

HARMÔNICAS

1. INTRODUÇÃO

O nome harmônica procede das investigações sobre as ondas sonoras, como, por exemplo, as que produzem um timbre de campainha. Se identificamos o instrumento musical em uma melodia, não é graças à nota fundamental que emite, mas precisamente, às suas harmônicas, as quais “caracterizam” o instrumento e a qualidade. Assim sendo, as harmônicas parecem estar relacionados à qualidade da onda que “interpretam”. A partir daqui, a arte musical e a eletrotécnica diferem completamente, pois as instalações de geração e consumo de potência devem ser projetadas para evitar as harmônicas ou, pelo menos, as suas consequências.

Na figura 1.1 mostram-se as formas de onda periódicas, de tensão, corrente e potência de uma instalação que não possui harmônicas.

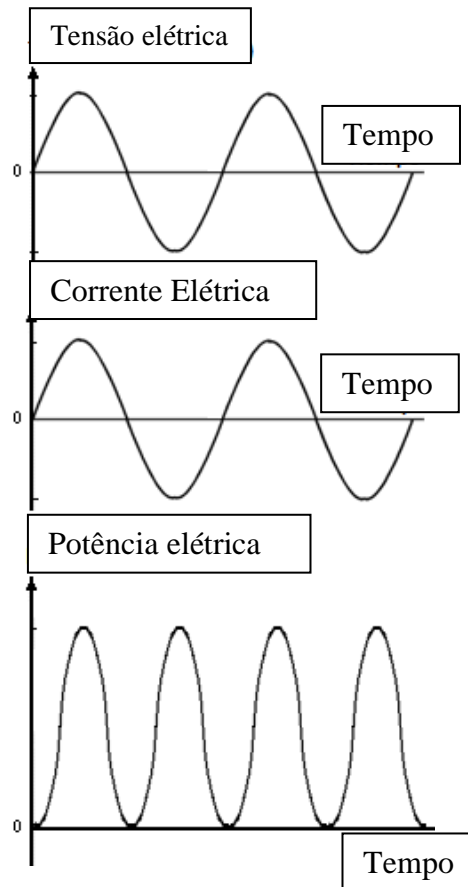


Figura 1.1 Tensão, corrente e potência ativa senoidal.

A onda não senoidal é equivalente à *superposição da* onda senoidal fundamental com um número indeterminado de ondas senoidais de frequência múltipla da fundamental, chamadas harmônicas da fundamental. Assim sendo, há harmônica 2ª, 3ª, 4ª, etc. da dita fundamental. Na figura mostra-se a presença das

harmônicas 3ª, 5ª, 7ª e 9ª ; adicionalmente à fundamental e a onda resultante da presença de todas elas.

