

Outra característica importante consiste na necessidade de se ter um controle maior sobre cada consumidor, o que é difícil realizar através de indicadores coletivos, como é o caso do DEC ou FEC, definidos anteriormente. Desta forma, são definidos três indicadores importantes, relacionados à duração e frequência de interrupções em um dado consumidor:

- Duração de interrupção individual por unidade consumidora (DIC) – Intervalo de tempo que, no período de observação, em cada unidade consumidora ocorreu descontinuidade da distribuição da energia elétrica:

$$DIC = \sum_{i=1}^N t_i \quad (8.11)$$

- Frequência de interrupção individual por unidade consumidora (FIC) – Número de interrupções ocorridas, no período de observação em cada unidade consumidora, ou seja, o indicador FIC é dado simplesmente por:

$$FIC = N \quad (8.12)$$

- Duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora (DMIC) – Tempo máximo de interrupção contínua, da distribuição de energia elétrica, para uma unidade consumidora qualquer:

$$DMIC = \max_{i=1, \dots, N}(t_i) \quad (8.13)$$

## Exemplo 8.2

Determinar os indicadores individuais DIC, FIC e DMIC para as ocorrências do exemplo 8.1 sobre os consumidores das barras 02 (ramal 02), 03, 05 (ramal 05), 06, 08 e 09.

Sendo  $DIC_{i,Cont,k}$  o valor da duração de interrupção nos consumidores da barra  $i$  devido a contingência  $k$ , podemos avaliar o  $DIC_i$ , isto é, a duração dos consumidores conectados às barras da rede conforme se segue:

$$DIC_{02} = DIC_{02,Cont.1} + DIC_{02,Cont.2} + DIC_{02,Cont.3} + DIC_{02,Cont.4} + DIC_{02,Cont.5} = 120 + 0 + 70 + 0 + 0 = 190 \text{ min}$$

$$DIC_{03} = DIC_{03,Cont.1} + DIC_{03,Cont.2} + DIC_{03,Cont.3} + DIC_{03,Cont.4} + DIC_{03,Cont.5} = 0 + 0 + 70 + 0 + 0 = 70 \text{ min}$$

$$DIC_{05} = DIC_{05,Cont.1} + DIC_{05,Cont.2} + DIC_{05,Cont.3} + DIC_{05,Cont.4} + DIC_{05,Cont.5} = 0 + 50 + 40 + 80 + 205 = 375 \text{ min}$$

$$DIC_{06} = DIC_{06,Cont.1} + DIC_{06,Cont.2} + DIC_{06,Cont.3} + DIC_{06,Cont.4} + DIC_{06,Cont.5} = 0 + 50 + 40 + 0 + 205 = 295 \text{ min}$$

$$DIC_{08} = DIC_{08,Cont.1} + DIC_{08,Cont.2} + DIC_{08,Cont.3} + DIC_{08,Cont.4} + DIC_{08,Cont.5} = 0 + 160 + 40 + 0 + 45 = 245 \text{ min}$$

$$DIC_{09} = DIC_{09,Cont.1} + DIC_{09,Cont.2} + DIC_{09,Cont.3} + DIC_{09,Cont.4} + DIC_{09,Cont.5} = 0 + 160 + 40 + 0 + 45 = 245 \text{ min}$$

E, analogamente para os valores de FIC, tem-se:

$$FIC_{02} = FIC_{02,Cont.1} + FIC_{02,Cont.2} + FIC_{02,Cont.3} + FIC_{02,Cont.4} + FIC_{02,Cont.5} = 1 + 0 + 1 + 0 + 0 = 2$$

$$FIC_{03} = FIC_{03,Cont.1} + FIC_{03,Cont.2} + FIC_{03,Cont.3} + FIC_{03,Cont.4} + FIC_{03,Cont.5} = 0 + 0 + 1 + 0 + 0 = 1$$

$$FIC_{05} = FIC_{05,Cont.1} + FIC_{05,Cont.2} + FIC_{05,Cont.3} + FIC_{05,Cont.4} + FIC_{05,Cont.5} = 0 + 1 + 1 + 1 + 1 = 4$$

$$FIC_{06} = FIC_{06,Cont.1} + FIC_{06,Cont.2} + FIC_{06,Cont.3} + FIC_{06,Cont.4} + FIC_{06,Cont.5} = 0 + 1 + 1 + 0 + 1 = 3$$

$$FIC_{08} = FIC_{08,Cont.1} + FIC_{08,Cont.2} + FIC_{08,Cont.3} + FIC_{08,Cont.4} + FIC_{08,Cont.5} = 0 + 1 + 1 + 0 + 1 = 3$$

$$FIC_{09} = FIC_{09,Cont.1} + FIC_{09,Cont.2} + FIC_{09,Cont.3} + FIC_{09,Cont.4} + FIC_{09,Cont.5} = 0 + 1 + 1 + 0 + 1 = 3$$

Para o indicador DMIC, basta tomar o valor da maior duração de interrupção no período, ou seja, a maior contribuição de DIC devido a uma dada contingência:

$$DMIC_{02} = \max\{DIC_{02,Cont.1}, DIC_{02,Cont.2}, DIC_{02,Cont.3}, DIC_{02,Cont.4}, DIC_{02,Cont.5}\} = 120 \text{ min}$$

$$DMIC_{03} = \max\{DIC_{03,Cont.1}, DIC_{03,Cont.2}, DIC_{03,Cont.3}, DIC_{03,Cont.4}, DIC_{03,Cont.5}\} = 70 \text{ min}$$

$$DMIC_{05} = \max\{DIC_{05,Cont.1}, DIC_{05,Cont.2}, DIC_{05,Cont.3}, DIC_{05,Cont.4}, DIC_{05,Cont.5}\} = 205 \text{ min}$$

$$DMIC_{06} = \max\{DIC_{06,Cont.1}, DIC_{06,Cont.2}, DIC_{06,Cont.3}, DIC_{06,Cont.4}, DIC_{06,Cont.5}\} = 205 \text{ min}$$

$$DMIC_{08} = \max\{DIC_{08,Cont.1}, DIC_{08,Cont.2}, DIC_{08,Cont.3}, DIC_{08,Cont.4}, DIC_{08,Cont.5}\} = 160 \text{ min}$$

$$DMIC_{09} = \max\{DIC_{09,Cont.1}, DIC_{09,Cont.2}, DIC_{09,Cont.3}, DIC_{09,Cont.4}, DIC_{09,Cont.5}\} = 160 \text{ min}$$

