

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS

10ª EDIÇÃO

João Mamede Filho

Engenheiro eletricista

Membro da Academia Cearense de Engenharia (ACE)

Diretor Técnico da CPE – Estudos e Projetos Elétricos

Professor de Eletrotécnica Industrial da Universidade de Fortaleza – UNIFOR (1979-2012)

Presidente da Nordeste Energia S.A. – NERGISA (1999-2000)

Diretor de Planejamento e Engenharia da Companhia Energética do Ceará (1995-1998)

Diretor de Operação da Companhia Energética do Ceará – Coelce (1991-1994)

Presidente do Comitê Coordenador de Operações do Norte-Nordeste – CCON (1993)

Diretor de Planejamento e Engenharia da Companhia Energética do Ceará (1988-1990)



- O autor deste livro e a editora empenharam seus melhores esforços para assegurar que as informações e os procedimentos apresentados no texto estejam em acordo com os padrões aceitos à época da publicação, e todos os dados foram atualizados pelo autor até a data de fechamento do livro. Entretanto, tendo em conta a evolução das ciências, as atualizações legislativas, as mudanças regulamentares governamentais e o constante fluxo de novas informações sobre os temas que constam do livro, recomendamos enfaticamente que os leitores consultem sempre outras fontes fidedignas, de modo a se certificarem de que as informações contidas no texto estão corretas e de que não houve alterações nas recomendações ou na legislação regulamentadora.
- Data do fechamento do livro: 15/01/2023
- O autor e a editora se empenharam para citar adequadamente e dar o devido crédito a todos os detentores de direitos autorais de qualquer material utilizado neste livro, dispondo-se a possíveis acertos posteriores caso, inadvertida e involuntariamente, a identificação de algum deles tenha sido omitida.
- Atendimento ao cliente: (11) 5080-0751 | faleconosco@grupogen.com.br
- Direitos exclusivos para a língua portuguesa
Copyright © 2023 by
LTC | Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.
Uma editora integrante do GEN | Grupo Editorial Nacional
Travessa do Ouvidor, 11
Rio de Janeiro – RJ – 20040-040
www.grupogen.com.br
- Reservados todos os direitos. É proibida a duplicação ou reprodução deste volume, no todo ou em parte, em quaisquer formas ou por quaisquer meios (eletrônico, mecânico, gravação, fotocópia, distribuição pela Internet ou outros), sem permissão, por escrito, da LTC | Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.
- Capa: Leonidas Leite
- Imagens capa: © iStockphoto | sergeyryzhov
© iStockphoto | Rost-9D
© iStockphoto | K-Paul
© iStockphoto | Hramovnick
- Editoração eletrônica: Set-up Time Artes Gráficas
Edel
Arte & Ideia
- Ficha catalográfica

CIP-BRASIL. CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO
SINDICATO NACIONAL DOS EDITORES DE LIVROS, RJ

M231i
10.ed.

Mamede Filho, João
Instalações elétricas industriais / João Mamede Filho. - 10. ed. - Rio de Janeiro:
LTC, 2023.

Apêndice
Inclui bibliografia e índice
ISBN 978-85-216-3829-2

1. Instalações elétricas. I. Título.

22-81247

CDD: 621.31924
CDU: 621.316.1

Meri Gleice Rodrigues de Souza - Bibliotecária - CRB-7/6439





Prefácio à 10ª edição

Foi no ano de 1986 que circulou a 1ª edição deste livro, que trazia no prefácio o seu principal objetivo: *prover o leitor de conhecimentos necessários para desenvolver um projeto de instalação elétrica industrial*. Ao fim desses 36 anos, ao se publicar a 10ª edição e mais várias reimpressões intermediárias, esperamos ter correspondido às expectativas de nossos leitores que, na verdade, são os maiores incentivadores da continuidade desta obra.

Tenho por diversas vezes repetido essa frase que, para mim, faz todo o sentido, pois toda vez que escrevo uma nova edição deste livro tenho como objetivo poder contribuir um pouco mais na formação dos jovens técnicos e engenheiros eletricitas que elegeram o campo das instalações elétricas para se tornarem profissionais, assumindo imensas responsabilidades no mercado de trabalho.

Ao longo desses anos, sempre busquei também levar algum conhecimento àqueles que já estão exercendo as suas atividades profissionais e desejam ampliar a sua formação na área de instalações elétricas industriais, campo que abracei nos primeiros anos da minha vida profissional e que lá se vão 52 anos, continuamente exercendo essa profissão que tanto me honra.

