

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS DE MINAS GERAIS

CAMPUS SANTA LUZIA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LEONARDO BARBOSA LIMA GOUVEA

**INSTALAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA, SUAS MEDIÇÕES E
ECONOMIA VIA AJUSTE DE HÁBITOS DE CONSUMO E MEDIDAS DE
ENGENHARIA**

Belo Horizonte

2026

LEONARDO BARBOSA LIMA GOUVEA

**INSTALAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA, SUAS MEDIÇÕES E
ECONOMIA VIA AJUSTE DE HÁBITOS DE CONSUMO E MEDIDAS DE
ENGENHARIA**

Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais Campus Santa Luzia, como requisito parcial para a obtenção do título de engenheiro civil.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Simão Ferreira

Belo Horizonte, janeiro de 2026

LEONARDO BARBOSA LIMA GOUVEA

**INSTALAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA, SUAS MEDIÇÕES E
ECONOMIA VIA AJUSTE DE HÁBITOS DE CONSUMO E MEDIDAS DE
ENGENHARIA**

Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais Campus Santa Luzia, como requisito parcial para a obtenção do título de engenheiro civil.

Aprovado em 28 / 01 / 2026 pela banca examinadora

Prof. Dr. Tiago Simão Ferreira (Orientador)

Dário Lúcio Vale Theodoro (Examinador Interno)

Andrei Roger Silva De Oliveira (Examinador Externo)



INSTITUTO FEDERAL MINAS GERAIS

Campus Santa Luzia - Código INEP: 31358150
Rua Érico Veríssimo, nº. 317, Bairro Londrina, CEP: 33115-390, Santa Luzia/MG
CNPJ: 10.626.896/0015-78 - Telefone: (31) 3268-5600

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **instalações de energia elétrica, suas medições e economia via ajuste de hábitos de consumo e medidas de engenharia**, apresentada pelo estudante **Leonardo Barbosa Lima Gouvea** do Curso Bacharelado em Engenharia Civil (Campus Santa Luzia). Os trabalhos foram iniciados às 12h00min do dia 28/01/2026 pelo professor presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- Tiago Simão Ferreira (Orientador)
- Dário Lúcio Vale Theodoro (Examinador Interno)
- Andrei Roger Silva De Oliveira (Examinador Externo)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado: **Aprovado** com nota **90,1**.

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu Tiago Simão Ferreira lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Santa Luzia – MG, 28/01/2026.

Documento assinado digitalmente
gov.br TIAGO SIMAO FERREIRA
Data: 28/01/2026 12:58:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Tiago Simão Ferreira

Documento assinado digitalmente
gov.br DARIO LUCIO VALE THEODORO
Data: 29/01/2026 09:54:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dário Lúcio Vale Theodoro

Documento assinado digitalmente
gov.br ANDREI ROGER SILVA DE OLIVEIRA
Data: 28/01/2026 15:36:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

• Andrei Roger Silva De Oliveira

RESUMO

O projeto Neob foi destinado a criar funcionalidades eletrônicas de medição, disponibilidade de informações, controle, estatística de uso de recursos de água e gás e energia elétrica, sendo os dados de consumo repassados para sistemas computacionais de registro, podendo os dados de consumo em tempo real serem visualizados, processados e armazenados, para que o usuário possa tomar decisões sobre modelo ideal de consumo destes recursos decidindo a partir de indicadores estatísticos, tendenciais apresentados em forma de gráficos, curvas, relatórios, valores de medição atuais instantâneos, portanto o projeto Neob foi planejado para concentrar informações diversas para que os consumidores tenham conhecimento sobre valores consumidos de recursos e possam fazer a própria gestão de consumo, reprogramando os hábitos de consumo para cumprir metas de consumo de insumos, para que os custos de pagamento das contas sejam menores.

Além do uso consciente e controlado de insumos, é entendido que as construções físicas devem ser bem planejadas e executadas, para isto devem ser usadas medidas de controle do uso aliado a técnicas de engenharia que otimizam o transporte do material consumido pelos condutos, como, construir instalações que requerem menos necessidade de manutenção, projetar de modo que haja menos perdas intrínsecas para que seja possível à médio prazo possível obter ganhos econômicos nos sistemas de água e gás e energia em condomínios. Para obter as melhores construções é necessário entender os aspectos físicos das instalações, iterações dos fluxos de insumos consumidos com as vias transporte, não deixar de cumprir normas ABNT que definem diretrizes mínimas dos modos de realizar as instalações.

O projeto Neob prevê a possibilidade de instalar medidores de consumo para água, gás e energia elétrica para cada unidade individual de um condomínio onde antes havia apenas um medidor centralizado, para assim haver o rateio de gastos proporcional ao quantitativo que cada unidade individual consumiu.

Este trabalho enfoca em especial na medição de energia elétrica consumida, inclui um circuito eletrônico para medição da energia elétrica consumida o qual gera um pulso de sinal que é o indicativo de cada quantitativo de 1 KWh de energia consumida ao longo do tempo, os pulsos indicadores de medição se repetem ao longo do tempo de acordo como consumo ocorre, assim este circuito se destina a ser instalado no ponto de entrada de

uma unidade individual de forma que a energia consumida de um consumidor individual seja conhecida e este pague proporcionalmente dentro do condomínio de imóveis e não apenas o total de energia consumida do condomínio de imóveis seja o único dado conhecido a partir do padrão de entrada de energia geral.

O circuito do medidor de energia foi simulado no software Multisim, apresentando resultados com precisão da ordem de 97% nas medições.