É interessante notar que os valores médios de DIC e FIC correspondem exatamente aos valores de DEC e FEC:

$$\overline{DIC} = \frac{190 \cdot 10 + 70 \cdot 20 + 375 \cdot 40 + 295 \cdot 15 + 245 \cdot 25 + 245 \cdot 30}{140} = 258,57 = DEC$$

$$\overline{FIC} = \frac{2 \cdot 10 + 1 \cdot 20 + 4 \cdot 40 + 3 \cdot 15 + 3 \cdot 25 + 3 \cdot 30}{140} = 2,93 = FEC$$

Deixamos a dedução de tal afirmação para o leitor.

Além dos indicadores coletivos e individuais, acima definidos, cabe ainda a definição de alguns indicadores muito importantes para a gestão das empresas de distribuição e que, quando bem gerenciados e controlados, levam à melhoria dos indicadores vistos pelo lado do consumidor. O primeiro parâmetro importante neste sentido refere-se ao **tempo de atendimento de emergência**, conhecido por TA. Este indicador representa o intervalo de tempo que transcorre desde o instante em que ocorreu a interrupção do suprimento até aquele em que o sistema foi restabelecido. Para o caso de interrupções não programadas destacam-se os tempos parciais:

$t'_1$ : tempo transcorrido desde o instante de ocorrência da contingência até o conhecimento de sua ocorrência pelo COD, “tempo de telefonemas”;

$t'_2$ : tempo necessário para que a equipe de manutenção, ou de reparo do defeito, seja acionada;

$t'_3$ : tempo gasto pela equipe de manutenção para se deslocar ao ponto de interrupção, correr a linha, e identificar a causa e o ponto de defeito;

$t'_4$ : tempo para manobra de chaves para o restabelecimento dos consumidores fora da área em defeito;

$t_1$ : tempo de pesquisa do defeito, que é dado por:

$$t_1 = t'_1 + t'_2 + t'_3 + t'_4$$

$t_2$ : tempo médio para o reparo do defeito e o completo restabelecimento do sistema.

Na fig. 8.8.a é apresentado um diagrama de frequência de ocorrências para diferentes faixas de tempos de atendimento (de um valor mínimo a um valor máximo), o que facilita a gestão deste indicador. Na fig. 8.8.b, apresentam-se as frequências acumuladas – por exemplo, 100% das ocorrências verificadas apresentam valor de tempo de atendimento não superior a 200 min. Da mesma forma, o valor de 50% corresponde ao tempo médio de atendimento, ou seja, 50% das ocorrências apresentam valor não superior a 120 min.

O estabelecimento dos seguintes indicadores derivados torna-se bastante útil para análise da distribuição dos tempos de atendimento de uma empresa:

- TMA – tempo médio de ocorrências, que pode ser avaliado por:

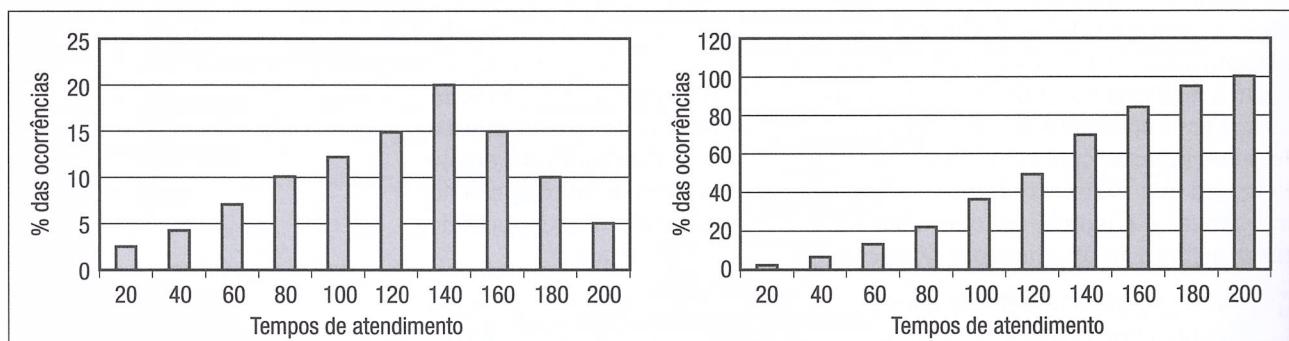
$$TMA = \frac{\sum_{i=1}^N TA_i}{N} \quad (8.14)$$

- TX% - tempo de atendimento não superado em X% do total de ocorrências. Por exemplo, o valor 50% corresponde ao TMA. Valores comumente utilizados são para 80 e 90% das ocorrências, o que no caso da fig. 8.8, correspondem aos valores aproximados de 160 e 180min, respectivamente.

