

# Melhoria da Qualidade do Serviço através da Minimização dos Cortes de Carga

A.B. Knolseisen, J. Coelho, R.S. Rocha, F.F. Andrade, C.C.B. Camargo, C. Varella

**Resumo**—A necessidade de executar cortes de carga no sistema de distribuição quando não há possibilidade de atendimento de toda a demanda por parte da geração e/ou transmissão, impacta diretamente nos indicadores de continuidade. Tendo em vista o rigor das metas de fornecimento definidas pelo Órgão Regulador, este artigo apresenta uma ferramenta de apoio à decisão ao corte de carga em situações de contingência, baseada em duas metodologias executadas de forma independente. Uma metodologia visa à regulação de tensão dos alimentadores das subestações que se encontram na área de solicitação do corte de carga, minimizando o montante de carga a ser desligada. Uma segunda metodologia multicritério auxilia a coordenação da operação dos desligamentos através da classificação dos alimentadores candidatos, considerando critérios como: valores limites de DEC/FEC, serviços essenciais dos clientes e energia não suprida. A ação de corte de carga é realizada pelo especialista que define as alternativas que serão executadas, minimizando o prejuízo para os clientes e para a distribuidora, refletido na melhoria da qualidade do serviço prestado. Uma classificação obtida para o corte de carga é apresentada para uma rede real de distribuição.

**Palavras-Chave**—Corte de carga, metodologia multicritério, qualidade do serviço, sistemas de distribuição, simulação.

## I. INTRODUÇÃO

SENDO as redes de distribuição o elo final da interconexão entre os sistemas de potência e os consumidores, eventuais limitações nos sistemas de geração e/ou transmissão obrigam o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) a solicitar cortes de carga às distribuidoras [1].

Contudo, a execução de cortes de carga tem influência direta nos índices de qualidade e nos custos que a interrupção no fornecimento reflete aos consumidores e concessionária. E, considerando o rigor das metas de continuidade definidas pelo órgão regulador, as empresas concessionárias de energia elétrica têm sido incentivadas a melhorar a qualidade do serviço prestado aos seus clientes. Assim, para garantir o atendimento aos indicadores de qualidade e minimizar a perda de receita da concessionária com a energia não faturada, é importante a busca pelo conjunto de operações que otimize o

corte de carga na distribuição.

Muitas metodologias foram desenvolvidas para realização do corte de carga, como a apresentada em [1] onde foi investigado o impacto de estratégias de corte de carga nos índices de custo da confiabilidade em sistemas de distribuição devido a faltas não programadas na geração e transmissão, sendo que a avaliação do desempenho da confiabilidade considera diferentes prioridades de corte de carga nos alimentadores. Já em [2], o corte de carga em sistemas de distribuição devido às faltas na geração e transmissão é realizado com a função objetivo sugerindo o desligamento de cargas com a minimização dos custos causada pela interrupção de energia, valorados para diferentes classes de consumidores.

A situação de rede operando fora dos limites de corrente e tensão é abordado em [3], cujo procedimento elimina primeiro os alimentadores terminais mais carregados até que não existam mais violações de capacidade de carregamento em todos os trechos, e por fim as cargas que possibilitam correções nos níveis de tensão.

A técnica de algoritmo genético também é aplicada no procedimento de corte de carga, como apresentado em [4], onde a função objetivo a ser minimizada é dependente de cinco termos e a prioridade das cargas é considerada para efetivação do corte. Para auxiliar a coordenação da operação nos desligamentos de carga pode ser aplicada uma metodologia multicritério [5], a qual também auxilia no restabelecimento do fornecimento aos consumidores.

Com o objetivo de levar em consideração diversos aspectos considerados relevantes no processo decisório de corte de carga em situações de contingência, este artigo apresenta uma ferramenta de apoio à decisão composta por duas metodologias que podem ser executadas de forma independente. Uma metodologia auxilia na regulação de tensão (despacho ótimo) dos alimentadores das subestações que se encontram na área de solicitação do corte de carga, para minimizar a necessidade de desligamentos, enquanto a metodologia multicritério auxilia na coordenação da operação dos desligamentos através da classificação dos alimentadores candidatos considerando critérios como: controle de tensão, metas de DEC/FEC, serviços essenciais dos clientes e energia não suprida.

## II. METODOLOGIA PARA REGULAÇÃO DE TENSÃO

A regulação de tensão dos alimentadores das subestações que se encontram na área de solicitação do corte de carga, está

Este trabalho teve suporte da CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina), onde está C. Varella (e-mail: [claudiovn@celesc.com.br](mailto:claudiovn@celesc.com.br))

A.B. Knolseisen está no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil (e-mail: [dee2abks@joinville.udesc.br](mailto:dee2abks@joinville.udesc.br)).