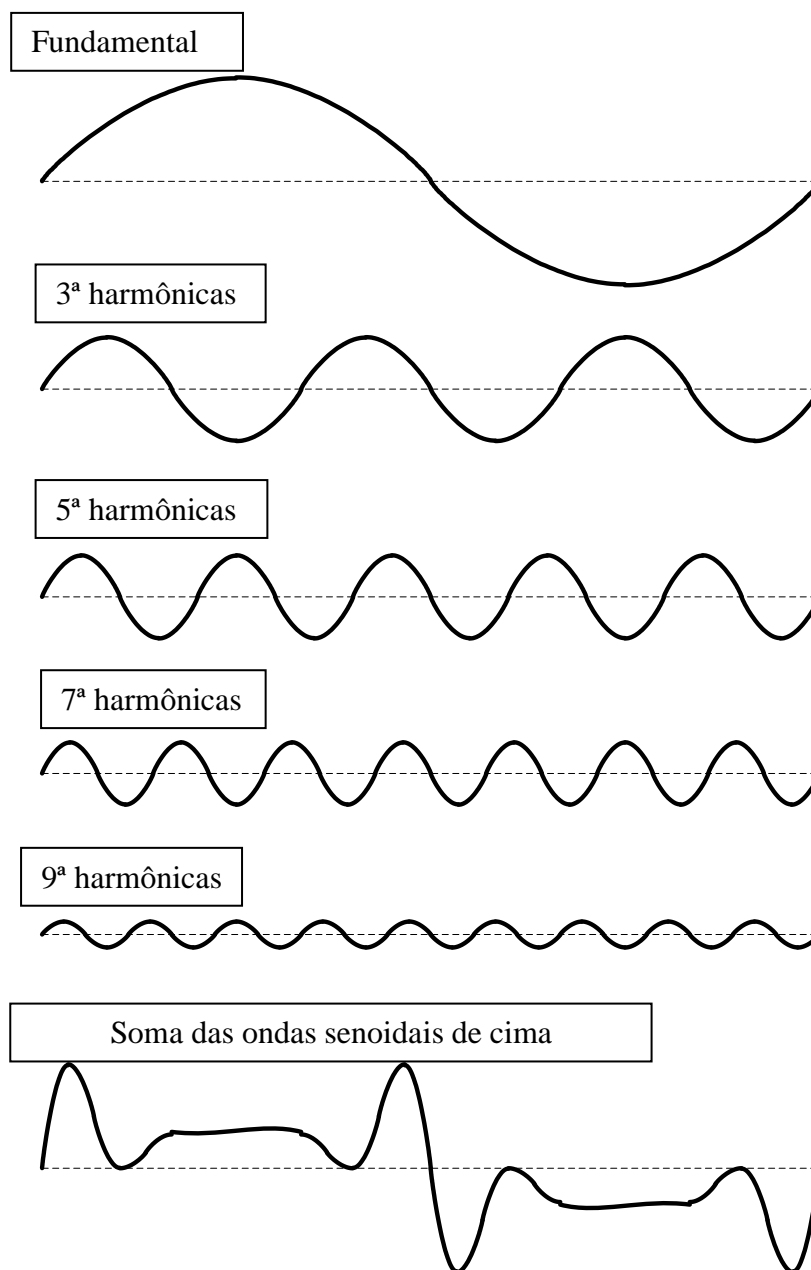


Figura 1.2 Sinal elétrico com presença de harmônicas.

A frequência destas harmônicas será respectivamente 2 vezes, 3 vezes, etc., a frequência da fundamental. (Vide a figura 1.3)

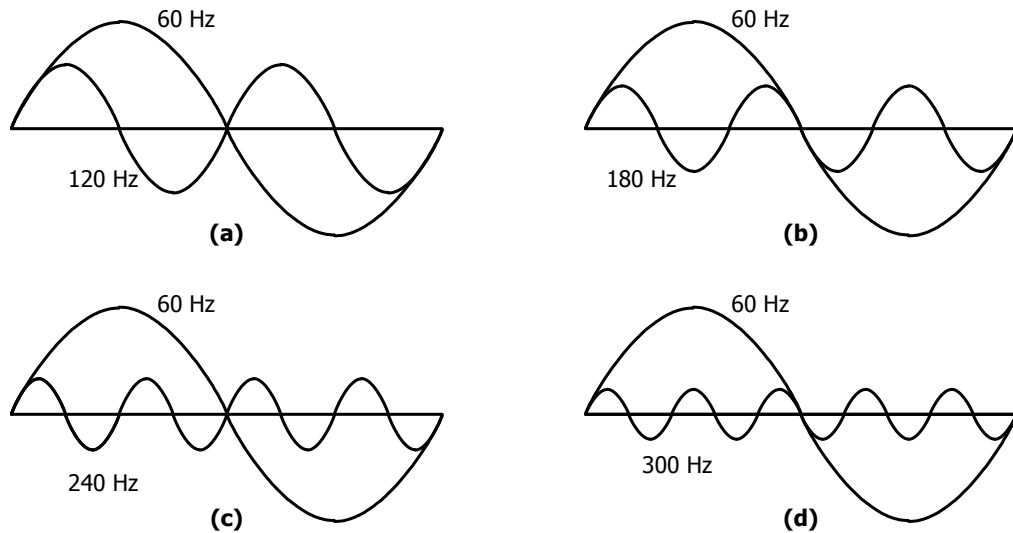


Figura 1.3 Onda senoidal de frequência fundamental (60 Hz) e harmônicas:

