



Introdução às Instalações Elétricas de Baixa Tensão

1

1.1 Generalidades

O objetivo deste livro é analisar o projeto e a execução das instalações elétricas de baixa tensão; porém, para que o projetista ou o instalador se situe melhor, é importante saber onde se localiza a sua instalação dentro de um sistema elétrico, a partir do gerador até os pontos de utilização em baixa tensão.

As instalações elétricas de baixa tensão são regulamentadas pela norma NBR 5410:2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que estabelece a tensão de 1 000 volts como o limite para a baixa tensão em corrente alternada e de 1 500 volts para a corrente contínua. A frequência máxima de aplicação dessa norma é de 400 Hz.

A fim de visualizarmos melhor onde se encontra a nossa instalação predial dentro de um sistema elétrico, conheçamos os seus componentes, desde a estação geradora até os consumidores de baixa tensão. Desse modo, compreenderemos facilmente as diferentes transformações de tensões, desde o gerador até a nossa residência. Toda a energia gerada para atender a um sistema elétrico existe sob a forma alternada trifásica, tendo sido fixada, por decreto governamental, a frequência de 60 ciclos/segundo para uso em todo o território brasileiro.

Observemos a Figura 1.1, na qual está representado, em diagrama, um sistema elétrico que compreende os seguintes componentes:

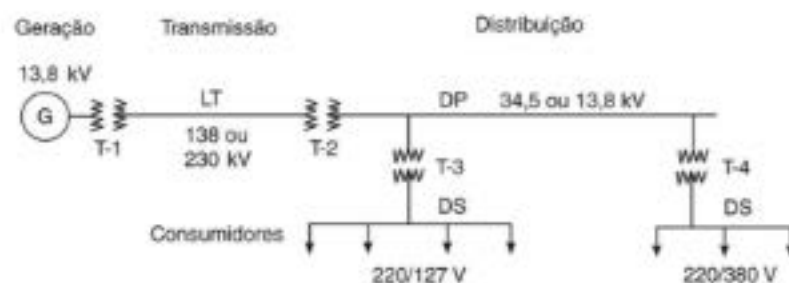
- geração;
- transmissão englobando a subestação elevadora (T-1) e a abaixadora (T-2);
- distribuição.

1.2 Geração de Energia Elétrica

A geração de energia elétrica no Brasil é realizada, principalmente, por meio do uso da energia potencial da água (geração hidrelétrica) ou utilizando a energia dos combustíveis (geração termelétrica).

De acordo com dados de julho de 2020 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no Brasil, 62,5 % (109 106 MW) da energia é gerada por hidrelétricas, pois o nosso país apresenta um rico potencial hidráulico, que, além do já aproveitado, contém um potencial a ser explorado, o qual é estimado em mais de 150 000 MW.

Das termelétricas existentes no Brasil, 25,59 % são convencionais num total de 42 959 MW, as quais utilizam combustíveis fósseis (petróleo, gás natural, carvão mineral etc.) num valor de 27 793 MW (16,81 %) e biomassa (bagaço de cana, madeira etc.) num total de 15 166 MW (8,78 %).



- G = gerador síncrono de energia (turbina hidráulica ou a vapor)
 T-1 = transformador elevador
 LT = linha de transmissão de energia (transporta a energia até próximo aos centros consumidores)
 T-2 = transformador abaixador
 DP = distribuição primária (dentro da zona urbana, distribui a energia em média tensão)
 T-3 e T-4 = transformadores de distribuição (abaixam as tensões para valores utilizáveis em instalações residenciais, comerciais e industriais)
 DS = distribuição secundária

Figura 1.1 Diagrama de um sistema elétrico.

As termelétricas nucleares correspondem a 1 990 MW (1,14 %) e usam como combustível o urânio enriquecido.

Dessas gerações de energia, um total de 82,75 % é renovável e 17,24 % é não renovável, o que coloca o Brasil em posição privilegiada em termos de geração de energia elétrica renovável.

1.2.1 Geração hidrelétrica e térmica

Os geradores de eletricidade necessitam de energia mecânica (cinética) para fazer girar os rotores das turbinas, nos quais estão acoplados, no mesmo eixo, os rotores dos geradores de eletricidade. Portanto, a geração precisa de uma turbina (hidráulica ou térmica) e de um gerador síncrono, montados no mesmo eixo na vertical (Figura 1.2) ou na horizontal.

