

Capítulo II

Agrupamento de cargas e definições complementares

Por Manuel Luis Barreira Martinez*

De modo geral, as cargas são agrupadas em um transformador de distribuição, que, desse modo, passa a fornecer energia para vários consumidores. Cada consumidor apresenta uma curva de demanda similar à mostrada na Figura 2. No entanto, os picos, os vales e as demandas máximas são, em geral, diferentes entre si. As Figuras 3, 4 e 5 mostram curvas de demanda para três outros consumidores conectados à rede ou ao transformador que alimenta o consumidor #1. As curvas de carga para os quatro consumidores mostram que cada um apresenta uma característica própria e independente de carregamento, em função de seus hábitos de consumo. Como se observa, a demanda máxima individual em kW dos consumidores ocorre em momentos diferentes do dia, o que é razoavelmente óbvio. O consumidor #3 é o único que possui um fator de carga alto, fato de extremo interesse para os responsáveis pelo suprimento de energia.

Um resumo das cargas individuais é mostrado na Tabela 1, e, conforme escolhidos, esses consumidores demonstram que pode existir uma grande diversidade entre as cargas individuais agrupadas e as conectadas a um transformador.

DEMANDA DIVERSIFICADA

Supondo que os quatro consumidores são alimentados por uma rede comum

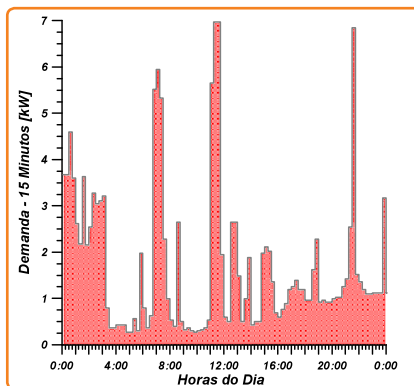


Figura 1 – Curva de demanda em kW a cada 15 minutos no período de 24 horas do consumidor #2.

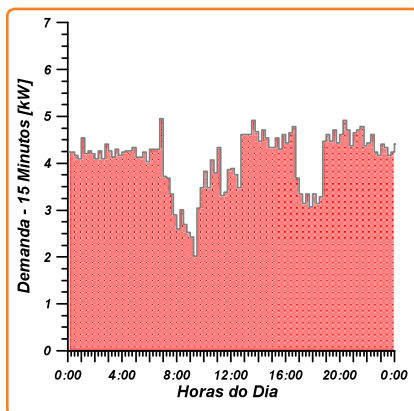


Figura 2 – Curva de demanda em kW a cada 15 minutos no período de 24 horas do consumidor #3.

em baixa tensão ou ainda por um único transformador de distribuição, a soma das quatro demandas em kW, a cada intervalo de tempo, no caso 15 minutos, é a Demanda Diversificada para esse grupo de consumidores, que, para o período de 24 horas, é mostrada na Figura 4.

É conveniente notar como a curva de demanda diversificada se apresenta de forma mais suave, ou seja, já não ocorrem tantas variações bruscas como as verificadas em algumas curvas para os consumidores individuais.

MÁXIMA DEMANDA DIVERSIFICADA

A curva de demanda para o agrupamento de cargas mostrado na Figura 6 demonstra como as cargas dos consumidores combinadas começam a suavizar as mudanças extremas das cargas individuais.

