

Capítulo VII

Sistemas de distribuição – avaliação de cargas, sistemas e ativos

Por Manuel Luís Barreira Martinez*

De um modo geral, pode-se afirmar que a carga é a fonte de remuneração dos sistemas de distribuição. Seu atendimento de forma correta e regulamentada é, portanto, condição necessária para a estabilidade econômica das empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica. Os ativos das empresas de distribuição são de múltiplas formas: redes primárias, secundárias, subestações, sistemas de compensação de reativo, transformadores, entre outros. O principal ponto de interesse em geral é a carga e seu consumo, que, de uma forma econômica bastante exata, é modelada e armazenada em uma série de bancos de dados corporativos.

Com base em algumas ferramentas computacionais, o faturamento individual de cada consumidor pode ser transformado em demandas que, uma vez propriamente trabalhadas, podem fornecer dados que

auxiliem na avaliação do estado das redes, seus perfis de carregamento, quedas de tensão, utilização dos ativos etc.

Assim, a partir do conhecimento do consumo individual, dos fatores de diversidade, idealmente, neste texto entre consumidores, ou ainda entre transformadores, o que implica uma abordagem estatística complementar da característica energia consumida versus demanda em kW ou kVAr, bem como das conexões entre cargas, transformadores e ramais, é possível obter dados estatísticos representativos das redes e subestações do sistema.

A confiabilidade dos dados de faturamento e conexões, em geral, é inquestionável. No entanto, detectam-se muitas falhas relacionados aos valores dos Fatores de Diversidade e das Características Energia versus Demanda. Estas falhas ou desvios são

responsáveis pela qualidade das respostas obtidas. Além disso, dados falhos resultam em avaliações duvidosas e, dependendo do caso, em tomadas de decisões que não contemplam as reais necessidades econômicas das empresas e seus consumidores.

O fluxograma mostrado na Figura 1 indica o fluxo de informações e operações tomado com base nos registros de dados de uma empresa de energia elétrica, de modo a prover bases de dados para a análise de seu desempenho técnico e econômico, bem como inferir sobre a utilização de seus ativos.

Um dos bancos de dados de maior importância para a avaliação dos perfis de operação dos sistemas e redes de distribuição é o que relaciona consumo de energia e demanda dos transformadores, uma vez que permite estabelecer vários padrões de interesse para análise, inclusive com custos reduzidos,

circuito	tr	mes	conj	time	cod	u_r	pot_instal	cant_cli_ré
45000001	CAN - 1424	04/2008	Canoas Math	Canoas	Metropolitano	U	45	26
45000002	CAN - 1151	04/2008	Canoas Math	Canoas	Metropolitano	U	45	58
45000003	CAN - 235	04/2008	Canoas Math	Canoas	Metropolitano	U	45	43
45000004	CAN - 236	04/2008	Canoas Math	Canoas	Metropolitano	U	75	52
45000005	CAN - 1230	04/2008	Canoas Math	Canoas	Metropolitano	U	112	54

cant_cli_c	cant_cli_ir	cant_cli_rl
2	0	0
1	1	0
1	0	0
2	6	0
0	0	0

cant_cli_o	dem_diurn	dem_notur	cons_cli_rl	cons_cli_c	cons_cli_ij	cons_cli_r	cons_cli_d	perc	Fases
6	33	39	7633	273	0	0	856	86,67	3
20	58	61	12206	383	297	0	3107	135,56	3
14	46	51	10550	127	0	0	2449	113,33	3
19	82	70	10262	974	2354	0	5941	109,33	3
16	56	55	10586	0	0	0	5565	50	3

Figura 1 – Fluxograma das informações em bancos de dados típicos.

o que na ausência de medições em massa e automáticas é muito interessante para os responsáveis pelos sistemas.

Estes bancos de dados são compostos de forma automática ou semiautomática a partir dos bancos de consumo, posicionais e de conexões, das características de demanda versus consumo diurna, noturna e diária, além dos fatores de diversidade ajustados para o sistema em específico.

CARACTERÍSTICAS DE CONSUMO

As características de consumo dos transformadores, objeto desta discussão, foram estudadas com base em um Banco de Dados, usualmente conhecido como “Total de Transformadores” e normalmente de propriedade das empresas de distribuição.

