

# Impacto Sobre os Índices de Continuidade do Fornecimento Resultante da Utilização de Religadores Inteligentes

A. C. Panizza, ENERSUL S/A

## RESUMO

Nos sistemas elétricos de distribuição é cada vez maior o número de problemas relacionados às interrupções da energia suprida. As interrupções têm um impacto maior nas cargas comuns que há alguns anos atrás. Microcomputadores e outros tipos de controles digitais são amplamente utilizados em todos os setores residencial, comercial e industrial. Estes tipos de cargas tendem a perder suas memórias com as interrupções e afundamentos momentâneos de tensão, e o processo controlado pode ser completamente perdido, gerando prejuízo econômico para o consumidor e concessionária de energia. O presente trabalho tem por meta propor uma solução inovadora no contexto nacional para a melhoria dos níveis da qualidade da energia elétrica em circuitos primários e secundários de distribuição diminuindo sensivelmente o universo de consumidores afetados pelas faltas permanentes melhorando, assim, a qualidade percebida do fornecimento de energia elétrica pelos consumidores. Cujas mensurações podem ser realizadas por meio dos índices de continuidade de grupo (DEC e FEC) e individuais (DIC e FIC).

## PALAVRAS-CHAVE

DEC; FEC; Faltas Permanentes; Religadores de Distribuição.

## I. INTRODUÇÃO

Nos sistemas elétricos de distribuição é cada vez maior o número de problemas relacionados às interrupções da energia suprida. As interrupções têm um impacto maior nas cargas comuns que há alguns anos atrás. Microcomputadores e outros tipos de controles digitais são amplamente utilizados em todos os setores residencial, comercial e industrial. Estes tipos de cargas tendem a perder suas memórias com as interrupções e afundamentos momentâneos de tensão, e o processo controlado pode ser completamente perdido, gerando prejuízo econômico para o consumidor e concessionária de energia.

A transição entre a forma tradicional de operação das empresas concessionárias de energia elétrica para a nova forma de operação mais competitiva do mercado de energia, aponta para a necessidade de diminuição gradual dos indicadores de continuidade da energia suprida.

Nesse sentido, o presente trabalho propõe uma solu-

ção inovadora no contexto nacional para a melhoria dos níveis da qualidade da energia elétrica em circuitos primários e secundários de distribuição diminuindo sensivelmente o universo de consumidores afetados pelas faltas permanentes melhorando, assim, a qualidade percebida do fornecimento de energia elétrica pelos consumidores.

Desta forma o presente trabalho tem por metas estudar o impacto sobre os índices de continuidade do fornecimento de energia – DEC, DIC, FEC e FIC - com a utilização de religadores telecomandados em circuitos de distribuição.

Visto que a qualidade percebida pelos consumidores se diz respeito a duração e frequência das interrupções do fornecimento de energia elétrica, busca-se cada vez mais a melhoria contínua da qualidade percebida.

A contabilização da continuidade do fornecimento da energia elétrica se dá pela determinação dos seguintes índices:

- DEC – Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora.
- FEC – Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora.
- DIC - Duração de Interrupção individual por Unidade Consumidora.
- FIC – Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora.

Em busca da melhoria contínua da satisfação dos consumidores e, conseqüentemente, a redução destes índices, determinam-se metas pactuadas junto à ANEEL.

O deslocamento da equipe, quando de faltas permanentes em alimentadores de distribuição, até o ponto de defeito e reparos necessários demandam um tempo relativamente grande. Este tempo compreende o deslocamento, realização de testes a fim de determinar o trecho defeituoso, realização de manobras para isolar a área defeituosa e restabelecimento da energia para os consumidores envolvidos consumidores de áreas não atingidas e, finalmente reparo.

O custo com a interrupção da energia para a concessionária de energia eleva-se à medida que o tempo de interrupção aumenta. Estes custos tornam-se ainda maiores quando é levado em conta o custo social e a imagem da concessionária para o consumidor final. Quanto maior o

A. C. Panizza trabalha na Empresa Energética de Mato Grosso do Sul S/A (e-mail: prot@enersul.com.br).

número de consumidores atingidos pela interrupção do fornecimento de energia, maiores serão os índices equivalentes de continuidade do fornecimento da energia (DEC e FEC) e, portanto, maléfico para a imagem da concessionária de energia elétrica.