Para que haja possibilidade de aproveitamento hidrelétrico, duas condições têm de existir:

- água em abundância;
- desnível entre a barragem e a casa de máquinas.

Na Figura 1.3, são apresentados os cortes esquemáticos de três tipos de geradores elétricos:

- em (a), observamos um gerador de polo externo (fixo) e, no rotor, o enrolamento induzido. É necessário que a coleta da tensão gerada ocorra por meio de anéis; no entanto, como isso causa um grave inconveniente, serve apenas para pequenas potências;
- em (b), temos um típico gerador hidráulico de 4 polos; no rotor, está o campo, de pequenas correntes, e também utilizando anéis de contato; no estator, encontra-se o induzido;
- em (c), temos um gerador de 2 polos (inteiriços), usado em usinas termelétricas; no rotor, está o campo, ligado por meio de anéis de contato a uma fonte externa de corrente contínua.

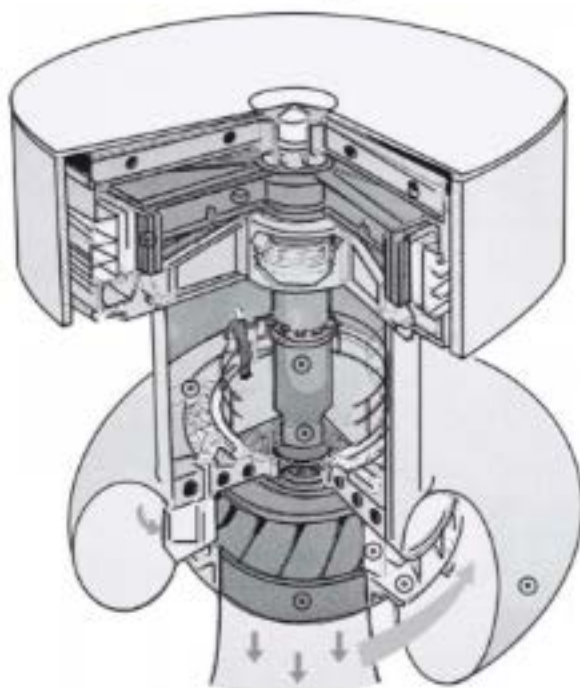


Figura 1.2 Gerador-turbina.

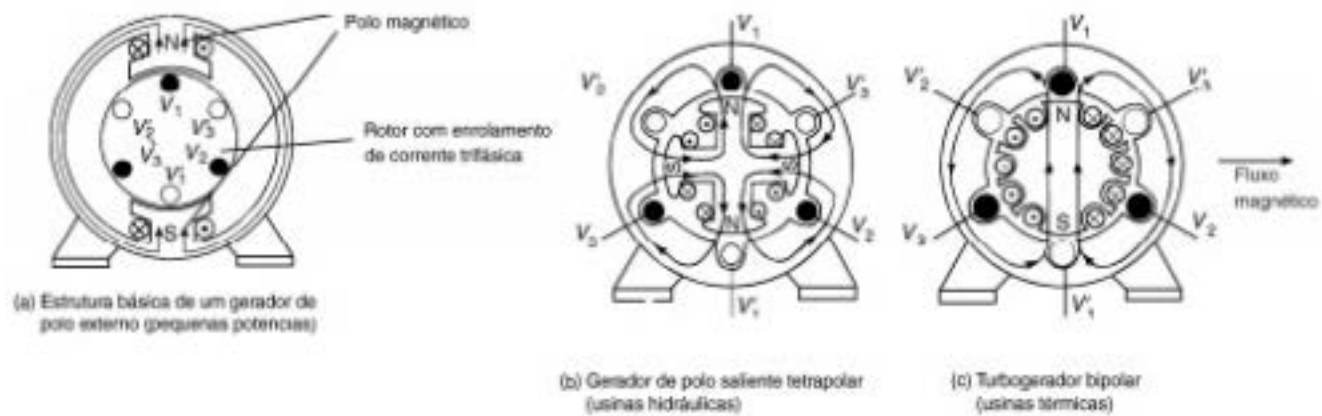


Figura 1.3 Geradores síncronos de energia.