Nesse caso, a demanda em kW a cada 15 minutos excede 16 kW duas vezes. A maior delas é a máxima demanda

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS INDIVIDUAIS DA CARGA DOS CONSUMIDORES – EXEMPLO

	CONSUMIDOR #1	CONSUMIDOR #2	CONSUMIDOR #3	CONSUMIDOR #4
CONSUMO DE ENERGIA [KWH]	63,18	40,46	97,45	43,00
DEMANDA MÁXIMA [KW]	6,34	6,97	4,95	6,96
INSTANTE DA DEMANDA MÁXIMA	13h15	11h30	6h45	20h30
DEMANDA MÉDIA [KW]	2,63	1,68	4,06	1,79
FATOR DE CARGA	0,415	0,240	0,802	0,257

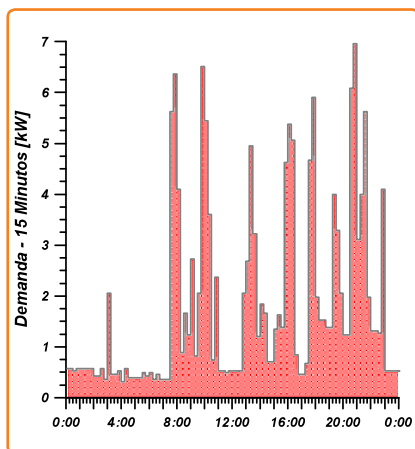


Figura 3 – Curva de demanda em kW a cada 15 minutos no período de 24 horas do consumidor #4.

diversificada em kW a cada 15 minutos – D_{MD} do transformador. No presente exemplo, ela ocorre às 17h30 e apresenta o valor de 19,14 kW. É conveniente notar que a máxima demanda diversificada, em geral, não tem por que ocorrer no mesmo instante de nenhuma das máximas demandas individuais e nem é igual à sua soma.

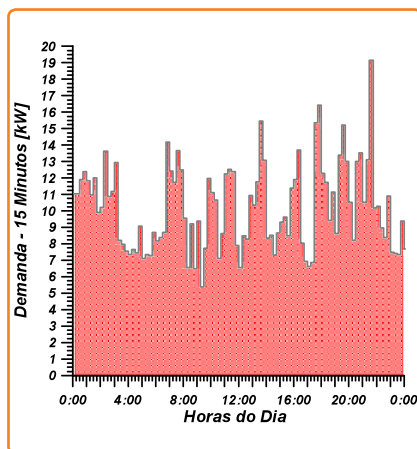


Figura 4 – Curva de demanda diversificada em kW a cada 15 minutos no período de 24 horas para o grupo de quatro consumidores.

CURVA DE PERMANÊNCIA DE CARGA

Uma curva de permanência de carga pode ser desenvolvida para o agrupamento dos consumidores. No presente caso, é obtida a característica mostrada na Figura 3. As características de permanência de carga fornecem a

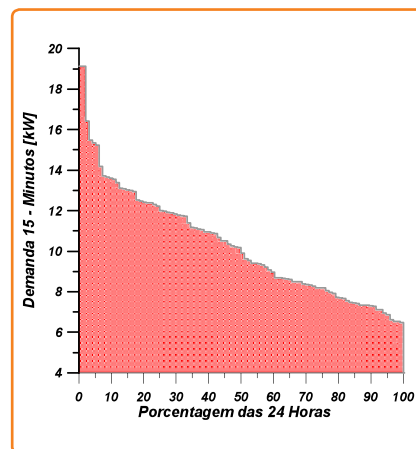


Figura 5 – Curva de permanência de carga – base para demanda em kW a cada 15 minutos no período de 24 horas para o grupo de quatro consumidores.

demanda, no exemplo em kW a cada 15 minutos, versus a porcentagem de tempo em que o agrupamento consome valores acima de uma demanda especificada.

Por exemplo, a característica de permanência de carga mostrada na Figura 5 indica que o agrupamento de consumidores apresenta uma demanda em kW a cada 15

minutos de 12 kW, ou mais, por cerca de 25% do seu tempo de operação.

A rigor, para alguma utilidade prática, essa característica deve ser transformada em uma relação que forneça a potência aparente em kVA.