Alguns estudos nesta área buscam relação entre custo x benefício da instalação de religadores em série em alimentadores de distribuição, levando em consideração fatores técnicos e econômicos para tomada de decisões.

Mesmo os sistemas elétricos cuidadosamente planejados em termos da segurança de operação, estão sujeitos a perturbações imprevistas, capazes de provocar variações significativas de tensão, como por exemplo, os curtos-circuitos, descargas atmosféricas ou desligamentos intempestivos de linhas e transformadores. Por se tratar de eventos imprevisíveis, a sua detecção requer um sistema de monitoração constante das grandezas elétricas, como por exemplo, do valor eficaz das tensões no ponto de acoplamento comum do consumidor e o estado dos equipamentos de seccionamento ao longo de um alimentador de distribuição.

As práticas para eliminação dos defeitos pelas concessionárias incluem a colocação de religadores ao longo dos alimentadores de distribuição e alteração da topologia da rede. Estas práticas podem reduzir o número e/ou duração das interrupções de energia, mas as faltas nunca podem ser eliminadas completamente.

Nesse sentido, o presente trabalho propõe uma solução inovadora no contexto nacional para a melhoria dos níveis da qualidade da energia elétrica em circuitos primários e secundários de distribuição diminuindo sensivelmente o universo de consumidores afetados pelas faltas permanentes melhorando, assim a qualidade percebida do fornecimento de energia elétrica pelos consumidores.

## II. RELIGADORES DE DISTRIBUIÇÃO

Os religadores de distribuição utilizados no presente projeto são de tecnologia digital, compactos, com isolamento em epóxi e possuem as seguintes características:

- Tamanho compacto;
- Função de proteção de sobrecorrente de fase e de neutro;
- Alimentação alternativa por meio de baterias;
- Medidas de corrente de fase;
- Medidas de corrente de neutro;
- Medidas de tensão;
- Medidas de potência monofásica;
- Medidas de potência trifásica;
- Medidas de componentes simétricas;
- Funções operacionais no painel frontal;
- Registros de eventos;
- Perfil de carga;
- Dados históricos.

A figura 1 mostra o religador microprocessado trifásico utilizado no projeto.

E a figura 2 mostra o conjunto completo (religador trifásico microprocessado, controle e antena) instalado.

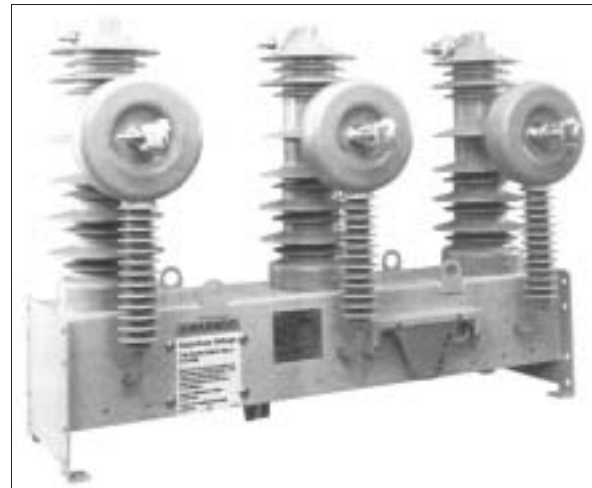


FIGURA 1 – Religador trifásico microprocessado.

- Controle do religador
- Antena de Comunicação
- Religador
- Antena de Comunicação
- Controle do religador