Na Figura 1.4, vemos a fotografia da usina hidrelétrica de Marimbondo, que consta de uma barragem de concreto, oito geradores de 180 MVA cada um e uma subestação elevadora com 24 transformadores de 63,3 MVA cada um.

1.3 Transmissão

Transmissão significa o transporte de energia elétrica gerada até os centros consumidores. Para que seja economicamente viável, a tensão gerada nos geradores trifásicos de corrente alternada, normalmente de 13,8 kV, deve ser elevada a valores padronizados em função da potência a ser transmitida e das distâncias aos centros consumidores.

Desse modo, temos uma subestação elevadora junto à geração, conforme se pode ver na Figura 1.4, uma fotografia aérea da usina de Marimbondo (parte esquerda da figura), e na Figura 1.6.

As tensões mais usuais em corrente alternada nas linhas de transmissão são: 69 kV, 138 kV, 230 kV, 400 kV e 500 kV. A partir de 500 kV, somente um estudo econômico decidirá se deve ser usada a tensão alternada ou contínua, como é o caso da linha de transmissão de Itaipu, com ± 600 kV em corrente contínua. Nesse caso, a instalação necessita de uma subestação retificadora – ou seja, que transforma a tensão alternada em tensão contínua, transmitindo a energia elétrica em tensão contínua – e, próximo aos centros consumidores, precisa de uma estação inversora para transformar a tensão contínua em tensão alternada outra vez, a fim de que se permita a conexão com a malha do sistema interligado.



Figura 1.4 Usina hidrelétrica de Marimbondo – Furnas, com oito geradores de 180 MVA.



Figura 1.5 Linha de transmissão. (Cortesia de Furnas Centrais Elétricas.)



Figura 1.6 Subestação elevadora. (Cortesia de Furnas Centrais Elétricas.)

Na Figura 1.5, vemos em destaque três torres de linhas de transmissão, duas em corrente alternada trifásica e, à frente, uma de corrente contínua (um bipolo de ± 600 kV).

1.4 Distribuição

A distribuição é a parte do sistema elétrico incluída nos centros de utilização (cidades, bairros, indústrias). A distribuição começa na subestação abaixadora, onde a tensão da linha de transmissão é abaixada para valores padronizados nas redes de distribuição primária, por exemplo, 13,8 kV e 34,5 kV.

Tabela 1.1 Usinas de geração elétrica no Brasil

Tipo	Potência (MW)	Quantidade	% (Pot.)
CGU*	0,05	1	0,00
EOL	15 722	645	9,09
UPV	2 928	3 895	1,68
UHE**	109 106	1 368	62,50
UTE	42 959	3 058	25,59
UTN	1 990	2	1,14
Total	172 705	8 969	100
* Usina undielétrica (maremotriz).			
** Usinas hidrelétricas (219), PCH (416) e outras (733).			

Fonte: Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA.

A título de ilustração, apresentamos a Figura 1.7, que mostra a configuração do sistema de distribuição primária de Brasília (2011), onde, da SE geral, partem várias linhas de 34,5 kV até as diversas subestações abaixadoras. Essas linhas são, às vezes, denominadas subtransmissão.

Das subestações de distribuição primária partem as redes de distribuição secundária ou de baixa tensão.

Na Figura 1.8, vemos três diagramas utilizados em redes de distribuição primária, a saber:

- sistema radial;
- sistema em anel;
- sistema radial seletivo.

A parte final de um sistema elétrico é a subestação abaixadora para a baixa tensão, ou seja, a tensão de utilização (380/220 V, 220/127 V – Sistema trifásico; e 220/110 V – Sistema monofásico com tape). No Brasil, há cidades em que a tensão fase-neutro é de 220 V (Brasília, Recife etc.); em outras, essa tensão é de 127 V (Rio de Janeiro, Porto Alegre etc.) ou, mesmo, 115 V (São Paulo).

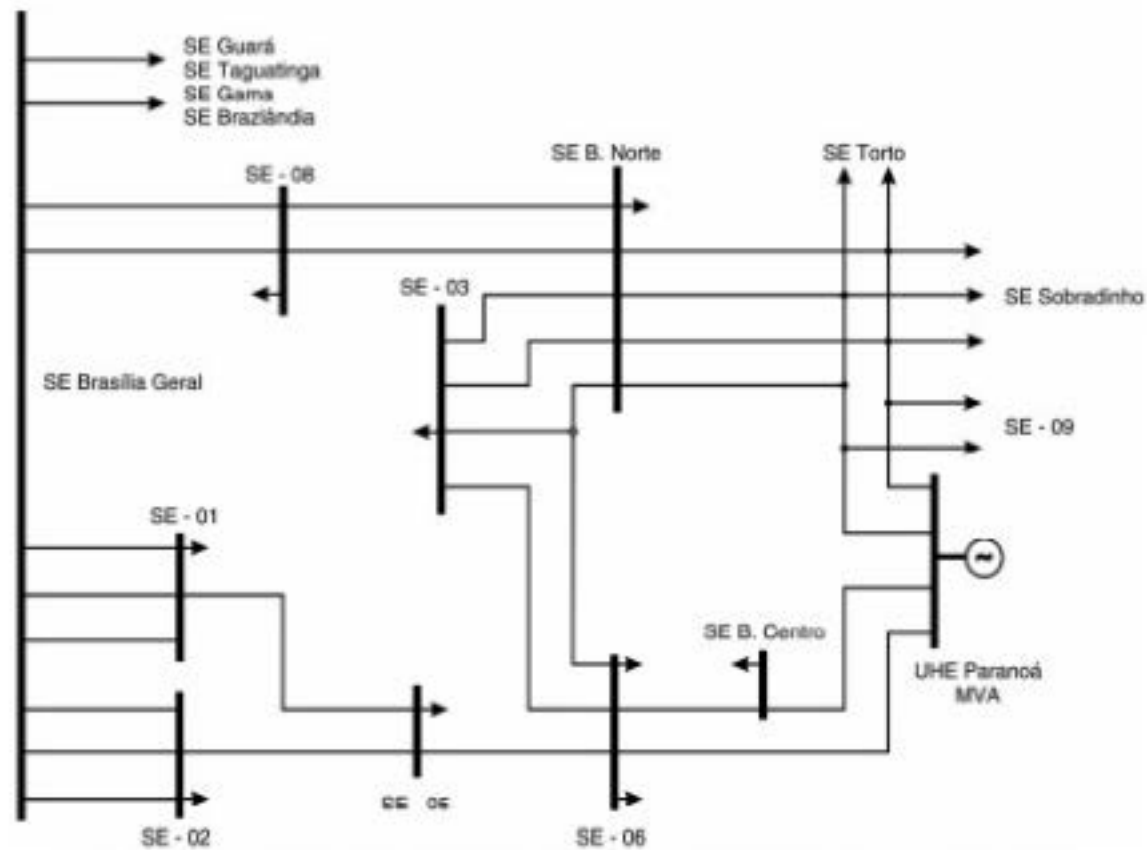


Figura 1.7 Configuração do sistema de distribuição primária em 34,5 kV de Brasília (DF) em 2011.

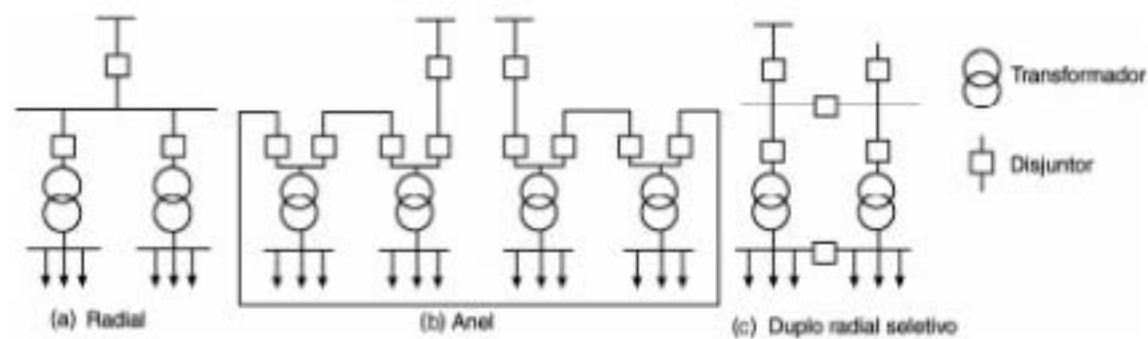


Figura 1.8 Tipos de sistema de distribuição primária.

Na Figura 1.9, vemos tipos de transformadores abaixadores. Já na Figura 1.11 é apresentado o esquema de ligação final para um consumidor, no qual observamos a rede primária de alta tensão e a rede secundária de baixa tensão. As redes de distribuição dentro dos centros urbanos podem ser aéreas ou subterrâneas. Nas redes aéreas, os transformadores podem ser montados em postes ou em subestações abrigadas; nas redes subterrâneas, os transformadores deverão ser montados em câmaras subterrâneas.

Os transformadores abaixadores nas redes de distribuição de energia elétrica podem ser monofásicos, bifásicos ou trifásicos. No caso da Figura 1.11, o transformador é trifásico.

A Figura 1.9 mostra dois tipos de transformadores abaixadores, sendo um refrigerado a óleo e o outro, a seco. Como sabemos, o transformador tem como finalidade abaixar e aumentar as tensões com vistas a permitir a transmissão de energia elétrica da maneira mais econômica possível.



Figura 1.9 Transformador abaixador a óleo e a seco. (Cortesias de Indústria de Transformadores Itaipu Ltda. e de Trafomil Ltda.)

Na Figura 1.10, que apresenta um sistema típico de geração-transmissão-distribuição de energia elétrica, vemos como se processam o aumento e a diminuição de tensão nos transformadores ao longo do sistema.

Em um transformador ideal (sem perdas), podemos afirmar que o produto da tensão vezes a corrente do lado de alta é igual ao produto da tensão vezes a corrente do lado de baixa.

Assim, para um transformador ideal (sem perdas) de dois enrolamentos, temos:

$$V_1 \times I_1 = V_2 \times I_2 \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

V_1 = tensão do lado primário

V_2 = tensão do lado secundário

I_1 = corrente do lado primário

I_2 = corrente do lado secundário

N_1 = número de espiras no primário

N_2 = número de espiras no secundário

Nos transformadores trifásicos, mais usuais nas redes de distribuição, o lado primário é ligado em triângulo e o lado secundário, em estrela aterrado.

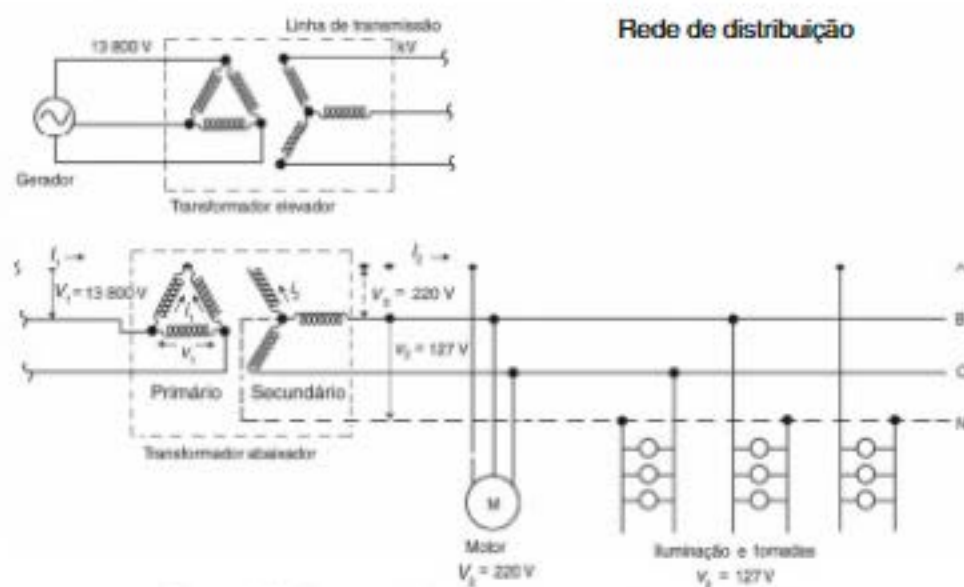


Figura 1.10 Sistema típico de geração-transmissão-distribuição.