- FMA – frequência média de ocorrências, avaliado por:

$$FMA = \frac{N \times 10.000}{C_s} \quad (8.15)$$

**Figura 8.8** Tempos de atendimento.



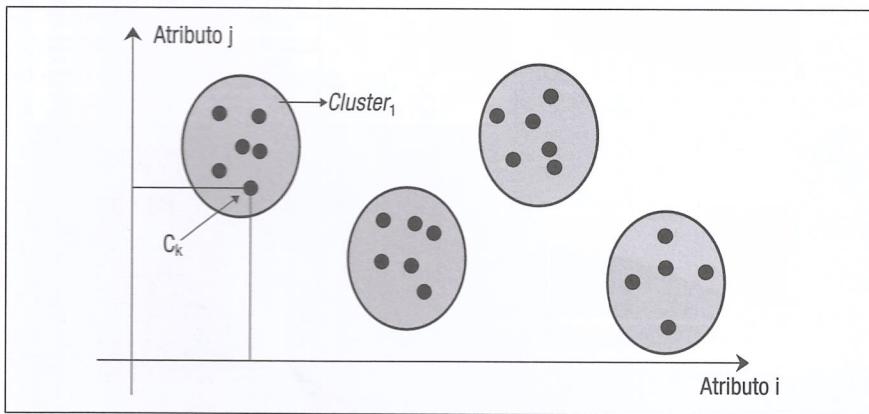
A definição de metas dos indicadores coletivos e individuais de continuidade do serviço é estabelecida através da Resolução ANEEL 024/2000. As metas ou padrões são estabelecidos por conjunto de unidades consumidoras, em valores mensais, trimestrais e anuais. Além disso, a definição de tais metas é função dos dados históricos dos indicadores, de informações do contrato de concessão da empresa e de um estudo de *benchmarking*, conforme será explicado a seguir.

O estudo de *benchmarking* para estabelecimento de metas de qualidade de serviço tem por princípio que diferentes conjuntos de unidades consumidoras devem apresentar as mesmas metas, desde que seus atributos que definem o nível de qualidade exigida sejam os mesmos. A maior dificuldade nesta metodologia consiste na definição correta dos atributos de cada conjunto que melhor definam o padrão de qualidade de serviço correspondente. Além disso, nem sempre são disponíveis todos os dados de atributos necessários. Uma vez definidos os atributos dos conjuntos, e tendo-se um universo de conjuntos representativos (por exemplo, todos os conjuntos das empresas distribuidoras), estes devem ser separados em grupos ou *clusters*. A fig. 8.9 ilustra o estabelecimento de *clusters* no caso, supondo-se dois atributos *i* e *j*, o que possibilita a representação gráfica bidimensional. Cada ponto no gráfico representa um conjunto, com atributos conhecidos, como é o caso do conjunto  $C_k$ , que foi classificado no *Cluster<sub>1</sub>*.

A definição de metas dos indicadores DEC e FEC é estabelecida, para um dado *cluster*, da seguinte forma:

- determina-se a distribuição de valores de DEC (ou FEC) para todos os conjuntos pertencentes ao *cluster*.
- avalia-se o primeiro decil, isto é, o valor de DEC (ou FEC) no qual 10% dos melhores conjuntos não ultrapassam este valor.
- define-se a meta do indicador como sendo o primeiro decil.

A fig. 8.10 ilustra o procedimento, realizado para aproximadamente 5.000 conjuntos de unidades consumidoras. Em função das dificuldades para a obtenção de dados de conjuntos por todas as empresas distribuidoras, os atributos selecionados por conjunto são: área de atuação, comprimento de



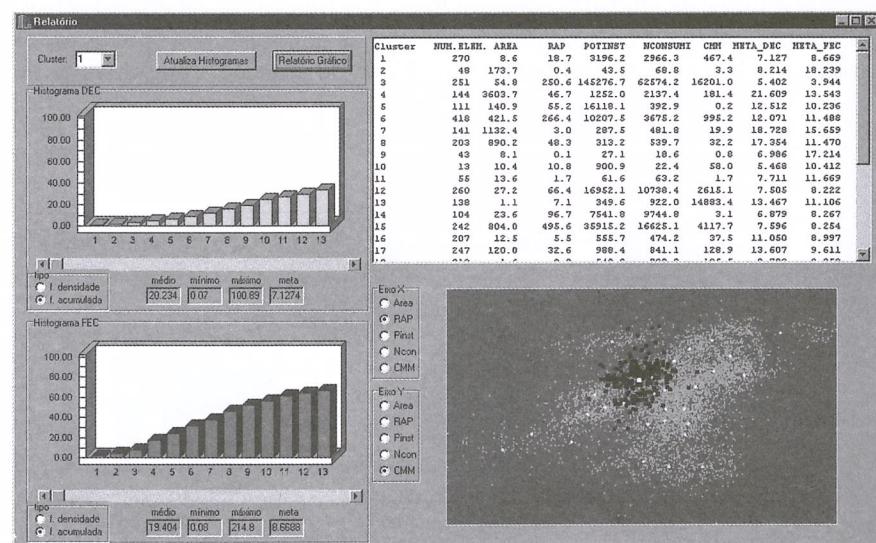
**Figura 8.9** Definição de *clusters* de conjuntos de unidades consumidoras.

rede primária, potência instalada, número de consumidores e consumo médio mensal. O gráfico abaixo, à direita, representa todos os conjuntos e o *cluster* 1, em análise. Para este *cluster*, foi estabelecida meta de DEC de 7,12 horas/ano e de 8,67 interrupções/ano, de acordo com as curvas de distribuição de frequências acumuladas, à esquerda do gráfico. Deve-se ainda notar que, na figura, são apresentados, para cada *cluster*:

- o número de conjuntos que pertencem a determinado *cluster*, por exemplo, o *cluster* 1 conta com 270 conjuntos;
- o valor médio da área de atuação dos conjuntos que pertencem ao *cluster*;
- o valor médio do comprimento de rede primária dos conjuntos que pertencem ao *cluster*;
- o valor médio da potência instalada dos conjuntos que pertencem ao *cluster*;
- o valor médio do número de consumidores dos conjuntos que pertencem ao *cluster*;
- o valor médio do consumo médio mensal dos conjuntos que pertencem ao *cluster*.

Deve-se ressaltar que a definição do valor estabelecido por *benchmarking* é apenas um dos subsídios para a definição de meta dos conjuntos, sendo também utilizados as séries históricas e subsídios do contrato de concessão da empresa para seu estabelecimento; porém este valor de meta por *benchmarking* tem sido utilizado pela ANEEL para o estabelecimento de uma meta de longo prazo, isto é, na qual os conjuntos de unidades consumidoras deverão atender gradualmente, em horizontes de 8 anos.