Este tipo de banco de dados é formatado de modo a conter, pelo menos, as seguintes informações:

- Potência transformador [kVA]
 - Monofásico → 5, 10, 15, 25

- Trifásico → 30, 45, 75, 112,5
- Quantidade e tipo de clientes
- Demanda máxima [kW – KVA]
- Consumo por tipo de cliente [kWh]
- Fator de utilização

Os resultados apresentados neste texto são relativos a um único mês do ano. Assim, devem ser encarados com alguma reserva, pois, a priori, devem ser verificadas quais as condições de semelhança estatística entre os dados disponíveis para os demais meses do ano, o que em tese não se constitui em um problema de monta.

No entanto, os comentários e conclusões associadas são extremamente válidos uma vez que são baseados, de forma correta em medições suportadas por avaliações de campo, que devem ser realizadas para garantir a qualidade das análises.

Neste estudo, a maioria das análises estatísticas foi realizada com o software Minitab® 14. Já as condições de verificação e análises, segundo as regras das distribuições normais, algo comum em engenharia, e

em geral erradas, a exemplo das mostradas na Tabela 1, foram realizadas com base no programa Excel® 97.

Os resultados lançados neste texto levaram em conta todos os dados de consumo mínimo que poderiam ser descartados, uma vez que estes não refletem o consumo real dos transformadores. Deste modo, os resultados mais prováveis são consistentes. No entanto, devem ser dispensados cuidados extras quando se consideram valores extremos. Também não foram aplicadas na presente análise técnicas de “Box – Plot” para o descarte de dados fora de conformidade, o que de algum modo facilita a tomada de decisões quanto aos dados a serem considerados. Porém, com base em uma avaliação prévia, esta possibilidade deve ser verificada, caso seja considerado necessário. Deste modo, em uma análise ampla e mais detalhada é conveniente tratar antecipadamente do universo das amostras de forma adequada, evitando a utilização de dados passíveis de serem considerados como duvidosos.

Também é conveniente atentar que

alguns resultados “matemáticos” mostrados pelos “Modelos estatísticos” devem ser encarados sob a ótica dos parâmetros físicos de engenharia. Logo, valores elevados de consumo, incompatíveis com a potência nominal do transformador, valores negativos para demandas, consumos, entre outros, devem ser entendidos como “erros de modelo”, condicionados aos dados. Estas inconsistências podem e devem ser eliminadas por meio de uma análise complementar dos dados. No entanto, como anteriormente apontado, a exclusão dos dados em geral contempla as extremidades da amostra o que deve resultar em pouco impacto em termos dos “valores mais prováveis” – “médios”.

ANÁLISE DOS DADOS

Para fins de avaliação a presente análise considera modelos estatísticos com base na utilização de distribuições normais, bem como de outras distribuições de probabilidade comumente aplicadas em engenharia.

As distribuições utilizadas permitem

modelar os dados de forma mais eficaz, evitando a presença de resultados negativos para, entre outros, o número de consumidores, o consumo de energia, o que fornece mais confiança ao resultado.

Em todos os casos estudados, foram analisadas todas as distribuições disponíveis no Minitab® 14 sempre buscando a que melhor

se adequava ao modelo estatístico por meio da consideração dos critérios de “AD - Anderson Darling” e “P-Value”. Como técnica de decisão sobre a adequação do modelo estatístico à amostra, como usualmente recomendado, foi adotado: “Minimizar o Valor de Anderson Darling e Maximizar o Valor de P-Value”.