Desde a sua origem, tenho conservado esse formato de estrutura do livro por entender que ela abrange os principais temas que envolvem os projetos de instalações elétricas industriais, sempre procurando acompanhar a evolução do setor, acrescentando, quando necessário, assuntos de interesse atual. Por exemplo, o Capítulo 14, exclusivo sobre projeto de Geração Distribuída (GD), utilizada atualmente como fonte de energia fotovoltaica e em plena expansão em praticamente todas as atividades produtivas, notadamente na pequena e na média indústrias.

Realizei uma atualização geral da obra, especialmente no Capítulo 2, que trata de sistemas de iluminação, reescrito em conformidade com a NBR ISO/CIE 8995-1:2013 – Iluminação de Ambientes de Trabalho, a qual não substitui completamente a NBR 5413/1992, oficialmente considerada cancelada.

Ao todo foram reescritos parcialmente nove capítulos a partir do Capítulo 1, no qual foi inserido o novo sistema tarifário nacional voltado, de modo exclusivo, para projetos industriais. Reescrevi em grande parte os Capítulos 7, 9, 10, 11 (neste, levando em consideração o sistema de aterramento de aerogeradores), 15 e 16.

No fechamento do livro, continuamos com o Apêndice, compatibilizando-o com a atualização dos capítulos mencionados. Nele, desenvolvemos o projeto eletromecânico de uma indústria, uma espécie de passo a passo, que muito tem contribuído para o aprimoramento profissional dos formandos de Engenharia Elétrica e dos profissionais que desejam trilhar por esse ramo.

Como sempre ocorre, a cada nova edição, renovamos o conteúdo técnico acompanhando sempre as atualizações de documentos normativos e o que surge no mercado relacionado com o contexto da obra.

João Mamede Filho

Material Suplementar

Este livro conta com os seguintes materiais suplementares:

- Ilustrações da obra em formato de apresentação (em formato .ppt) = acesso restrito a docentes.

O acesso ao material suplementar é gratuito. Basta que o leitor se cadastre, faça seu *login* em nosso *site* (www.grupogen.com.br) e, após, clique em Ambiente de aprendizagem.

O acesso ao material suplementar online fica disponível até seis meses após a edição do livro ser retirada do mercado.

Caso haja alguma mudança no sistema ou dificuldade de acesso, entre em contato conosco (gendigital@grupogen.com.br).



Sumário

1	Elementos de projeto	1
1.1	Introdução.....	1
1.2	Normas recomendadas.....	2
1.3	Dados para a elaboração de projeto.....	2
1.4	Concepção do projeto	3
1.5	Meios ambientes	10
1.6	Graus de proteção	11
1.7	Proteção contra riscos de incêndio e explosão	12
1.8	Formulação de um projeto elétrico.....	13
1.9	Roteiro para elaboração de um projeto elétrico industrial.....	34
1.10	Simbologia.....	35
2	Iluminação industrial	37
2.1	Introdução.....	37
2.2	Conceitos básicos	37
2.3	Lâmpadas elétricas	40
2.4	Dispositivos de controle.....	46
2.5	Luminárias.....	50
2.6	Iluminação de interiores.....	57
2.7	Iluminação de exteriores	82
2.8	Iluminação de emergência.....	86
3	Dimensionamento de condutores elétricos	89
3.1	Introdução.....	89
3.2	Fios e cabos condutores	89
3.3	Sistemas de distribuição	90
3.4	Critérios básicos para a divisão de circuitos.....	100
3.5	Circuitos de baixa-tensão.....	100

3.6	Circuitos de média tensão.....	129
3.7	Barramentos.....	134
3.8	Dimensionamentos de dutos	138
4	Fator de potência.....	161
4.1	Introdução.....	161
4.2	Fator de potência.....	161
4.3	Características gerais dos capacitores	169
4.4	Características construtivas dos capacitores.....	171
4.5	Características elétricas dos capacitores	173
4.6	Aplicações dos capacitores-derivação	174
4.7	Correção do fator de potência	193
4.8	Ligação dos capacitores em bancos.....	207
5	Curto-circuito nas instalações elétricas.....	208
5.1	Introdução.....	208
5.2	Análise das correntes de curto-circuito	208
5.3	Sistema de base e valores por unidade	213
5.4	Tipos de curto-circuito.....	216
5.5	Determinação das correntes de curto-circuito	217
5.6	Contribuição dos motores de indução nas correntes de falta.....	234
5.7	Aplicação das correntes de curto-circuito	237
6	Motores elétricos	242
6.1	Introdução.....	242
6.2	Características gerais dos motores elétricos	242
6.3	Motores assíncronos trifásicos com rotor em galola.....	248
6.4	Motofreio trifásico	267
6.5	Motores de alto rendimento.....	271
7	Partida de motores elétricos de indução	272
7.1	Introdução.....	272
7.2	Inércia das massas.....	273
7.3	Conjugado.....	275
7.4	Tempo de aceleração de um motor	281
7.5	Tempo de rotor bloqueado	291
7.6	Sistema de partida de motores.....	292
7.7	Queda de tensão na partida dos motores elétricos de indução	305
7.8	Escolha da tensão nominal de motores de potência elevada.....	323