Desse modo, esses dados podem ser utilizados para determinar, de modo rápido e baseado em algumas constantes genéricas, por exemplo, se um transformador precisa ser substituído, devido a uma condição de sobrecarga ou, ainda, apresente carregamento superior ao nominal suportável. Em geral, as curvas de permanência permitem definir de modo rápido e confiável características de carga em dois patamares, como se pode inferir pela observação da Figura 5 e mostrado na Figura 6, em que a questão de ordenação física temporal é apenas subjetiva.

O valor de Demanda de Ponta (DP), por praxe, é considerado como o da demanda máxima, conforme obtido na curva de permanência de carga. O Tempo da Ponta (TP) é escolhido para prover um bom ajuste na forma das duas características: a real e a representativa. Desse modo, o valor de Demanda para o patamar de tempo remanescente (DB) é calculado conforme mostrado nas Equações 1 ou 2.

$$D_B = \frac{T_{\rightarrow H} \sum_{i=1}^{N_i} D[kW]_i}{24 - T_p} - D_p T_p \quad (1)$$

$$D_B = \frac{E_T - D_M T_p}{24 - T_p} \quad (2)$$

Para o caso mostrado na Figura 5, tem-se que os parâmetros para o modelo em dois patamares da curva de permanência de carga são:

$$E_T = 244.09 \text{ [kWh]}$$

$$D_P = 19.14 \text{ [kW]}$$

$$T_p = 1h45 - 1,75 \text{ horas}$$

Com o auxílio da Equação 2, obtém-se:

$$D_B = 9.47 \text{ [kW]}$$

As Equações 1 ou 2 podem ser aplicadas repetitivamente, e a Figura 7 mostra esse resultado para dois limites de tempo de demanda de ponta, convertida em kVA, sendo assumido um fator de potência de 0,91, indutivo. Esse modelo de curva e método pode ser aplicado, por exemplo, na verificação dos limites de carregamento de transformadores.

Nesse caso, como mostra a Figura 7, um transformador com potência nominal de 15 kVA, a princípio, monofásico, apesar de não ser esta uma limitação, opera com uma potência acima da nominal de 1,40 p.u. pelos períodos de 1h45 ou 4h. Nesses casos, os valores de Demanda para o Patamar de Tempo Remanescente (DB) são respectivamente de 0,69 p.u. e 0,61 p.u. Finalmente, a definição de operação em sobrecarga é associada à sua condição térmica, que necessita ser verificada por meio de modelos adequados ao grau de detalhamento que se necessita obter.

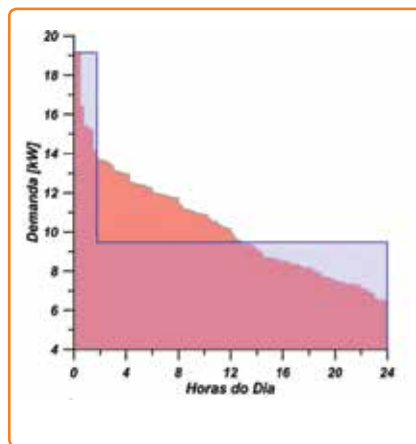


Figura 6 – Curva de permanência de carga – base demanda em kW a cada 15 minutos – correspondente à curva de carga a dois patamares.

A Figura 7 pode suscitar pelo menos uma pergunta: qual é o Tempo da Ponta (TP) a ser escolhido para essa modelagem? Esta é uma decisão de engenharia e bom senso. Nesses casos, recomenda-se escolher um intervalo

de tempo para o qual a área que está suprimindo a carga seja equivalente à área complementar para a qual é assumido que o transformador permanece fornecendo a sua Demanda de Ponta (DP). Alternativamente, é possível escolher o tempo a partir do qual a demanda fornecida pelo transformador ultrapassa a sua potência nominal. No presente exemplo, por acaso, como mostrado na Figura 6, os critérios praticamente coincidem.

