

Otimização da Qualidade de Energia no SDMT através da Compensação Dinâmica de Reativos

Tema: Qualidade de Energia

Autores: Filipe Rios Penha e Murilo Castilho da Silva

Co-Autores: Leandro Alves Marques, Lucas Luciano Felipe de Souza Modesto,

Empresa: Energisa Minas Rio - Distribuidora de Energia S.A

Resumo

Objetivo do Artigo

Este artigo visa apresentar os estudos realizados para reduzir perdas técnicas, aumentar a capacidade e melhorar o nível de tensão em alguns alimentadores de distribuição de média tensão (SDMT) da Energisa Minas Rio (EMR) por meio da compensação de reativos. O foco inclui a análise das características específicas de alguns alimentadores da EMR em relação à circulação de reativos e quedas de tensão, além de demonstrar os ganhos obtidos com a implantação de um projeto piloto no Grupo Energisa utilizando o Compensador Dinâmico de Reativos (CDR), desenvolvido pela ITB. Os ganhos simulados serão brevemente apresentados para comparação.

Desafios e Soluções

A dinâmica e o volume de circulação de reativos em alguns alimentadores da EMR exigem soluções mais específicas do que as já homologadas no grupo, como bancos de capacitores fixos e automatizados. Essas soluções não conseguem acompanhar eficientemente a dinâmica da rede, nem realizar a compensação com a sensibilidade necessária para evitar problemas decorrentes do impacto de entrada e saída de operação desses bancos de capacitores. Nesse contexto, foi necessário explorar soluções diferenciadas no mercado, sendo o CDR a solução encontrada.

1. Introdução

O cultivo de café na região da Zona da Mata mineira apresenta grandes desafios ao sistema elétrico de distribuição da Energisa Minas Rio (EMR), especialmente no que se refere às quedas de tensão. Mesmo com a instalação de três ou mais reguladores de tensão ao longo de alguns circuitos, as reclamações persistem. Isso levou à conclusão de que a causa raiz das quedas de tensão nesses alimentadores não estava sendo devidamente tratada, exigindo a análise de outras características da região além do aumento de carga.

A concentração de motores de secagem de café, com potências variando entre 5 e 12 cv, motivada pelo baixo custo dos novos equipamentos, tem gerado uma elevada demanda de potência reativa em alguns alimentadores da subestação (SE) até a carga. Esta situação pode ser facilmente contornada para consumidores do grupo A, cujo fator de potência no ponto de conexão deve ser de no mínimo 0,92 indutivo, permitindo à distribuidora aplicar multas em caso de descumprimento. No entanto, para consumidores do

grupo B, que são maioria em alguns alimentadores, a distribuidora não pode determinar um fator de potência mínimo, resultando na circulação de reativos pelo circuito desde a subestação.

A condução de potência reativa da subestação até a carga acarreta diversos problemas para o sistema elétrico, especialmente as perdas técnicas, que resultam em quedas de tensão no circuito e na redução do limite de capacidade. Esses problemas são conhecidos e geralmente tratados no sistema de transmissão, mas são pouco abordados quando se trata de SDMT.

2. Desenvolvimento

Compensadores Dinâmicos de Potência Reativa ITB

Os compensadores dinâmicos de potência reativa ITB, modelos CAQ-1 com controle CTX-1, são equipamentos projetados para medir a potência reativa consumida na fase em que estão instalados e fornecer a potência reativa necessária de forma gradual, variando de zero ao máximo capacitivo ou de zero ao máximo indutivo. Esses compensadores podem ser utilizados em sistemas monofásicos ou trifásicos, em subestações, ao longo das linhas de distribuição ou na entrada de consumidores específicos.

Especificações Técnicas:

- Potências: 100, 200 e 300 kVAr
- Classes de Tensão: 15, 24,2 e 36,2 kV
- Frequências: 50 ou 60 Hz
- Equipamento instalado: 300 kVAr no alimentador REA-CPA

Projeto e Implementação

O projeto foi concebido para implementar a correção do fator de potência em sistemas de distribuição e/ou correção de tensão. A correção é realizada através da variação da tensão sobre um elemento reativo (capacitor, indutor ou ambos), utilizando um transformador monofásico de acoplamento com 17 derivações comutadas sob carga. Isso proporciona 17 níveis diferentes de tensão, aplicando 17 níveis distintos de carga reativa à rede, que podem variar de 0 var até a potência nominal reativa, seja indutiva ou capacitiva, do equipamento.

Sensores de tensão e corrente, adequadamente instalados, fornecem dados suficientes para que o controle digital ITB modelo CTX-1 determine a correção necessária. A interface com o comutador de derivações permite que este seja comutado e monitorado para obter a correção solicitada.

Operação e Monitoramento

As medições e análises dos valores da linha são realizadas e exibidas por um dispositivo de controle eletrônico modelo CTX-1, equipado com microcontrolador. Operando em modo automático, o dispositivo comanda o comutador para ajustar a potência reativa do compensador conforme a demanda medida na fase em que está instalado, considerando o monitoramento em tempo real da rede e os parâmetros de compensação programados. Além disso, o dispositivo acumula funções de registrador e indicador de posição do comutador.

Análise de Dados

Analisando dados de diversos alimentadores da EMR, observou-se que em algumas regiões com elevado número de reclamações de nível de tensão também havia um grande volume de potência reativa circulando nos alimentadores. Exemplos de alimentadores com alta quantidade de reclamações de nível de tensão, três ou mais reguladores instalados, baixo fator de potência e grande volume e variabilidade de reativos incluem os alimentadores Caputira (REA-CPA) e São João do Manhuaçu (REA-SJM).