7.9	Sobretensões de manobra	324
7.10	Controle de velocidade de motores de indução	324
7.11	Partida de motores elétricos de média tensão	336
8	Fornos elétricos.....	339
8.1	Introdução.....	339
8.2	Fornos a resistência	339
8.3	Fornos de indução	343
8.4	Fornos a arco.....	344
9	Materiais elétricos	371
9.1	Introdução.....	371
9.2	Elementos necessários para especificar	371
9.3	Materiais e equipamentos.....	371
10	Proteção e coordenação.....	423
10.1	Introdução.....	423
10.2	Proteção de sistemas de baixa-tensão.....	423
10.3	Proteção de sistemas primários.....	470
11	Sistemas de aterramento.....	518
11.1	Introdução.....	518
11.2	Proteção contra tensão de toque e passo	518
11.3	Aterramento dos equipamentos.....	520
11.4	Elementos de uma malha de terra	520
11.5	Resistividade do solo	522
11.6	Cálculo de malha de terra.....	529
11.7	Cálculo de sistemas de aterramento com eletrodos verticais.....	545
11.8	Medição da resistência de terra de um sistema de aterramento	549
11.9	Eventos de baixa e alta frequências	552
12	Subestação de consumidor.....	556
12.1	Introdução.....	556
12.2	Características básicas de uma subestação de consumidor	557
12.3	Tipos de subestação.....	558
12.4	Dimensionamento físico das subestações.....	575
12.5	Paralelismo de transformadores	581
12.6	Unidade de geração para emergência.....	583
12.7	Ligações à terra	584

13 Proteção contra descargas atmosféricas.....	585
13.1 Introdução.....	585
13.2 Considerações sobre a origem dos raios	585
13.3 Orientações para proteção do indivíduo.....	586
13.4 Análise de componentes de risco	587
13.5 Sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA)	616
13.6 Métodos de proteção contra descargas atmosféricas.....	627
13.7 Acessórios e detalhes construtivos de um SPDA.....	640
14 Geração distribuída	647
14.1 Introdução.....	647
14.2 Dimensionamento de geradores fotovoltaicos	649
14.3 Análise econômica	677
15 Eficiência energética	680
15.1 Introdução.....	680
15.2 Levantamento e medições	681
15.3 Cálculo econômico	682
15.4 Ações de eficiência energética	684
16 Usinas de geração industrial.....	717
16.1 Introdução.....	717
16.2 Características das usinas de geração	717
16.3 Dimensionamento de usinas termelétricas	728
16.4 Geração localizada	768
16.5 Sistema de cogeração	773
16.6 Proteção de usinas termelétricas.....	779
16.7 Emissão de poluentes	781
16.8 Ruídos	783
16.9 Instalação de grupos motor-gerador.....	784
Apêndice – Exemplo de aplicação.....	791
A.1 Divisão da carga em blocos	791
A.2 Localização dos quadros de distribuição.....	791
A.3 Localização do quadro de distribuição geral	791
A.4 Localização da subestação	792
A.5 Definição do sistema de distribuição.....	792
A.6 Determinação da demanda prevista	792
A.7 Determinação da potência da subestação	806
A.8 Fator de potência	806

A.9	Determinação da seção dos condutores e eletrodutos.....	808
A.10	Determinação da impedância dos circuitos	827
A.11	Cálculo das correntes de curto-circuito	845
A.12	Condição de partida dos motores	852
A.13	Proteção e coordenação do sistema	855
A.14	Cálculo da malha de terra.....	883
A.15	Dimensões da subestação	889
A.16	Dimensionamento dos aparelhos de medição.....	890
A.17	Relação de material.....	892
	Referências bibliográficas.....	903
	Índice alfabético.....	905