J. Coelho, F.F. Andrade, R.S. Rocha e C.C.B. Camargo estão no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Feral de Santa Catarina, Brasil (e-mail: [coelho@labplan.ufsc.br](mailto:coelho@labplan.ufsc.br)).

baseada no controle de tensão através da variação do TAP de transformadores, pois é um processo de correção local. Este ajuste ocorre através da lógica de realimentação, onde a variável de controle varia (tensão de despacho na saída dos alimentadores das subestações) procurando manter a variável controlada (TAP da subestação) em determinado valor. As variáveis de controle permanecem inalteradas para cada iteração, sendo reajustadas somente entre uma iteração e outra

Esta metodologia procura minimizar a necessidade de desligamentos, sendo que os cálculos permitem encontrar o ponto de operação para o TAP dos transformadores das subestações de interesse, atentando para não infringir os níveis de tensão mínimos ao longo dos alimentadores. Uma vez feita à indicação para redução do TAP das subestações, cabe ao operador de distribuição enviar o comando para executar a operação. Então, através da observação dos novos valores de consumo de potência ativa e reativa no sistema de aquisição de dados do centro de controle, verifica-se a redução de demanda elétrica ocasionada pela regulação de tensão na SE.

Cabe lembrar, que a regulação de tensão nas subestações visando à redução de demanda, está diretamente ligada à tipologia das cargas (percentual de impedância, corrente ou potência constante). Como na prática, a extração dos parâmetros do modelo de carga é um processo complexo e aproximado, o fluxo de carga utilizado na metodologia proposta considera as cargas como potência constante. Essa consideração confere ao processo um caráter mais conservador, no que diz respeito ao cumprimento dos níveis mínimos de tensão exigidos pela ANEEL, quando da redução da tensão de despacho.

Para cálculo de fluxo de carga é utilizado o Método Soma das Potências [7], voltado especificamente para sistemas de distribuição de média tensão. Contudo, além de fazer uso das particularidades das redes de distribuição, permite a modelagem de equipamentos normalmente encontrados na alta tensão, como reguladores de tensão e bancos de capacitores.

A compensação shunt é modelada como:

$$Qac_i = \sum_{j=i}^n Q_j + \sum_{j=i+1}^n Qlac_j - Qc_k \quad (1)$$

$$Qac_i = Q_i - Qc_k \quad (2)$$

E a compensação série aparece na modelagem como:

$$Qlac_i = \frac{(X_i - Xc_i) \cdot (Pac_i^2 + Qac_i^2)}{V_i^2} \quad (3)$$

onde,

$Qac_i$ : potência reativa acumulada na barra i.

$Q_j$ : potência reativa na barra j.

$Qlac_i$ : perdas de potência reativa acumulada na barra i.

$Qc_k$ : potência reativa do capacitor na barra k.

$X_i$ : reatância na barra i.

$Xc_i$ : reatância capacitiva na barra i.

$Pac_i$ : potência ativa acumulada na barra i.

$V_i$ : tensão na barra i.

Assim, as equações para o cálculo da tensão também são modificadas:

$$V_i = [B_i - A_i]^{1/2} \quad (4)$$

$$A_i = Pac_i R_i + Qac_i (X_i - Xc) - 0,5V_{i-1}^2 \quad (5)$$

$$B_i = (Pac_i^2 + Qac_i^2) \cdot (R_i^2 + ((X_i - Xc))^2) \quad (6)$$

Da mesma forma, para o ângulo  $\beta$  das tensões:

$$\beta_i = tg^{-1} \frac{Pac_i \cdot (X_i - Xc) - Qac_i \cdot R_i}{Pac_i \cdot R_i + Qac_i \cdot (X_i - Xc) + V_i^2} \quad (7)$$

Para o regulador de tensão, foi considerado no fluxo de carga implementado que no ponto de instalação dos reguladores, caso a tensão se encontre entre 0,9 e 1,1p.u. (isso para uma regulação de 10%) a tensão seria regulada para 1,0pu. Se os limites forem ultrapassados, os reguladores então seriam capazes de elevar ou abaixar a tensão na barra em 10%.

### III. METODOLOGIA MULTICRITÉRIO

As variáveis implementadas como critérios são: DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e Nível de Prioridade de Atendimento às Cargas. A classificação dos alimentadores com base nos três primeiros critérios visa ordenar aqueles alimentadores que atendam cargas com **menor** grau de prioridade cujas metas **anuais** de DEC e FEC estejam **menos** comprometidas nos conjuntos atendidos.