A metodologia acima permite avaliação das metas de continuidade relativas aos indicadores coletivos, isto é, DEC e FEC. Resta a definição de metas individuais, relativas aos indicadores DIC, FIC e DMIC. A Resolução ANEEL 024/2.000 estabelece uma relação direta entre as metas de indicadores coletivos e indicadores individuais. A tab. 8.2, extraída da Resolução, ilustra



**Figura 8.10** Benchmarking aplicado a conjuntos de unidades consumidoras.

esta relação para o caso de consumidores com tensão inferior a 1kV. Nesta mesma tabela, são também mostradas as metas anuais, trimestrais e mensais, para cada indicador, em função da faixa de valores de DEC ou FEC. Ou seja, para um dado consumidor, localizado em conjunto com meta de DEC igual a 25 horas/ano, sua meta de DIC será de 90 horas/ano, 45 horas/trimestre e 30 horas/mês e sua meta de DMIC será de 12 horas/interrupção.

**Tabela 8.2 Metas de indicadores individuais**

Faixa de variação das metas anuais de indicadores de continuidade dos conjuntos (DEC ou FEC)	Valores-limites de continuidade por unidade consumidora							
	Unidades consumidoras localizadas no perímetro urbano, atendidas em tensão inferior a 1 kV ou localizadas fora do perímetro urbano, com carga instalada inferior a 100 kVA							
	DIC (horas)			DMIC (horas)	FIC (interrupções)			
	Anual	Trimestral	Mensal		Anual	Trimestral	Mensal	
0 – 10	80	40	27	12	40	20	13	
> 10 – 20	85	43	29	12	50	25	17	
> 20 – 30	90	45	30	12	60	30	20	
> 30 – 45	100	48	33	14	75	38	25	
> 45 – 60	110	48	37	14	90	38	30	
> 60 – 80	120	48	40	16	90	38	30	
> 80	120	48	40	18	96	38	32	

A partir de 2005, caso um consumidor tenha sua meta de indicador individual transgredida, este terá resarcimento direto em sua conta de energia. O valor a ser resarcido será determinado pela seguinte equação:

$$\text{Penalidade} = \left( \frac{\text{DIC}_v}{\text{DIC}_p} - 1 \right) \cdot \text{DIC}_p \cdot \frac{\text{CM}}{730} \cdot \text{kei} \quad (8.16)$$

onde:

$\text{DIC}_v$  – corresponde ao valor da duração de interrupção individual verificado no período;

$\text{DIC}_p$  – corresponde ao valor da duração de interrupção individual previsto (meta);

$\text{CM}$  – corresponde à média aritmética do valor das faturas mensais do consumidor afetado relativas às tarifas de uso, referentes aos 3 (três) meses anteriores à ocorrência;

$\text{kei}$  – coeficiente de majoração, que variará de 10 a 50, e cujo valor poderá ser alterado pela ANEEL a cada revisão ordinária das tarifas.

### 8.2.2 AVALIAÇÃO DA CONTINUIDADE DE FORNECIMENTO A PRIORI

É muito importante ao engenheiro de distribuição estimar a qualidade de serviço de um dado sistema de distribuição. Este tipo de estimação pode ser utilizado, por exemplo, na definição do tipo de rede a ser utilizada em uma dada situação, em função de um nível de qualidade almejado. Ou mesmo

quando se deseja fazer uma previsão dos indicadores de continuidade de um dado conjunto de unidades consumidoras, em função da rede de distribuição que atende os consumidores.

A metodologia a ser discutida nesta seção tem por objetivo avaliar estimativa dos seguintes indicadores de continuidade de serviço: END, DEC, FEC, DIC e FIC, em sistemas de distribuição primária, devido às interrupções não programadas (manutenção corretiva).

A extensão para considerar também os sistemas de baixa tensão é relativamente simples. Também, a consideração dos indicadores específicos, devido às interrupções programadas, não será tratada aqui, sendo uma extensão direta da metodologia aqui descrita.

Para a estimação dos indicadores acima, são necessárias as seguintes informações básicas:

- topologia e características do alimentador primário;
- dispositivos de proteção e seccionamento disponíveis no alimentador;
- taxas de falha dos trechos da rede;
- energia mensal absorvida e número de consumidores primários distribuídos pelas barras da rede;
- tempos médios de restabelecimento.

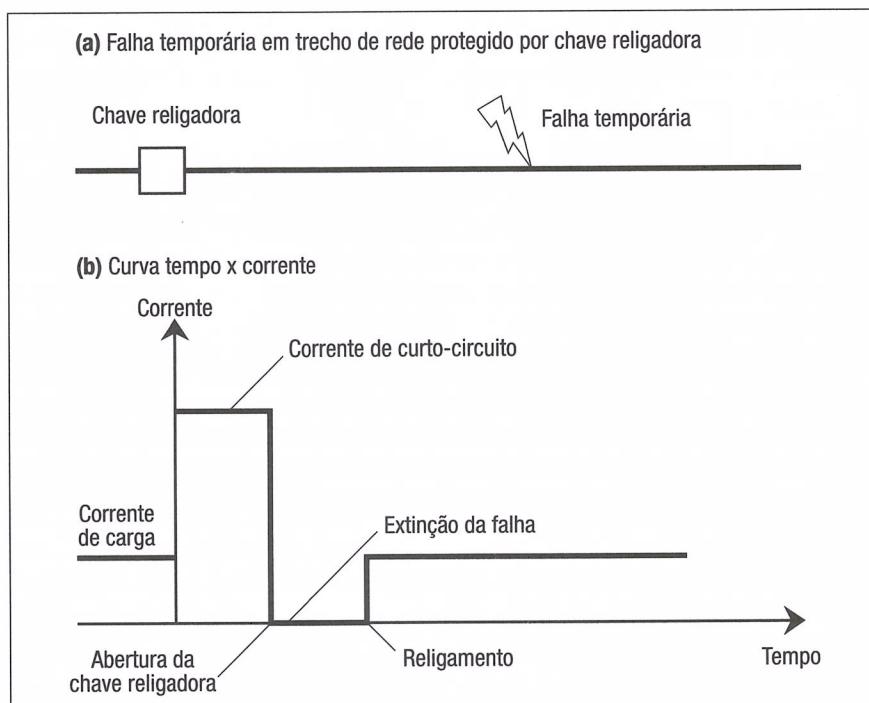
A taxa de falha de um dado equipamento da rede elétrica corresponde a uma importantíssima informação para o cálculo *a priori* dos indicadores de continuidade de serviço. Este parâmetro, para o caso de trechos de rede, representa o número médio de falhas que ocorrem por ano e por unidade de comprimento do trecho, para o atendimento da manutenção corretiva.