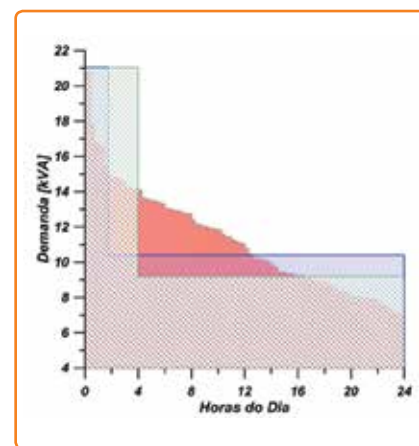


Figura 7 – Curva de permanência de carga – base demanda em kVA a cada 15 minutos – curvas de carga a dois patamares.

DEMANDA MÁXIMA NÃO COINCIDENTE

A demanda máxima não coincidente para determinado período é a soma das demandas máximas individuais dos consumidores, que ocorrem em tempos diversos ao longo do período de levantamento dos dados. No exemplo em questão, a cada 15 minutos e em kW, para o período de 24 horas, conforme mostrado na Tabela 1, esse valor é:

$$D_{Máx_{\text{Não-Coincidente}}} = 25,22 \text{ kW}$$

FATOR DE DIVERSIDADE

Conforme mostra a Equação 3, o Fator de Diversidade (FDV) é a razão entre a demanda máxima não coincidente de um grupo de consumidores pela Demanda Máxima Diversificada (DMD) apresentada pelo grupo.

$$F_{DV} = \frac{D_{M\bar{N}-C.}}{D_{MD}} \quad (3)$$

Para o exemplo em questão, ou seja, o agrupamento dos quatro consumidores é obtido pelo seguinte Fator de Diversidade (FDV):

$$F_{DV} = \frac{25,22}{19,14} = 1,318$$

O fator de diversidade permite calcular a máxima demanda diversificada de um grupo de consumidores a partir dos valores das demandas máximas individuais. Esse conceito considera que o Fator de Diversidade (FDV) é uma função do número de consumidores. Assim, o valor 1,318 se aplica para a condição definida, especificamente,

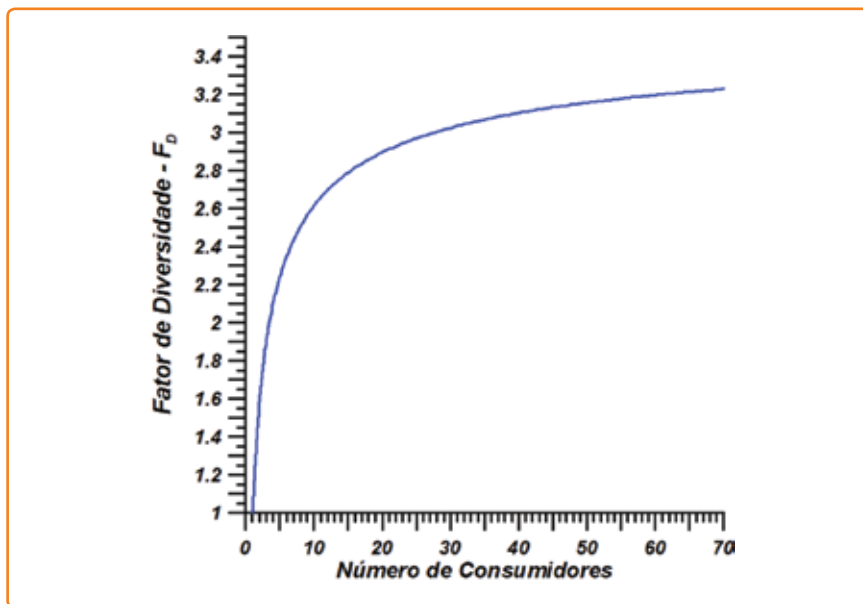


Figura 8 – Fator de diversidade F_{DV} para até 70 consumidores.

pela existência de quatro consumidores e condições que levam em conta a região e os consumidores avaliados. Em geral,

os dados para determinado grupo de consumidores devem ser utilizados com reservas.

A Tabela 2 é um exemplo dos valores que podem assumir os fatores de diversidade quando se considera que o número de consumidores varia entre 1 e 70. Nesse ponto, é conveniente ressaltar que essa tabela foi elaborada com dados reais, mas distintos dos anteriormente utilizados e discutidos. Uma representação gráfica dos fatores de diversidade é mostrada na Figura 8.

Conforme se observa na Tabela 2 e na Figura 8, o fator de diversidade se mantém praticamente constante quando o número de consumidores alcança 70.

Essa é uma importante observação, pois significa, pelo menos para o sistema utilizado como base, que os valores para os fatores de diversidade permanecem constantes, no caso, após 70 consumidores.

Essa é uma importante observação, pois significa, pelo menos para o sistema utilizado como base, que os valores para os fatores de diversidade permanecem constantes, no caso, após 70 consumidores.

Em resumo, tendo como ponto de observação a subestação de distribuição,

TABELA 2 – FATORES DE DIVERSIDADE (FDV)

NC	FDV	FDV ⁻¹	NC	FDV	FDV ⁻¹	NC	FDV	FDV ⁻¹	NC	FDV	FDV ⁻¹
1	1.00	1.000	21	2.90	0.345	41	3.13	0.319	61	3.18	0.314
2	1.60	0.625	22	2.92	0.342	42	3.13	0.319	62	3.18	0.314
3	1.80	0.556	23	2.94	0.340	43	3.14	0.318	63	3.18	0.314
4	2.10	0.476	24	2.96	0.338	44	3.14	0.318	64	3.19	0.313
5	2.20	0.455	25	2.98	0.336	45	3.14	0.318	65	3.19	0.313
6	2.30	0.434	26	3.00	0.334	46	3.14	0.318	66	3.19	0.313
7	2.40	0.417	27	3.01	0.332	47	3.15	0.317	67	3.19	0.313
8	2.55	0.392	28	3.02	0.331	48	3.15	0.317	68	3.19	0.313
9	2.60	0.385	29	3.04	0.329	49	3.15	0.317	69	3.20	0.312
10	2.65	0.377	30	3.05	0.328	50	3.15	0.317	70	3.20	0.312
11	2.67	0.375	31	3.05	0.328	51	3.15	0.317			
12	2.70	0.370	32	3.08	0.325	52	3.15	0.317			
13	2.74	0.365	33	3.09	0.324	53	3.16	0.316			
14	2.78	0.360	34	3.10	0.323	54	3.16	0.316			
15	2.80	0.357	35	3.10	0.323	55	3.16	0.316			
16	2.82	0.355	36	3.11	0.322	56	3.17	0.315			
17	2.84	0.352	37	3.12	0.320	57	3.17	0.315			
18	2.86	0.350	38	3.12	0.320	58	3.17	0.315			
19	2.88	0.347	39	3.12	0.320	59	3.18	0.314			
20	2.90	0.345	40	3.13	0.319	60	3.18	0.314			

a máxima demanda diversificada de qualquer dos seus alimentadores pode ser calculada com base na demanda máxima não coincidente total de todos os consumidores conectados dividido por 3,20, neste caso específico.

Nota: Os fatores de diversidade refletem o comportamento próprio dos consumidores, os seus hábitos de consumo e finalmente o seu agrupamento. Logo, assumem valores distintos entre regiões e países. Assim, o valor 3.20 acima definido, ou ainda qualquer outro que seja tomado como base, é típico e peculiar a este texto. Pode ser aplicado de modo a orientar decisões. No entanto, é conveniente sempre determiná-lo de modo apropriado por meio de medições de campo e de técnicas estatísticas.