As análises de prevalência entre os critérios e seus respectivos pesos na metodologia multicritério dependem sensivelmente da avaliação dos especialistas da área de operação. A base de conhecimento representa toda informação útil sobre o processo de escolha dos alimentadores para o desligamento, adquirida pelos operadores da rede ao longo dos anos e que possam ser inseridas no sistema inteligente.

#### A. Critérios de Classificação dos Alimentadores para o Desligamento (CAD)

##### 1) Utilização do FEC na classificação dos alimentadores

Como um mesmo alimentador pode atravessar mais de um conjunto, no intuito de se determinar a contribuição que o desligamento desse alimentador acarreta no FEC de um conjunto, é determinado o percentual de consumidores conectados em cada alimentador nos diversos conjuntos. Para isso a ferramenta executa uma varredura nas informações de cada conjunto, e calcula a contribuição percentual individual ( $\alpha$ ) de cada alimentador para o conjunto, em termos do número de consumidores. Os resultados são armazenados numa tabela de dados denominada matriz de contribuição dos alimentadores no conjunto [5]:

$$\alpha = \frac{NC_{a,c}}{NC_c} \cdot 100 \quad [\%] \quad (8)$$

onde,

$NC_{a,c}$ : número de consumidores do conjunto  $c$  alimentado pelo alimentador  $a$ ;

$NC_c$  : número de consumidores do conjunto  $c$ .

Através da matriz é possível calcular qual o efeito negativo da abertura de um determinado alimentador em cada conjunto. Então, por meio das tabelas atualizadas do valor das metas e do valor acumulado para o indicador de cada conjunto, é calculada a folga do indicador do conjunto, dado em interrupções:

$$Folga_c^{FEC} = Meta_c^{FEC} - Acumulado_c^{FEC} \quad (9)$$

onde,

$Folga_c^{FEC}$  : folga do indicador FEC do conjunto  $c$ ;

$Meta_c^{FEC}$  : meta do FEC do conjunto  $c$ ;

$Acumulado_c^{FEC}$  : valor anual acumulado de FEC do conjunto  $c$ .

Essa folga representa o quão distante o valor acumulado de FEC está da meta, para cada conjunto. A folga provável do FEC, em interrupções, caso um determinado alimentador seja interrompido é dado por:

$$Folga_{c,a(DC)}^{FEC} = Folga_{c(AC)}^{FEC} - \alpha_{a,c} \quad (10)$$

onde,

$Folga_{c,a(DC)}^{FEC}$  : folga depois do corte

$Folga_{c(AC)}^{FEC}$  : folga antes do corte

$\alpha_{a,c}$  : percentual da contribuição do alimentador  $a$  no conjunto  $c$  em relação ao número de consumidores atendidos.

Com o objetivo de normalizar os potenciais de folga para o FEC de cada conjunto, foi adotado como parâmetro de comparação a Variação Percentual da Folga (VPF) [5, 9]:

$$VPF^{FEC} = \frac{\alpha}{Folga_{anual,c}^{FEC}} \quad (11)$$

onde,  $VPF^{FEC}$  é a folga anual para o indicador FEC do conjunto  $c$  no instante de execução da classificação.

Segundo (11), quanto **menor** o valor  $VPF^{FEC}$ , **melhor** será a situação para o FEC do conjunto. Assim, para cada possível alimentador a ser desligado, será associado como fator de deteriorização do FEC, o pior/menor valor de VPF do alimentador dentre os conjuntos por ele atendidos, lembrando que as piores situações devem ser evitadas, mesmo que ocorram efeitos colaterais distribuídos.

## 2) Utilização do DEC na classificação dos alimentadores

A partir da mesma matriz de armazenamento de dados utilizada para o FEC, é possível obter o impacto sobre o DEC em cada conjunto. O desligamento de um determinado alimentador por um período de tempo estimado pelo operador ( $\Delta t$ ) permite calcular o efeito negativo sobre o indicador de continuidade DEC de cada conjunto. De forma análoga a (9-10), e multiplicando  $\alpha_{a,c}$  pelo tempo previsto de duração do corte, pode-se calcular a folga do indicador do conjunto ( $Folga_c^{DEC}$ ) e a folga provável depois do corte  $Folga_{c,a(DC)}^{DEC}$ , ambas em horas.

Para normalizar os potenciais de folga para DEC de cada

conjunto, foi adotado como parâmetro de comparação a Variação Percentual da Folga (VPF):

$$VPF^{DEC} = \frac{\alpha \times \Delta t}{Folga_{anual,c}^{DEC}} \quad (12)$$

onde,  $Folga_{anual,c}^{DEC}$  é a folga anual do indicador DEC para conjunto  $c$ .

Também para o caso do FEC, quanto **menor** este valor, **melhor** será a situação para o DEC do conjunto.

## 3) Prioridade de Carga

As cargas prioritárias são usualmente determinadas pela concessionária. Para este modelo adota-se o nível de prioridade para o alimentador como um todo e não para cada carga específica, sendo considerado como nível de prioridade de cada alimentador o **maior nível** de prioridade de carga por este atendido. Esta consideração visa preservar a importância relativa dos consumidores atendidos, independentemente da quantidade de energia demandada.

## B. Metodologia de Apoio à Decisão

A aplicação da metodologia de apoio à decisão está baseada na questão do uso de funções de valor e/ou utilidade, aplicada aos critérios estabelecidos.

### 1) Pontos de Vista Fundamentais

Os critérios para classificação dos alimentadores, DEC e FEC, podem ser agregados sob um único Ponto de Vista Fundamental (VPF) chamado de **Impacto nos Indicadores de Continuidade**. O segundo VPF definido é o **Impacto nas Cargas Prioritárias**, que deverá considerar os níveis de prioridade de atendimento (Figura 1). Os VPF's se relacionam com os eventuais efeitos negativos da abertura de um alimentador para atender ao corte de carga.

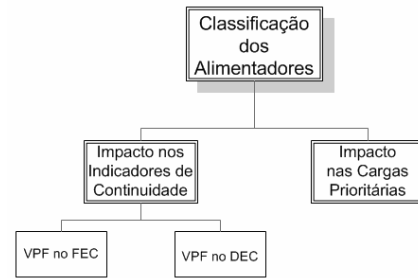


Figura 1: Estrutura dos Pontos de Vista Fundamentais adotados para classificação dos alimentadores.

### 2) Descritores

Um descritor é um conjunto de níveis de impacto que serve de base para descrever as performances plausíveis das ações potenciais de cada VPF [9]. Os níveis de impacto podem ser ordenados em termos de preferência entre a ação **pior aceitável** e a ação **melhor possível**.

Pelo ponto de vista do Impacto nos Indicadores de Continuidade, os parâmetros adotados como descritores para DEC e FEC estão definidos respectivamente através de (11) e (12). Para dar maior clareza a estes descritores foi considerado um Fator de Correção Mensal (FCM), razão entre o número de dias até o final do ano e o número de dias no ano (365), para que a variação percentual tivesse como referência um mês hipotético. Assim,

$$VPF^{FEC} = FCM \cdot \frac{\alpha}{Fo \lg a_{anual,c}^{FEC}} \quad (13)$$

$$VPF^{DEC} = FCM \cdot \frac{\alpha \cdot \Delta t}{Fo \lg a_{anual,c}^{DEC}} \quad (14)$$

### 3) Função de Valor

A função de valor estabelece um caminho matemático para que as variações de preferência na escala dos descritores sejam proporcionais aos diferentes sentimentos de **valor** que tais ações evidenciam aos decisores (especialistas da área de operação da concessionária). Dessa forma, os valores de nível de prioridade e variação percentual na folga do DEC e do FEC passam, através da função de valor, a assumir um patamar definido numa escala de valor de 0 a 100. Este procedimento permite que diferentes grandezas físicas dos critérios sejam igualmente consideradas na função de agregação que classificará os alimentadores. A função de valor adotada para os níveis de prioridade é formada por três funções discretas, para cada um dos critérios adotados:

$$fv(pri) = \begin{cases} se \ pri \in [1,2,3,4,5] \\ \quad \text{então } fv(pri) = 105 - 5 \times pri \\ se \ pri \in [6,7,8,9,10] \\ \quad \text{então } fv(pri) = 115 - 7,5 \times pri \\ se \ pri \in [11,12,13,14,15] \\ \quad \text{então } fv(pri) = 75 - 5 \times pri \end{cases} \quad (15)$$

$$fv(VPF^{FEC}) = \begin{cases} se \ 0 \leq VPF^{FEC} \leq 10 \\ \quad \text{então } fv(VPF^{FEC}) = 100 - 5 \times VPF^{FEC} \\ se \ VPF^{FEC} > 10 \\ \quad \text{então } fv(VPF^{FEC}) = 62,5 - 1,25 \times VPF^{FEC} \end{cases} \quad (16)$$

$$fv(VPF^{DEC}) = \begin{cases} se \ 0 \leq VPF^{DEC} \leq 10 \\ \quad \text{então } fv(VPF^{DEC}) = 100 - 4 \times VPF^{DEC} \\ se \ 10 < VPF^{DEC} \leq 30, \\ \quad \text{então } fv(VPF^{DEC}) = 75 - 1,5 \times VPF^{DEC} \\ se \ VPF^{DEC} > 30 \\ \quad \text{então } fv(VPF^{DEC}) = 48 - 0,6 \times VPF^{DEC} \end{cases} \quad (17)$$

### 4) Taxas de Substituição

As taxas de substituição ( $w$ ), ou pesos, possibilitam diferentes formas de classificação dos alimentadores para o desligamento, permitindo atribuir uma importância diferente para o impacto nas cargas prioritárias daquele dado ao impacto nos indicadores de continuidade. A escolha destes parâmetros deve ser feita pelo operador no momento da classificação dos alimentadores, de acordo com as prerrogativas que a situação de momento lhe proporcionar.

A função objetivo final é obtida através da avaliação de cada ação (desligamento de um alimentador) com a Função de Agregação (FA) dos diferentes pontos de vista adotados. Quanto maior for o valor de cada ação, maior é a chance deste alimentador ser desligado no corte de carga, isso porque as notas maiores são sempre dadas aos alimentadores que sofrem o menor impacto nos indicadores de continuidade e para aqueles com as cargas de menor prioridade. Ou seja quanto maior a nota maior é o indício de que o desligamento do alimentador terá seus efeitos minimizados em comparação com os demais:

$$FA_a = [w^{pri} \cdot fv(pri)] + \\ + [w^{ind} \cdot (w^{FEC} \cdot fv(VPF^{FEC}) + w^{DEC} \cdot fv(VPF^{DEC}))] \quad (18)$$

onde  $a$  representa a ação de desligamento de um alimentador.

Ao final da avaliação das diversas ações, a metodologia de apoio à decisão fornece uma ordenação dos alimentadores para desligamento segundo os critérios e pesos adotados.

## IV. FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO

O problema de corte de carga é iniciado no momento em que o operador toma conhecimento da quantidade de carga que deve ser desligada (MW) e do prazo para sua execução (tempo) segundo solicitação do ONS. Então é feita a aquisição automática dos dados reais sobre o sistema de distribuição, necessários à classificação dos alimentadores para o efetivo desligamento, segundo os critérios pré-estabelecidos. O operador ajusta os pesos de cada um dos critérios, conforme sua concepção ou aplica os pesos determinados a priori. Por exemplo, no caso de necessidade de cortes de carga de natureza emergencial que não caracterizem penalidades quanto aos indicadores DEC e FEC, estes poderiam ter seus pesos zerados pelo operador.

As informações do sistema de distribuição são obtidas a partir de tabelas armazenadas a priori, as quais podem ser facilmente atualizadas. Cada operador pode definir e salvar um conjunto de parâmetros relacionados à execução do programa e as interfaces de interação. A busca pela otimização do problema de corte de carga aplica, de forma independente, as duas metodologias descritas, na forma de módulos, conforme apresentado na Figura 2.

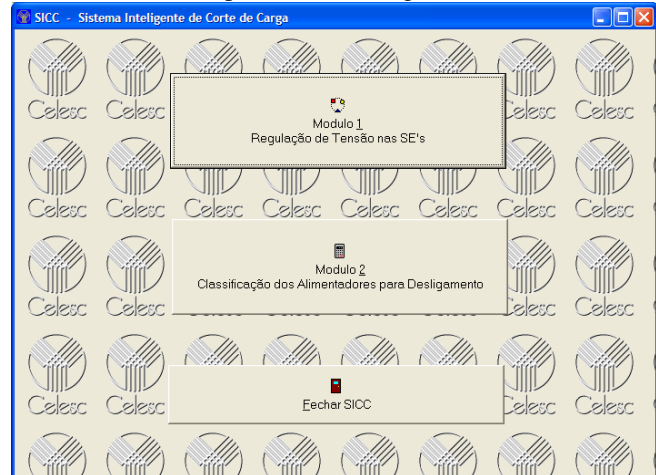


Figura 2: Seleção do módulo a ser executado.

### A. Módulo 1: Regulação de Tensão nas SE's

Como o fluxo de potência no sistema de distribuição depende das condições de carregamento do sistema (horário), para cada alimentador de cada regional, há a possibilidade de selecionar Fatores de Demanda (FD) históricos (máximos ou mínimos), para cada horário da solicitação.

Conhecidas as condições de carregamento do alimentador, a regulação de tensão na saída das subestações verifica a potência ativa que pode ser aliviada da rede, respeitando os limites para o adequado fornecimento da energia elétrica.

Nessa metodologia, como as cargas são representadas pelo modelo de potência constante, a execução do fluxo de carga encontra um ponto de operação confiável para o TAP dos transformadores das subestações de interesse, sem que os níveis de tensão precário ( $0,90 < V_{pu} < 0,93$ ) ou crítico ( $V_{pu} < 0,90$  ou  $V_{pu} > 1,05$ ) sejam infringidos ao longo dos alimentadores.

Após a regulação de tensão, o operador analisa a nova situação do sistema, e se houver ainda necessidade de cortes de carga, o Módulo 2 é executado.

### B. Módulo 2: Classificação dos Alimentadores para Desligamento

Este módulo apresenta ao operador as melhores opções de alimentadores para o desligamento, baseado nos critérios de indicadores de continuidade e de prioridades de carga.

Para tanto, o operador deve indicar as taxas de substituição ( $w$ ), ou utilizar os valores pré-estabelecidos. Dessa forma é possível atribuir uma importância diferente para o impacto nas cargas prioritárias daquele dado ao impacto nos indicadores de continuidade, e também é possível que as variações no percentual de folga do FEC e do DEC tenham considerações distintas. O operador deve também informar o tempo estimado de duração do corte e data da última amostragem do DEC/FEC acumulados.

Depois de indicados todas as taxas, o tempo de duração do corte e a data da última amostragem (Figura 3), o operador pode executar a metodologia multicritério.

Assim, o Módulo 2 proporciona ao operador uma visão mais ampla e rápida da relação do corte de carga com os valores de DEC/FEC e prioridade de carga. Por isso, poderá sempre que necessário, simular cortes de carga a priori.

### C. Tomada de decisão

Cada vez que o Módulo 2 gera uma saída, ou seja, uma classificação dos alimentadores candidatos ao corte, deve ser executado o desligamento do alimentador melhor classificado para o corte ou aquele que, por algum motivo, for julgado mais adequado pelo operador. Ao final, a decisão tomada pelo operador é registrada num banco de dados junto com a solução apresentada, os pesos adotados, data e hora da operação.

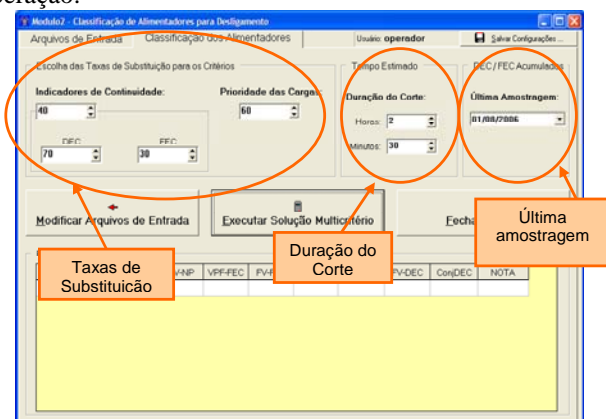


Figura 3: Seleção do módulo a ser executado.

## V. ESTUDO DE CLASSIFICAÇÃO PARA O CORTE DE CARGA

Nesta etapa é solicitado um corte de carga à área de operação da distribuidora de 13kVA.

Inicialmente o programa é utilizado para verificar os alimentadores e respectivos barramentos que permitem alguma regulação do TAP dos transformadores na saída das SE's (Módulo 1), conforme mostrado na Figura 4.

A Figura 4 (para a aplicação de um de fator de demanda máximo) não apresenta todos os alimentadores simulados, porém permite verificar que apenas os barramentos 1 e 4 podem ter suas tensões abaixadas sem comprometer a qualidade do atendimento.

ID Barramento	Código	Nome Alimentador	TSE(V)	TSE(pu)	FD	FP	Passo de Reg(V)	V Adequada(V)	Vpu Adequada	V Precária(V)	Vpu Precária
1	BBV01	BLUMENAU BARRIO VELHA 1	23100	1,000	0,380	0,900	1100	20900	0,904	0	0
1	BBV02	BLUMENAU BARRIO VELHA 2	23100	1,000	0,500	0,900	1100	20900	0,945	0	0
1	BBV03	BLUMENAU BARRIO VELHA 3	23100	1,000	0,540	0,900	1100	22000	0,975	20900	0,926
1	BBV04	BLUMENAU BARRIO VELHA 4	23100	1,000	1,000	0,900	1100	20900	0,945	0	0
2	BGA22	BLUMENAU GARCIA 22	23100	1,000	0,520	0,900	1100	0	0	22000	0,926
2	BGA24	BLUMENAU GARCIA 24	23100	1,000	0,380	0,900	1100	20900	0,905	0	0
2	BGA30	BLUMENAU GARCIA 30	23100	1,000	0,520	0,900	1100	20900	0,941	0	0
4	BGA26	BLUMENAU GARCIA 26	23100	1,000	0,910	0,900	1100	22000	0,969	20900	0,920
5	END01	BLUMENAU II 1	23100	1,000	0,350	0,900	1100	22000	0,975	20900	0,926
5	END03	BLUMENAU II 3	23100	1,000	0,470	0,900	1100	0	0	22000	0,914
6	END06	BLUMENAU II 6	23100	1,000	0,500	0,900	1100	0	0	22000	0,905
6	END07	BLUMENAU II 7	23100	1,000	0,500	0,900	1100	0	0	0	0
7	END17	BLUMENAU II 17	13800	1,000	0,560	0,900	600	0	0	12000	0,921
8	BOE01	BRUSQUE 1	23100	1,000	0,620	0,900	1100	20900	0,931	0	0

Figura 4: Relatório de regulação de tensão.

Havendo alguma dúvida quanto à tensão de fornecimento (adequada, precária, ou crítica) ao longo do alimentador, o operador pode inspecionar o diagrama unifilar do perfil de tensão (Figura 5), onde as cores indicam as faixas de tensão para atendimento aos consumidores, e que destaca os capacitores, reguladores e a subestação.

Visualizando a Figura 5, o operador pode realizar a efetiva regulação de tensão remota dos TAPs das subestações e verificar o conseqüente efeito no carregamento de sua região. Após simulação, verificou-se que a necessidade de corte de carga na região foi reduzida para 11 kVA

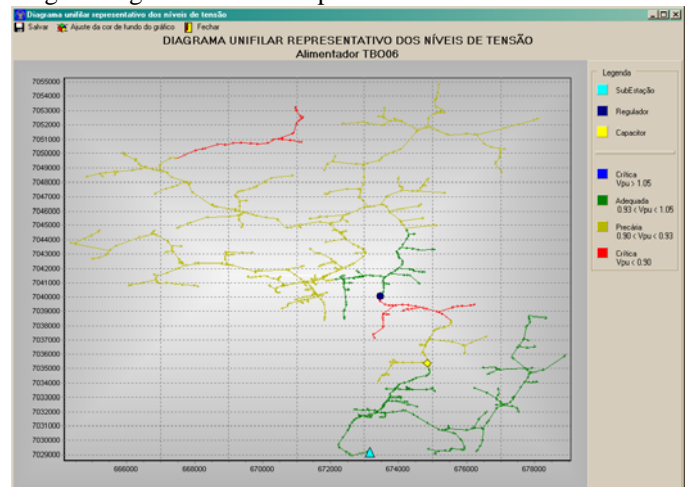


Figura 5: Diagrama unifilar representativo dos níveis de tensão.

Confirmada a necessidade de desligamento de alimentadores para a redução do carregamento, a ferramenta apresenta uma lista dos alimentadores cujo desligamento é mais conveniente, segundo os critérios considerados, prioridade e continuidade do atendimento (Módulo 2). A Figura 6 apresenta a janela principal do Módulo 2, onde o operador pode definir as taxas de substituição para os critérios, e a sua expectativa para o tempo de duração do

corte. No estudo de caso foi considerado tempo de duração do corte de 2h:30min e as taxas: Indicadores 66% com DEC 50% e FEC 50% e Prioridade de carga 34%.

Após a execução da classificação dos alimentadores, o operador pode visualizar (Figura 6) a ordem, segundo a função de agregação e os impactos de cada critério, conforme as respectivas funções de valor (FV). As cores verde, amarelo e vermelho refletem a percepção do especialista quanto à preferência em relação aos valores dos critérios.

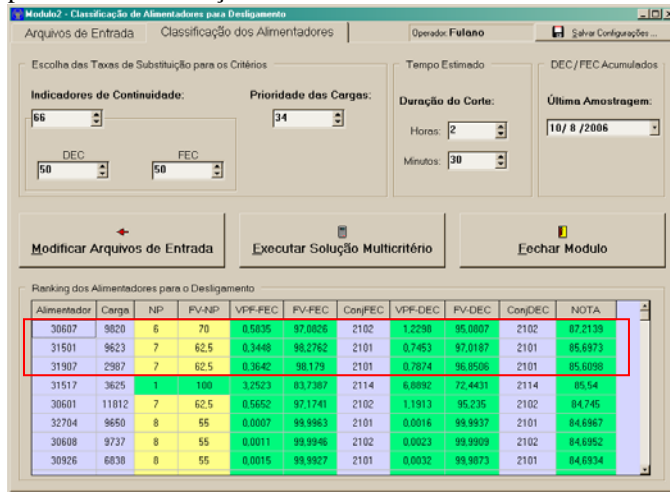


Figura 6: Classificação de alimentadores para desligamento, considerando fator de demanda máximo de 0,5.