Deste modo, os consumidores foram

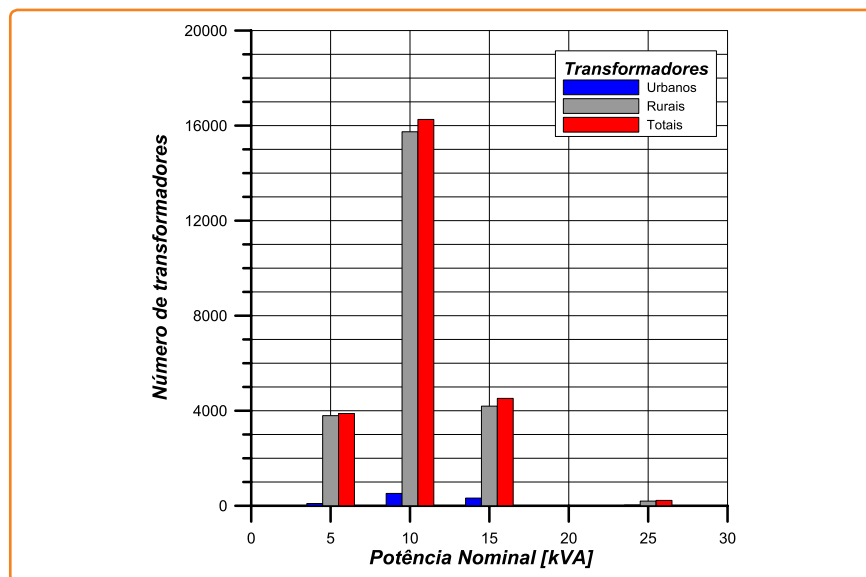
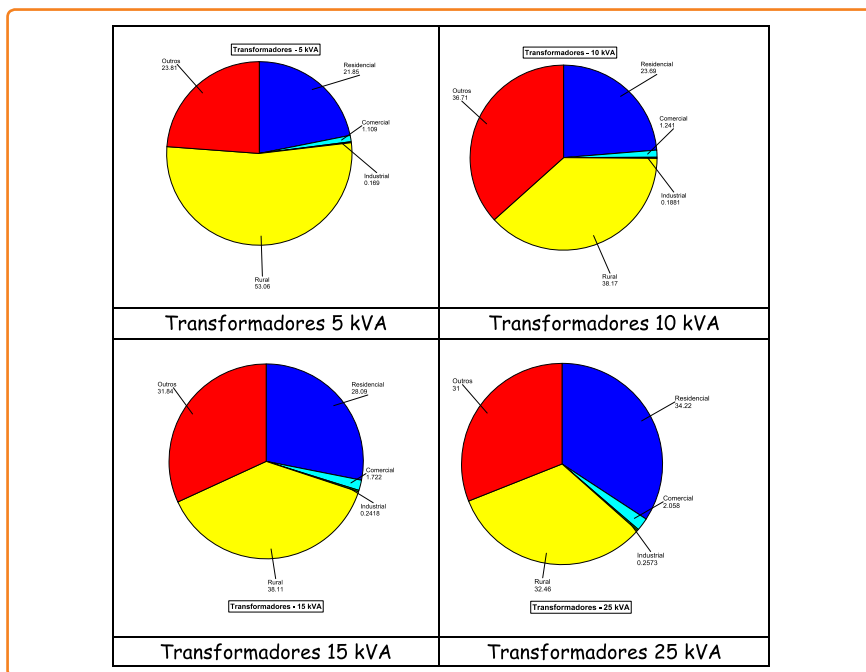
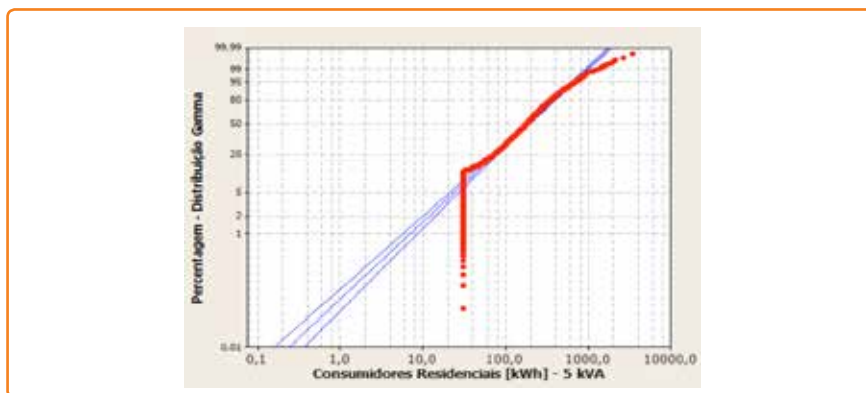


Figura 2 – População de transformadores monofásicos.


Figura 3 – Quantidade de clientes por tipo.

Figura 4 – Distribuição de probabilidade para energia consumida – clientes residenciais – transformadores de 5 kVA.

divididos em classes de consumo (residenciais, comerciais, industriais, rurais, entre outros) e agrupados por potência de transformador.

A Figura 2 apresenta a população total dos transformadores monofásicos instalados em uma determinada rede de média tensão.

Como a população urbana representa uma parcela reduzida da quantidade total de transformadores monofásicos é possível considerar um único grupo englobando as áreas rurais e urbanas, agrupado apenas com base na potência nominal das unidades.

Observa-se também a quantidade de transformadores da classe de 25 kVA é reduzida enquanto a de 10 kVA, padronizada pela empresa, é a mais significativa.