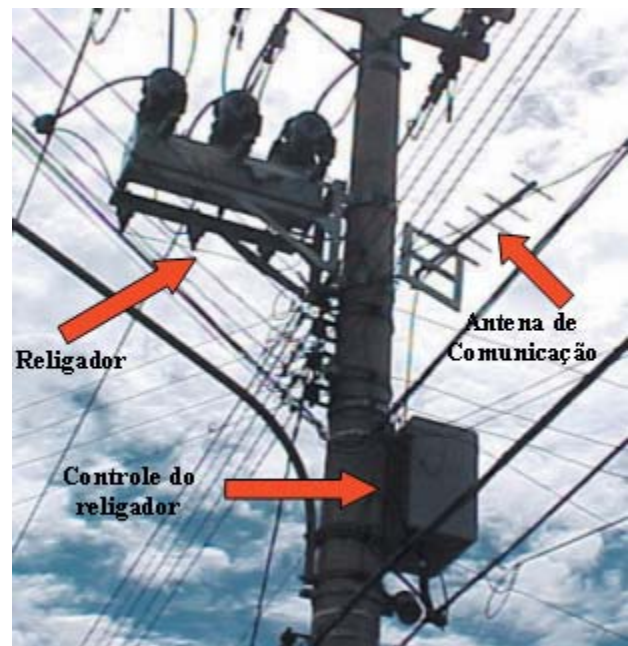


FIGURA 2 – Religador trifásico microprocessado instalado.

## III. ALIMENTADORES SELECIONADOS

Os alimentadores selecionados para o estudo são o alimentador AI-05 e alimentador AI-07 da Subestação Campo Grande Cuiabá da cidade de Campo Grande. A figura 3 mostra o croqui do projeto.

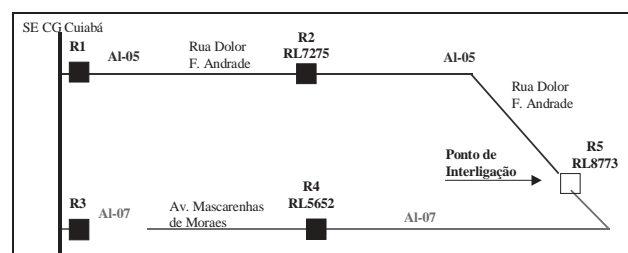


FIGURA 3 - Croqui dos religadores.

Como mostrado na figura 3 o projeto prevê que a interligação entre os religadores é feito por meio de um religador normalmente aberto. Sendo que o mesmo é manobrado sempre que haja algum defeito entre os trechos R1-R2 ou R3-R4 dos alimentadores AI-05 e AI-07, respectivamente.

A tabela 1 mostra a localização de cada religador envolvido no projeto.

**TABELA 1**  
**Localização do religadores.**

RL	Alimentador	Localização
RL 7275	AI-05	Rua Dolor F. de Andrade entre as ruas Dr Arthur Jorge e 25 de Dezembro
RL 5652	AI-07	Av. Mascarenhas de Moraes entre as ruas Livramento e do Rosário
RL 8773	Interligação	Rua Dolor F. de Andrade entre as ruas 13 de Maio e Rui Barbosa

Já tabela 2 mostra o número de consumidores em cada trecho dos alimentadores AI-05 e AI-07.

**TABELA 2**  
**Número de consumidores nos alimentadores AI-05 e AI-07.**

Número de consumidores	Alimentador AI-05	Alimentador AI-07
Total de consumidores do alimentador	4703	4140
Total de consumidores antes do religador – Trecho 1	2595	1359
Total de consumidores após o religador – Trecho 2	2108	2781

#### IV. LÓGICA DE RECOMPOSIÇÃO

A lógica de recomposição é sempre ativada quando da atuação de proteção de sobrecorrente de fase ou de neutro do alimentador AI-05 ou AI-07.

Durante toda a execução caso haja perda da comunicação com algum elemento supervisionado pela lógica a mesma é abortada, sendo necessário a intervenção do despachante do Centro de Operação do Sistema da Distribuição (COD).

Quando todas as condições são satisfeitas a lógica tem o seu término em tempo inferior a 01 (um) minuto.

Para que o despachante COD tivesse acesso e controle da lógica de recomposição, foi criada uma tela exclusiva para os religadores envolvidos nesta lógica, a qual está mostrada na figura 4.