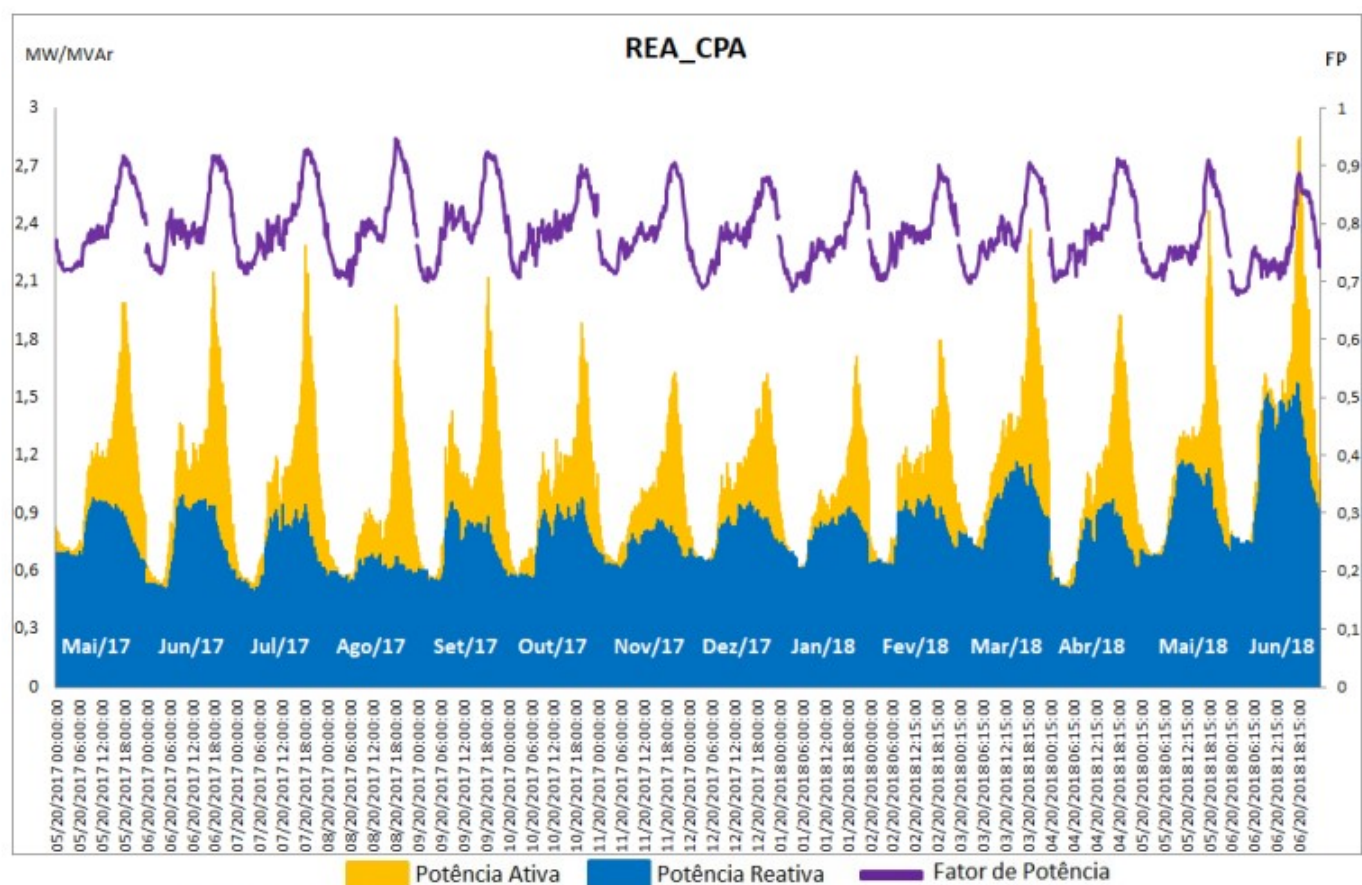


Gráfico 1: Potência Ativa (MW), Potência Reativa (MVar) e Fator de Potência (FP) no alimentador Caputira

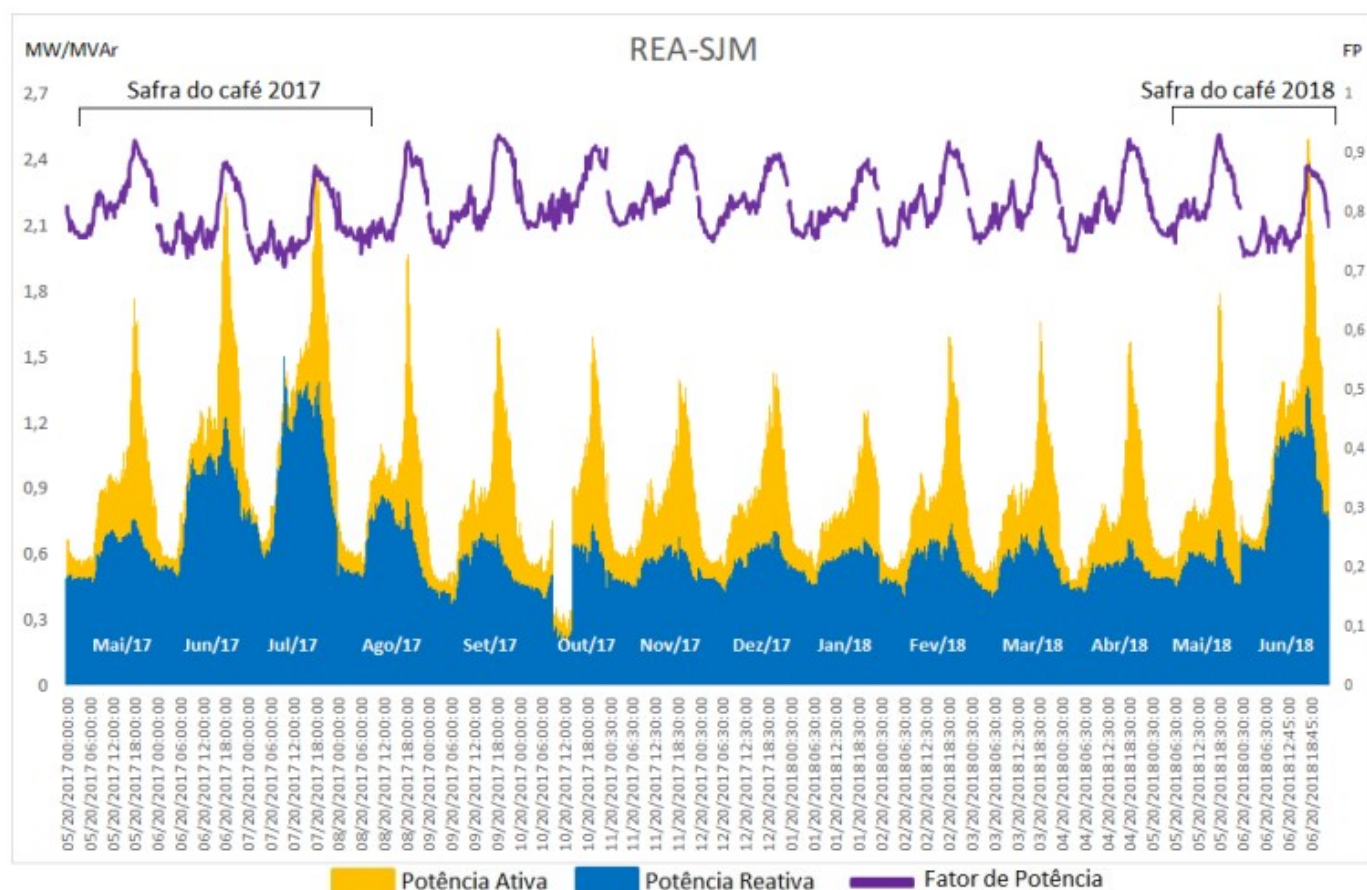


Gráfico 2: Potência Ativa (MW), Potência Reativa (MVar) e Fator de Potência (FP) no alimentador São João do Manhuaçu

Os valores apresentados nos gráficos foram coletados no dia 20 de cada mês analisado, de maio de 2017 a junho de 2018. A escolha do dia 20 foi aleatória, visando apenas facilitar a visualização gráfica.

Desafios da Potência Reativa

Dado que o comportamento da potência reativa exigida pelos alimentadores é consideravelmente sazonal ao longo do dia e do ano, o uso de equipamentos convencionais para solucionar este problema pode trazer impactos adversos ao sistema elétrico. Por exemplo, a utilização de bancos fixos de capacitores pode resultar em tensão elevada durante períodos de baixa carga.

Outra questão relevante são os picos de tensão causados pelos chaveamentos de bancos automatizados. Esses picos podem danificar equipamentos dos consumidores e estressar os condutores e outros componentes do sistema elétrico. Além disso, estágios segmentados em grandes parcelas não proporcionam uma compensação otimizada para esses alimentadores, dada a variabilidade da potência reativa.

Solução com Compensador Dinâmico de Reativos (CDR)

O desafio de compensar a potência reativa de forma inteligente e na medida necessária em alimentadores como o REA-CPA, cujo fator de potência varia ao longo do dia entre 0,70 e 0,94 e a potência reativa entre 530 e 960 kVar, levou a Energisa a buscar uma solução diferenciada no mercado: o Compensador Dinâmico de Reativos (CDR).

Funcionamento do CDR

Antes de apresentar o desenvolvimento deste trabalho, é importante explicar o funcionamento e a característica diferencial do CDR para a compensação de reativos. O CDR opera com base na característica elétrica do elemento reativo, que varia a potência reativa injetada com o quadrado da tensão aplicada sobre o elemento (capacitor ou indutor).

$$Q = \frac{V^2}{Z}$$

Baseado neste conceito, o equipamento consiste resumidamente em um transformador com 17 taps no secundário que está conectado ao elemento reativo. Desta forma é possível regular a tensão sobre o elemento reativo variando a potência a ser injetada. A figura abaixo exemplifica o funcionamento do CDR.

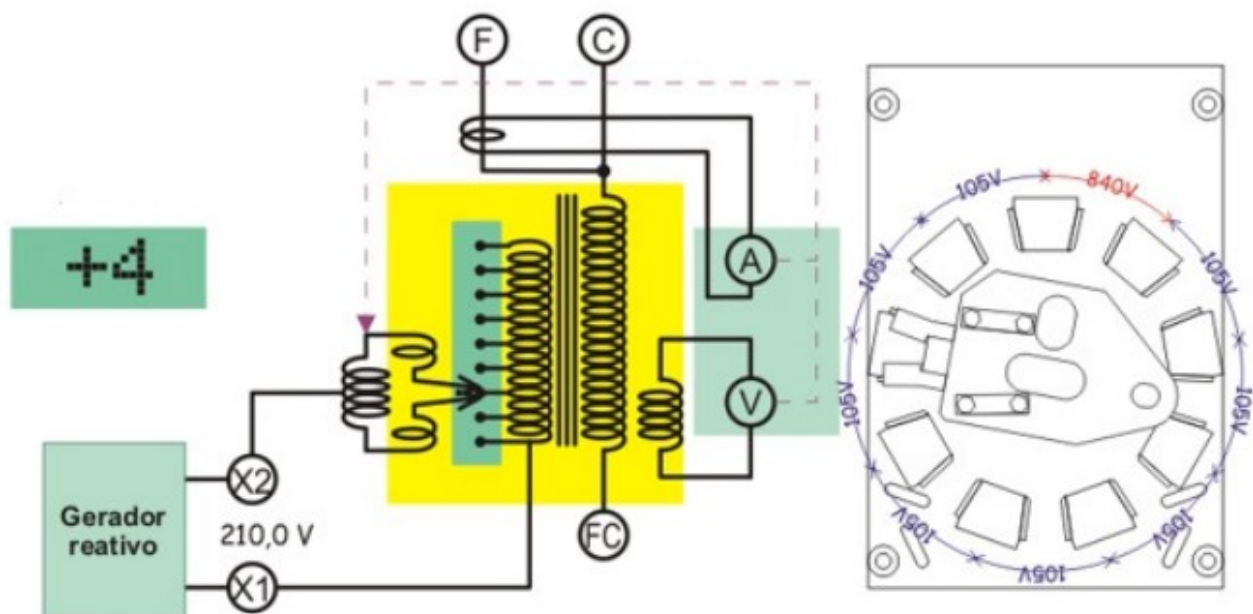


Figura 1: Esquemático interno de operação do CDR

Operação e Vantagens do CDR

Este modo operandi confere ao equipamento a granularidade necessária para evitar impactos de chaveamento durante mudanças de estágios e para compensar a potência reativa conforme a demanda da carga. Além disso, o CDR pode operar de forma independente em modo monofásico ou trifásico, sendo eficiente mesmo em sistemas desbalanceados.

O CDR também possui alta impedância interna, o que reduz consideravelmente a possibilidade de ressonância e/ou ferrorressonância, ampliando as opções de pontos de instalação no sistema elétrico.

Estudo de Implantação

A instalação do Compensador Dinâmico de Reativos (CDR) em campo foi realizada como parte de um projeto piloto em colaboração com o fabricante ITB, com o objetivo de reafirmar os benefícios que o equipa-

mento pode trazer para o sistema elétrico. Para a instalação do CDR, foram definidos critérios básicos que o alimentador e o ponto de instalação deveriam atender para maximizar os ganhos do projeto.

A. Critérios de Seleção do Alimentador:

- 1. Elevada quantidade de reativo circulante
- 2. Grande distância entre a carga e a subestação
- 3. Alta sazonalidade da carga
- 4. Baixo fator de potência
- 5. Alto nível de perdas técnicas
- 6. Grande quantidade de reclamações de nível de tensão

Quanto maior o número de critérios atendidos pelo alimentador, maior a prioridade para a implantação do projeto piloto.

B. Características do Alimentador Selecionado:

Analisando as características dos alimentadores da EMR e com base nos critérios estabelecidos, o alimentador selecionado para o projeto piloto foi o Caputira da subestação Realeza (REA-CPA). As principais características do alimentador selecionado são apresentadas a seguir.

REA-CPA			
CLIENTES	EXTENSÃO TRONCO (km)	DISTÂNCIA CDR - SE (km)	PERDAS TÉCNICAS (MWh/ano)
3.668	24,75	13,86	1.590
P_méd (MW)	Q_méd (MVar)	FP_med	Tensão Nominal (kV)
1,02	0,73	0,79	11,4

Tabela 1: Dados básicos do alimentador Caputira (REA-CPA)

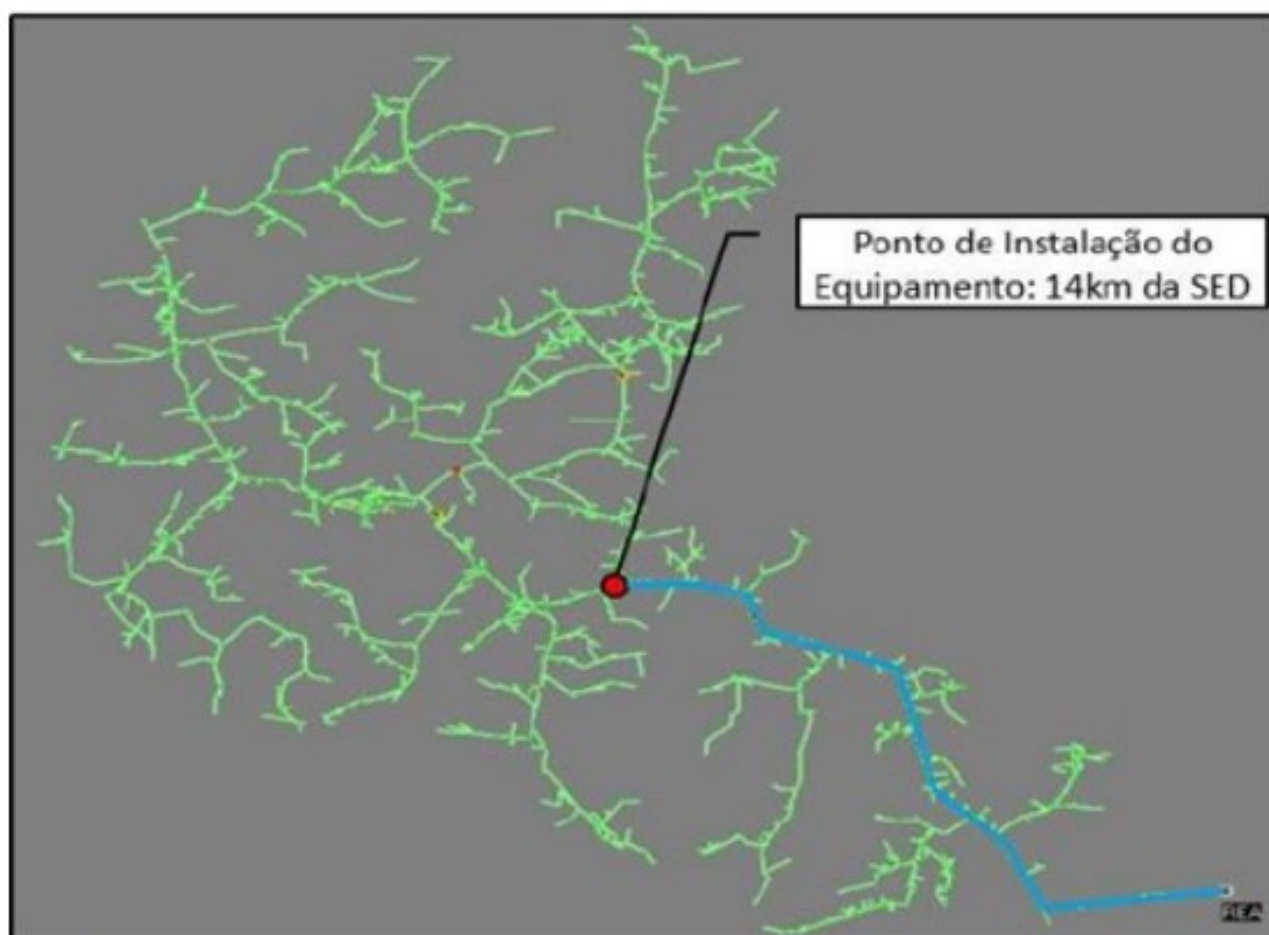


Figura 2: Distância do ponto de interesse à SED em azul (14 km) no alimentador Caputira

C. Tipos de Consumidores: O alimentador REA-CPA possui quase todos os seus consumidores pertencentes ao grupo B: Grupo A: 2 unidades consumidoras Grupo B: 3.666 unidades consumidoras **D. Reclamações de nível de tensão:**

Qtd. Redações de Nível de Tensão							
Ano	FORA DA SAFRA			PRÉ-SAFRA		SAFRA	
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
2018	2	0	2	4	13	4	5

Tabela 2: Quantidade de reclamações de nível de tensão no alimentador Caputira

Adicionalmente, em 2018 houve 6 solicitações de medição de qualidade de energia até o mês de julho. **E.**

Características elétricas do circuito:

Os dados foram coletados via sistema SCADA antes e durante a safra do café na região.

MONTANTE DO EQUIPAMENTO				SAÍDA DA SUBESTAÇÃO			
PERÍODO	Ia (A)	Ib (A)	Ic (A)	PERÍODO	Ia (A)	Ib (A)	Ic (A)
FORA SAFRA (17/03/2019 - 25/03/2019)	51,57	53,94	46,79	FORA SAFRA (17/03/2019 - 25/03/2019)	68,25	76,34	66,18
DENTRO SAFRA (01/05/2019 - 25/05/2019)	56,81	56,71	51,47	DENTRO SAFRA (01/05/2019 - 25/05/2019)	81,05	86,29	80,02
PERÍODO	Qa (kVAR)	Qb (kVAR)	Qc (kVAR)	PERÍODO	Q trifásico		
FORA SAFRA (17/03/2019 - 25/03/2019)	198,56	199,28	167,72	FORA SAFRA (17/03/2019 - 25/03/2019)	870,65		
DENTRO SAFRA (01/05/2019 - 25/05/2019)	206,71	195,85	177,54	DENTRO SAFRA (01/05/2019 - 25/05/2019)	961,93		
PERÍODO	fp_a	fp_b	fp_c	PERÍODO	fp trifásico		
FORA SAFRA (17/03/2019 - 25/03/2019)	0,76	0,78	0,80	FORA SAFRA (17/03/2019 - 25/03/2019)	0,76		
DENTRO SAFRA (01/05/2019 - 25/05/2019)	0,78	0,80	0,81	DENTRO SAFRA (01/05/2019 - 25/05/2019)	0,77		

Tabela 3: Características elétricas do alimentador Caputira dentro e fora da safra do café

Com as características medidas do circuito, o equipamento que traria melhor retorno podendo ainda acomodar um crescimento vegetativo da região seria o banco CDR de 900 kVAR com três células de 300 kVAR. A partir do ponto selecionado, realizando simulações no software de fluxo de potência Interplan e modelagens em Excel, eram esperados como principais resultados: À montante do equipamento Potência Reativa (Q): - 81% Fator de Potência (fp): + 24% (0,80 à 0,99) Corrente circulante: - 11% Saída da subestação Potência Reativa (Q): - 40% Fator de Potência (fp): + 15% (0,78 à 0,90) Corrente circulante: - 10,21%

F. Resultados do projeto piloto

1) Instalação em campo

Visto necessidade de padrão construtivo o equipamento passou por um processo de engenharia do fabricante para ser instalado em poste adequando às necessidades da Energisa Minas Rio. Cada célula de 300 kVAR foi instalada em uma estrutura de 12m/1500dan como mostram as fotos abaixo:



Figura 3: CDR instalado em campo com controle único CTX (visão traseira)



Figura 4: Células capacitivas do CDR (300 kVAr instalados)

2. Ganhos medidos

2.1) Ganhos elétricos

Após a instalação e comissionamento do equipamento em campo foram coletadas medições via SCADA dos pontos à montante do equipamento e na saída da subestação a fim de validar os ganhos reais proporcionados pelo equipamento no que diz respeito à corrente, potência reativa e fator de potência. As medições foram tomadas no período antes da safra e durante a safra do café em dois momentos: equipamento em funcionamento e equipamento fora de operação. Os dados estão organizados de acordo com a legenda:

S/CDR	SEM COMPENSADOR DINAMICO
C/CDR	COM COMPENSADOR DINAMICO

RELATÓRIO FINAL				
MONTANTE DO EQUIPAMENTO				
FORA SAFRA		Ia (A)	Ib (A)	Ic (A)
	17/03/2019 - 25/03/2019	51,57	53,94	46,79
	17/04/2019 - 25/04/2019	40,83	45,38	39,38
		-10,73	-8,56	-7,41
		-21%	-16%	-16%
DENTRO SAFRA		Ia (A)	Ib (A)	Ic (A)
	01/05/2019 - 25/05/2019	56,81	56,71	51,47
	01/07/2019 - 25/07/2019	42,15	38,03	35,07
		-14,66	-18,67	-16,40
		-26%	-33%	-32%

SAÍDA DA SUBESTAÇÃO				
FORA SAFRA		Ia (A)	Ib (A)	Ic (A)
	17/03/2019 - 25/03/2019	68,25	76,34	66,18
	17/04/2019 - 25/04/2019	61,05	68,77	63,68
		-7,20	-7,58	-2,51
		-11%	-10%	-4%
DENTRO SAFRA		Ia (A)	Ib (A)	Ic (A)
	01/05/2019 - 25/05/2019	81,05	86,29	80,02
	01/07/2019 - 25/07/2019	57,83	57,32	53,51
		-23,22	-28,96	-26,52
		-29%	-34%	-33%

MONTANTE DO EQUIPAMENTO				
FORA SAFRA		QA (kVAr)	QB (kVAr)	QC (kVAr)
	17/03/2019 - 25/03/2019	198,56	199,28	167,72
	17/04/2019 - 25/04/2019	28,67	22,87	28,01
		-169,88	-176,41	-139,71
		-86%	-89%	-83%
DENTRO SAFRA		QA (kVAr)	QB (kVAr)	QC (kVAr)
	01/05/2019 - 25/05/2019	206,71	195,85	177,54
	01/07/2019 - 25/07/2019	71,90	35,74	30,95
		-134,81	-160,11	-146,59
		-65%	-82%	-83%

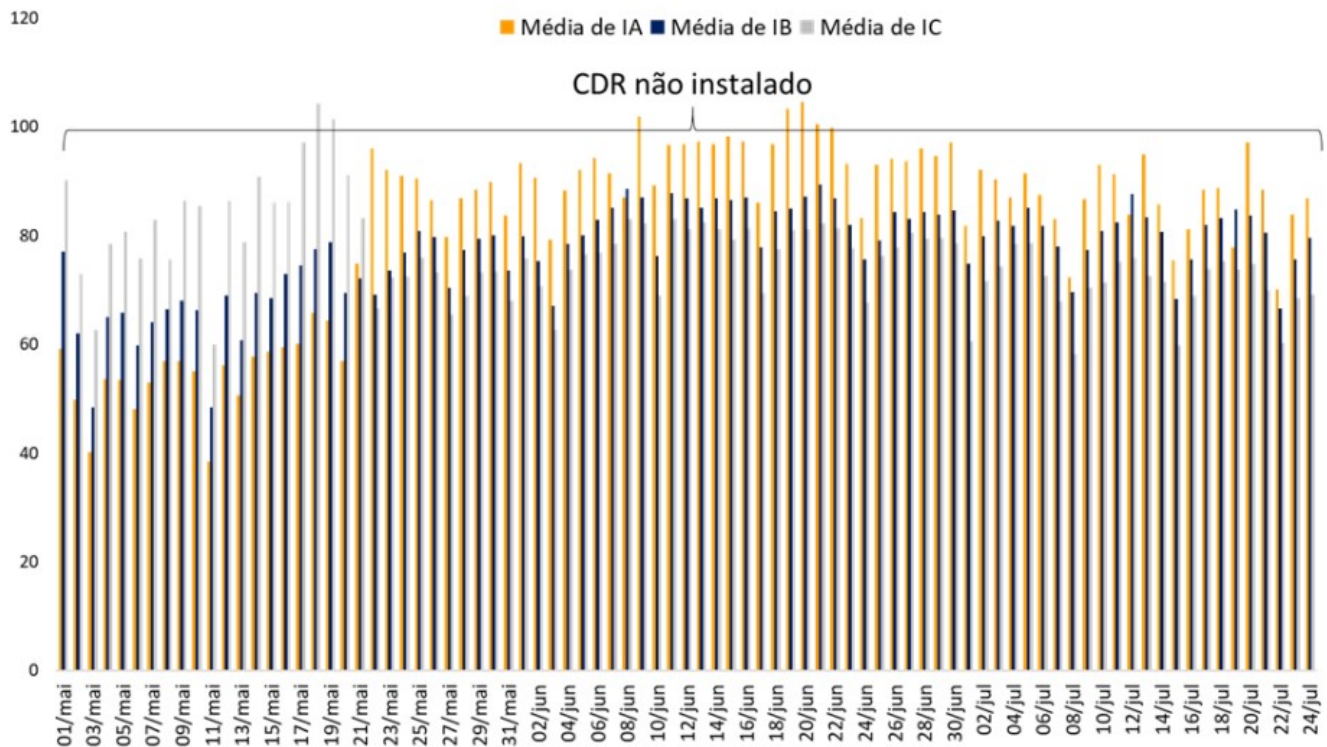
FORA SAFRA		fp A	fp B	fp C
	17/03/2019 - 25/03/2019	0,76	0,78	0,80
	17/04/2019 - 25/04/2019	0,96	0,97	0,96
		0,20	0,18	0,16
		26%	23%	20%
DENTRO SAFRA		fp A	fp B	fp C
	01/05/2019 - 25/05/2019	0,78	0,80	0,81
	01/07/2019 - 25/07/2019	0,93	0,96	0,97
		0,15	0,15	0,16
		19%	19%	19%

SAÍDA DA SUBESTAÇÃO			SAÍDA DA SUBESTAÇÃO		
FORA SAFRA		fp	FORA SAFRA		Q
	17/03/2019 - 25/03/2019	0,763		17/03/2019 - 25/03/2019	870,648
	17/04/2019 - 25/04/2019	0,925		17/04/2019 - 25/04/2019	467,593
		0,16			-403,06
		21%			-46%
DENTRO SAFRA		fp	DENTRO SAFRA		Q
	01/05/2019 - 25/05/2019	0,773		01/05/2019 - 25/05/2019	961,927
	01/07/2019 - 25/07/2019	0,923		01/07/2019 - 25/07/2019	414,826
		0,15			-547,10
		19%			-57%

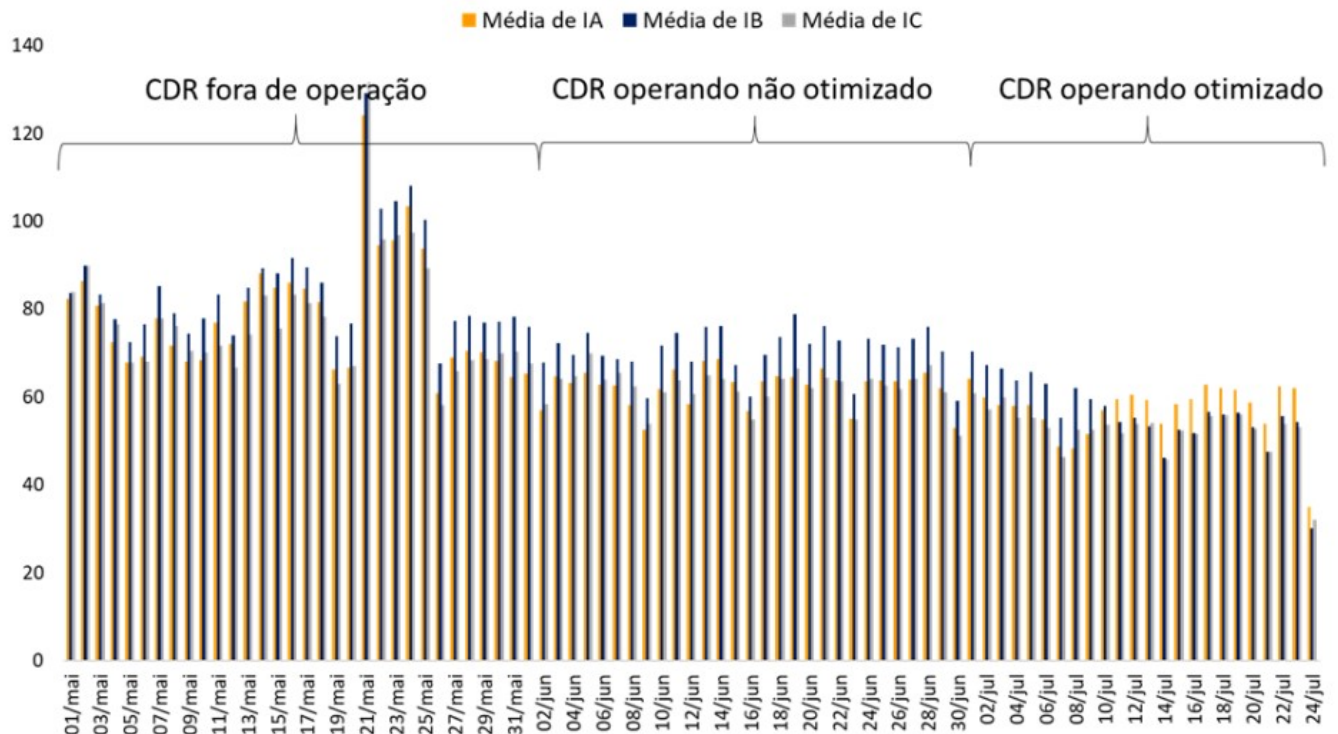
Tabela 4: Resultados come sem CDR no circuito Caputira fora e dentro do período da safra do café

Graficamente vemos de forma clara a redução na corrente média e máxima na saída do alimentador REA-CPA. Vale lembrar que o período apresentado nos gráficos abaixo é o período de safra do café (Maio à Junho), cujas potências ativa e reativa são as mais elevadas do ano (vide Gráfico 1). Para efeito comparativo, serão apresentadas as mesmas visões das grandezas em 2018:

Corrente Média na saída da Subestação - REA-CPA 2018

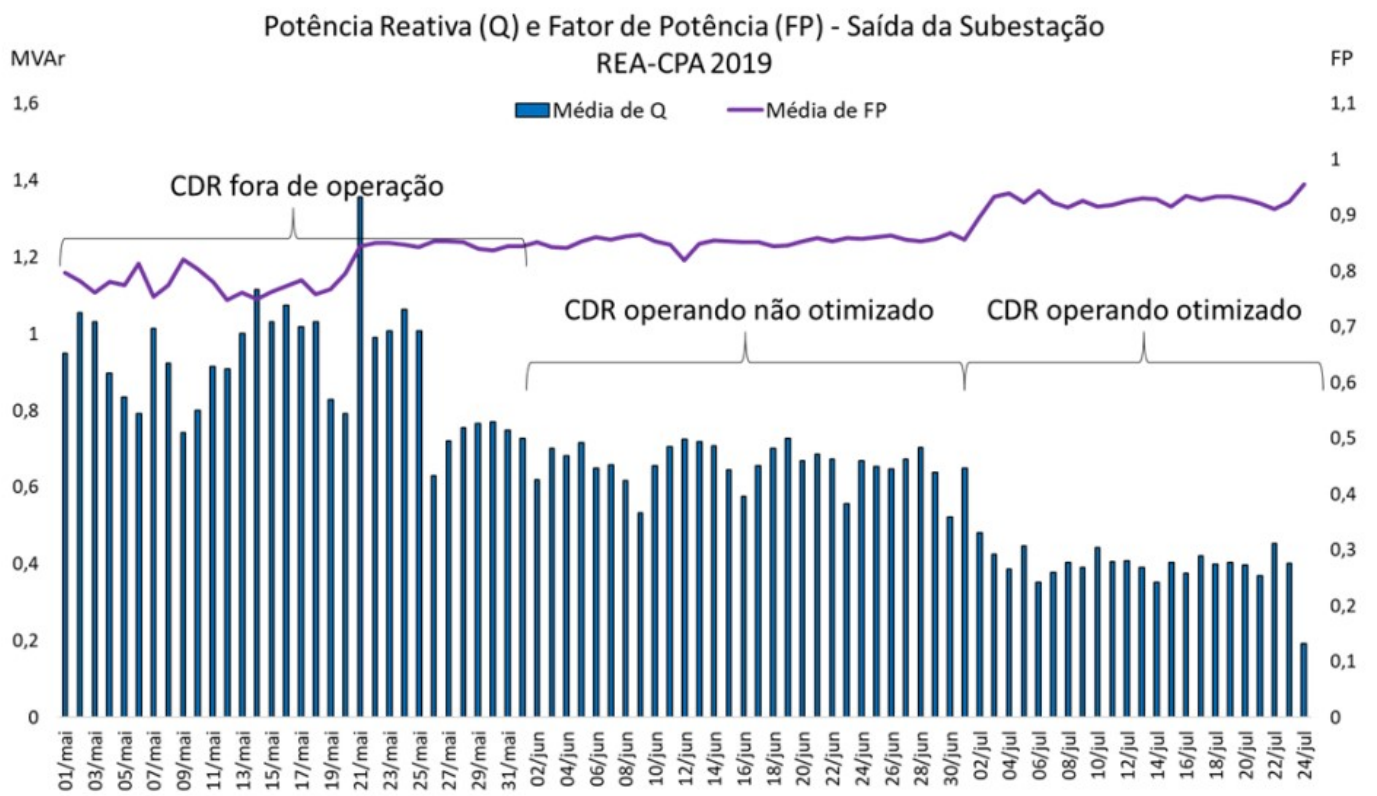
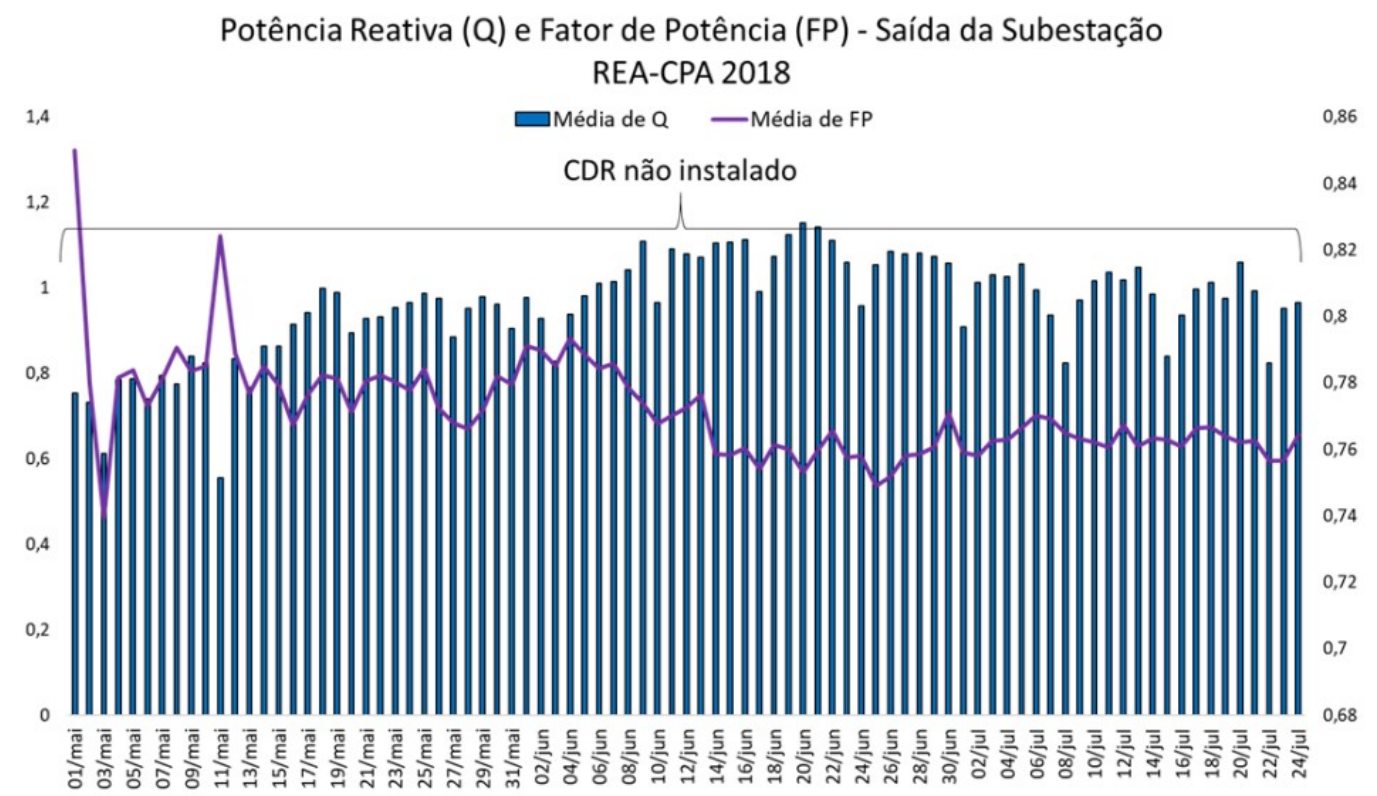


Corrente Média na saída da Subestação - REA-CPA 2019



Gráficos 3 e 4: Corrente média na saída do circuito na Subestação Realeza (Safrá 2018 e 2019)

Voltando ao gráfico de potência reativa e fator de potência do circuito com o Compensador Dinâmico operando, percebe-se claramente a redução dos reativos e melhoria no fator de potência:



Gráficos 5 e 6: Potência Reativa e Fator de Potência na saída SE (Safrá 2018 e 2019)

Analisando os gráficos acima, vemos claramente que a aplicação do CDR no circuito REA-CPA trouxe ganhos elétricos bastante consideráveis e, consolidando os ganhos previstos e obtidos temos:

RELATÓRIO FINAL		
MONTANTE DO EQUIPAMENTO		
Grandeza	Ganho previsto	Ganho Real
Corrente	-11%	-24%
Potência Reativa	-81%	-81%
Fator de Potência	24%	21%
SAÍDA DA SED		
Grandeza	Ganho previsto	Ganho Real
Corrente	-10%	-20%
Potência Reativa	-40%	-52%
Fator de Potência	15%	20%

Tabela 5: Ganhos consolidados do Compensador Dinâmico - Previsto x Real

2.2) Ganhos em Qualidade do Produto

Os ganhos descritos na Tabela 5 são médios, considerando os períodos fora e dentro da safra, e são bastante relevantes. Com ganhos dessa magnitude, era esperado uma melhoria na qualidade do serviço e a consequente percepção positiva dos consumidores. Para avaliar isso, acompanhamos os processos de reclamação de nível de tensão no alimentador de janeiro a julho de 2019 e comparamos com o mesmo período do ano anterior.

Qtd. Reclamações de Nível de Tensão							
Ano	FORA DA SAFRA			PRÉ-SAFRA		SAFRA	
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
2018	2	0	2	4	13	4	5
2019	3	4	4	2	3	2	0
Redução	50%		100%	-50%	-77%	-50%	-100%

Tabela 6: Quantidade de reclamações no alimentador Caputira em 2018 e 2019

A redução na quantidade de processos de reclamação de nível de tensão no alimentador foi expressiva, mesmo nos meses de maio e junho, quando o equipamento operou perfeitamente apenas durante parte do período, sendo necessário realizar ajustes de otimização.

Vale ressaltar que houve um aumento de carga no alimentador nos anos de 2018 e 2019, o que justifica o aumento das reclamações entre janeiro e março. Portanto, no período pré-safra e safra, era esperado também um aumento nas reclamações, o que não ocorreu devido aos ganhos proporcionados pelo Compensador Dinâmico de Reativos (CDR).

2.3) Pontos Importantes:

1. Todas as reclamações recebidas a partir de abril de 2019 foram de clientes conectados à frente do equipamento, indicando que a redução do reativo circulante impactou na diminuição das perdas técnicas e, conseqüentemente, reduziu as quedas de tensão à montante.
2. Até julho de 2019, não houve solicitações de medição de qualidade de energia no alimentador, ao contrário de seis solicitações durante o mesmo período de 2018.

Os ganhos em qualidade do serviço também puderam ser percebidos a partir do regulador de tensão à montante do CDR, que passou a operar com mais folga, ou seja, em taps mais baixos.

S/CDR	SEM COMPENSADOR DINAMICO
C/CDR	COM COMPENSADOR DINAMICO

TAP REGULADOR À MONTANTE									
FORA SAFRA		TAP A	TAP B	TAP C	DENTRO SAFRA		TAP A	TAP B	TAP C
	17/03/2019 - 25/03/2019	9	8	7		01/05/2019 - 25/05/2019	11	9	8
	17/04/2019 - 25/04/2019	6	8	5		01/07/2019 - 25/07/2019	8	6	5
	Ganho em TAP	-3	0	-2		Ganho em TAP	-3	-3	-3
	Ganho em Volts	-12	0	-8		Ganho em Volts	-12	-12	-12
	Ganho em %	-0,063%	0,000%	-0,042%		Ganho em %	-0,063%	-0,063%	-0,063%

Tabela 7: Comparativo do TAP do regulador de tensão à montante do Compensador Dinâmico (fora e dentro da safra)

G. Ganhos Simulados e Reais em Relação a Perdas Técnicas

Os ganhos simulados, conforme apresentados na Tabela 5, foram mais conservadores do que os ganhos reais. A redução de perdas técnicas, utilizando o software de cálculo Pertec, foi estimada em aproximadamente 252 MWh anuais, resultando em um retorno financeiro de R\$ 50.400,00 no período.

Outro ganho simulado foi a postergação da necessidade de recondutoramento no alimentador. De acordo com as simulações do setor de planejamento da Energisa Minas Rio, existe um trecho de aproximadamente 5 km na saída da subestação de Realeza que precisaria ser recondutorado a partir de 2020. No entanto, com o alívio de carga proporcionado pela eliminação do reativo circulante, essa necessidade foi postergada para 2022.

Ambos os ganhos ainda estão em avaliação, mas devem se concretizar, visto que os benefícios proporcionados pelo Compensador Dinâmico de Reativos (CDR) já foram mensurados e são comprovadamente maiores do que os simulados.

H. Comparação com Métodos Tradicionais de Compensação de Reativos

Os Compensadores Dinâmicos de Potência Reativa (CDR) se destacam em relação aos métodos tradicionais de compensação de reativos nos sistemas elétricos, oferecendo:

- Flexibilidade e Adequação ao Sistema
- Compensação por Fase, adequada inclusive para sistemas desequilibrados
-

Medição de Tensão, Corrente e Fator de Potência por fase

- Proteção contra Sobrecorrente no elemento reativo
- Proteção contra Sobretensão no elemento reativo
- Regulação por Fator de Potência
- Regulação por Tensão
- Operação Automática ou Manual
- Detecção e Operação mediante Fluxo Inverso de Potência
- Registro de Informações de Rede
- Conexão Gradual dos Elementos Reativos ao sistema
- 17 Níveis Diferentes de Tensão e Potência do sistema em tempos curtos
- Compensação Capacitiva ou Indutiva
- Instalação em Qualquer Ponto do Sistema Elétrico
- Coordenação com Outros Elementos Compensadores de Reativos
- Possibilidade de Ajuste e Comando Remoto via SCADA – DNP3
- Colocação e Retirada de Serviço sem Interrupção do Fornecimento

I. Principais Ganhos:

- Postergação de Investimentos
- Redução dos Níveis de Corrente a Montante, com consequente redução nas perdas
- Baixa Frequência de Manutenção em comparação com bancos automáticos e fixos
- Elevação da Vida Útil dos Elementos Reativos
- Comutação Livre de Transientes ou Perturbações no sistema elétrico, contribuindo para a melhoria da qualidade de energia elétrica
- Possibilidade de Atenuação de Harmônicos

3. Conclusão

Conclusão

Diante dos desafios enfrentados nos alimentadores da Energisa Minas Rio, relacionados à grande circulação e variação de reativos ao longo do dia e do ano, juntamente com as constantes reclamações de nível de tensão, a aplicação do Compensador Dinâmico de Reativos (CDR) demonstrou ser uma solução robusta e eficiente.

A granularidade de injeção de reativos proporcionada pelo CDR, através de sua filosofia de funcionamento, permitiu que a compensação de energia reativa fosse realizada de forma "sob medida", atendendo precisamente às necessidades das cargas do alimentador. Os ganhos obtidos com o projeto piloto superaram as expectativas e contribuíram significativamente para a melhoria da qualidade da energia entregue aos consumidores do alimentador Caputira.

Embora o CDR possua aplicações específicas devido à sua robustez e custo, os benefícios obtidos com o projeto piloto justificaram sua aceitação na Energisa Minas Rio. O CDR passou a ser considerado uma ferramenta estratégica no planejamento do sistema elétrico, visando a redução de perdas técnicas, melhoria

do nível de tensão, aprimoramento do fator de potência e aumento da qualidade da energia, tudo sob a perspectiva da compensação de reativos.

4. Referências bibliográficas

- [1] Manual de instruções do Fabricante - MI011 - Manual do CAQ-1 com CTX-1 - Rev 10-14 - PT
- [2] ANEEL (2008). Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). Módulo 8. Disponível em . Acesso em: 03/02/2020
- [3] ENERGISA. GERENCIA TECNICA DE DISTRIBUIÇÃO. NRM/Nº141/2018. ETU 108 - Regulador de tensão monofásico, n. 106, 2019. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/normas-tecnicas.aspx>. Acesso em: 3 fev. 2020.