Um dos problemas que se observa nestes casos é a definição dos padrões dentro das empresas. Esta definição deve partir de valores de carregamento, taxas de crescimento de carga e limites de carregamento sobre a potência nominal.

Erros de avaliação destes parâmetros, principalmente das taxas de crescimento de carga, resultam em erros de avaliação que, em geral, comprometem o desempenho econômico das empresas. Logo, este é um parâmetro que deve ser cuidadosamente avaliado antes de empregado.

A Figura 3 mostra a quantidade de clientes separados por tipo de consumo para os transformadores monofásicos de 5 kVA, 10 kVA, 15 kVA e 25 kVA, respectivamente.

Observa-se, como usual nos sistemas de distribuição no Brasil, o predomínio de clientes rurais para todas as classes de potência de transformadores monofásicos e a quantidade reduzida de clientes industriais e comerciais para os quatro níveis de potência de transformadores avaliados.

A Tabela 1 apresenta os resultados para um “Modelo Estatístico Normal” de consumo dividido pela tipificação de clientes definida, como de praxe em comum acordo com a empresa concessionária.

Esta divisão também deve ser objeto de discussão quando da elaboração de estudos, neste caso contempla-se basicamente a avaliação e a padronização dos transformadores.

TABELA 1 – ESTATÍSTICAS DO CONSUMO PARA TRANSFORMADORES DE 5 kVA

	Consumidores residenciais	Consumidores comerciais	Consumidores industriais	Consumidores rurais	Outros consumidores
MÉDIA	237,58	163,12	181,88	359,73	237,80
DESVIO PADRÃO	252,02	226,79	191,94	341,80	401,24
CONSUMO TOTAL	338.791	16.638	2.910	1.016.237	353.607
PORCENTAGEM	19,60%	0,96%	0,17%	58,80%	20,46%
MODA	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
MÁXIMO	3.352,00	1.431,00	790,00	5.755,00	11.897,00
MÍNIMO	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
FREQUÊNCIA	1.426,00	102,00	16,00	2.826,00	1.487,00

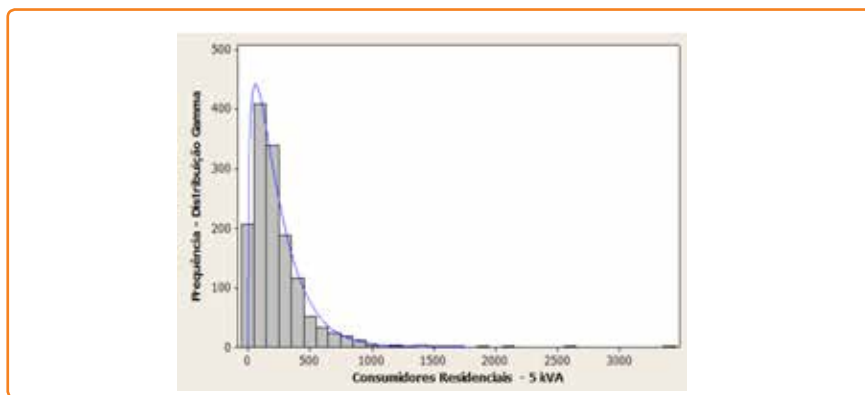


Figura 5 – Histograma e curva de tendência para energia consumida – clientes residenciais – transformadores de 5 kVA.

Conforme se observa na Tabela 1, por exemplo, por meio das relações entre a média e a moda, ou ainda, entre o valor médio e o desvio padrão, o modelo estatístico para o carregamento dos transformadores monofásicos de 5 kVA não admite a utilização de “distribuições normais”, o que em geral deve ser o caso. Uma vez que a “moda” é inferior ao “valor médio” constata-se que o modelo estatístico adequado é na forma de uma distribuição assimétrica positiva.

Desta maneira, foram utilizados, na análise do carregamento dos transformadores de 5 kVA, modelos probabilísticos que permitem a identificação do valor mais provável de ocorrência – “valor médio” (Valor com probabilidade de ocorrência de 50%), diminuindo-se a dispersão e tornando a informação mais precisa.

A Figura 4 mostra um modelo estatístico construído a partir de uma Distribuição Gamma, a mais adequada aos padrões dos clientes residenciais, o histograma

de consumo e a curva de tendência da distribuição indicada. O grau de adesão deste modelo estatístico ao conjunto de dados é mostrado na Figura 5.

Acompanhe, no próximo capítulo, a continuidade deste estudo.

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@atituedeeditorial.com.br