Nesse tipo de ligação, temos as seguintes relações entre tensões e correntes:

Lado primário:

V_1 = tensão de linha ou tensão fase-fase = v_1

v_1 = tensão de fase

I_1 = corrente de linha = $\sqrt{3} \times i_1$

i_1 = corrente na fase

Lado secundário:

V_2 = tensão de linha ou tensão fase-fase = $\sqrt{3} \times v_2$

v_2 = tensão entre fase-neutro

I_2 = corrente de linha = i_2

i_2 = corrente entre fase-neutro

EXEMPLO

Se, no secundário, temos $V_2 = 220$ volts, $v_2 = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127$ volts

Se $V_2 = 380$ volts, $v_2 = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220$ volts

Se $V_2 = 440$ volts, $v_2 = \frac{440}{\sqrt{3}} = 254$ volts

Se $V_2 = 208$ volts, $v_2 = \frac{208}{\sqrt{3}} = 120$ volts

1.5 Entrada de Energia dos Consumidores

A entrada de energia dos consumidores finais é denominada ramal de entrada (aérea ou subterrânea).

As redes de distribuição primária e secundária normalmente são trifásicas, e as ligações aos consumidores poderão ser monofásicas, bifásicas ou trifásicas, de acordo com a sua carga:

- Até 4 kW – monofásica (2 condutores);
- Entre 4 e 8 kW – bifásica (3 condutores);¹
- Maior que 8 kW – trifásica (3 ou 4 condutores).²

A Figura 1.11 mostra os detalhes das ligações do ramal de ligação e de entrada de um consumidor, inclusive com o transformador abaixador instalado no poste.

1.6 Alternativas Energéticas

Todos nós sabemos que o consumo de energia elétrica vem aumentando em razão do crescimento da população e pelo fato de que, cada vez mais, a tecnologia oferece aparelhos eletroeletrônicos que possibilitam economia de tempo e de mão de obra, com uma simples conexão a uma tomada ou a uma chave elétrica. Assim, qualquer construção nova ou reformada resultará em aumento da demanda elétrica. As fontes tradicionais

¹ A Light, no Rio de Janeiro, não usa mais esse padrão.

² Em algumas concessionárias, há tolerância entre 8 e 15 kW de ligação bifásica; porém, acima de 15 kW, só é permitida a ligação trifásica.