- (a) 2ª harmônica (120 Hz)
- (b) 3ª harmônica (180 Hz)
- (c) 4ª harmônica (240 Hz)
- (d) 5ª harmônica (300 Hz)

2. FONTES GERADORAS DE HARMÔNICAS

Os equipamentos geradores de harmônicas estão presentes em todas as instalações industriais, comerciais e residenciais. As harmônicas são geradas pelas cargas não lineares.

2.1 DEFINIÇÃO DE CARGA LINEAR

Uma carga é considerada linear quando a corrente que circula por ela tem a mesma forma senoidal que a tensão que a alimenta. Exemplo: lâmpadas incandescentes, aquecedor de água, transformadores de baixa potência, etc.

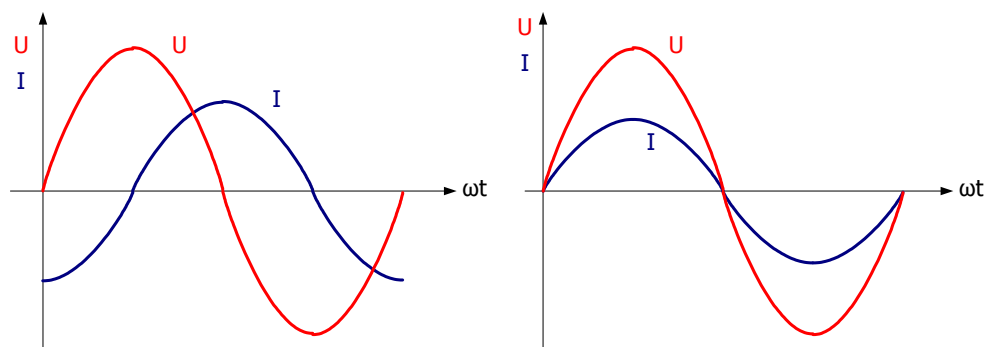


Figura 1.4 Cargas lineares

2.2 DEFINIÇÃO DE CARGA NÃO LINEAR

Uma carga é considerada não linear quando a corrente que circula por ela não tem a mesma forma senoidal que a tensão que a alimenta.

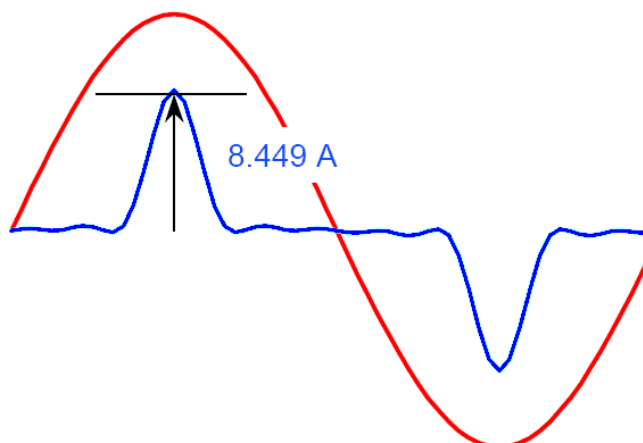


Figura 1.5 Carga não linear.

As cargas residenciais não lineares mais importantes são:

- Os computadores pessoais.
- Os fornos microondas.
- A iluminação eletrônica e a fluorescente convencional.
- Os equipamentos de som e televisão.



Figura. 1.6 Cargas residenciais não lineares típicas.

O emprego massivo de retificadores de tensão em aparelhos domésticos monofásicos (iluminação fluorescente, controladores de iluminação, computadores, televisores, equipamentos eletrônicos) tendem a produzir um incremento de 5ª e 7ª harmônicas nas redes urbanas. Este efeito tem um maior impacto nos transformadores e equipamentos de proteção das empresas fornecedoras de zonas residenciais.

3. SINTOMAS E EFEITOS DAS HARMÔNICAS

As correntes harmônicas que circulam através das impedâncias da instalação geram harmônicas de tensão que deformam a tensão de alimentação.

3.1 PERTURBAÇÕES CAUSADAS PELAS HARMÔNICAS

As correntes harmônicas em uma instalação reduzem a qualidade da energia e originam numerosos problemas:

- Sobrecarga da rede pelo incremento do valor eficaz das correntes.
- Sobrecarga dos condutores neutro devido à soma das harmônicas de ordem 3 geradas pelas cargas monofásicas.
- Incremento das perdas de transformadores e motores para entregar a mesma potência sob um ambiente rico em harmônicas.
- Sobrecarga, vibrações e envelhecimento prematuro dos transformadores e motores; zumbido dos transformadores.
- Sobrecarga e envelhecimento prematuro dos capacitores.
- Deformação da tensão de alimentação podendo perturbar as cargas sensíveis.
- Perturbação das redes de comunicação ou das linhas telefônicas.

3.2 O IMPACTO ECONÔMICO DAS PERTURBAÇÕES

As harmônicas têm um impacto econômico importante:

- O envelhecimento prematuro dos equipamentos supõe que devem ser substituídos com antecedência, a menos que tenham sido sobredimensionados inicialmente.
- As sobrecargas na instalação aumentam o consumo de energia, ultrapassando a demanda contratada. As perturbações de corrente produzem disparos intempestivos dos dispositivos de proteção e a interrupção das atividades.

Estes custos de material, perdas energéticas e a interrupção das tarefas cotidianas podem ocasionar múltiplos problemas entre os usuários e alterar o desenvolvimento das suas atividades.

3.3 SUAS CONSEQUÊNCIAS, CADA VEZ MAIS IMPORTANTES

O fenômeno das harmônicas não era considerado há cerca de uma década, sendo que os seus efeitos na instalação eram, geralmente, pouco importantes. No entanto, o uso massivo de equipamentos eletrônicos aumentou de forma importante este fenômeno em todas as atividades.

As harmônicas são, em muitas ocasiões, difíceis de reduzir, sendo que são originados por equipamentos prioritários, como os computadores pessoais. No caso de edifícios com vários escritórios, onde o uso de equipamentos de computação é massivo, este fenômeno é relevante e requer uma atenção específica.

4. RECOMENDAÇÕES PARA ATENUAR HARMÔNICAS

Para limitar a propagação das harmônicas na rede, devem ser tomadas várias medidas, especialmente quando se projeta uma nova instalação.

As possíveis soluções para atenuar os efeitos das harmônicas são de três naturezas diferentes:

- Adaptações da instalação (vide o parágrafo seguinte).
- Utilização de dispositivos particulares na alimentação (indutâncias, transformadores especiais).
- Filtragem.

4.1 SOLUÇÕES GERAIS

Para limitar a propagação das harmônicas deve-se tomar uma série de medidas, especialmente quando se projeta uma nova instalação.

Ações preventivas apresentadas:

- Localizar as cargas perturbadoras o mais próximo à fonte.
- Reagrupar as cargas perturbadoras.
- Separar as fontes.
- Utilizar transformadores em conexões particulares.
- Escolher um esquema de aterramento.

A primeira ação é muito difícil no caso de grandes instalações. É determinado pela dimensão física do centro de consumo, nesses casos utilizam-se transformadores para aproximar a fonte à carga.

Para o caso de reagrupar as cargas perturbadoras, deve-se avaliar o risco de mover cargas normalmente críticas como centros de computação e de

telecomunicações. Reagrupá-las poderia incrementar a magnitude de distorção na linha que alimenta estes equipamentos.

Resumindo, qualquer dessas "ações preventivas" deverá ser validada por uma análise do problema e do que se pretende obter, no entendimento de que a inclusão de equipamento elétrico adicional incrementa custos de fornecimento, operação e manutenção.

Uma boa medida preventiva é a aquisição de equipamento elétrico de baixa geração de distúrbios em sua ligação e operação.

4.2 AÇÕES NO CASO DE ULTRAPASSAR OS VALORES LIMITE

No caso de que as ações preventivas apresentadas anteriormente não sejam suficientes, a instalação deve ser equipada com filtros. Distinguem-se três tipos de filtros:

- **O filtro passivo.-** É formado por tantos circuitos L-C quantas harmônicas se desejar filtrar. O valor da reatância (XL) é aquele que assegura um baixo valor de impedância para o circuito ressonante, correspondente à frequência harmônica. Desta forma a maior parte da intensidade harmônica se dirige para o filtro (80 a 90%).
- **O filtro ativo.-** Pode ser modelado como uma fonte de corrente controlada que fornece uma corrente de compensação em paralelo com a carga.
- **O filtro híbrido.-** É constituído por um filtro passivo, com diferentes circuitos LC sintonizados às frequências das harmônicas mais relevantes da carga, em série com um filtro ativo.

4.3 LOCALIZAR AS CARGAS PERTURBADORAS O MAIS PERTO DA FONTE

A perturbação harmônica global aumenta à medida que a potência de curto-circuito diminui.

Considerações econômicas à parte, é preferível conectar as cargas perturbadoras o mais próximo à fonte.

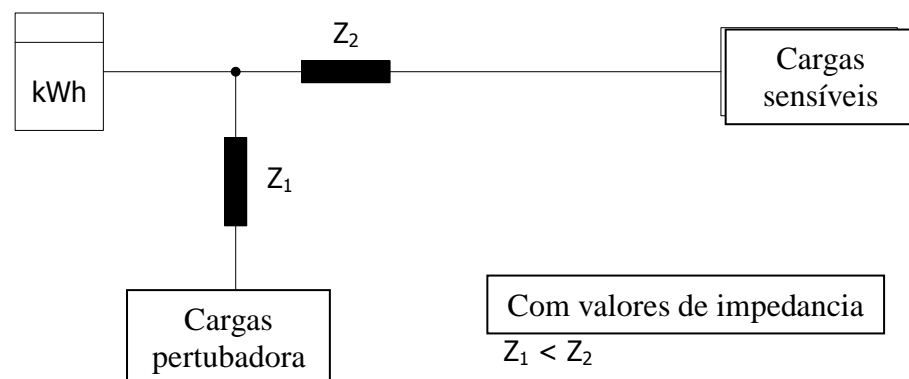


Figura 1.7 Alimentação das cargas não lineares o mais próximo à fonte (esquema recomendado).

4.4 REAGRUPAR AS CARGAS PERTURBADORAS

Quando se prepara o diagrama unifilar, devem-se separar, na medida do possível, os equipamentos perturbadores dos outros: na prática, deveriam ser alimentadas as cargas perturbadoras e as não perturbadoras com conjuntos de barramentos diferentes.

Reagrupando as cargas perturbadoras, aumenta a possibilidade de recomposição angular. Isto é devido a que a soma vetorial das correntes harmônicas é menor que a sua soma algébrica.

Também se deve fazer um esforço para evitar a circulação de correntes harmônicas nos cabos, limitando as quedas de tensão e o aumento de temperatura nos cabos.

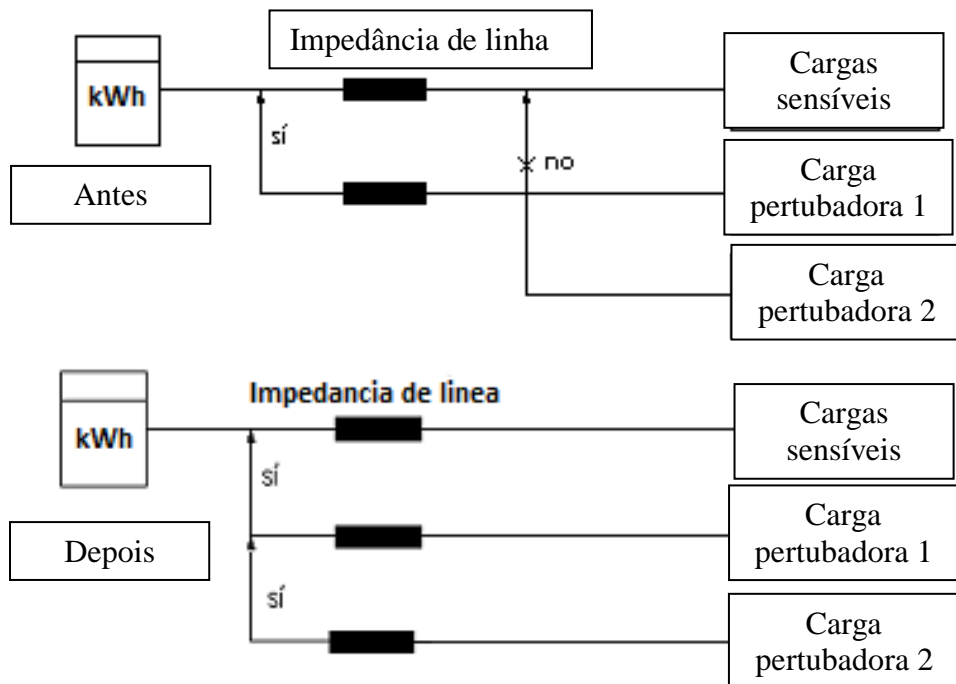


Figura 1.8 Reatrupação de cargas perturbadoras.

4.5 SEPARAR AS FONTES

Na luta contra as harmônicas obtém-se uma melhora complementar alimentando com quadros separados correspondentes às diferentes fontes energéticas, como mostrado no seguinte esquema.

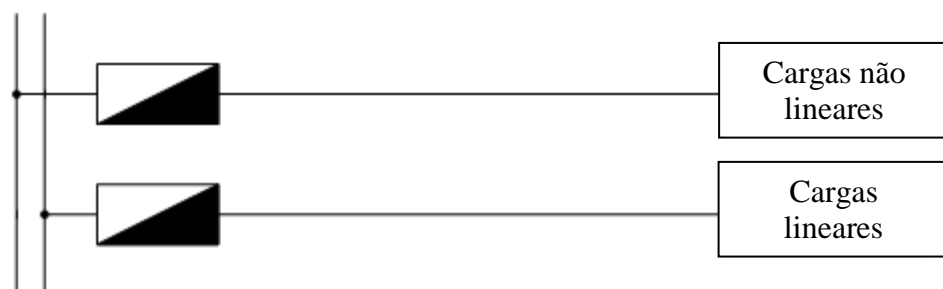


Figura 1.9 Alimentação de cargas perturbadoras com quadros separados.

O inconveniente desta solução é o aumento no custo da instalação.

4.6 UTILIZAÇÃO DE TRANSFORMADORES EM CONEXÕES PARTICULARES.

Uma conexão triângulo-estrela/triângulo elimina as harmônicas de ordem 5 e 7. Uma conexão triângulo-estrela elimina as harmônicas de ordem 3.