FATOR DE DEMANDA

O Fator de Demanda (FD) é definido como a razão entre a Demanda Máxima ($DM_{\text{Máxima}}$) e a Carga Total Conectada (CT_{Total}) de um consumidor. Assim, qual o fator de demanda para o consumidor #1? Nesse caso, como mostra a Tabela 1, a demanda máxima em kW, a cada 15 minutos para o período de 24 horas, é de 6,34 kW. Falta, portanto, conhecer qual a CT_{Total} conectada do consumidor, que é igual à soma das potências nominais de todos os equipamentos elétricos instalados. Considerando, neste caso, que esse total, o qual faz parte do quadro declarado de cargas quando do pedido formal de conexão do consumidor, é de 35 kW, calcula-se o fator de demanda por meio da Equação 4.

$$F_D = \frac{D_{\text{Máxima}}}{C_{\text{Total}}} \quad (4)$$

No caso sob análise:

$$F_D = \frac{6,34}{35} = 0,181$$

O fator de demanda fornece uma indicação da porcentagem da carga total de um consumidor que está conectado no instante em que ocorre a demanda máxima. Em geral, os fatores de demanda devem ser calculados para consumidores individuais, e não para transformadores de distribuição ou alimentadores. No entanto, esses conceitos podem ser cuidadosamente estendidos, sem mais prejuízos, desde que sejam devidamente considerados e, desse modo, evitados erros comuns de conceito.

FATOR DE UTILIZAÇÃO

O Fator de Utilização (FU), calculado conforme a Equação 5, fornece uma indicação de como a capacidade de um equipamento está sendo utilizada.

$$F_U = \frac{DM_{\text{kVA}}}{P_{\text{Total}}} \quad (5)$$

Por exemplo, a potência de um transformador padrão capaz de suprir, no presente momento, sem levar em conta a expansão do agrupamento das quatro cargas sob análise neste texto é de 15 kVA. Assumindo que o valor da máxima demanda diversificada é de 19,14 kW, conforme mostra a Figura 4 e considerando que o agrupamento apresenta um fator de potência de 0,9, vem que a demanda em kVA a cada 15 minutos do transformador é calculada dividindo-se a máxima demanda diversificada de 19,14 kW pelo fator de potência, o que resulta em 21,27 kVA.

Logo, com a Equação 5, obtém-se:

$$F_U = \frac{21,27}{15} = 1,42$$

Nota: Neste ponto, é interessante estabelecer de modo formal a diferença, sutil, que existe entre sobrecargas (níveis de carregamento que resultam em perda de vida útil técnica superior ao considerado adequado) e carregamentos superiores ao nominal (níveis de carregamento que resultam em perda de vida útil até o limite do adequado). Em geral, no jargão técnico, esses dois conceitos são assumidos como equivalentes, o que não é correto no estrito senso da palavra e pode, como regra, resultar em erros de aplicação, uma vez que conceitos são sobrepostos, o que, via de regra, termina em sobrecustos, como de praxe, onerando os consumidores conectados.

DIVERSIDADE DE CARGA

A Diversidade de carga (DVC), calculada pela Equação 6, é definida pela diferença entre a demanda máxima não coincidente e a máxima demanda diversificada.

$$D_{Vc} = DM_{\text{Ñ-C}} - DM_C \quad (6)$$

Para o agrupamento em questão, a diversidade de carga é:

$$D_{Vc} = 25,22 - 19,14 = 6,08 [\text{kW}]$$

Manuel Luís Barreira Martinez possui graduação e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo. Atualmente, é professor associado da Universidade Federal de Itajubá. Tem experiência na área de engenharia elétrica, com ênfase em equipamentos, materiais elétricos, distribuição de energia elétrica e técnicas em alta tensão. É autor e coautor de 350 artigos em revistas e seminários, associados a trabalhos de engenharia e 45 orientações de mestrado e doutorado. Atua, principalmente, nos seguintes segmentos: métodos de ensaios, ensaios dielétricos, para-raios para sistemas de média e alta tensão e equipamentos elétricos.

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Acompanhe todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br. Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para redacao@atitudeeditorial.com.br