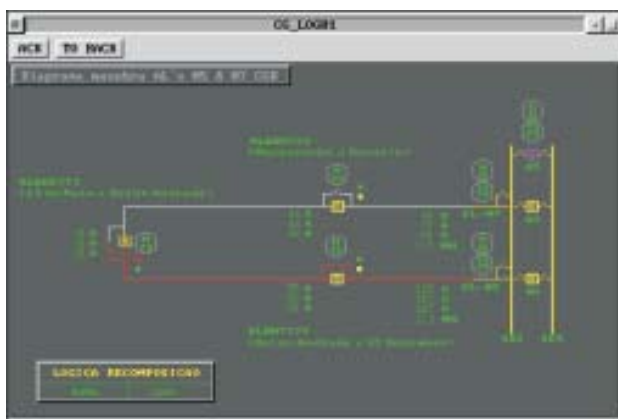


FIGURA 4 – Tela da lógica de recomposição automática.

Com esta tela de comando o despachante do COD tem acesso aos religadores podendo realizar as seguintes tarefas:

- Manobras de abertura e fechamento dos religadores;
- Bloqueio/desbloqueio das funções de proteção de fase e de neutro;
- Bloqueio/desbloqueio da função de religamento automático;
- Leitura de corrente em cada religador nas três fases.

Adicionalmente, cada religador de rede tem sua própria tela individual em que são mostradas características e medidas individuais do religador. Nesta tela, o despachante, também, realiza as tarefas supracitadas.

A título ilustrativo a figura 5 mostra a tela de um dos religadores de rede do projeto.

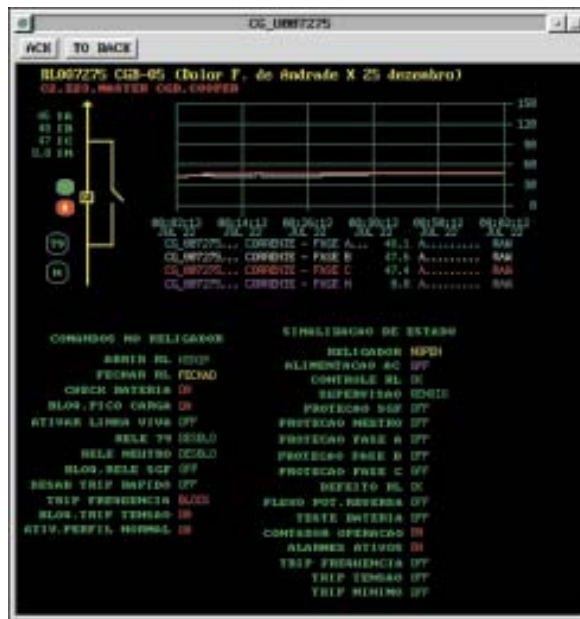


FIGURA 5 – Tela do religador RL 007275 – Rua Dolor F. de Andrade com Rua Arthur Jorge.

#### V. FUNCIONAMENTO DA LÓGICA DE RECOMPOSIÇÃO

A lógica de recomposição implementada no projeto é mostrada no diagrama de blocos da figura 6.

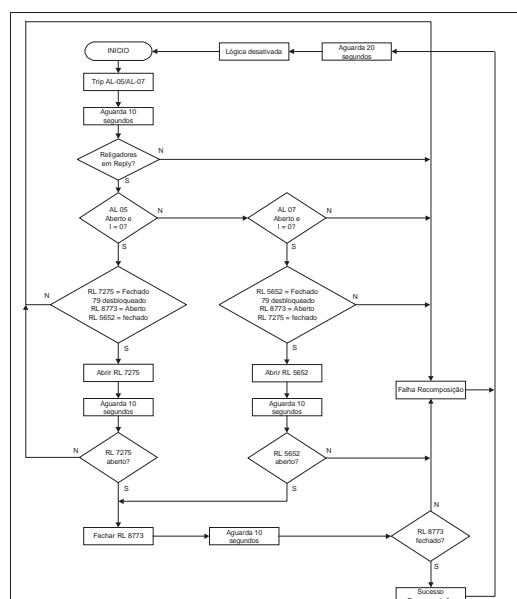


FIGURA 6 – Lógica de recomposição automática de consumidores.

A seguir será discutido a respeito da lógica de recomposição automática.

### A. Defeito no Trecho R1-R2

A figura 7 ilustra um defeito permanente no primeiro trecho do alimentador AI-05.