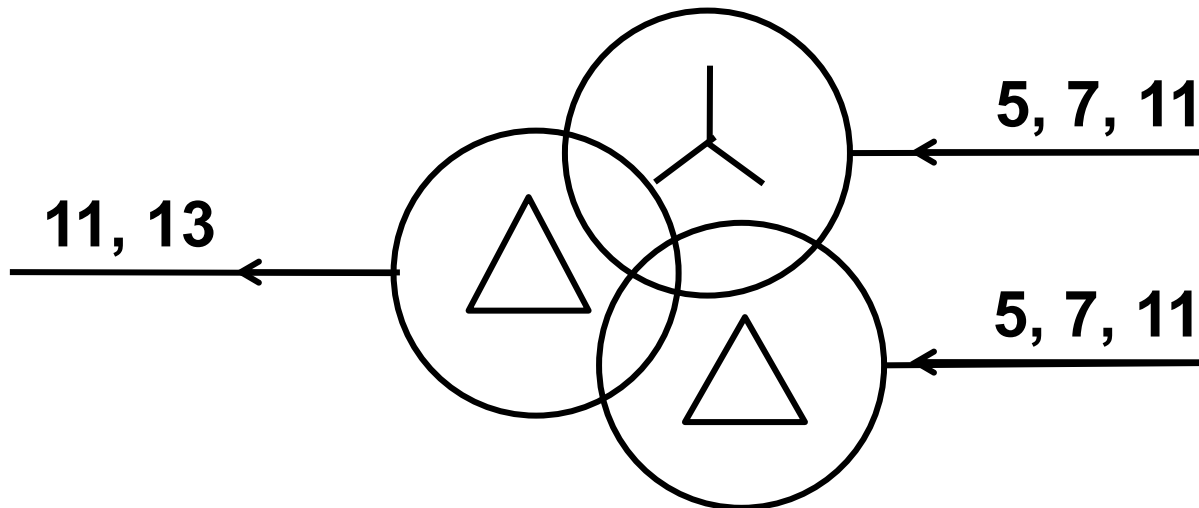


Figura 1.10 A conexão triângulo – estrela/ triângulo elimina as harmônicas 5 e 7.

As harmônicas circulam por cada uma das fases e retornam pelo neutro do transformador no lado estrela.

4.7 ESCOLHA DE UM ESQUEMA DE ATERRAMENTO.

Caso de esquema TNS.- Este é o esquema recomendado no caso de presença de harmônicas.

O condutor neutro e o condutor de proteção PE estão completamente separados, assegurando deste modo uma tensão no sistema muito mais estável. Este é o sistema recomendado no caso de presença de harmônicas.

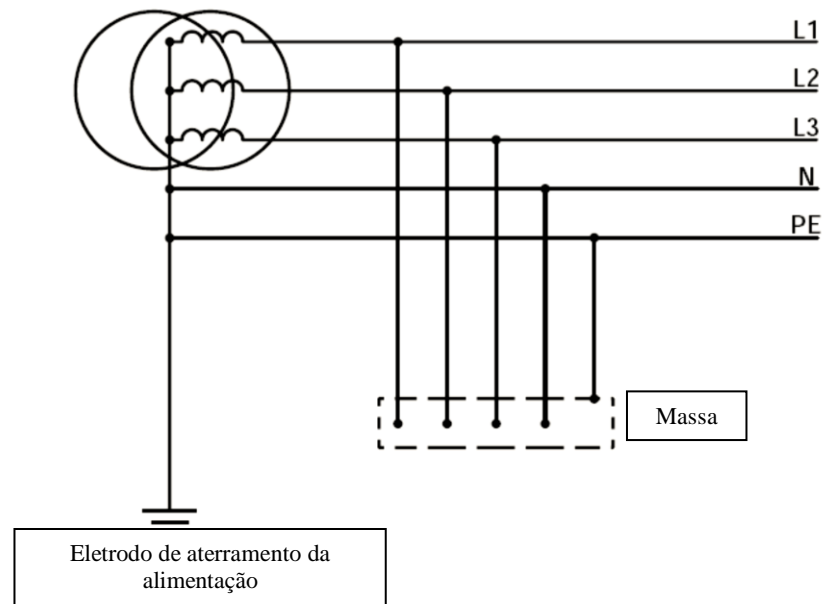


Figura 1.11 Alimentação de cargas perturbadoras com transformador separado.