É importante também definir o conceito de falha temporária, que representa aquele tipo de falha que é sanada pela interrupção e restabelecimento do suprimento através da manobra de uma chave religadora, seccionalizadora, ou disjuntor com religamento, não sendo necessária a intervenção da equipe de manutenção. Por exemplo, no caso de ramos de árvores que, por efeito do vento, ocasionam a abertura de arco elétrico entre as fases do alimentador. Existindo a montante do ponto de defeito chave religadora ter-se-á sua atuação com a interrupção do arco e o restabelecimento da rigidez dielétrica do meio.

No exemplo da fig. 8.11, se ocorrer uma falha temporária na zona protegida pela chave religadora, haverá uma interrupção de curta duração aos consumidores a jusante da chave, em função das características de funcionamento do dispositivo de proteção (ciclos de abertura e religamento do circuito até o restabelecimento dos consumidores). No caso da figura, o gráfico “corrente × tempo” mostra 1 ciclo de religamento da chave, suficiente para a extinção da falha temporária, e restabelecimento do circuito, evitando a interrupção de longa duração.

Definimos também as falhas permanentes, que representam aquele tipo de defeito que somente poderá ser corrigido pela intervenção da equipe de manutenção, por exemplo, a queima de uma cruzeta, a perfuração de um isolador.

A taxa de falha constitui informação extremamente difícil de ser obtida, pois depende de avaliação estatística do comportamento de um dado equipamento ou conjunto de equipamentos durante um longo período de tempo,



**Figura 8.11** Exemplo de falha temporária e proteção por chave religadora à montante.

sob as condições ambientais que se apresentam à rede de distribuição na qual está instalado. De qualquer forma, este dado deve ser perseguido pelas empresas de distribuição, a partir de dados de fabricantes e de seus bancos de dados de ocorrências, pois permite um acompanhamento bastante preciso da sua rede levando a parâmetros mais eficazes para a gestão da manutenção de seu sistema.

Algumas hipóteses simplificativas também devem ser assumidas. As principais são descritas a seguir:

- A proteção contra sobrecorrentes está perfeitamente adequada e sua atuação obedece *in toctum* ao estabelecido em seu projeto. Por exemplo, no caso da contingência 5 sobre a rede da fig. 8.6 (falha no trecho 05-06), imagina-se que o protetor P atua seletivamente, isto é, antes de sua retaguarda, que é o disjuntor D na saída do alimentador; também, para as contingências em ramais protegidos por fusíveis F, estes atuam antes da proteção de retaguarda, interrompendo somente os respectivos consumidores. Assim, qualquer efeito devido à não coordenação da proteção é desconsiderado.
- Nas condições de contingências, não são previstas transferências de blocos de carga entre dois ou mais circuitos. O exemplo de falha no trecho 05-06 da fig. 8.6 não consideraria a presença do alimentador de socorro para atender aos 55 consumidores localizados nas barras 08 (ramal 08) e 09 através da abertura da chave NF, entre as barras 06 e 07, e fechamento da chave NA entre os dois alimentadores. A transferência de blocos de carga nem sempre é prática usual das empresas de distribuição, porém está-se tornando cada vez mais comum em função da automação da rede e utilização das chaves automáticas (telecomandadas). A extensão

da metodologia aqui descrita para a desconsideração desta hipótese simplificativa é possível de ser implementada sem prejuízo para aplicação da metodologia geral.

- S soma das parcelas  $t'_1 + t'_2$ , relativa aos tempos de telefonemas e de acionamento da equipe de manutenção, será estabelecida a priori, isto é, com base em tempos médios, em geral, conhecidos pela empresa.
- A parcela  $t'_3$ , para a equipe de manutenção correr a linha e identificar o ponto de defeito, será estabelecida através do tempo gasto pela equipe de manutenção para alcançar o trecho de defeito, deslocando-se ao longo da linha com velocidade constante.
- A parcela  $t'_4$ , de manobra de chaves, quando está atividade for necessária, será calculada pelo tempo gasto pela equipe de manutenção para alcançar a chave a ser manobrada, deslocando-se ao longo da linha, a partir do ponto de defeito, com velocidade constante.
- O tempo de reparo até o completo restabelecimento do sistema,  $t_2$ , será assumido constante e seu valor médio será estimado a partir da média ponderada dos tempos de reparos e probabilidade de ocorrência dos vários defeitos, isto é:

$$t_2 = \sum_k p_k \cdot t_{\text{rep},k} \quad (8.17)$$

onde  $p_k$  corresponde à probabilidade do defeito na rede ser do tipo "k", com  $\sum_k p_k = 1$ , e  $t_{\text{rep},k}$  corresponde ao tempo médio de reparo para os defeitos do tipo "k". As informações para obtenção de  $t_2$  estão, em geral, disponíveis no banco de dados de ocorrências da distribuição.

- As falhas permanentes e temporárias serão simuladas através de um fator,  $f_{\text{at}}_{\text{per}}$ , que expressa a relação entre as falhas permanentes e falhas totais na rede de distribuição. Um número bastante usual para as redes de distribuição é 0,3, isto é, para cada 100 falhas na rede, 30 são permanentes e 70 são temporárias.