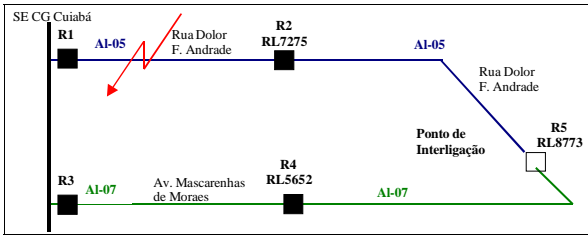


FIGURA 7 – Defeito no trecho R1-R2.

Caso haja um defeito permanente no trecho R1-R2 a lógica de recomposição automática tem seu início após o ciclo de religamentos do disjuntor da subestação.

Inicialmente é realizada a verificação da comunicação de todos os religadores envolvidos na lógica e a confirmação do estado do religador R5 (interligação) que deve estar aberto.

Posteriormente é realizado a confirmação do disjuntor da subestação (R1) aberto, pela verificação do estado e corrente da fase B nula. Desta forma, o religador R2 é aberto automaticamente isolando o trecho defeituoso do alimentador AI-05, como mostra a figura 8.

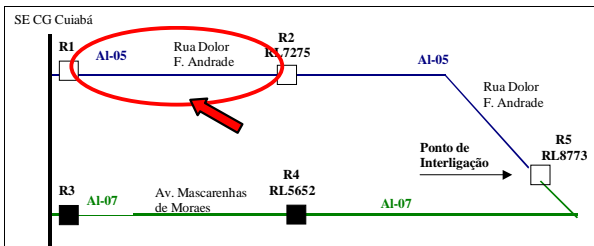


FIGURA 8 – Isolamento da área defeituosa.

Após dado o comando de abertura do religador R1 é aguardado um tempo de 20 (vinte) segundos e em seguida confirmado a sua abertura pelo estado do religador e corrente na fase B nula.

Assim, o religador de interligação R5 pode ser fechado sem risco de fechamento e energização do alimentador com um defeito, figura 9.

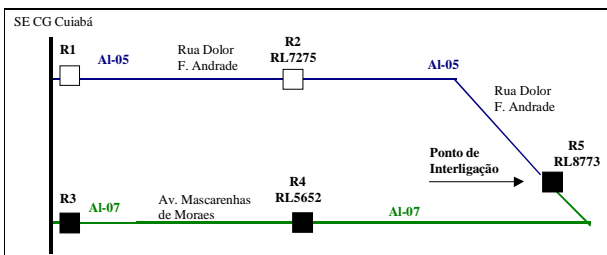


FIGURA 9 – Parte da carga do alimentador AI-05 recomposta.

### B. Defeito no Trecho R3-R4

O funcionamento da lógica de recomposição automática de consumidores é análoga a mencionada no item anterior.

## VI. REDUÇÃO DO DEC E FEC

Para a determinação do montante de redução no DEC e FEC faz-se necessário levar em consideração quatro cenários a saber:

- Cenário 1 – Operação da Rede de Distribuição com chave faca – Defeito no alimentador AI-07.
- Cenário 2 – Operação da Rede de Distribuição com religador – Defeito no trecho 1 do AI-07.
- Cenário 3 – Operação da Rede de Distribuição com chave faca – Defeito no alimentador AI-05.
- Cenário 4 – Operação da Rede de Distribuição com religador – Defeito no trecho 1 do AI-05.

### A. Cenário 1: Operação de Redes de Distribuição com Chave Faca – Defeito no Alimentador 07

Considerando que na operação da Rede de Distribuição com chave faca o tempo de manobras para localização e isolamento da área defeituosa leva em média 0,5 hora e o tempo de restabelecimento do defeito no trecho 1 de 1,5 hora, o DEC e FEC podem ser calculados de acordo com a equação (1) e (2).

A figura 10 mostra um defeito no trecho 1 do alimentador AI-07.