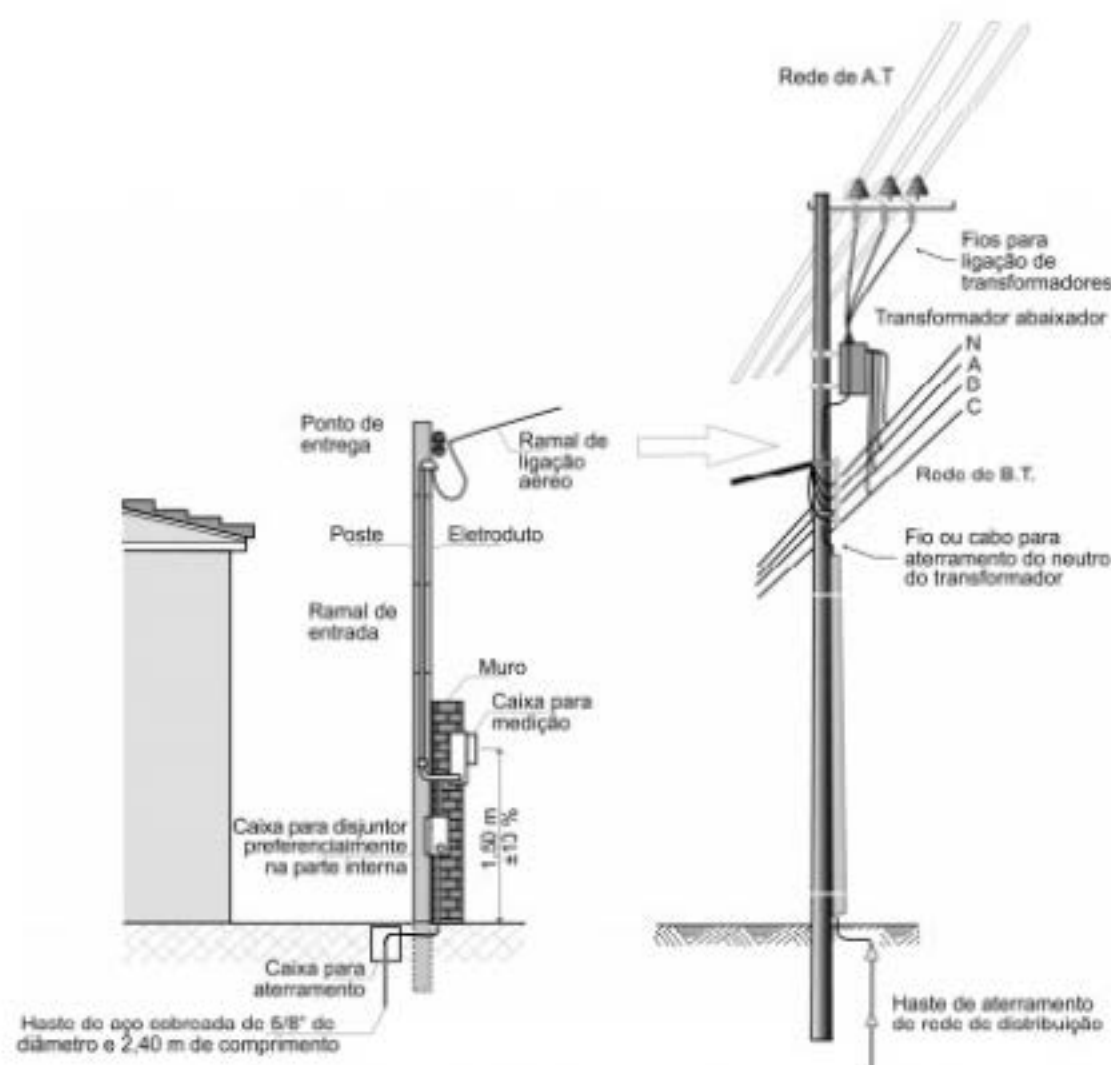


Figura 1.11 Detalhes das ligações do ramal de ligação e de entrada de consumidor. Fonte: RECON Light, 2019.

estão, aos poucos, exaurindo-se e, em face da agressão ao meio ambiente, os combustíveis fósseis, que comprometem a qualidade do ar, precisam ser reduzidos. Somente o gás natural e o álcool não poluem. A queima do álcool, inclusive, resulta em vapor d'água e gás carbônico.

Diante desses aspectos, restam as fontes alternativas – eólica, solar, nuclear e das marés.

1.6.1 Geração eólica

Muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas para o aproveitamento cada vez maior dos ventos (energia eólica) no Brasil, onde já encontramos um grande parque gerador eólico em operação comercial, composto por mais de 640 empreendimentos, num total de 16 GW, constituindo aproximadamente 10 % da geração de energia elétrica do Brasil. Essa geração está instalada, principalmente, no Nordeste e na região Sul do país. Os cinco estados que lideram na geração de energia eólica são:

- * Rio Grande do Norte: com capacidade de 4 392 MW e 163 usinas;
- * Bahia: com 4 129 MW e 171 usinas;

- Ceará: com 2 116 MW e 83 parques;
- Rio Grande do Sul: com 1 832 MW e 81 parques;
- Piauí: com 1 620 MW e 60 usinas de geração de energia.

Como exemplo, o parque eólico de Osório produz energia eólica na cidade de Osório, no Rio Grande do Sul, e é composto por 75 torres de aerogeradores, de 2 MW cada, instalados no alto de torres de concreto de 100 metros de altura (Figura 1.12). Esse parque tem uma capacidade instalada de 150 MW.

1.6.2 Geração fotovoltaica (solar)

A energia solar já se tornou uma alternativa economicamente viável, tanto para as pequenas plantas instaladas em residências, indústrias etc., quanto para grandes centrais fotovoltaicas. A Figura 1.13 mostra a UFV Origem I, 1 100 kWp, localizada em Brasília, havendo no mundo usinas com até 648 MWp, que é a maior do mundo, na cidade de Kamuthi, localizada na Índia.