A partir da definição da taxa de falha por trecho de rede, podemos avaliar as taxas de falha compostas por blocos de carga. Um bloco de carga é representado por um conjunto de trechos de rede que se derivam de uma chave que não conta, entre eles, com chave alguma. A título de elucidação, na fig. 8.12, apresenta-se o diagrama unifilar do alimentador primário em análise da fig. 8.6 com seus blocos de carga.

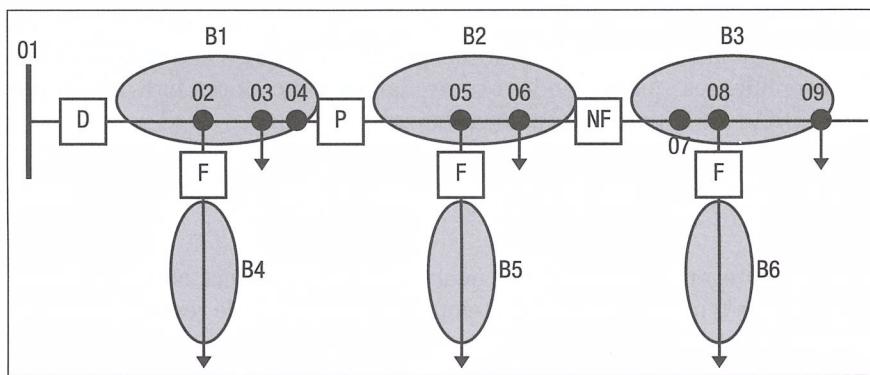
A taxa de falhas de um bloco de carga pode ser avaliada pela seguinte expressão, em função das taxas de falha dos trechos de rede correspondentes:

$$ND_i = \sum_{j=1, n_{\text{trecho},i}} \ell_{i,j} \cdot t_{f,i,j} \quad (8.18)$$

onde:

$\ell_{i,j}$  - comprimento do trecho "j" do bloco "i";

$t_{f,i,j}$  - taxa de falha unitária, número de falhas por quilômetro e por ano, do trecho "j" do bloco "i";



**Figura 8.12** Blocos de carga de um alimentador.

A utilização do conceito de blocos de carga é muito útil para a estimativa dos indicadores de continuidade de serviço. Falhas em qualquer um dos trechos da rede que compõem um dado bloco de carga levam a um mesmo efeito nos indicadores de continuidade de serviço. Uma rede com um grande número de trechos pode ser reduzida a uma rede representada topologicamente por poucos blocos de carga, o que tende a diminuir o esforço de cálculo exigido. A rede com 6 blocos de carga da fig. 8.6 poderia estar representando uma rede com um número muito grande de barras e trechos de rede.

O procedimento para estimativa dos indicadores de continuidade de serviço simula a ocorrência de um número  $ND_i$  de falhas em cada bloco de carga  $i$  da rede. Quando da ocorrência de uma falha em um dado bloco  $i$  da rede, tem-se:

- um certo número de consumidores,  $N_{i,t1}$ , que permanece sem fornecimento de energia durante o tempo  $t_1$  de pesquisa de defeito no bloco  $i$ .
- após a isolação do bloco  $i$ , a equipe de manutenção procede ao reparo da falha, o que leva um tempo  $t_2$ . Neste intervalo de tempo, um determinado número de consumidores,  $N_{i,t2}$ , permanece sem fornecimento de energia.

A contribuição aos valores de **DEC** e **FEC** para contingências no bloco “ $i$ ” pode então ser avaliada por:

$$\begin{aligned} DEC_i &= fat_{per} \cdot ND_i \left( \frac{N_{i,t1} \cdot t_1}{C_s} + \frac{N_{i,t2} \cdot t_2}{C_s} \right) \\ FEC_i &= fat_{per} \cdot ND_i \frac{N_{i,t1}}{C_s} \end{aligned} \quad (8.19)$$

A partir das parcelas de  $DEC_i$  e  $FEC_i$  para cada um dos  $n_B$  blocos de carga, podemos avaliar os valores de **DEC** e **FEC** globais do circuito, ou seja:

$$DEC = \sum_{i=1}^{n_B} DEC_i \quad FEC = \sum_{i=1}^{n_B} FEC_i \quad (8.20)$$

Dado que não estamos considerando as ocorrências na rede secundária, os indicadores de continuidade de serviço individuais DIC e FIC são os mesmos para todos os consumidores de um dado bloco  $i$ . Para a determinação destes

parâmetros, determinam-se, para um dado bloco  $i$  específico, as contingências que ocasionam a interrupção do fornecimento de energia aos consumidores correspondentes. Assim, podem-se avaliar os indicadores individuais por bloco,  $DIC_i$  e  $FIC_i$ , pelas expressões abaixo:

$$DIC_i = \sum_{i=1}^{n_k} fat_{por,k} \cdot ND_k (t_{1,k} + t_{2,k}) \quad FIC_i = \sum_{i=1}^{n_k} fat_{por,k} \cdot ND_k \quad (8.21)$$

onde  $n_k$  representa os blocos que, quando em contingência, afetam o bloco  $i$  e  $t_{1,k}$  e  $t_{2,k}$  os tempos relativos aos tempos de pesquisa e de restabelecimento relativos ao bloco  $k$ .