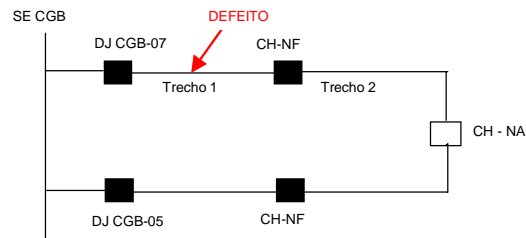


FIGURA 10 – Cenário 1 – Operação com chave faca.

$$DEC = \frac{(\text{Número consumidores afetados}) \cdot \text{Tempo}}{\text{Número total consumidores}} \quad (1)$$

$$FEC = \frac{(\text{Número consumidores afetados}) \cdot (\text{Número interrupções})}{\text{Número total consumidores}} \quad (2)$$

onde,

DEC – Duração Média Equivalente de Interrupção por Consumidor;

FEC – Frequência Média Equivalente de interrupção por Consumidor.

Neste cenário no cálculo do DEC e FEC deve ser considerado duas partes:

- O alimentador completo - até a isolamento do defeito; e
- Metade do alimentador – após isolado o defeito.

Assim,

$$DEC_{(\text{Trecho 1} + \text{Trecho 2})} = \frac{4140 \cdot 0,5}{4140} = 0,5 \text{ hora} \quad (3)$$

$$DEC_{(\text{Trecho 1})} = \frac{1359 \cdot 1,5}{4140} = 0,49 \text{ hora} \quad (4)$$

Portanto o DEC total será,

$$DEC_{\text{Total}} = 0,5 + 0,49 \quad (5)$$

$$DEC_{\text{Total}} = 0,99 \text{ hora} \quad (6)$$

E o FEC total será,

$$FEC_{Total} = \frac{4140 \cdot 1}{4140} = 1 \text{ i/c} \quad (7)$$

### B. Cenário 2: Operação de Redes de Distribuição com Religadores – Defeito no Alimentador 07

Considerando um defeito no trecho 1 do alimentador AI-07, mas agora a operação com religadores e a lógica de recomposição em operação, como mostra a figura 11.

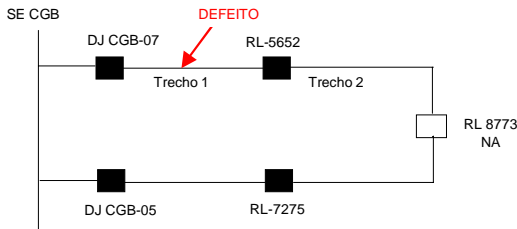


FIGURA 11 – Cenário 2 – Operação com chave religadores.

Neste cenário o tempo de manobras para localização e isolamento da área defeituosa é menor que 01 minuto, portanto não é gerado DEC e FEC para o alimentador completo.

Contudo, o tempo de restabelecimento do defeito deste trecho ainda é de 1,5 hora.

Assim, o DEC e o FEC totais serão de,

$$DEC_{Total} = \frac{1359 \cdot 1,5}{4140} = 0,49 \text{ hora} \quad (8)$$

$$FEC_{Total} = \frac{1359 \cdot 1}{4140} = 0,33 \text{ i/c} \quad (9)$$

### C. Cenário 3: Operação de Redes de Distribuição com Chave Faca – Defeito no Alimentador 05

Considerando um defeito no trecho 1 do alimentador AI-05, como mostra a figura 12.

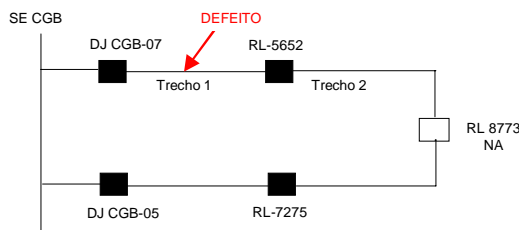


FIGURA 12 – Cenário 3 – Operação com chave faca.

Considerando, também, que na operação da Rede de Distribuição com chave faca o tempo de manobras para localização e isolamento da área defeituosa leva em média 0,5 hora e o tempo de restabelecimento do defeito no trecho 1 de 1,5 hora. Assim DEC e FEC serão,

$$DEC_{(Trecho1 + Trecho 2)} = \frac{4703 \cdot 0,5}{4703} = 0,5 \text{ hora} \quad (10)$$

$$DEC_{(Trecho 1)} = \frac{2595 \cdot 1,5}{4703} = 0,83 \text{ hora} \quad (11)$$

Portanto o DEC total será,

$$DEC_{Total} = 0,5 + 0,83 \quad (12)$$

$$DEC_{Total} = 1,33 \text{ hora} \quad (13)$$

E o FEC total será,

$$FEC_{Total} = \frac{4703 \cdot 1}{4703} = 1 \text{ i/c} \quad (14)$$

### D. Cenário 4: Operação de Redes de Distribuição com Religadores – Defeito no Alimentador 05

Considerando um defeito no trecho 1 do alimentador AI-05, mas agora a operação com religadores e a lógica de recomposição em operação, como mostra a figura 13.