No Brasil, as maiores são:

- Usina Solar São Gonçalo – São Gonçalo do Gurgueia, no Piauí – PI (608 MWp);
- Usina Solar Pirapora – Pirapora – MG (329 MWp);
- Usina Solar Nova Olinda – Ribeira do Piauí – PI (292 MWp).



Figura 1.12 Parque eólico de Osório – RS. (Cortesia Enerfin, Espanha.)



Figura 1.13 Usina Fotovoltaica Origem I. (Foto: Fernando Rotta.)

O estádio do Mineirão, Belo Horizonte – MG, tem instalado uma usina fotovoltaica com 1 420 kWp, e corresponde à maior usina solar construída em um estádio de futebol no Brasil. A instalação de placas fotovoltaicas em residências tem sido muito utilizada no Brasil pela redução, cada vez maior, do seu custo de implantação.

O Brasil possui, até o momento, uma capacidade instalada total de 2 928 MW, em 3 895 instalações, correspondendo a 1,68 % da capacidade total de geração de energia elétrica.

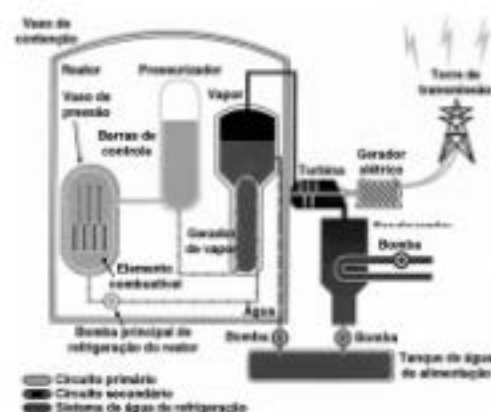


Figura 1.14 Diagrama de funcionamento de uma usina nuclear. (Divulgação Eletronuclear.)

1.6.3 Geração nuclear

A energia nuclear (Figuras 1.14 e 1.15), com o desastre de Fukushima, apresentou uma forte redução no ritmo de construções que deve persistir até que sejam implementadas novas medidas de segurança, não só para sua operação, como também para o problema dos resíduos radioativos, para o qual a tecnologia ainda não encontrou uma solução definitiva.

Apesar de sua complexidade tecnológica, o funcionamento de uma usina nuclear é fácil de se compreender. Afinal, funciona com um princípio semelhante ao de uma usina térmica convencional: o calor gerado pela combustão do carvão, do óleo ou do gás vaporiza a água em uma caldeira. Esse vapor aciona uma turbina, à qual está acoplado um gerador, que produz a energia elétrica. Na usina nuclear, o calor é produzido pela fissão do urânio no núcleo do reator.

1.6.4 Geração undielétrica (maremotriz)

A geração undielétrica já é uma fonte de geração utilizada, em pequena escala, no Japão, França, Coreia do Sul, Estados Unidos, Inglaterra e Escócia, que possui a maior usina de marés do mundo, a usina de MeyGen, com potencial de 400 MW e está instalada no litoral nordeste da Escócia, no fundo do mar.



Figura 1.15 Usina nuclear de Angra 2. (Divulgação Eletronuclear.)

No Brasil temos instalada a usina undielétrica, com 50 kW, Figura 1.16, no Porto de Pecém, localizado em São Gonçalo do Amarante – CE, para abastecimento do principal porto cearense.

O Brasil, com seu vasto litoral, é um país onde essa forma de geração de energia pode ser desenvolvida, sendo exemplos o estuário do rio Bacanga, em São Luís – MA, com marés de até 7 metros, e em Macapá – AP, onde as marés podem atingir até 11 metros.



Figura 1.16 Usina undielétrica de Pecém. (Cortesia da Secretaria de Infraestrutura do Estado do Ceará.)

EXERCÍCIOS DE REVISÃO

1. Qual a tensão-limite de baixa tensão em corrente alternada? E em corrente contínua?
2. Quais são os dois tipos principais de geração de energia elétrica?
3. Para que serve uma subestação elevadora de tensão?
4. Quais são os três sistemas de ligação das redes de distribuição primária?
5. Cite três fontes alternativas de energia.
6. Qual é a relação de espiras nos transformadores elevador e abaixador da Figura 1.10?