Para o estabelecimento da energia não distribuída em cada bloco  $i$ ,  $END_i$ , mensal ou anual, utilizamos a demanda média anual ou mensal correspondente, que é dada por

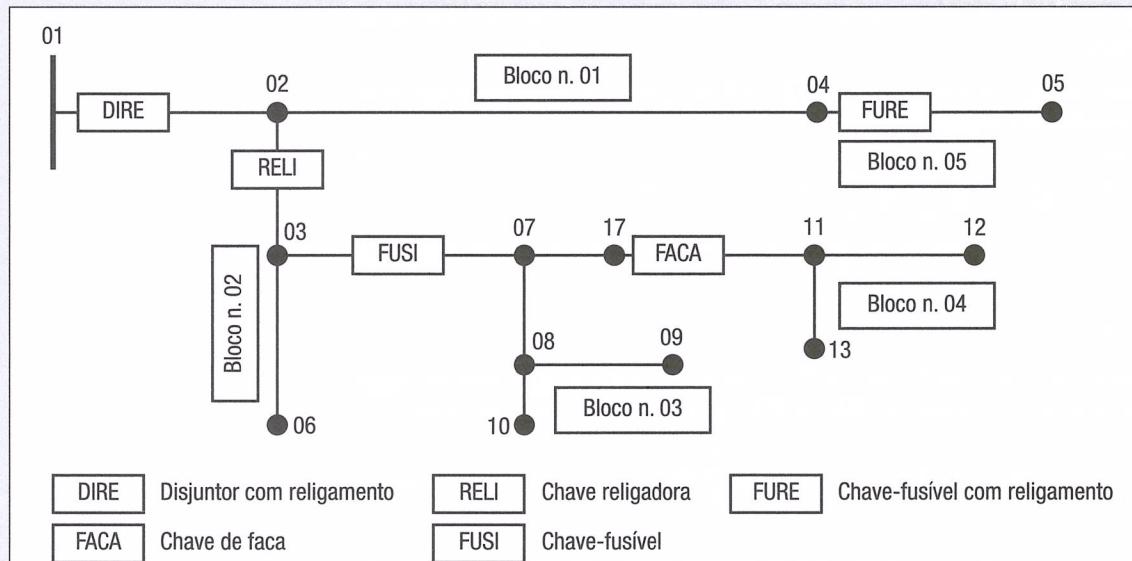
$$D_{m,bloco\ i} = D_{med,mensal} = \frac{E_{mensal}}{720,0} \quad D_{m,bloco\ i} = D_{med,anual} = \frac{E_{anual}}{8760,0} \quad (8.22)$$

Tendo-se o valor de  $DIC_i$  de cada bloco de carga, o cálculo da  $END$  é avaliado por:

$$END = \sum_{i=1}^{n_B} DIC_i \cdot D_{m,bloco\ i} \quad (8.23)$$

### Exemplo 8.3

Estimar os indicadores de continuidade de serviço DEC, FEC, END, DIC e FIC da rede da fig. 8.13, assumindo uma taxa de falha única  $t_{falha,i}$  por bloco, fator de defeitos permanentes,  $fat_{per}$ , demanda média por bloco  $D_{med,i}$ , número de consumidores por bloco  $N_i$  e número total de consumidores  $N_s$ .



**Figura 8.13** Rede do Exemplo 8.3.

**Bloco 1:** Este bloco é suprido através de um disjuntor com religamento; logo, em ocorrendo uma contingência no bloco, ocorrerá o desligamento de todo o alimentador somente para os defeitos permanentes. Todos os consumidores serão interrompidos durante os tempos  $t_1$  e  $t_2$ , isto é:

$$DEC_1 = fat_{per} \cdot t_{falha,1} \frac{(t_{1,1} + t_{2,1}) N_s}{N_s} = fat_{per} \cdot t_{falha,1} \cdot (t_{1,1} + t_{2,1})$$

$$FEC_1 = fat_{per} \cdot t_{falha,1} \frac{N_s}{N_s} = fat_{per} \cdot t_{falha,1}$$

$$END_1 = D_{med,1} \cdot fat_{per} \cdot t_{falha,1} \cdot (t_{1,1} + t_{2,1})$$

**Bloco 2:** Este bloco é suprido através de um religador; logo, em ocorrendo uma contingência no bloco, ocorrerá o desligamento tão somente para os defeitos permanentes. Todos os consumidores envolvidos serão interrompidos durante os tempos  $t_1$  e  $t_2$ , isto é:

$$DEC_2 = fat_{per} \cdot t_{falha,2} = \frac{\left( t_{1,2} + t_{2,2} \right) \sum_{j=2,3,4} N_j}{N_s}$$

$$FEC_2 = fat_{per} \cdot t_{falha,2} = \frac{\sum_{j=2,3,4} N_j}{N_s}$$

$$END_2 = D_{med,2} \cdot fat_{per} \cdot t_{falha,2} \cdot (t_{1,2} + t_{2,2})$$

**Bloco 3:** Este bloco é suprido através de uma chave fusível que conta com uma chave religadora a montante; logo, em ocorrendo uma contingência no bloco, ocorrerá a fusão do elo fusível somente para os defeitos permanentes. Todos os consumidores envolvidos, blocos 03 e 05, serão interrompidos durante os tempos  $t_1$  e  $t_2$ , isto é:

$$DEC_3 = fat_{per} \cdot t_{falha,3} = \frac{\left( t_{1,3} + t_{2,3} \right) \sum_{j=3,4} N_j}{N_s}$$

$$FEC_3 = fat_{per} \cdot t_{falha,3} = \frac{\sum_{j=3,4} N_j}{N_s}$$

$$END_3 = D_{med,3} \cdot fat_{per} \cdot t_{falha,3} \cdot (t_{1,3} + t_{2,3})$$

**Bloco 4:** Este bloco é suprido através de uma chave de faca que conta, a montante, com uma chave-fusível e uma chave religadora; logo, em ocorrendo uma contingência no bloco, ocorrerá a interrupção do suprimento somente para os defeitos permanentes, quando ocorrerá a fusão do elo fusível. Durante o tempo  $t_1$ , todos os consumidores envolvidos, blocos 03 e 04, serão interrompidos. Ao ser identificado o ponto de defeito procede-se à abertura da chave de faca, à substituição do elo fusível, com o restabelecimento dos consumidores do bloco 03. Assim, durante o tempo  $t_2$  restarão desenergizados somente os consumidores do bloco 4, isto é:

$$DEC_4 = fat_{per} \cdot t_{falha,4} = \left( \frac{t_{1,4} (N_3 + N_4)}{N_s} + \frac{t_{2,4} N_4}{N_s} \right)$$

$$FEC_4 = fat_{per} \cdot t_{falha,4} = \frac{N_3 + N_4}{N_s}$$

$$END_4 = fat_{per} \cdot t_{falha,4} \cdot (t_{med,3} + t_{2,5} \cdot D_{med,4})$$