Através do seu sistema de supervisão da carga (Figura 6), o operador tem autonomia para decidir sobre quais alimentadores serão desligados, podendo verificar com maior exatidão qual a carga que será retirada de cada alimentador candidato ao corte, caso este seja desligado. O sistema relata a carga instalada de cada um dos alimentadores listados e não a carga *on-line*. Neste caso, para um fator de demanda máximo em torno de 0,5, já que a carga efetiva não é conhecida, deveriam ser desligados os alimentadores 30607, 31501 e 31907 para atender a redução de carga residual com aproximadamente 11,2 kVA.

Em um segundo caso ao se considerar a priorização das cargas como mais importante, seriam utilizadas as seguintes taxas de substituição: Indicadores 34%, com DEC 50% e FEC 50%, e Prioridade de carga 66%. Dados estes novos pesos preferenciais, os alimentadores 31517, 30607 e 32702 deveriam ser desligados para atender a solicitação de redução da carga.

## VI. CONCLUSÃO

A ferramenta de apoio à decisão ao corte de carga tem como objetivo levar em consideração vários aspectos considerados relevantes para orientar os operadores das concessionárias no processo decisório de efetivo corte de carga, em situações de contingência ou de simulação. Por meio da utilização da metodologia proposta, podem-se alcançar diferentes resultados para classificar os alimentadores, de acordo com o grau de importância que cada descritor recebe por parte do decisor. Mesmo a metodologia multicritério auxiliando na coordenação da operação dos

desligamentos através da classificação dos alimentadores candidatos, o processo decisório de abertura ou religamento dos alimentadores é da autonomia do operador.

A eficiência da metodologia desenvolvida ficou comprovada através da apresentação do estudo de caso, para diferentes taxas de substituição para os critérios aplicados a um sistema real.

## VII. REFERÊNCIAS

- [1] A.M. Leite da Silva, A.M. Cassula, R. Billinton e L.A.F. Manso, "Optimum Load Shedding Strategies in Distribution Systems", IEEE Porto Power Tech Conference, Set. 2001.
- [2] P. Wang e R. Billinton, "Optimum load-shedding technique to reduce the total customer interruption cost in a distribution system", IEE Transmission and Distribution, Vol. 147, pp. 51-56, Jan. 2000.
- [3] P.S. Nagendra Rao e K.S. Papa Rao, "An Efficient Load Shedding Algorithm for Radial Systems", IEEE Power Transmission and Distribution, pp. 771-774, 2003.
- [4] W.P. Luan, M.R. Irving e J.S. Daniel, "Genetic algorithm for supply restoration and optimal load shedding in power system distribution networks", IEE Transmission and Distribution, Vol. 149, pp. 145-151, Mar. 2002.
- [5] F.F. Andrade, A.B. Knolseisen, E. Gaulke, R.S. Rocha, C.C.B. Camargo, J. Coelho, C. Varella. "Uma Metodologia Multicritério para Operação Coordenada dos Desligamentos e Restabelecimentos de Energia aos Consumidores." CIDEL 2006 – Congreso Internacional de Distribución Eléctrica, Buenos Aires, Argentina, Nov 2006.
- [6] Coelho, J.; Knolseisen, A.B.; Mayerle, S.F.; Pimentel, F.J.S.; Guembarovski, R.H. "Um Sistema de Apoio à Decisão Multicritério para o Balançamento de Cargas em Redes Secundárias de Distribuição de Energia Elétrica." V SBQEE – Seminário Brasileiro sobre Qualidade de Energia Elétrica, Aracaju, SE, Ago 2003.
- [7] D. Das et al., "Simple and Efficient Method for Load Flow Solution of Radial Distribution Networks," *Electric Power & Energy Systems*, vol. 17, no. 5, pp. 335-346, 1995.
- [8] ANEEL. Resolução No. 024, de 27 de Janeiro de 2000. Brasília, 2000.
- [9] L. Ensslin; G. Montibeller-Neto e S.M. Noronha. "Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas". 1a Edição, Editora Insular, 2001.