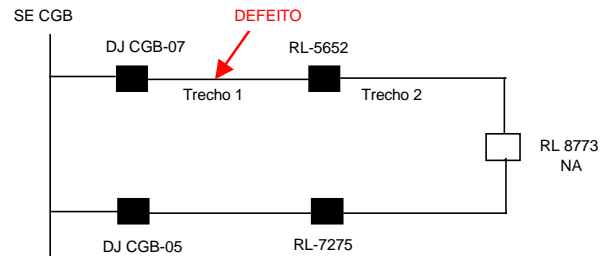


FIGURA 13 – Cenário 4 – Operação com chave religadores.

Neste cenário o tempo de manobras para localização e isolamento da área defeituosa é menor que 01 minuto, portanto não é gerado DEC e FEC para o alimentador completo.

Contudo, o tempo de restabelecimento do defeito deste trecho ainda é de 1,5 hora.

Assim, o DEC e o FEC totais serão de,

$$DEC_{Total} = \frac{2595 \cdot 1,5}{4703} = 0,83 \text{ hora} \quad (15)$$

$$FEC_{Total} = \frac{2595 \cdot 1}{4703} = 0,55 \text{ i/c} \quad (16)$$

### E. Redução dos Indicadores Operacionais do Alimentador AI-07

A redução dos indicadores operacionais do alimentador AI-07 esperada é de,

$$\text{Redução DEC} = \frac{0,49}{0,99} \Rightarrow 50 \% \quad (17)$$

$$\text{Redução FEC} = \frac{0,33}{1} \Rightarrow 67 \% \quad (18)$$

### F. Redução dos Indicadores Operacionais do Alimentador AI-05

A redução dos indicadores operacionais do alimentador AI-05 esperada é de,

$$\text{Redução DEC} = \frac{0,83}{1,33} \Rightarrow 37 \% \quad (19)$$

$$\text{Redução FEC} = \frac{0,55}{1} \Rightarrow 45 \% \quad (20)$$

Portanto a redução esperada nos indicadores operacionais para os alimentadores envolvidos neste projeto pode ser de até 50% para o DEC e de 67% para o FEC.

Os tempo de manobras para isolamento e restabelecimento dos alimentadores foram tomados considerando o atendimento de apenas uma equipe individual.

## VII. CONCLUSÕES

Uma nova filosofia de operação de redes utilizando religadores telecomandados e automatizados foi mostrado com vistas a redução dos índices de continuidade de grupo e individuais.

Foi comentado o funcionamento da lógica de recomposição da carga no caso de defeitos permanentes nos alimentadores. Sendo que em casos de defeitos permanentes o trecho não defeituoso do alimentador é restabelecido com tempo inferior a 01 (um) minuto, portanto não gerando DEC, FEC, DIC e FIC para estes consumidores. Toda a recomposição sendo realizada sem a intervenção do despachante do COD.

Ficou demonstrado que a redução nos índices de continuidade de grupo dos alimentadores envolvidos podem chegar a 50% para o DEC e 67% para o FEC.

## VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Catálogos:

- [1] Reclosers – Types NOVA 15 and NOVA 27; Three-Phase Microprocessor-Contrplled; Installation and Operation Instructions
- [2] Religadores; Controles Microprocessados para Religadores kyle@ Form 5, Form 5 UDP e Form 5 NOVA DC Instruções para Instalação e Operação.
- [3] KYLE Form 5 – Eletronic Recloser Control

Livros:

- [4] Dugan, Roger C.; Mcgranaghan, Mark F.; Beaty, Wayne H. – Electrical Power Systems Quality, 1996 McGraw-Hill.