**Bloco 5:** Este bloco é suprido através de uma chave de fusível com religamento que conta, a montante, com um disjuntor com religamento. Assume-se, como critério de projeto do sistema de proteção, o religamento do disjuntor não é acionado por defeitos na zona de proteção da chave-fusível. Logo, em ocorrendo uma contingência no bloco, ocorrerá a interrupção do suprimento somente para os defeitos permanentes, quando ocorrerá a fusão do elo fusível. Todos os consumidores envolvidos, bloco 05, serão interrompidos durante os tempos  $t_1$  e  $t_2$ , isto é:

$$DEC_5 = fat_{per} \cdot t_{falha,5} \frac{(t_{1,5} + t_{2,5}) N_5}{N_s}$$

$$FEC_5 = fat_{per} \cdot t_{falha,5} \frac{N_5}{N_s}$$

$$END_5 = D_{med,5} \cdot fat_{per} \cdot t_{falha,5} \cdot (t_{1,5} + t_{2,5})$$

Para determinação dos indicadores DIC e FIC, podemos montar a tab. 8.3 que fornece, para cada bloco em estudo, os blocos cujas contingências o afetam.

**Tabela 8.3 Interações entre blocos**

Bloco Estudo	Blocos que intervêm	
	Tempo $t_1$	Tempo $t_2$
01	01	01
02	01-02	01-02
03	01-02-03-04	01-02-03
04	01-02-03-04	01-02-03-04
05	01-05	01-05

Assim, a título de exemplo, o DIC e o FIC de qualquer um dos consumidores do bloco 03 é dado por:

$$DIC_4 = fat_{per} \cdot \left( \sum_{i=1,2,3,4} t_{falha,i} \cdot t_{1,i} \sum_{i=1,2,3} t_{falha,i} \cdot t_{2,i} \right)$$

$$FIC_4 = fat_{per} \cdot \sum_{i=1,2,3,4} t_{falha,i}$$

A utilização da metodologia exposta neste item, que permite a estimativa dos indicadores de continuidade de serviço a priori, é muito dependente dos tempos médios de restabelecimento e das taxas de falha. No entanto, estas informações nem sempre são muito precisas, e representam variáveis que devem ser obtidas por análises estatísticas sobre as bases de dados de ocorrências das empresas de distribuição. Os índices são computados mensal, trimestral e anualmente, para controle da qualidade de serviço, conforme exposto no item 8.2.1. Estas ‘medidas’ dos indicadores permitem corrigir os valores adotados de taxas de falha e de tempos de restabelecimento para a estimativa dos indicadores de uma dada rede ou sistema em estudo.

Do equacionamento desenvolvido até o momento, observa-se que o valor do FEC varia linearmente com a taxa de falha. Formalmente, tem-se:

$$\text{FEC} = t_{\text{falha}} \cdot \mathfrak{I}(\text{rede})$$

onde  $t_{\text{falha}}$  representa a taxa de falha unitária e  $\mathfrak{I}(\text{rede})$  representa a influência da rede (topologia, proteção, distribuição de consumidores etc.) sobre o FEC. Podemos então proceder a um ajuste da taxa de falhas da rede a partir de valores de FEC verificados,  $\text{FEC}_{\text{ver}}$ , na rede de distribuição. Formalmente resulta:

$$\text{FEC}_{\text{Ver}} = K_{\text{FEC}} \cdot \text{FEC}$$

Ou seja, a nova taxa de falha ajustada será dada por:

$$t'_{\text{falha}} = t_{\text{falha}} K_{\text{FEC}}$$

O indicador DEC deve ser então corrigido pela alteração na taxa de falha. Além disso, duas parcelas incidem diretamente sobre o DEC: uma correspondente ao tempo  $t_1$ , tempo de pesquisa e isolação do defeito, e a outra correspondente ao tempo de correção do defeito, tempo  $t_2$ . Considera-se que existe uma maior incerteza sobre a adoção de  $t_2$ , isto é, somente esta parcela de DEC será corrigida. Formalmente resulta:

$$\text{DEC} = t_{\text{falha}} [\mathfrak{I}(\text{rede}, t_1) + t_2 \cdot \mathfrak{I}'(\text{rede})]$$

Ou seja, assumindo que os tempos  $t_1$  não devem ser alterados, para a correção do DEC atua-se sobre o tempo  $t_2$  após a correção da taxa de falha, resultando:

$$\begin{aligned} \text{DEC}_{\text{ver}} &= t_{\text{falha}} \cdot K_{\text{FEC}} \cdot [\mathfrak{I}(\text{rede}, t_1) + K_{\text{DEC}} \cdot t_2 \cdot \mathfrak{I}'(\text{rede})] = \\ &= K_{\text{FEC}} \cdot [t_{\text{falha}} \cdot \mathfrak{I}(\text{rede}, t_1) + K_{\text{DEC}} \cdot t_2 \cdot t_{\text{falha}} \cdot \mathfrak{I}'(\text{rede})] = \\ &= K_{\text{FEC}} \cdot \text{DEC}_{t1} + K_{\text{DEC}} \cdot K_{\text{FEC}} \cdot \text{DEC}_{t2} \end{aligned}$$

onde o fator de correção,  $K_{\text{DEC}}$ , a ser aplicado a  $t_2$  é dado por:

$$K_{\text{DEC}} = \frac{\text{DEC}_{\text{Ver}} - K_{\text{FEC}} \times \text{DEC}_{t1}}{K_{\text{FEC}} \times \text{DEC}_{t2}}$$

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANEEL, Resolução 024/2000, Continuidade da Distribuição da Energia Elétrica.
- [2] ANEEL, Resolução 505/2001, Conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente.