sua grande parte gerenciado por empresas que detêm a concessão pela exploração dos serviços. Cabe a agência reguladora ANEEL

estabelecer regulamentos e normativas para a adequada gestão do capital aplicado no setor por parte das companhias.

Os investimentos realizados pelas concessionárias de distribuição, objeto de estudo deste trabalho, podem ser realizados em diferentes modalidades, alocando corretamente em uma conta que ajuda a agência reguladora a identificar e proporcionar o retorno adequado. O dispêndio de capital pode ser realizado em expansão através de programas federais de universalização de energia elétrica, e investimento em qualidade. Em uma outra vertente, o investimento pode ser realizado em preservação do sistema, que é realizado através das manutenções em sistemas prioritários.

De acordo com a lei 10848/2004, existe a segurança de remuneração de capitais de concessionárias quando do investimento em expansão do sistema elétrico. Tal forma de retorno do investimento, está atrelada a modicidade tarifária, que designa retorno sobre o investimento em curto, médio e longo prazo (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS, 2006).

Tal regulamentação derivou da incapacidade do estado em arcar sozinho com os investimentos necessários a manutenção da expansão exigida pela demanda de mercado, bem como a manutenção necessária do sistema elétrico. A medida visa uma remuneração de capital adequada ao investimento realizado, de modo a atrair investidores e acionistas para o setor (PIRES; GIAMBIAGI; SALES, 2002).

Este sistema tem como principal objetivo sustentação dos mecanismos de investimentos no setor, uma vez que propõe escalonamento no reajuste das tarifas, de modo que as mesmas se tornem sustentáveis e gerem retorno adequado para as concessionárias. O retorno esperado pela concessionária, durante o período de concessão dos serviços, também foi objeto de estudo na implantação do marco regulatório. Questões como sustentabilidade do modelo de gestão do setor elétrico e ajustes mínimos em caso de alternância da concessão, também foram contemplados na análise regulatória (ROCHA; BRAGANÇA; CAMACHO, 2006).

A implementação de novos projetos em redes de distribuição, requer a participação de órgãos reguladores para um ajuste na legislação, regulamentos e normas. A responsabilidade pela regulamentação cabe a agência responsável pela gestão do sistema elétrico, enquanto as normas contendo especificações de metodologias cabe a ABNT (ALMEIDA NETO et al.; 2013).

A legislação que propõe o regulamento e norteia as ferramentas de distribuição de energia elétrica e o conjunto de regulamentos que se relacionam com a implantação de equipamentos, são descritas a seguir:

4.4 LEGISLAÇÃO E DECRETO FEDERAL

- Lei nº 8631, Lei nº 9074, Lei nº 8987, Lei nº 9427, Lei nº 10848, Decreto nº 5163 – Definições que norteiam os contratos de concessão de energia elétrica;
- Decreto nº 41019, de 26 de fevereiro de 1957, regulamenta os serviços de energia elétrica;
- Lei nº 8631, de 4 de março de 1993, dispõe sobre a fixação dos níveis das tarifas para o serviço público de energia elétrica, extingue o regime de remuneração garantida e dá outras providências;

4.5 REGULAMENTAÇÃO ANEEL

- Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, regulamento que estabelece condições gerais de Fornecimento de Energia Elétrica e forma atualizada e consolidada;

4.6 APLICAÇÃO DOS INVESTIMENTOS SOBRE AS TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA

O tratamento regulatório que será dado aos investimentos realizados, tem sido fator de análise das normativas da agência reguladora. Verifica-se que os investimentos realizados nos anos de intermédio do ciclo de revisão tarifária não são atualizados rapidamente na base de remuneração das concessionárias. Portanto, os benefícios para a cobertura da depreciação anual e proporcionar uma remuneração adequada devem ser estimados com valores e índices adequados. Desse modo, a revisão tarifária deve ser realizada em dois modos, sendo módulos específicos para cobertura da remuneração e depreciação.

Estima-se que a adoção dos recursos de redes elétricas inteligentes, considerando um cenário atual e uma perspectiva futura provocará uma elevação de 5% no valor das tarifas. Essa elevação se daria a partir de um prazo de 8 anos a partir do processo de implantação (ALMEIDA NETO et al., 2013).

Questões como qualidade de energia, apresentam-se como contraponto as tarifas de energia elétrica, tanto em termos de índices, quanto em continuidade do fornecimento. Também é vislumbrada ferramentas e metodologias de informação aos consumidores (ALMEIDA NETO et al., 2013).

O equacionamento desenvolvido para definir o patamar de tarifas na distribuição da energia elétrica, agrega fatores como curva de carga e custos de desenvolvimento dos sistemas elétricos. Os ajustes periódicos propostos visam reposição através da capacidade via componente de agregação nas tarifas.

Estas formulações consideram um sistema elétrico verticalizado, onde o componente tarifário consideram os custos médio de geração e os custos marginais de todo o sistema elétrico (SANTOS, 2011).

4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo buscou discutir questões relativas a compensação série em redes de distribuição de energia elétrica, bem como características que inferem na qualidade do fornecimento e sua flexibilização.

Os aspectos normativos sobre a questão são tratados no texto, bem como sua ligação direta com resoluções que tratam de vertentes atreladas a qualidade de energia elétrica.

São abordadas as terminologias referente ao recebimento dos investimentos aportados pelas concessionárias na composição tarifária, uma vez que o mesmo é objeto de estudo das concessionárias de distribuição.

A seguir (Capítulo 5) será abordado o estudo de caso relativo a proposta de análise do retorno do investimento. Será investigado a viabilidade financeira de implantação de um compensador série dinâmica em redes de distribuição de 13,8kV.

5 ANÁLISE DOS IMPACTOS DA IMPLANTAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE COMPENSAÇÃO SÉRIE EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Os dados discutidos neste capítulo são fruto de um estudo realizado entre a concessionária de distribuição de energia elétrica – utilizada no estudo de caso – e a Universidade Estadual Julio de Mesquita Filho. Tal investigação buscou atender um projeto de pesquisa e desenvolvimento entre as instituições, visando implantação de equipamentos de compensação série dinâmicos em redes de distribuição de energia elétrica.

Para uma melhor assimilação entre as vertentes estudadas – e que visam confirmar a viabilidade econômica da implantação do equipamento TCSC em redes de distribuição – primeiramente será apresentada a metodologia que subsidia as análises apresentadas no estudos de caso apresentado.

5.1 VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE COMPENSAÇÃO DINÂMICA (D-TCSC).

A construção da análise de viabilidade econômica de implantação do equipamento de compensação série dinâmica em redes de distribuição teve como ponto de partida simulações executadas em trabalhos anteriores.

As considerações aqui contidas partiram do pressuposto da viabilidade técnica do equipamento mediante simulações executadas em laboratório através do software ®ATP Draw (*Alternative Transients Program*) versão 5.6p6 o qual é uma versão gráfica do ATP e no software ®MatLab 6.5.0.

Os dados utilizados para a simulação pertencem ao principal cliente conectado ao alimentador que será objeto de estudo desta pesquisa.

O presente estudo também abordou uma análise de um segundo alimentador, onde os dados de base para análise foram obtidos através de um estudo preliminar de viabilidade técnica executado pela concessionária através de um projeto de pesquisa e desenvolvimento. Para ilustrar a ideia de valores, foi utilizada na tabela 1 uma construção de banco de capacitores de utilização mais frequente, ou seja, de 600kvar para demonstração de seus valores. Os valores considerar os valores de preços médio móvel com valores praticados por 03 fornecedores diferentes.

Tabela 1 - Valores de montagem da estrutura de banco de capacitores em derivação

Materiais Aplicados	Valores em R\$
Capacitores – 6 elementos – 100kvar cada	15.800,00
Poste de concreto circular	R\$ 1.200,00
Chaves a óleo	R\$ 3.200,00
Chaves fusíveis	R\$ 1.100,00
Ferragens	R\$ 888,00
Total	R\$ 22.188,00

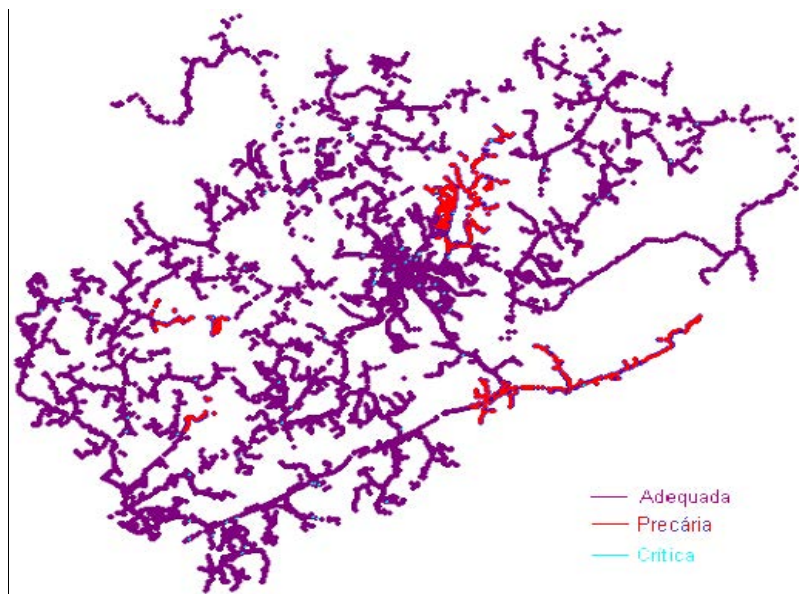
Fonte: Dados da pesquisa do autor

5.2 REPOTENCIALIZAÇÃO DE ALIMENTADORES

Os perfil de tensão são considerados fatores primordiais para a análise do preceito de robustez do sistema elétrico de distribuição. Tais níveis tomam como base um estudo realizado da barra da SE até o ponto de entrega, compreendendo todo o trecho de média tensão. Além de proporcionar uma melhoria na qualidade de energia do referido alimentador, o mesmo tem por objetivo a atenuação da queda de tensão quando da transferência de cargas entre dois alimentadores. Tal fator de queda também é diagnosticado através dos índices de reclamações dos clientes conectados ao mesmo.

Para tal realização, considera-se um horizonte de planejamento de cinco anos, levando-se em consideração, o crescimento de cargas de acordo com o estudo de mercado. A figura 09 revela o modo de análise para detectar os setores que necessitam de intervenção para melhoria em níveis de tensão nos alimentadores.

Figura 9 - Exemplo de análise de nível de tensão



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Os indicativos expostos na figura acima demonstram o grau de prioridade com que os investimentos em melhorias no sistema de distribuição devem ser distribuídas. Os índices apresentados como precários não carecem de ações para correções (excetuando-se perspectivas de inserção de novas cargas). Quanto da existência redes com índices críticos de níveis de tensão, os mesmos devem ser corrigidos, porém sem grau de interferência constante em cargas dos consumidores a ela conectados. As ações consideradas mais urgentes devem ser aplicadas em redes que consideram patamar crítico de tensão.

Para uma análise sobre a necessidade de repotencializar tal alimentador, ou mesmo construção de novo para divisão de cargas, toma-se por base alguns critérios de planejamento técnico, compostos por:

- Sinalização – 65% do limite térmico do cabo;
- Previsão para regularização – 85% do limite térmico do cabo,

Tomando-se por base um crescimento vegetativo de 5% ao anos, para clientes de baixa e média tensão, as concessionárias dispõem de pouco tempo entre o período que apresenta a sinalização até a apresentação da necessidade de regularização.

Tal premissa pode ser entendida pelo planejamento de sua correção, que compreende a aquisição ou destinação de recursos (nesta situação a médio prazo), bem

como seu planejamento de execução. Os valores demonstrados na tabela 2 revelam um alto custo para efetuar a substituição de condutores, uma vez que foi considerado quatro cenários diferentes para opção de utilização de condutores com maior capacidade de condução de corrente. Os valores considerar os valores de preços médio móvel com valores praticados por 03 fornecedores diferentes.

Tabela 2 - Valores de substituição de condutor por quilômetro de instalação

Materiais Aplicados	Valores em R\$
Quilômetro de rede primária com cabo S40 (alumínio com alma de aço)	R\$ 45.785,89
Quilômetro de rede primária com cabo A40 (alumínio sem alma de aço)	R\$ 59.382,62
Quilômetro de rede primária com cabo S336,4 (alumínio com alma de aço)	R\$ 50.690,65
Quilômetro de rede primária com cabo A336,4 (alumínio sem alma de aço)	R\$ 63.443,80

Fonte: Dados da pesquisa do autor

Para os casos estudados (alimentadores 01 e 02), os valores a serem considerados no cômputo de viabilidade, podem ser ilustrados pelos condutores S40 e S336,4.

De acordo com a análise dos custos apresentados na tabela 2, confrontando seus valores por quilômetro com suas respectivas extensões (17,8km para o alimentador 01) e (22,65km para o alimentador 02), pode-se constatar um amplo valor para repotencialização dos casos estudados.

De acordo com o estudo de caso realizado, e em conformidade com a tabela 2, os custos de substituição de condutores são demonstrados. Tais valores apresentados são uma composição de materiais associados com montante de homem-hora atribuídos aos serviços de substituição de condutores.

5.3 REPOTENCIALIZAÇÃO DE SUBESTAÇÕES

Dentre alguns fatores, as obras de construção de novas subestações, vão muito além de simples aquisição de equipamentos de proteção, supervisão e manobra. Dentre os fatores considerados para a construção de uma nova subestação estão presentes a aquisição ou concessão de terrenos apropriados (preferencialmente em centros de carga) bem como as licenças ambientais pertinentes ao seu funcionamento.

Os critérios para planejamento seguem alguns parâmetros considerando um horizonte de projeção, onde as subestações (exceto as que possuem cargas sazonais), como o caso de Campos do Jordão e Litoral, seguem a seguinte margem de sobrecarga:

- 75% - Sinalização;
- Até 90% - Previsão para regularização,

Para as subestações onde são normais a condição de sazonalidade, tem-se a seguinte situação:

- 75% - Sinalização;
- 100%, ou até a capacidade em sobrecarga sem perda da vida útil – Previsão de regularização;

Também para os casos de subestações, são considerados os critérios de crescimento vegetativo de 5% ao ano, fator este que iniciaria um processo de aquisição de recursos para o investimento na operacionalização da repotencialização.

Para a operacionalização de obras de aumento da robustez em subestações, alguns procedimentos operacionais são necessários para a sua materialização. O critério da contingência assume forma nesta condição, uma vez que torna-se necessário a liberação das áreas para desenvolvimento das atividades técnicas.

Tais atividades, de modo geral, são caracterizadas pela utilização ou criação de uma contingência, podendo assim ser caracterizadas:

- Transformador remanescente operando em sobrecarga controlada;
- Remanejamento pela rede de distribuição para outras subestações;
- Instalação de subestação móvel;

- Utilização de cubículos remanescentes;
- Pela rede de distribuição – Instalação de proteções que visem substituir os cubículos de proteção,

Tomando-se por base uma análise quantitativa, optou-se por realizar um estudo na Subestação de Andradina 01, ao qual possui um perfil de alimentador para análise da viabilidade econômica:

Para esta parte do estudo, optou-se pela análise somente dos itens pertencentes ao alimentador 01 no espaço da subestação que atende o mesmo. Para a adequação dos equipamentos em subestações, primeiramente faz-se necessário uma adaptação por intermédio do projeto, que poderá consistir na composição de estruturas de alvenaria e diagrama unifilar das alterações a serem executadas no espaço determinado, conforme exemplificado na tabela 3. Os valores considerar os valores de preços médio móvel com valores praticados por 03 fornecedores diferentes.

Tabela 3-Valores da simulação de investimento na subestação que atende o alimentador 1

ITEM	TOTAL
Projetos	R\$ 100.000,00
Montagens Diversas	R\$ 1.020.000,00
Transporte e Fretes	R\$ 15.000,00
Fiscalização e Despesas Diversas	R\$ 16.000,00
Equipamentos	R\$ 1.374.059,59
Sala de Comando	R\$ 109.263,49
Materiais Aplicação Barramento	R\$ 82.000,00
Estruturas Barramentos / Suportes	R\$ 114.808,72
Sistema de Iluminação e Tomadas	R\$ 10.000,00
Custos Terceiros / Móvel	R\$ 22.145,36
TOTAL	R\$ 2.863.277,16

Fonte: Dados da pesquisa do autor

Para a execução dos itens propostos no projeto, optou-se por contabilizar também alguns serviços diversos caracterizados como montagens e fretes, itens que são compostos por transporte de equipamentos e sua montagem no pátio energizado da subestação. Em um momento posterior, considerou-se também a utilização do item fiscalização, que caracteriza-se pelos serviços de comissionamento e recebimento dos itens instalados, uma vez que grande parte da execução dos serviços são de caráter terceirizado.

Foi considerada também a aquisição de equipamentos (a serem instalados no pátio energizado), que podem ser transformadores, seccionadoras, disjuntores gerais de média e alta tensão, pórticos, etc, que compõe a parte externa da subestação. Já no âmbito da sala de comando, podem ser caracterizados como sala de baterias, retificadores, grupo geradores, comandos automáticos, painéis, etc, que localizam-se no espaço confinado da subestação.

Para a liberação das estruturas da subestação, onde os serviços serão executados, faz-se necessário a instalação de uma subestação móvel que faz a função dos transformadores e possui dispositivos de proteção. Para a viabilização deste dispositivo, há necessidade de substituir as proteções gerais de média tensão por religadores (eletrônicos ou eletromecânicos) com o mesmo ajuste de e sensibilidade de religamento.

Em uma outra análise, o equipamento poderá viabilizar a postergação de implantação de novas subestações. Além de todo procedimento técnico, infraestrutural e ambiental aplicado a construção, o equipamento pode permitir comprimentos de redes de distribuição maiores, minimizando assim o impacto de quedas de tensão na rede. Outro fator a ser mitigado, é a restrição quanto a número máximo de equipamentos de compensação série (reguladores e capacitores) conectados na rede de distribuição.

5.4 IMOBILIZAÇÃO DE OBRAS NO ATIVO DA CONCESSIONÁRIA

A necessidade da robustez em sistemas de distribuição faz-se necessária em algum momento, devido a diversidade e dinamismo das cargas. Partindo deste princípio, repotencializações caracterizadas como recondutoramentos, construção de contingenciamento, adequações e construções de subestações, apresentam-se como uma

necessidade quando o índice de saturação da rede de distribuição chega ao seu limite operacional.

Para a realização de tais reforços em redes de distribuição de 13,8kv, são necessários um projeto executivo que descreve os aspectos técnicos da construção, bem como os materiais a serem utilizados para a construção de tal empreendimento. Porém grandes reforços, são dotados de grandes períodos de tempo para serem executados, uma vez que dependem de deslocamento e alocação de recursos humanos, desligamentos de redes de distribuição, logística de compra e distribuição de materiais.

Quanto a alocação de recursos humanos baseia-se na disponibilidade de execução de serviços em regimes de linha viva o linha morta, o qual são desdobrados através de planejamento embasado em perspectiva de produtividade de equipes.

Para efeito de desligamentos de redes de distribuição para execução, é necessário obedecer critérios de antecedência estabelecidos pela ANEEL, que levam em conta a duração diária das interrupções, bem como seu espaçamento temporal, visando assim evitar grande recorrência.

A logística de materiais também apresenta-se como fator de acréscimo no tempo de imobilização do ativo, uma vez que é estabelecido o critério MRP (Requisição Planejada de Materiais) para compra inteligente junto aos fornecedores e estabelecimento de rotas adequadas de distribuição.

Tais fatores geram um dispêndio de capital inicial que a distribuidora espera receber em período de tempo a frente. Para reaver os valores aplicados nos investimentos em robustez a concessionária necessita imobilizá-los em sua base cadastral, denominada base congelada, a qual é informada à agência reguladora de tempos em tempos para composição do reajuste em revisão de ciclos tarifários.

Para a conjunção de valores em termos de ganho de capital, primeiramente foi considerado um valor médio equilibrado entre custos dispendidos entre aumento da robustez em subestações e redes de distribuição.

5.5 VANTAGENS ECONÔMICAS DA UTILIZAÇÃO DO D-TCSC

A avaliação econômica da utilização de tecnologias que utilizam a premissa *Smart Grid*, torna-se essencial uma vez que faz necessária uma análise mais profunda dos custos necessários a sua implantação. Investigações nesse sentido buscam responder a determinados questionamentos, tais como ordem de valores iniciais de implantação, distribuição temporal deste investimento com o passar dos anos, escalas e planejamento de implantação, qual o retorno desejado e o cenário real possível, receitas oriundas da implantação frente aos custos de implantação e quais as responsabilidades pela pulverização dos custos iniciais da proposta.

A análise prevê um cenário cuja necessidade de adaptação e flexibilização das redes de distribuição torna-se cada vez mais necessária. Devido a aspectos regulatórios pouco claros sobre o aspecto, a gestão e estudo do investimento e retorno cabe exclusivamente as distribuidoras de energia elétrica.

Porém a necessidade de atendimento a uma crescente demanda e adequação a um perfil de consumidor diferente, faz com que as concessionárias estudem novas tecnologias em equipamentos, que também contempla uma expectativa de retorno em médio e longo prazo.

O banco de capacitores chaveado a tiristores, pode apresentar benefícios econômicos no sentido de custos menores de implantação, adiamento de investimento e aumento de receitas (quando da conexão de novos consumidores), sem a realização de grandes empreendimentos.

O equipamento quando instalado em redes de distribuição, aumenta sua capacidade de transferência de potência através da redução de sua impedância. Sua instalação por ser caracterizada por custos e impactos menores, pode representar uma alternativa as concessionárias, uma vez que o espaço utilizado para sua implantação e a intervenção no sistema (desligamentos ou incursões de pequenas duração) são acentuadamente amortecidos.

Para a conexão de novas cargas, primeiramente antes de sua entrada no sistema elétrico, as concessionárias de distribuição realizam um estudo de fornecimento subsidiadas por uma consulta preliminar realizada pelo cliente. Em grande parte, a inserção de cargas que provoquem afundamentos de tensão e transgressões, são dotadas de reforços significativos materializados por recondutoramentos, construção de novos alimentadores e substituição de equipamentos em subestações.

Para a realização de grandes obras, o fator tempo de execução, é o principal problema a ser enfrentado por concessionárias de distribuição e cliente, pois podem estender-se por meses, dependendo do porte do reforço e quantidade de desligamentos necessários para sua execução.

Outro fator que pode ser considerado na implantação do banco de capacitores controlado a tiristores (D-TCSC), frente a atenuar grandes obras, envolve questões que acabam tornando-o uma alternativa atrativa. Em casos de construção de novos alimentadores, além de critérios técnicos adotados para definição de seu traçado, tipo de condutor, postes etc, levam-se em consideração também permissões de passagem em seu percurso (que podem envolver tratativas com proprietários de espaços particulares ou permissionárias de faixa de servidão de rodovias). Tais fatores administrativos/burocráticos implicam em uma demora no atendimento da necessidade da concessionária ou cliente a ser atendido.

Outra dificuldade que a implantação do equipamento visa contornar, são as permissões de órgãos ambientais – especialmente em áreas rurais. Todo empreendimento que realize alguma interferência em vegetação ou áreas consideradas de proteção permanente, necessita de um licenciamento ambiental específico para sua execução. O mesmo é emitido após a análise do órgão responsável e estabelecimento de medidas de compensação ambiental – fator este que soma ao tempo de execução de um reforço de grande porte.

Para os casos onde o reforço caracterize-se em alterações em subestações, soma-se as prerrogativas acima descritas, a aquisição ou ampliação de área útil ocupada pela planta da S.E. Tal necessidade invariavelmente, é contornada através de aquisição de trechos de terra ou mesmo pagamento de aluguel (com contratos duradouros) para a expansão da estação rebaixadora.

5.6 DISPOSIÇÕES RELATIVAS A CONFORMIDADE DOS NÍVEIS DE TENSÃO

A Resolução 505 de 2001 da Agência Nacional de Energia Elétrica, estabelece patamares de faixas de tensão a serem respeitados, fator este que pode ser melhorado ou parametrizado em índices adequados de operação normal da rede de distribuição.

Fatores como menor índice de oscilação de tensão e aumento da qualidade de energia, apresentam-se como benefícios apresentados pelo equipamento no tocante do atendimento as diretrizes estabelecidas pela normatização.

Devido a disponibilidade acrescida ao sistema elétrico, bem como a não-necessidade de grandes obras de reforço no sistema de distribuição de energia elétrica, a conexão de novos consumidores (aqui considerados aqueles que possuam contratos de fornecimento acima de 75kW), poderá ser definida de modo mais ágil e rápido.

Tomando por base que a demanda a ser contratada pelas empresas, em determinadas situações, leva em consideração a disponibilidade de potência da rede de distribuição, observa-se que quanto maior sua capacidade disponível (oriunda da instalação do equipamento de compensação série), maior a probabilidade de acréscimos – por parte das empresas em potencial a serem conectadas – para determinarem um nível maior de demanda.

5.7 RETORNO DO INVESTIMENTO

Para as situações em análise neste projeto, podem ser considerados os tempos de retorno de cada uma das alternativas elencadas. Trata-se do cálculo do tempo de retorno que prevê um período em que o investimento inicial seria coberto, obtendo um retorno a partir daquele momento em diante.

Para viabilizar tal tempo de retorno, será necessário primeiramente uma simulação de aumento no faturamento oriundo da disponibilização de demanda, reflexo do aumento da transferência de potência provocada pelo equipamento em estudo.

Em uma outra situação, pode-se considerar como “retorno do investimento”, a postergação de dispêndio de valores fator este, que poderá viabilizar a implantação

deste tipo de equipamento de compensação série em redes de distribuição de energia elétrica.

5.8 BENEFÍCIOS NÃO MONETÁRIOS DO ESTUDO

Conforme demonstrado em tópicos anteriores, o equipamento de compensação série dinâmica proposto neste trabalho possui vantagens de âmbito técnico e financeiro. Porém uma outra abordagem, também poderá ser realizada quando se leva em consideração os benefícios que o mesmo poderá acarretar a imagem da organização.

Constantemente as concessionárias de distribuição de energia elétrica são submetidas a observatórios promovidos pelos órgãos reguladores (tanto em âmbito estadual quanto federal), e com determinada frequência passam por pesquisas de medição da satisfação de seus consumidores.

Algumas medições podem ser elencadas como a pesquisa ABRADEE e pesquisa IASC, ambas com intuito de aferir a qualidade dos serviços prestados (eficiência no restabelecimento, atendimento e qualidade do produto entregue) pela concessionária. Um bom resultado na publicação de tais índices de satisfação, além de melhoria de sua imagem perante aos diferentes públicos atendidos, poderá também reverter uma valorização mercadológica da organização.

5.9 ESTUDO DE CASO – MODELO ADOTADO POR UMA CONCESSIONÁRIA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Neste capítulo é apresentada a metodologia proposta para a verificação da viabilidade econômica da implantação de um dispositivo de compensação série a ser implantado em uma rede de distribuição de média tensão. A análise será realizado em função do investimento adiado, compensação financeira, impactos não-monetários e retornos com inserção de novos consumidores.

Também será abordado quesitos como melhorias em níveis de tensão que resultam em um menor número de reclamações de qualidade e como consequência menor número de multas por transgressão da faixa de grandezas.

Para a análise atual dos sistemas elétricos, foi necessário um levantamento de oportunidade de análise sob a vertente técnica e científica. Para atendimento a este requisito foi escolhido um problema pontual de uma concessionária, sob o aspecto da viabilidade econômica do compensador série (D-TCSC), em ponto automático de redes de distribuição.

Para a verificação da viabilidade econômica do capacitor série controlado a tiristor (D-TCSC), primeiramente foram designados para o estudo dois alimentadores com fontes diferentes, porém como características similares.

O estudo de caso foi desenvolvido em uma concessionária de distribuição de energia elétrica, onde foi elencado alimentadores que apresentem as melhores características para a implementação do compensador série eletronicamente controlado.

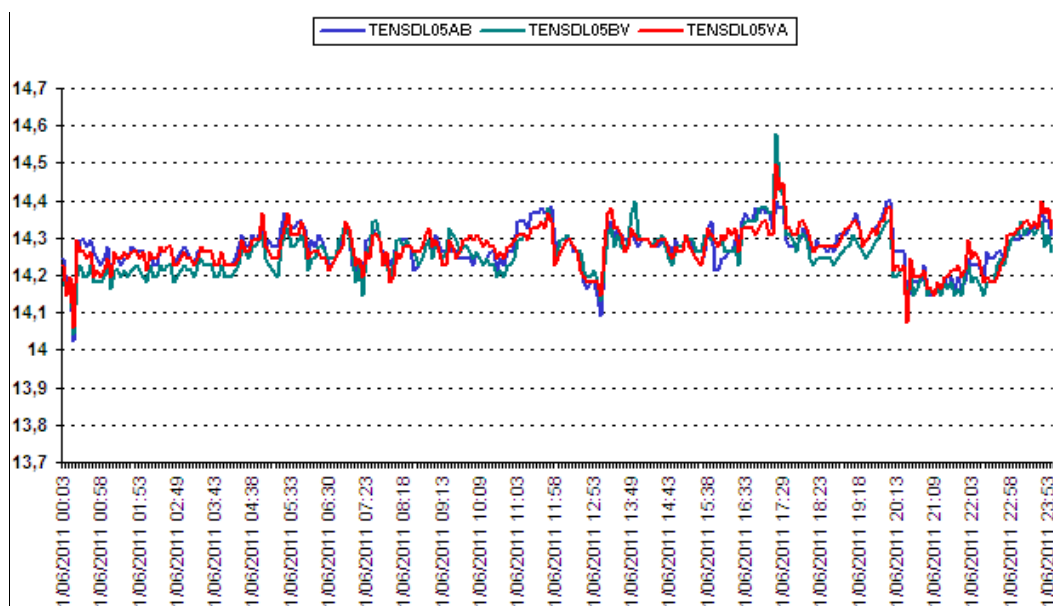
Os alimentadores utilizados para o estudo de caso, possuem algumas características de similaridade, caracterizando-se por:

- Apresentar histórico de reclamação de tensão em função da grande variação de demanda em um curto período de tempo imposto pelo processo produtivo de grandes clientes;
- Possuírem clientes com contrato de demanda significativo localizados a vários quilômetros da subestação;
- Relação R / XL menores que 1, quando possível;
- Possuírem grandes clientes localizados a jusante de um ou mais reguladores de tensão.

5.9.1 Caso: alimentador 01

O gráfico 01 apresenta o perfil de tensão aferida na subestação, considerando um período de 24 horas, evidenciando em quais períodos a tensão assume valores mínimos e máximos.

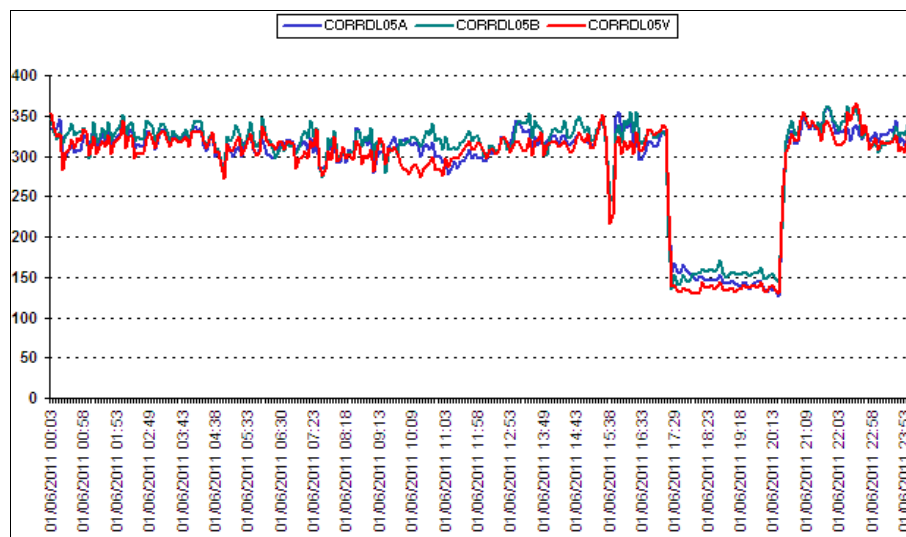
Gráfico 1 - Perfil da tensão na subestação (kV) no mês de junho de 2011



Fonte: Dados da pesquisa do autor

O gráfico 02 apresenta o perfil da corrente aferida na subestação, considerando um período de 24 horas, evidenciando em quais períodos a corrente assume valores máximos.

Gráfico 2 - Perfil da corrente na subestação no mês de junho de 2011



Fonte: Dados da pesquisa do autor

A figura 10 demonstra a configuração radial do alimentador 01 analisado nesta parte da pesquisa, evidenciando os equipamentos de compensação série (fixos) instalados no alimentador.

Figura 10-Diagrama unifilar do alimentador 01



Fonte: Dados da pesquisa do autor

O alimentador ilustrado na S/E de Andradina, apresenta as seguintes características:

- Distância do cliente à S/E: 17,80 km
- Cabo utilizado: 336,4 MCM CAA
- Distância do 1º banco de reguladores da S/E: 6,24 km
- Distância do 2º banco de reguladores da S/E: 12,77 km
- Distância do 1º banco de capacitores automático da S/E: 12,64 km
- Distância do 2º banco de capacitores automático da S/E: 17,07 km

- Ajuste dos bancos de capacitores automáticos: 13,6 a 14,2 kV
(temporização de 5 segundos para o 1º e de 10 segundos para o 2º).
- Ajuste das bancas de reguladores de tensão:
 - Tensão de referência: 14,145kV
 - Faixa de insensibilidade: 14,007 a 14,283 kV
 - Temporização: 1º Banco: 30 segundos
2º Banco: 45 segundos
- Demanda contratada pelo cliente: 7.620 kW (Fator de potência 0,92).
Demanda máxima registrada: 7494 kW.
- Cliente permanece com geradores em paralelo durante o horário de ponta para suprir parte da demanda contratada.

5.9.1.1 Comparativo entre a robustez e flexibilização

Considerando a opção de instalação de um equipamento de compensação dinâmico controlado a tiristores – neste caso utilizando como proposta o TCSC – os valores a serem imobilizados no patrimônio são aproximadamente R\$ 520.000,00 em valores atuais. A rapidez de execução – compreendendo um período inferior a 90 dias entre cotação de materiais junto ao fornecedor e sua execução física – apresentam-se como fatores decisivos para a análise de sua implantação frente a uma alternativa de grande porte.

Em confronto com as oportunidades de aumento da robustez dos alimentadores estudados neste trabalho frente a opção de substituição de condutores, o seu tempo de imobilização em sua base de cômputo para remuneração de ativos seria significativamente maior.

No caso do alimentador 01, o tempo de execução do empreendimento - considerando a substituição de condutores em 17,8km de rede primária, a um custo médio de R\$858.639,39 - poderá ser executada em um prazo compreendido entre 6 a 9 meses.

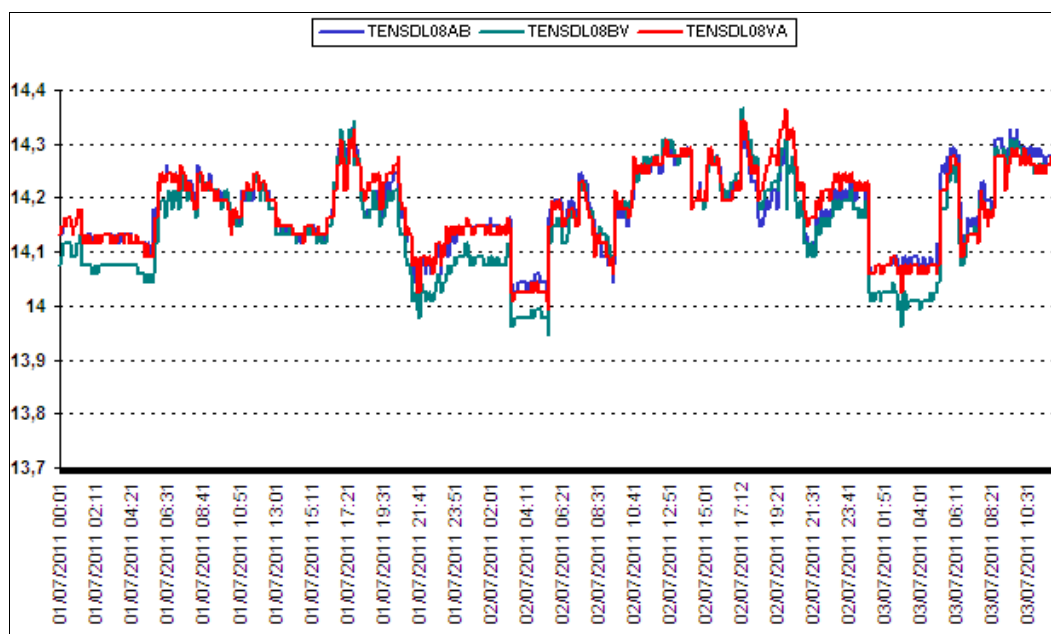
5.9.1.2 Retorno do Investimento para o Capital Aplicado

Tomando-se por base a premissa de cômputo do retorno do investimento, pode-se concluir que o retorno do investimento se dá na análise do alimentador 01, onde os valores de materiais recuperados superam os custos de investimento inicial da implantação do equipamento de compensação dinâmico D-TCSC. O retorno se dá em prazo inferior a 1 ano, portanto considerado viável sob a análise do montante de materiais reaproveitados em outros pontos do sistema de distribuição. Para este caso, por trata-se de alimentador exclusivo – não permitindo a inserção de novos consumidores – a vertente entrada de caixa com a inserção de novos consumidores não foi objeto de estudo.

5.9.2 Caso :alimentador 02

O gráfico 03, demonstra um perfil de tensão influenciada pela entrada e saídas de carga do principal cliente conectado neste alimentado. O nível de tensão diminui no período da madrugada fruto da inserção dos motores da irrigação.

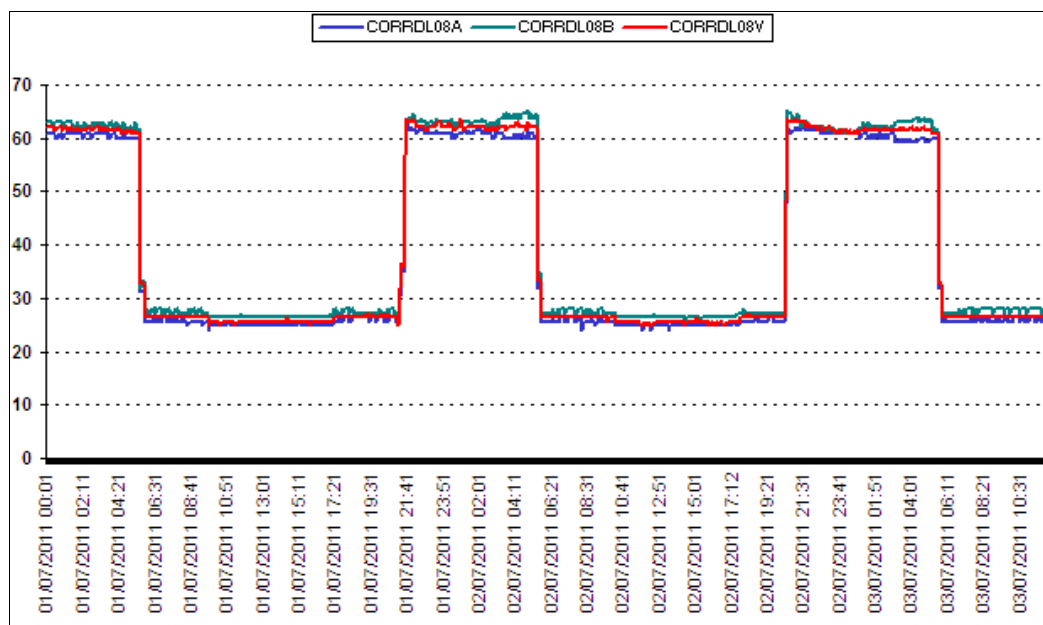
Gráfico 3-Perfil da tensão na subestação (kV) no mês de julho de 2011



Fonte: Dados da pesquisa do autor

O gráfico 04, apresenta um perfil típico da corrente circulante pelo alimentador tomando-se por base medições efetuadas na Subestação rebaixadora do alimentador.

Gráfico 4-Perfil da corrente na subestação no mês de julho de 2011



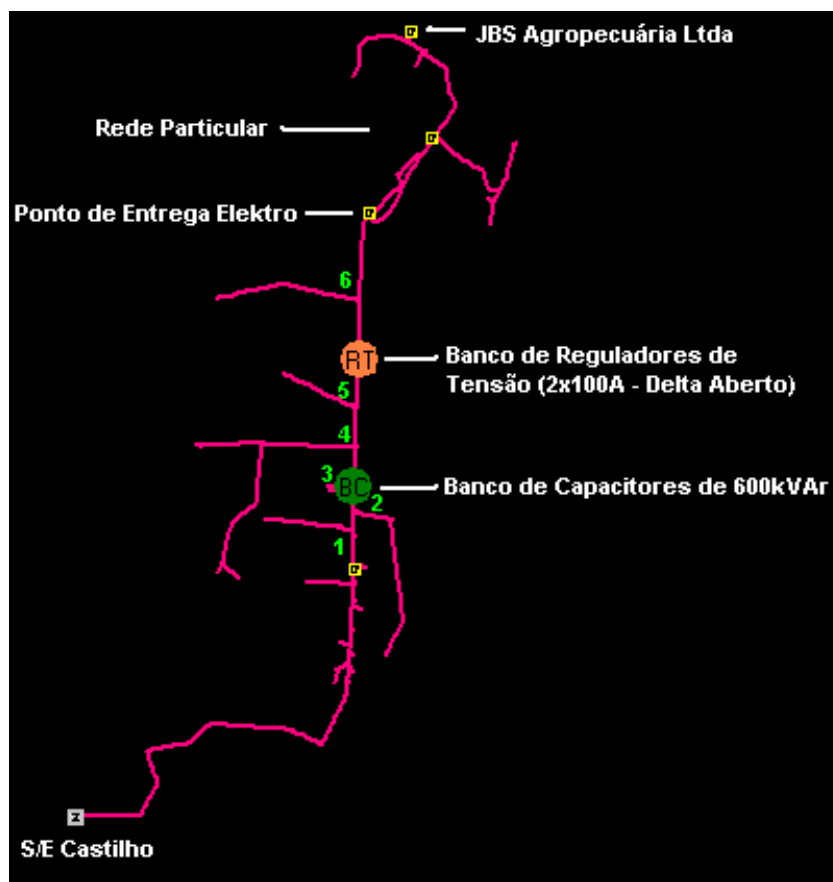
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Em seu demonstrativo, pode-se analisar um afundamento (declínio) dos valores de corrente em períodos diurnos e seu restabelecimento no período noturno. Em seu ponto final, existe um grande cliente acoplado que possui como característica de carga de irrigações efetuadas no período da madrugada. Tal inserção dos equipamentos de recalque e irrigação, não afeta significativamente o perfil de corrente demonstrado pelo alimentador em estudo.

A seguir é demonstrada uma representação unifilar com seus principais componentes e equipamentos pertencentes ao alimentador 02.

A figura 11 apresenta uma representação unifilar do alimentador 02, ao qual representa (sem escala) pontos de acoplamento das cargas (cabine de medição e proteção do cliente), bem como o ponto de instalação das cargas que é caracterizados pelas bombas de recalque utilizadas para a irrigação do cliente.

Figura 11-Diagrama unifilar do alimentador 02



Fonte: Dados da pesquisa do autor

A figura 12, representa o comprimento do alimentador estudado no caso 02, onde também pode ser verificado suas trocas de cabos no decorrer de seu trecho.

Figura 12-Comprimento do alimentador 02



Fonte: Dados da pesquisa do autor

- Distância do principal cliente (JBS Agropecuária) à S/E: 22,65 km
- Distância do banco de reguladores da S/E: 14,58 km
- Distância do banco de capacitores (fixo) da S/E: 12,05 km
- Ajuste do banco de reguladores de tensão:
 - Tensão de referência: 14,145kV
 - Faixa de insensibilidade: 13,977 à 14,315 kV
 - Temporização: 45 segundos
- Carga declarada do principal cliente conectado: 1,17 MW.

A seguir são apresentadas as tabelas de 4 a 9 onde contém as principais demandas do alimentador distribuídas por ramais:

Tabela 4-Demanda/Comprimento do ramal chave 00419

Período	kW	kvar
Madrugada (0 às 6 horas)	0,44	0,14
Manhã (6 às 12 horas)	0,71	0,23
Tarde (12 às 17 horas)	0,75	0,25
Noite (17 às 0 hora)	1,23	0,10
Distância da S/E:	11,12 km	

Fonte: Dados da pesquisa do autor

O ramal da chave 419, apresenta uma extensão de aproximadamente 11km, ao qual demonstra uma demanda mais acentuada no período que compreende horários normais de pico de consumo, reflexo de uma característica rural (baixa tensão) e trechos denominados como urbanos (baixa tensão).

O ramal é construído em sua extensão de cabo 4CAA, e possui 02 clientes conectados em sua extensão, sendo todos de característica rural.

Tabela 5-Demanda/Comprimento do ramal chave 01641

Período	kW	kvar
Madrugada (0 às 6 horas)	2,88	0,95
Manhã (6 às 12 horas)	4,22	1,39
Tarde (12 às 17 horas)	3,82	1,25
Noite (17 às 0 hora)	6,76	2,22
Distância da S/E:	11,49 km	

Fonte: Dados da pesquisa do autor

O ramal da chave 1641, possui uma extensão de 11 quilômetros e uma demanda de pico em nas últimas horas (períodos) do dia. Trata-se de um equipamento de proteção de um assentamento de produtores rurais de pequeno porte. Nota-se que apesar das características de produção se concentrarem no período diurno, a maior concentração de cargas está localizada no período noturno em horário de pico.

O ramal é construído em sua extensão de arame 3,09 CAZ, e possui 21 clientes conectados em sua extensão, sendo desses todos de característica rural.

Tabela 6-Demanda/Comprimento do ramal chave 01473

Período	kW	kvar
Madrugada (0 às 6 horas)	0,63	0,21
Manhã (6 às 12 horas)	1,90	0,62
Tarde (12 às 17 horas)	1,88	0,62
Noite (17 às 0 hora)	2,07	0,68
Distância da S/E:	11,92 km	

Fonte: Dados da pesquisa do autor

Analisando-se os valores consumidos nos diferentes períodos do dia, pode-se concluir uma baixa variação entre os valores apresentados. Tal característica é fruto de um consumo constante nos diferentes períodos do dia oriundo de uma classe de consumo específica.

O ramal é construído em sua extensão de cabo 4CAA, e possui 02 clientes conectados em sua extensão, sendo desse total, 01 comercial e 01 técnico (torre de celular).

Tabela 7-Demanda/Comprimento do ramal chave 00421

Período	kW	kvar
Madrugada (0 às 6 horas)	12,46	4,09
Manhã (6 às 12 horas)	18,18	5,97
Tarde (12 às 17 horas)	21,17	6,96
Noite (17 às 0 hora)	22,90	7,52
Distância da S/E:	12,83 km	

Fonte: Dados da pesquisa do autor

O ramal 421, demonstra uma característica de baixa variação no consumo em três dos quatro períodos estudados, refletindo uma característica específica de consumidores alocados neste trecho.

O ramal é construído em sua extensão de cabo 4CAA, e possui 06 clientes conectados em sua extensão, sendo todos rurais. A potência nominal (potência aparente) atendida pelo ramal em questão é de 145kVA.

Tabela 8-Demanda/Comprimento do ramal chave 00423

Período	kW	kvar
Madrugada (0 às 6 horas)	1,50	0,49
Manhã (6 às 12 horas)	4,25	1,40
Tarde (12 às 17 horas)	4,08	1,34
Noite (17 às 0 hora)	2,87	0,94
Distância da S/E:	13,63 km	

Fonte: Dados da pesquisa do autor

A característica do ramal 423, pode ser definida como uma concentração de maior consumo nos períodos diurnos, fator este influenciado pela característica das cargas conectadas na rede de distribuição.

O ramal é construído em sua extensão de cabo 4CAA, e possui 02 clientes conectados em sua extensão, sendo todos de característica comercial.

Tabela 9-Demanda/Comprimento do ramal chave CST00426

Período	kW	kvar
Madrugada (0 às 6 horas)	1,60	0,53
Manhã (6 às 12 horas)	2,81	0,92
Tarde (12 às 17 horas)	3,16	1,04
Noite (17 às 0 hora)	3,41	1,12
Distância da S/E:	15,84 km	

Fonte: Dados da pesquisa do autor

O ramal apresenta uma característica de maior consumo no período final do dia, demonstrando uma demanda mais acentuada devido ao horário de pico.

O ramal é construído em sua extensão de cabo 4CAA, e possui 01 cliente conectados em sua extensão, sendo de característica rural.

5.9.2.1 Comparativo entre a robustez e flexibilização

Adotando-se os mesmos parâmetros de análise do alimentador estudado no caso 01 e confrontando os valores apresentados para o compensador controlado dinamicamente, foi realizado um comparativo entre as opções de robustez e flexibilidade.

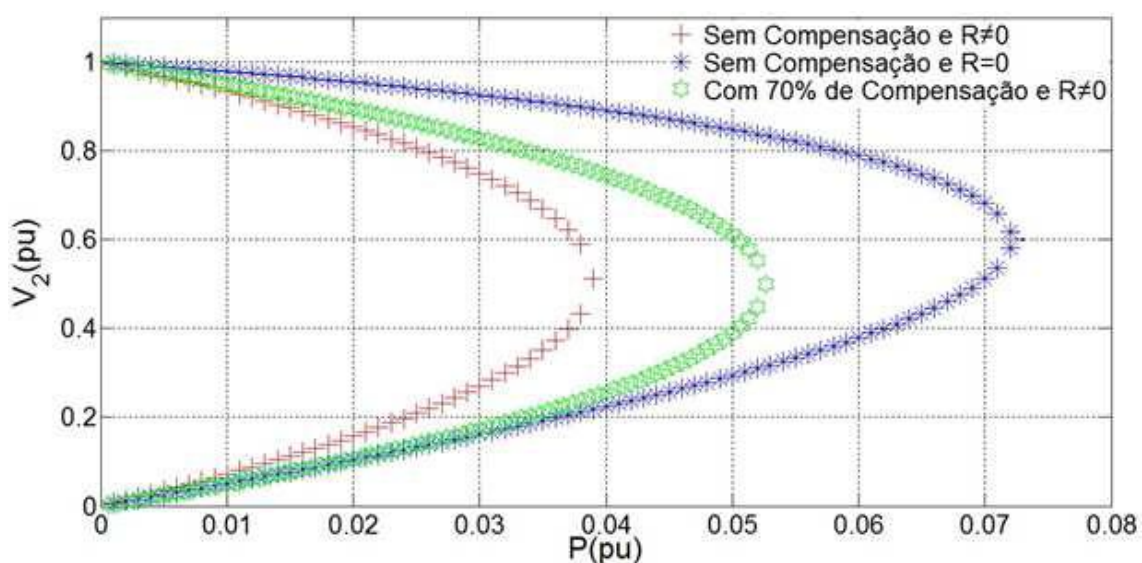
Adotando os mesmos parâmetros para o alimentador 02, o tempo de execução do empreendimento (considerando a substituição de condutores em 22,65 km de rede primária, a um custo médio de R\$ 1.090.594,55), poderá ser executada em um prazo compreendido entre 7 e 10 meses.

5.9.2.2 Disponibilidade de potência com a inserção do compensador dinâmico

Tomando por base os valores de simulações previamente realizadas, pode-se constatar um aumento na disponibilidade de potência com a inserção do compensador. Os valores apresentados abaixo são fruto da simulação da entrada do compensador no alimentador 02, conforme exposto na caracterização da pesquisa.

Os dados são retratados na figura 13 a seguir:

Figura 13-Curva PxV para o sistema de distribuição objeto de estudo



Fonte: Almeida (2014)

Conforme demonstrado na curva de compensação, com a inserção do compensador série dinâmico houve um aumento da disponibilidade de potência ativa na rede de distribuição estudada.

A curva PXV expressa o aumento da capacidade de transferência de potência no alimentador 02.

Os valores apresentados pela curva demonstra os seguintes valores:

- 0,0532 pu – com a inserção da compensação dinâmica;
- 0,03895 pu – sem a inserção da compensação dinâmica;

Pode-se constatar um aumento 36,5% na capacidade de transferência de potência após a implantação do equipamento.

De acordo com os dados obtidos através do estudo do alimentador, tem-se os seguintes valores para cálculo da potência:

- Corrente máxima admissível 523A
- Tensão 13800V
- Fator de potência típico 0,92

Os resultados da combinação dos dados apresentados demonstram (sem compensação) uma disponibilidade máxima do alimentador 02 de 1,150MW.

Aplicando o valor obtido com a compensação demonstrada na curva PXV (figura 11), é demonstrado um acréscimo na disponibilidade de transferência de potência de 419 kW. Portanto a disponibilidade total do presente alimentador poderá chegar até 1,569MW.

A seguir serão apresentados os indicadores financeiros obtidos a partir dos valores de potência ativa acrescidos com a inserção do compensador. Tal análise tem por objetivo justificar a implantação do equipamento de compensação dinâmica D-TCSC.

5.9.2.3 Retorno do investimento para o capital aplicado

O retorno de investimento não apresenta valores positivos em uma perspectiva de curto prazo quando se realiza a análise no alimentador 02. Os custos de implantação do equipamento superam os valores de materiais recuperados do presente alimentador. A presente análise pode ser incrementada como fluxos de caixa adicionais, uma vez que devido ao aumento de 36,5% na disponibilidade de entrega e transferência de potência, os valores oriundos de conexão de novos consumidores devem ser considerados.

A seguir serão apresentados os valores das simulações de entradas de caixa oriundas da disponibilidade de potência provocada pelo equipamento bem como seu confronto com diferentes tarifas e modalidades tarifárias.

5.9.2.4 Fluxo de caixa

O objetivo básico do Fluxo de Caixa Planejado é o de projetar as entradas e saídas de recursos financeiros, num determinado período, avaliando a necessidade de captar recursos ou aplicar os excedentes de caixa.

Prevendo a implantação do equipamento de compensação série em redes elétricas de distribuição em tensão de 13,8kV, a disponibilidade de caixa poderá ser verificada pela não realização de grandes aportes de capital em investimentos de redes de distribuição.

Outro fator que pode ser levado em consideração, é o aumento da perspectivas de entradas de caixa, oriundas da maior disponibilidade de potência ativa e consequentemente maior capacidade de acréscimo de novos consumidores. Os valores de retorno de investimento são apresentados nas tabelas de 10 a 13.

Para as devidas análises foram considerados valores de demanda para o horário de ponta, abrangendo as modalidades convencional, verde e azul.

Para a modalidade convencional, pode-se aplicar os seguintes parâmetros:

- (DD) Disponibilidade de demanda 419kW
- (VA) Valores a serem aplicados sobre a demanda: 26,99
- (VC) Valor a ser aplicado sobre o consumo: 0,14879
- (TH) Tempo em horas: 8 horas
- (TD) Tempo em dias: 22 dias no mês
- VD – Valor da disponibilidade
- VP – Valor pago pelo consumo

Para o efetivo cálculo desta modalidade, os valores mensais são:

$$VD = DD \times VA = R\$11.308,81$$

$$VP = DD \times TH \times TD \times VC = R\$ 10.972,36$$

Tabela 10-Valores de entradas de caixa para a modalidade convencional

Anos	Entradas de Caixa Acumuladas
0	(R\$ 521.000,00)
1	R\$267.374,04
2	R\$ 534.748,08

Fonte: Dados da pesquisa do autor

A tabela 10 representa no momento 0 o valor do investimento inicial na aplicação do equipamento. O ano 1 apresenta o somatório dos valores de disponibilidade e consumo a serem pagos pelos clientes no período de 01 ano. Os valores considerados no momento 0 são fruto dos custos de projeto.

Pode-se concluir que os valores despendidos para aquisição e implantação do compensador série TCSC – desconsiderando os valores dos equipamentos retirados e reaproveitados na rede elétrica – frente a possibilidade de entradas de caixa com a disponibilidade de potência, verifica-se que o equipamento pode obter seu valores inicial restituído em um prazo inferior a 02 anos.

Para a modalidade verde, pode-se aplicar os seguintes parâmetros:

- (DD) Disponibilidade de demanda 419kw
- (VA) Valores a serem aplicados sobre a demanda: 8,49
- (VC) Valor a ser aplicado sobre o consumo: 0,14142
- (TH) Tempo em horas: 8 horas
- (TD) Tempo em dias: 22 dias no mês
- VD – Valor da disponibilidade
- VP – Valor pago pelo consumo

Para o efetivo cálculo desta modalidade, os valores mensais são:

$$VD = DD \times VA = R\$ 3.557,31$$

$$VP = DD \times TH \times TD \times VC = R\$ 10.428,87$$

Tabela 11-Valores de entradas de caixa para a modalidade verde

Anos	Entradas de Caixa Acumuladas
0	(R\$ 521.000,00)
1	R\$ 167.834,16
2	R\$ 335.668,32
3	R\$ 503.502,48
4	R\$ 671.336,64

Fonte: Dados da pesquisa do autor

Nesta etapa da análise são verificados que os valores despendidos para aquisição e implantação do compensador série D-TCSC – desconsiderando os valores dos equipamentos retirados e reaproveitados na rede elétrica – frente a possibilidade de entradas de caixa com a disponibilidade de potência, verifica-se que o equipamento pode obter seu valores inicial restituído em um prazo inferior a 04 anos.

Para a modalidade azul, pode-se aplicar os seguintes parâmetros:

- (DD) Disponibilidade de demanda 419kW
- (VA) Valores a serem aplicados sobre a demanda: 8,59
- (VC) Valor a ser aplicado sobre o consumo: 0,14142
- (TH) Tempo: 8 horas
- (TD) Tempo em dias: 22 dias no mês
- VD – Valor da disponibilidade
- VP – Valor pago pelo consumo

$$VD = DD \times VA = R\$ 2.342,21$$

$$VP = DD \times TH \times TD \times VC = R\$ 10.428,87$$

Tabela 12-Valores de entradas de caixa para a modalidade azul

Anos	Entradas de Caixa Acumuladas
0	(R\$ 521.000,00)
1	R\$ 153.252,96
2	R\$ 306.505,92
3	R\$ 459.758,88
4	R\$ 613.011,84

Fonte: Dados da pesquisa do autor

Para a modalidade azul, os valores despendidos para aquisição e implantação do compensador série D-TCSC – desconsiderando os valores dos equipamentos retirados e reaproveitados na rede elétrica – frente a possibilidade de entradas de caixa com a disponibilidade de potência, verifica-se que o equipamento pode obter seu valores inicial restituído em um prazo inferior a 04 anos.

Todas as simulações executadas anteriormente fazem referência a tarifas pertencentes ao grupo tarifário A, ou seja, detentores de contratos específicos de demanda.

Porém buscou-se também uma identificação de simulação de entradas de caixa com o acréscimo desta demanda inserida através de clientes oriundos do grupo tarifário B.

Para o grupo tarifário B, pode-se aplicar os seguintes parâmetros:

- (DD) Disponibilidade de demanda 419kW
- (VC) Valor a ser aplicado sobre o consumo: 0,42
- (TH) Tempo: 8 horas
- (TD) Tempo em dias: 22 dias no mês
- VP – Valor pago pelo consumo

$$VP = DD \times TH \times TD \times VC = R\$ 30.972,48$$

Tabela 13-Valores de entradas de caixa para o grupo tarifário B

Anos	Entradas de Caixa Acumuladas
0	(R\$ 521.000,00)
1	R\$ 371.669,76
2	R\$ 743.339,52

Fonte: Dados da pesquisa do autor

Na análise do fluxo de caixa do grupo tarifário B, que os valores despendidos para aquisição e implantação do compensador série D-TCSC – desconsiderando os valores dos equipamentos retirados e reaproveitados na rede elétrica – frente a possibilidade de entradas de caixa com a disponibilidade de potência, verifica-se que o equipamento pode obter seu valores inicial restituído em um prazo inferior a 02 anos.

Em uma análise mais setorizada da possibilidade de inserção de consumidores oriundos do grupo tarifário B, e considerando uma demanda média de 5kW por consumidor rural de pequeno porte inserido, a disponibilidade se desdobra para um acréscimo de 83 novos consumidores de pequeno porte ao alimentador objeto de estudo.

5.9.2.5 Viabilização de contingência

Conceitualmente, uma contingência pode ser caracterizada como uma disponibilidade de algum elemento do sistema elétrico, devido a sua abrupta saída de operação, ou sua saída em casos pontuais por desligamentos programados.

Neste contexto, havendo uma disponibilidade de um sistema elétrico, pode ser possível algumas funções:

- Executar manobras para que o fornecimento seja restabelecido, total ou parcialmente, analisando a possibilidade do sistema operar com qualidade aceitável durante o período através do método alternativo.

- Toda viabilidade de remanejamento de cargas varia em função de seu tipo e duração. Há também uma observação constante se há possibilidade de transferência de cargas para outro alimentador, seja ele de fonte semelhante ou diferente, se os níveis de tensão manterão limites adequados ao serviço.

Nesta análise, são considerados alguns fatores determinantes ao sucesso da implantação da medida alternativa, tais como, alimentação múltipla de subestações,

arranjo das unidades rebaixadoras no que diz respeito a existência de transformadores reserva, adequações de barra de transferência, carregamento médio dos alimentadores e interligação entre alimentadores de uma mesma subestação ou de diferentes.

Analisando a necessidade imposta as redes de distribuição e devido a necessidade de manutenção de indicadores regulados pela ANEEL, os preceitos de interrupção passaram a ser objeto de estudo das concessionárias de energia elétrica. Para isso, propostas de operacionalização de redes aparecem como forma de atenuar o tempo das interrupções programadas ou não-programadas no sistema elétrico.

A viabilidade da interligação visa atender o auxílio no restabelecimento em caso de atendimento a emergência ou situação programada dando maior flexibilidade ao processo de manobra.

O condicionamento de manobras entre os alimentadores, pode ser ocasionado por uma diversidade de fatores a serem elencados, quando se é verificada uma condição de interligação por redes diferentes.

Tal gargalo ou restrição, pode ser ocasionada pelos seguintes fatores: alimentadores expressos (destinados a atendimento a um determinado cliente) com interligação a alimentação e que atende diferentes tipos de cargas, sendo elas residenciais rurais.

A impossibilidade de manobra nesta condição, se materializa pela existência de contratos de demandas (com altas contratações em termos de modalidade tarifária), conectados a rede elétrica de distribuição, na qual torna-se inviável sua alteração de alimentação. Para determinados casos em particular, a existência de grupos geradores pode ser verificada, porém na maioria das situações, suas condições de atendimento (potência aparente) não é suficiente para atendimento a demanda plena contratada.

Na maior parte dos casos, tal necessidade de manobras no sistema elétrico são derivadas de manutenções programadas que visam atender ao plano anual de ações preventivas das companhias de energia elétrica. Tal plano é contemplado por metas traduzidas em quilômetros de redes. Tal destinação dos recursos, leva em conta índices de desligamento e histórico de redes com manutenções mais antigas.

Em seu critério de planejamento, a concessionária busca sempre atender a parâmetros técnicos, com no mínimo duas interligações entre dois alimentadores de uma mesma subestação, tendo as seguintes características: 1) proximidades da S/E - 2) adoção de ponto intermediário.

Para os casos de ramais (derivações com cargas de caráter menor do que o tronco), as interligações poderão ser propostas levando-se em conta: 1) Ganhos Operacionais e Investimento – 2) Característica da carga.

Os benefícios operacionais da viabilidade de interligação podem ser representados em um aumento de clientes cobertos pelo contingenciamento, possibilidade de desligamentos para manutenções preventivas, redução do tempo médio de atendimento e decréscimo dos índices e CHI - Cliente Hora Interrompido.

Visto esta necessidade, o dispositivo de compensação série dinâmico atuaria como um fator atenuante a determinadas restrições, amortecendo assim, o impacto da restrição de modo completo ou parcial de determinadas cargas distribuídas em blocos.

Para este caso, o custo atrelado ao proposto caracteriza-se somente pelo custo de implantação do compensador série, uma vez que o ponto de manobra (chave de manobra) já existe fisicamente.

No caso estudado do alimentador 02, existe uma restrição de manobra por outro alimentador (pertencente ao mesmo conjunto elétrico), impossibilitando uma transferência integral de cargas para sua contingência (alimentador X).

Para que tal manobra possa ser efetuada, o principal cliente interligado ao alimentador 02 deverá ser desconectado.

De acordo com os dados fornecidos pela curva PXV, a inserção do compensador proporciona um aumento de 419KW na capacidade de transferência de potência da rede de distribuição estudada (alimentador 02). Em contraste com a carga instalada do cliente 1,17mW, proporcionará uma diminuição da restrição operativa em torno de 36%.

Tais valores podem significar apenas uma carga do cliente, onde o mesmo em um momento de ausência de tensão em sua fonte de alimentação principal, poderá operar parcialmente por uma fonte alternativa.

5.9.2.6 Equipamento de transferência automática de cargas

A constante busca pela minimização de desligamentos acidentais ou tempo da ausência da disponibilidade das redes de distribuição, faz com que as concessionárias busquem equipamentos ou metodologias para que as intervenções no sistema elétrico sejam o mais automatizada possível.

A instalação do banco de capacitores controlado a tiristores pode proporcionar (através da alteração que o mesmo provoca nos parâmetros da rede de distribuição) a viabilidade de instalação de equipamentos de transferência automática e setorizada de carga – *self healing*.

A viabilidade de instalação de equipamentos que possibilitem a transferência de carga, pode concretizar-se como fator atenuador dos indicadores de continuidade do fornecimento de energia elétrica o DEC e FEC. Tais valores devem permanecer em patamares estabelecidos pela ANEEL, que preconiza seu índices como os mais baixos possíveis. As concessionárias concentram-se em efetuar o uso de tais indicadores no desenvolvimento de manutenções programadas, e buscam diminuir sua utilização em interrupções não programadas e acidentais.

O DEC (Duração Equivalente por Unidade Consumidora) pode ser calculado através do intervalo de tempo que em média cada consumidor do conjunto elétrico ficou privado de fornecimento com tempo superior a 03 minutos.

O FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) pode ser calculado através do número médio de interrupções que os consumidores de um determinado conjunto sofreram com tempo superior a 03 minutos.

Com transferências automáticas de carga oriundas de equipamentos de remanejamento automático, possibilitadas pela instalação do banco de capacitores controlado a tiristores, pode ser analisado como uma alternativa que demonstra bons resultados na minimização do impacto das interrupções no sistema de distribuição.

Buscando avaliar a viabilidade sob a vertente dos valores de investimentos iniciais e retornos sobre o caixa e ativo, buscou-se analisar as condições que apresentam aspectos favoráveis (sob o ponto de vista financeiro) para a implantação do equipamento.

A busca pela verificação de fatores que oneram o caixa da organização, foram fatores presentes na análise bem como a perspectiva de retorno que patrocinadores de projeto ou acionista, buscam obter.

De acordo com o estudo realizado, pode-se constatar que a viabilidade de implantação de equipamentos de transferência automática de cargas somente será possível restringindo em 36% a carga do principal cliente conectado ao alimentador 02.

5.10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, buscou-se averiguar através dos casos estudados a viabilidade econômica da implantação do equipamento de compensação série D-TCSC em redes de distribuição de energia elétrica em tensão 13,8kV.

Em todos os cenários estudados o equipamento de compensação série demonstrou fornecer um retorno adequado para a companhia, uma vez que seus custos de implantação frente ao retorno proporcionado por seus benefícios, provarem-se adequados para análises de retorno de investimento.

Pode-se destacar primeiramente a postergação de investimento em subestações rebaixadoras, uma vez que seus custos de implantação demonstraram-se elevados e as intervenções logísticas e operacionais para aumento de robustez de alimentadores determinariam grande tempo para sua conclusão.

Outro fator que pode ser elencado como justificativa para inserção do equipamento de compensação série em redes de distribuição é o reaproveitamento dos equipamentos atualmente instalados nas redes de distribuição estudadas. Conforme demonstrado no alimentador 01, com a inserção do compensador série D-TCSC os equipamentos de compensação shunt existentes podem ser retirados, o que poderá promover um adiamento de investimento neste tipo de equipamento, uma vez que os mesmos poderão ser reaproveitados em outros pontos do sistema elétrico conforme demandas futuras.

Para uma análise de caixa mais apurada, foi realizada uma comparação entre o aumento da disponibilidade de potência provocada pela inserção do compensador, bem como sua prospecção de entradas de caixa provocada pelo aumento da disponibilidade. De acordo com os cenários estudados (grupos tarifários A e B), os mesmos apresentaram retorno do investimento em prazos adequados, com datas não maiores do que 4 anos.

Outra grande preocupação das concessionárias é a promoção de vias de manobra ou contingência para proporcionar o restabelecimento da energia quando a fonte principal não pode ser religada rapidamente. Conforme demonstrado no estudo de caso, o alimentador 02, possui uma restrição operativa não podendo ser manobrado por outro ponto sem a desconexão das cargas do principal cliente conectado neste sistema. O compensador série pode proporcionar apenas uma restrição ao montante de cargas do mesmo, proporcionando uma disponibilidade (com o sistema manobrado pela fonte alternativa) de 36% para permanência em operações.

6 CONCLUSÃO

Em referência ao objetivo do trabalho o qual propusera estudar viabilidade econômica para implantação do banco de capacitores controlado a tiristores em redes de distribuição, bem como sua noção de estratégia na condução da implantação da proposta, pode se verificar os seguintes aspectos a serem mencionados.

Na observação dos quesitos de necessidade de novos modelos de gerenciamento das redes elétricas de distribuição, verifica-se uma baixa utilização do conceito de compensadores FACDS em redes de distribuição, bem como sua ausência no planejamento para inserção de novos consumidores.

Observou-se a partir da discussão teórica a questão estratégica da implantação de redes elétricas inteligentes, subsidiada neste caso, pelo banco de capacitores controlado a tiristores, pode-se notar a clara necessidade do aumento de competitividade, buscando melhorar suas tecnologias e consequente atendimento de seus clientes de forma mais ágil e dinâmica.

Neste contexto, os equipamentos de compensação série que se destinam a aumentar a capacidade de transferência de potência das redes elétricas, demonstraram sua evolução histórica tanto em aspectos construtivos, ou mesmo nos aspectos de eficiência no atendimento às reais necessidades de demanda. Outro fator a ser destacado, é a evolução das necessidades dos consumidores finais, servirem de base e estímulo para aperfeiçoamento dos equipamentos destinados a flexibilizar o sistema elétrico.

Outro ponto a ser destacado como aspecto evolutivo dos FACDS, foi sua aplicação em redes de distribuição de energia elétrica, devido ao olhar mais crítico sobre os investimentos em expansão, adaptação às características do sistema a ser instalado, bem como a impopularidade em desligamentos contínuos visando a execução grandes reforços.

Correlacionado a utilização dos dispositivos FACDS, são analisadas também, questões pertinentes a qualidade no fornecimento de energia elétrica, suas premissas e formas de manutenção e regulamentação. Fator primordial que desencadeia as ações

para continuidade dos aspectos qualitativos relativos ao fornecimento. Atrélado ao uso dos dispositivos supracitados, verifica-se uma necessidade cada vez mais acentuada de se analisar aspectos de execução de reforços de grande monta no sistema elétrico, ou buscar ferramentas para postergação de implantações de grande porte, através da implantação de equipamentos de mitigação dos efeitos de crescimento vegetativo de cargas ou mesmo novas inserções.

Todas as implantações ou utilização de novas metodologias, são regulamentadas por aspectos legais e normativos, os quais são discutidos de modo a oferecer suporte as ações das distribuidoras de energia elétrica.

Os mecanismos de implantação de dispositivos de compensação série, ou mesmo seus aspectos correlacionados as redes elétricas inteligentes, são verificados como necessários para garantir o atendimento das necessidades reais e em constante mutação dos consumidores conectados na rede elétrica.

Todas as ferramentas e metodologias de estudo - viabilidade e implantação de equipamentos de compensação série - são verificados sob a vertente da viabilidade econômica do equipamento. Dentre as vertentes analisadas, pode-se concluir que os equipamentos estudados neste trabalho, apresentam aceitação em amplos aspectos analisados pelas concessionárias de distribuição.

Dentre os pontos principais a serem elencados como viáveis, pode ser destacado o baixo tempo de implantação do equipamento visto seus aspectos construtivos, tempo de realização bem como menor número de recursos alocados para sua construção.

Dentre os fatores de destaque neste trabalho, também são levados em consideração os aspectos relativos a imobilização dos ativos junto ao cadastro das concessionárias. Esta imobilização reflete em uma base congelada informada periodicamente a ANEEL, que serve de subsídio para reajustes das tarifas e repasses de recursos para as concessionárias.

Em sequência aos procedimentos regulatórios pertinentes ao reajuste tarifário, pode ser observados outros indicadores que analisam a qualidade no fornecimento, no que se refere a frequência e continuidade de interrupções programadas para execução de obras no sistema elétrico de potência. Tal vertente ganha cada vez mais proporção uma vez que o sistema é interligado, apresenta diversas restrições de manobras e

sobreposição de alimentadores, o que faz com que restrições de fornecimento a determinados blocos de carga sejam cada vez mais frequentes.

Tais restrições também poderão ser amenizadas com a aplicação do equipamento em pontos estratégicos da rede de distribuição, de modo que viabilizem a manobra por pontos de interligação que promovam sua utilização no remanejamento de cargas.

O retorno do investimento quanto a utilização dos equipamentos de compensação série, são observados na análise comparativa de execução de reenergizações em redes de distribuição e subestações rebaixadoras. O aumento da transferência de potência das redes de distribuição, viabilizariam a curto prazo, inserção de novos clientes sem necessidade do tempo de execução do reforço na rede de distribuição.

A idéia da existência de limitações do estudo, parte do princípio da escassez de estudos similares que abordam o referido assunto, limitando assim, a base de consulta e análise de dados.

Conforme demonstrado neste estudo, foi pesquisado somente a empresa distribuidora de energia elétrica sob o aspecto de dois alimentadores, o que gera um grande montante de informações a ser analisado. Porém considerando o setor de distribuição de energia elétrica, seria interessante a realização de estudos sobre em demais concessionárias de distribuição, gerando assim pluralidade na análise de dados em diferentes cenários.

A sugestão é devida a uma repleta gama de alimentadores de distribuição com diferentes características e classes de consumidores.

Em uma outra vertente, um estudo sobre inserção de perdas no sistema provocada pela implantação do equipamento de compensação, bem como sua diminuição pela redução da impedância global da rede, serviriam de complemento para a viabilidade econômica.

Para se obter resultados com um grau ainda maior de consolidação, será interessante uma pesquisa no aspecto quantitativo de caráter mais robusto e com amostras estatisticamente representativas a fim de se criar uma maior abrangência para o estudo.

As análises desse trabalho foram realizadas com observações de cunho teórico e condições analíticas temporais, portanto para trabalho futuros, sugere-se sua avaliação pós implantação do equipamento e seu retorno quanto aos aspectos tarifários.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA NETE, B. et al. **Redes elétricas inteligentes no Brasil: análise de custos e benefícios de um plano nacional de implantação**. Rio de Janeiro: Synergia, 2013. 260 p.

ALMEIDA, P. R. **Compensador série controlado a tiristores na distribuição: compensação dinâmica**. 2014. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.

AMIN, S. M.; WOLLWENBERG, B. F. Towarda smart grid. **IEEE Power & Energy Magazine**, Piscataway, v. 3, n. 5, p. 34-38, 2005.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST**. Brasília: ANEEL, 2008. 379 p. Módulos 1 a 8. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 23 mar. 2015.

BIANCHIN, C. G. et al. **Pesquisa e aplicação de restauradores dinâmicos de tensão (DVR) em linhas de distribuição**. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE APLICAÇÕES INDUSTRIAIS, 8., 2008, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, 2008. Disponível em: <http://www.researchgate.net/profile/Carlos_Bianchin/publication/228676130_Pesquisa_e_aplicao_de_restauradores_dinmicos_de_tenso_%28DVR%29_em_linhas_de_distribuio/links/00463527a3dcef1bfe000000.pdf?origin=publication_detail>. Acesso em: 13 maio 2015.

BARBOSA, P. G.; WATANABE, E. H. Advanced series reactive power compensator based on voltage source converters. In: BRAZILIAN POWER ELECTRONICS CONFERENCE, 3., 1995, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: [s.n.], 1995b. p. 3-8.

CAPELLETTE, R. F. **Estudo dos efeitos da compensação série no desempenho transitório dos sistemas de energia elétrica sob o enfoque da energia**. 2012. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012. Disponível em: <http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/87140/capellette_rf_me_ilha.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 maio 2015.

CARVALHO FILHO, J. V.; GOMES, D. E.; WANDERLEY, S. S.; LOPES, J. J., FERNANDES, E. D.; MARTINS, I. J. Comissionamento de bancos de capacitores série e controlados a tiristores. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 15., 1999, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: GIA, 1999. p. 22-23.

DECKMANN, S. M.; DA COSTA, V. F. Power sensitivity model for eletro-mechanical oscillation studies. **IEEE Transactions on Power Systems**, Piscataway, v. 19, n. 3, p. 965-971, 1994.

DIVAN, D., Johal, H., Distributed FACTS—a new concept for realizing grid power flowcontrol. **IEEE Transactions on Power Electronics**, New York, v. 22, n. 6, p. 2253-2260, 2007,

DORIGO, M.; MANIEZZO, V.; COLORNI, A. The ant system: optimization by a colony of cooperating agents. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B**, Piscataway, v. 26, n. 1, p.1-13, 1996.

FELBER, L. A. **Regulação de tensão em subestações de distribuição de energia elétrica**. 2010. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)—Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010. Disponível em: <http://www.gqee.unifei.edu.br/arquivos_upload/mesdou/72/72.pdf>. Acesso em: 13 maio 2015.

FELTRIN, A. P.; MANTOVANI, J. R. S. **Apostila de sistemas de distribuição de energia elétrica**. Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista/Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2005.

FESTRAITS, E. B. **Consideração da ação de dispositivos FACTS em um método automático de análise de estabilidade de sistemas de energia elétrica**. 2002. 1418 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)— Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002. Disponível em: <http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/87278/festraits_eb_me_ilha.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 maio 2015.

GUENUL, O. **Introducción a redes**. [S.l.: s.n.], 2012. Disponível em: <<http://www.monografias.com/trabajos5/redwan/redwan.shtml#introducca>>. Acesso em: 1 set. 2012.

GENERAL ELECTRIC- GE. **Power systems**. [S.l.: s.n., 200-]: Disponível em: <www.ge.com> Acesso em: 6 jan. 2014.

GIGUER S. **Proteção de sistemas de distribuição**. Porto Alegre: SAGRA, 1988. 344 p.

HINGORANI, N. G. FACTS - flexible AC. transmission system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE AC AND DC POWER TRANSMISSION, 1991, London. **Proceedings...** London: IET, 1991. p. 1-7. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=153872>>. Acesso em: 13 maio 2015

HINGORANI, N. G.; GYUGYI, L. **Understanding FACTS**. New York: IEEE, 1999. 432 p.

HINGORANI, N. G. **FACTS technology**: state of the art, current challenges and the future prospects. New York: IEEE, 2007. p. 1-4. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4275798>>. Acesso em: 15 maio 2015.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **Standard requirements**. Terminology, and Test Code for Step-Voltage Regulators, IEEE Std C57.15-2009 (Revision of IEEE Std C57.15-1999), 2009. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=838984>>. Acesso em: 15 maio 2015.

JANNUZZI, A. C. **Regulação da qualidade de energia elétrica sob o foco do consumidor**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)– Universidade de Brasília, Brasília- DF, 2007. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/2712/1/Dissert_Antonio%20Jannuzzi.pdf>. Acesso em: 13 maio 2015.

ROGERS, K. M; T. J. OVERBYE, T. J. **Some applications of distributed flexible AC transmission system (D-FACTS): devices in power systems**. [S.l.]: IEEE, 2008.

JESUS, N. C. et al. Considerações sobre aplicação de compensação série em sistemas de distribuição visando melhoras na qualidade de energia. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA, 5., 2003, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBQEE, 2003. Disponível em: <http://gsiconsultoria.com.br/publicacoes_gsi/58%20-%20ART291-09%20%28Compensacao%20Serie%20em%20Sistemas%20de%20Distribuicao%29.pdf>. Acesso em: 15 maio 2015.

MASUDA, M. **Aplicação do dispositivo FACTS em sistemas de distribuição**. 2006. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)– Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MACEDO, C. I. **Estado da arte e tendências tecnológicas para energia**. São Paulo: CTenerg, 2003. p. 1-76.

MINADEO, R. **Marketing internacional: conceitos e casos**. Rio de Janeiro: Thex, 2001.

NASCIMENTO, B. M. **Implementação de um controle digital para o compensador regenerativo de potência ativa**. 2009. 165 f. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica)– Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual, Ilha Solteira, 2009. Disponível em: <http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/87086/nascimento_bm_me_ilha.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 maio 2015.

NASCIMENTO, D. G. **Desempenho do relé de distância em linhas de transmissão compensadas com TCSC**. 2007. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

PASCHOARELI JÚNIOR, D. **D-TCSC: controladores eletrônicos em sistemas de potência**. 2007. Tese (Livre Docência)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

PUERTA, J. F.; ARCELUZ, J. F. Evolução dos mercado de energia rumo à competição. **Eletricidade Moderna**, São Paulo, v. 22, n.4, p. 12-15, 1995.

REED, G.; PASERBA, J.; SALAVANTIS, P. The FACTS on resolving transmission gridlock. **IEEE Power & Energy Magazine**, Piscataway, p. 41-46, 2003. Disponível em: <
<http://www.meppi.com/Products/FACTS/Documents/FACTS%20on%20Transmission%20Gridlock.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2015.

SONG, Y. H.; JOHNS, A. T. **Flexible AC transmission systems (FACTS)**. Londres: The Institution of Electrical Engineers, 1999. 592 p.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMAS ELÉTRICO - ONS. **O setor elétrico**. [S.l.: s.n., 200-]. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em: 30 maio 2006.

PASERBA, J. J. How FACTS controllers benefit AC transmission systems - phases of power system studies. In: POWER SYSTEMS CONFERENCE AND EXPOSITION, 2009. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2009. Disponível em: <
<http://www.meppi.com/Service/PSES/Documents/Facts%20Applications.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2015

PIRES, J. C.; GIAMBIAGI, F.; SALES, A. F. **As perspectivas do setor elétrico após o racionamento**. Rio de Janeiro: BNDES, 2002. 47 p. (Texto para discussão, 97). Disponível em: <
http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/td/td-97.pdf>. Acesso em: 15 maio 2014.

SANTOS, P. E. S. **Tarifas de energia elétrica: estrutura tarifária**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 128 p.

SILVA, C.; BRAEGGER, R.; SILVA, S. **FACTS e a estabilidade: dinâmica e estabilidade de sistemas elétricos**. 2005. 36 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e Computadores)– Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2005.

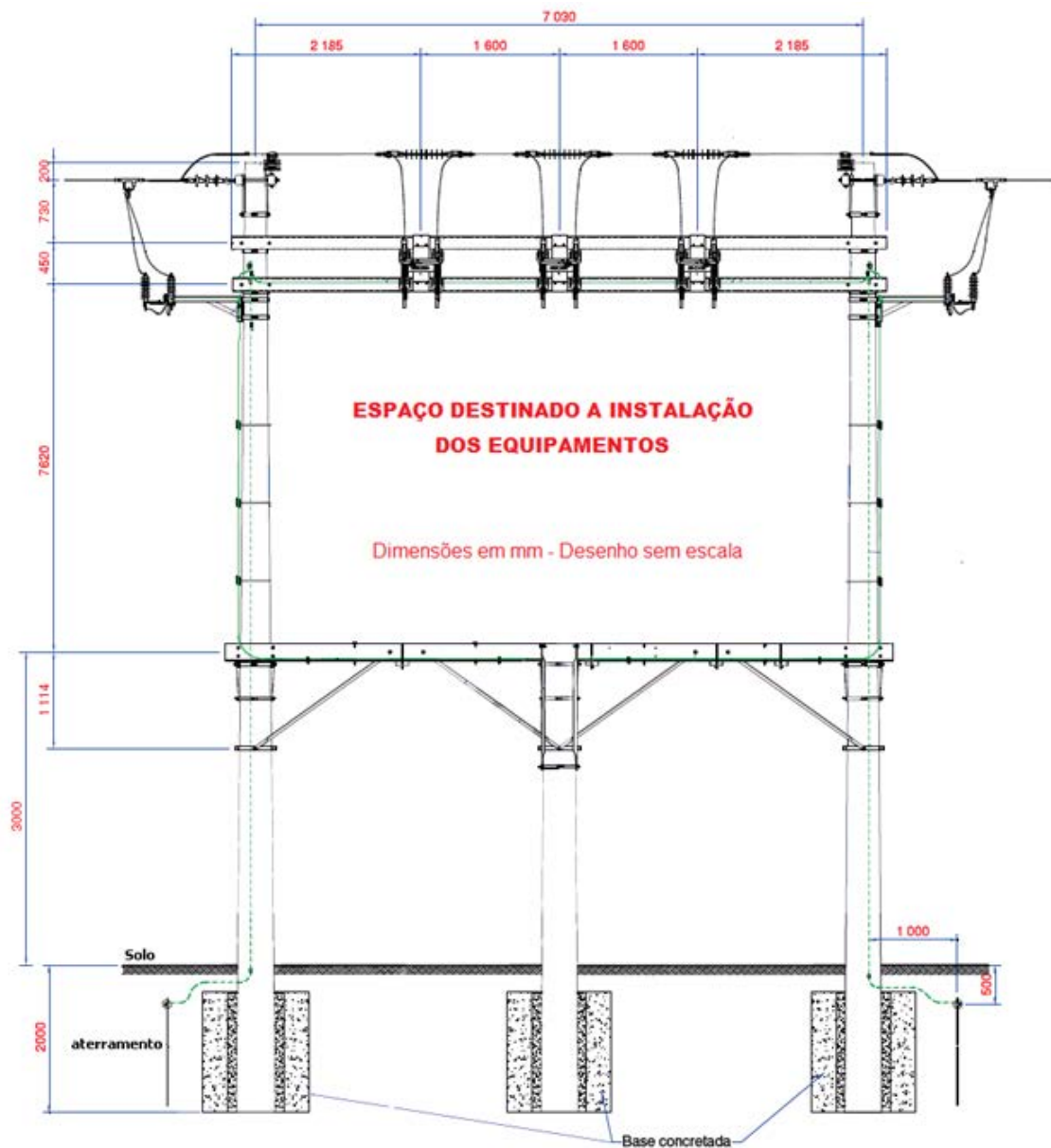
SONG, Y. H.; JOHNS, A. T. **Flexible a transmission systems (FACTS)**. London: The Institution of Electrical Engineers, 1999. p. 30-199.

ROCHA, K.; BRAGANÇA, G.; CAMACHO, F. **Remuneração de capital das distribuidoras de energia elétrica: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: IPEA, 2006a. 32 p. (Texto para Discussão, 1153). Disponível em: <
http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1153.pdf>. Acesso em: 2 jan. 2013.

WATANABE, E. H.; AREDES, M. **Teoria de potência ativa e reativa instantânea e aplicações: filtros ativos FACTS**. [S.l.: s.n., 200-]. Disponível em: <
<http://ifgjatai.webcindario.com/watanabe2.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2015.

ANEXO A

Figura A.1 - Capacitor Série Distribuição (DSC-Distribution Series Capacitor) – Estrutura para instalação em redes aéreas de distribuição



Fonte: Dados da pesquisa do autor

A estrutura de projeto para alocação do banco de capacitor controlado a tiristor em redes de distribuição, tem em sua constituição uma área abrangida por 7 metros, os equipamentos ficam distribuídos em espaçamento adequado entre si.

Apresenta em sua composição 02 postes, podendo ser de 11 ou 12 metros, com estruturas com vigas de ferro tipo “U”, para suporte dos equipamentos. Um terceiro

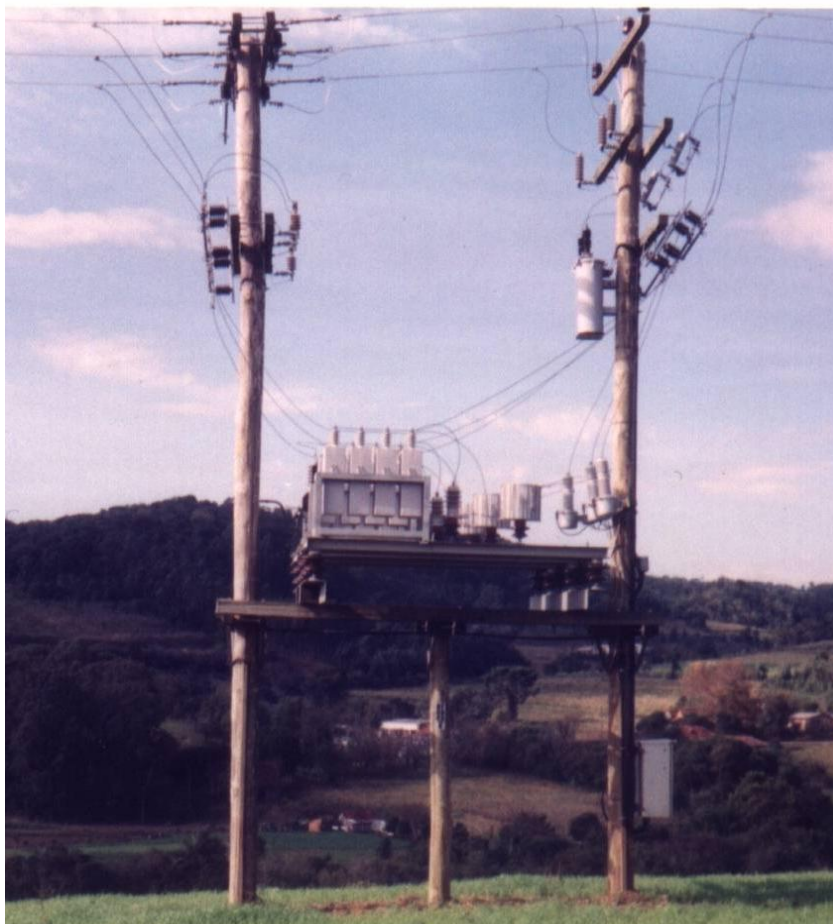
poste localizado no centro da estrutura, tem sua característica alterada para servir unicamente de base de apoio para os capacitores, uma vez que é serrado ao meio pelo próprio fabricante. Os três postes dispostos na estrutura apresentam um reforço de base concretada em sua parte engastada. Tal base tem por finalidade evitar que os postes cedam, cuja consequente retirada de prumo, pode comprometer a estrutura da banca de capacitores.

Na estrutura de ferro, estão localizadas também chaves do tipo *bay-pass*, que tem por finalidade inserir ou retirar o equipamento da rede de distribuição sem provocar desligamentos momentâneos. Para-raios poliméricos também são dispostos na posição fonte e carga, para absorção de distúrbios e proteção dos equipamentos alocados na estrutura.

Visando evitar que contenha esforços mecânicos na estrutura dos equipamentos, propõe-se também estruturas de ancoragem em postes localizados no máximo a 80 metros nos sentidos da fonte e da carga. Tais estruturas são instaladas com cadeias de disco e estais para absorção da tração mecânica em ambos sentidos.

O sistema de aterramento para escoamento das descargas elétricas, deve ser projetado para com resistência abaixo de 10 ohms, conectando para-raios e carcaça dos equipamentos.

Figura A.2 - Banco de Capacitores Série Fixo (Uruguaina – Rio Grande do Sul)



Fonte: Dados da pesquisa do autor

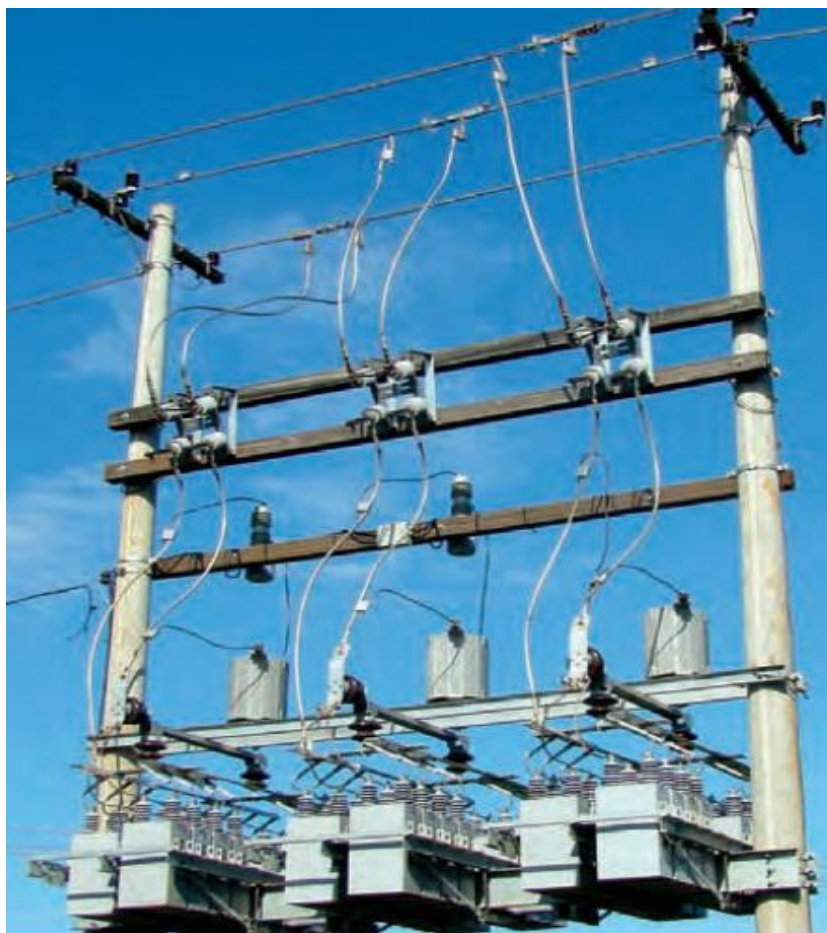
O banco de capacitores aplicado em Uruguaina, apresenta características de proteção e operação peculiares, uma vez que o mesmo é dotado de chaves faca no lado fonte e carga dos equipamentos para opção de retirada ou inclusão dos capacitores em serviço. Do lado carga, também está disposta (fixadas na cruzeta) um conjunto de chaves para efetuar o *bay-pass* do equipamento. O equipamento pode ser operado (através de seu painel de controle) sem necessidade de posicionamento de escadas para tal ação.

Em sua composição, também está disposto um transformador de distribuição bifásico que tem por objetivo alimentação do painel de comando do equipamento, uma vez que em disposição física não está prevista a instalação de transformadores de potencial – tp's. O equipamento também possui sistema de proteção que é verificado através da implantação de chaves fusíveis. O sistema e aterramento compõe a

interligação da carcaça dos equipamentos (capacitores e reatores), dos para-raios poliméricos, neutro e carcaça do transformador de serviço auxiliar.

O sistema de suporte dos equipamentos, também prevê a conjuntura de 03 postes interligados por estruturas metálicas com função de alocação dos equipamentos com um espaçamento adequado entre si.

Figura A.3 - Banco de Capacitores Série Fixo (S/E Colômbia – São Paulo)



Fonte: Dados da pesquisa do autor

O banco de capacitores série fixo instalado na S/E de Colômbia , apresenta características de instalação e operação particulares, uma vez que sua estrutura de alocação dos equipamentos, prevê apenas dois postes implantados, ficando o peso dos equipamentos unicamente sobre as ferragens transpassada.

A estrutura conta com transformadores de potencia (tp's) para alimentação de seu comando. Os equipamentos de manobra *bay-pass* estão alocados em estruturas de madeira, fator este, que dificulta sua manutenção. Caso haja necessidade de sua substituição (podridão ou quebra) o equipamento deverá ser retirado de serviço através da instalação de *jumpers* nos isoladores poliméricos instalados na parte superior da estrutura.

Figura A.4 - Minicap da ABB, projetado para suportar alimentadores até 36kV



Fonte: Dados da pesquisa do autor

O equipamento constante na figura A.05, demonstra um banco de capacitores instalado em estrutura de poste. Sua composição é definida pelo por uma banca suportada por dois postes interligados por uma estrutura metálica. A banca conta com uma estrutura de *bay-pass* responsável pela inserção ou retirada do equipamento de serviço.

O equipamento fica confinado em um cubículo blindado, de modo a promover o acondicionamento dos equipamentos que são interligados a rede de distribuição por

meio de muflas acondicionadas de modo a promover a entrada e saída de tensão (fonte e carga).

Sua disposição fica próxima ao solo, de modo a permitir o fácil acesso para manobras e manutenções. Por outro lado, a vantagem do fácil acesso, poderá refletir em um risco a segurança de terceiros devido ao contato com partes energizadas. Em casos de equipamentos próximos ao solo, recomenda-se um espaço cercado de modo a impedir toques ou contatos não autorizados nos equipamentos.