Para complementar o estudo sobre medição da energia elétrica serão estudadas normas do setor elétrico que tratam das definições sobre capacidades obrigatórias de serem incluídas nos medidores de energia elétrica das próprias concessionárias de energia, sendo que os medidores de energia costumam ser fornecidos pelas próprias concessionárias e a manutenção destes é sempre feita por laboratórios licenciados, e que havendo o possibilidade de compra pelos consumidores de energia diretamente das fontes de geração de energia, sendo esta a modalidade de comércio livre de energia a qual se mostra cada vez mais presente, assim podendo serem alugadas as redes de cabos de energia das distribuidoras de energia para transporte desta energia comprada gerada diretamente nos geradores, torna ainda mais interessante a produção de sistemas de medição de consumo de energia próprios instalados pelos mesmos compradores, e disto podendo fazer a medição de energia para os diversos pontos de consumo e fazer a gestão dos gastos ou ainda cobrar pela quantidade de energia consumida por cada unidade pertencente ao conjunto maior que centraliza o comércio desta energia comprada diretamente dos geradores. Há a possibilidade de que shoppings centers, indústrias de médio e grande porte, ou conjuntos de pequenas indústrias, ou comunidades de consumidores comprem a energia diretamente da fonte de geração de energia e assim rateiem a conta total da compra de energia com base nos dados de consumo de cada unidade consumidora a qual por sua vez possui instalado um medidor de energia especial que foi instalado pelo próprio consumidor, sendo este medidor interligado ao sistema computacional para o armazenamento dos dados de consumo.

Outra modalidade de geração de energia é a geração própria de energia que no caso de ser uma fonte de maior potência pode comercializar esta energia para outros consumidores os quais possuirão um medidor de energia específico para a medição que não o medidor de energia de costume ser instalado pelas concessionárias comuns de energia elétrica.

|Outra funcionalidade de se ter medidores próprios de energia elétrica é que o quantitativo de energia de cada unidade de consumo pode ser medido em tempo real para uma gestão do consumo de tal forma que haja um controle de gastos a fim de que os objetivos de obter benefícios tarifários que trata do horário de consumo fora de pico sejam atingidos, gerando economia a partir do preciso conhecimento do consumo de cada unidade individual.

O setor tradicional de comércio de energia elétrica possui normas específicas que são explanadas neste trabalho, as concessionárias devem cumprir requisitos normativos tarifários, requisitos sobre qualidade da energia que é comercializada, devem também cumprir normas que tratam de como dever ser a medição e características dos medidores de energia elétrica, assim os medidores de energia devem ser capazes de medir energia sob condições diversas, o conhecimento destas normas torna útil o desenvolvimento de um medidor próprio.

São avaliados neste trabalho diversas normas sobre quais são as capacidades dos medidores de energia elétrica, são estudadas também normas sobre requisitos de qualidade da energia elétrica pelo fato que os medidores de energia para grandes consumidores devem ser capazes de medir a influência do consumidor quanto à geração de interferências negativas de diversos tipos no sistema elétrico do fornecedor de energia.

É feito também um estudo técnico científico contendo a descrição dos principais tipos de distúrbios elétricos existentes, descrevendo suas fontes de geração, os danos e riscos que tais distúrbios oferecem aos equipamentos dos consumidores, tal estudo é de grande importância para o engenheiro civil pois tradicionalmente a grade curricular de boas escolas de engenharia civil possui disciplina sobre instalações elétricas mas o engenheiro civil não recebe formação que contemple detalhes sobre as interferências e falhas elétricas que podem ocorrer nas instalações, desta forma um projeto elétrico mesmo que cumprindo requisitos básicos em norma pode ainda dependendo dos tipos de aparelhos conectados, caso forem estes sensíveis e haver outras cargas próximas que geram contaminação, vir a ocorrer falhas de funcionamento.

Para complementar o estudo também é explicitada a aplicação de norma de execução e projetos de instalações elétricas, sendo feito adicionalmente o modelamento de um projeto elétrico básico residencial, para assim ser sintetizado a compreensão geral da norma de projeto de instalações elétricas.

A elaboração deste trabalho que tem como centro a compreensão de um sistema de medição de energia elétrica que faz parte de um projeto maior já iniciado denominado Projeto NEOB, leva assim ao estudo de um conjunto vasto de teorias sobre aspectos sobre a normalização de comercialização de energia elétrica e seus benefícios tarifários possíveis, sobre a normalização de sistemas de medição da energia elétrica, sobre a normalização sobre a qualidade da energia elétrica, e agrega aprendizado também da norma de projetos elétricos, portanto sendo um aprendizado amplo que agrega ao engenheiro civil capacidade valiosa de identificar diversos aspectos para atuar no campo de sistemas elétricos.

Palavras-chave: Medidor de energia, gás e água. Medição de energia independente a cada unidade de um condomínio. Viabilidade econômica de instalações de distribuição de insumos. Métodos de engenharia para medições. Informatização das medições. Normas para medidores. Normas de construção de meios de transporte de insumos de água, gás e energia.

ABSTRACT

The Neob project was intended to create electronic functionalities of measurement, availability of information, control, statistics of use of water, gas and electric energy resources, with the consumption data being reviewed for computer recording systems, allowing the consumption data in real time to be visualized, processed and stored so that the user can take Deciding on the ideal model of consumption of these resources by deciding on the basis of statistical indicators, trends presented in the form of graphs, curves, reports, instantaneous measurement values, therefore the Neob project was planned to concentrate diverse information so that consumers have knowledge about consumed values of resources and can carry out their own consumption management, rescheduling consumption habits for Meet goals on input consumption so that payment costs remain lower.

In addition to the conscious controlled use of inputs, it is understood that physical constructions must be well planned and executed, for this purpose control measures must be used in conjunction with engineering techniques that optimize the transportation of material consumed by pipelines, implement installations that require less maintenance, and design so that there are fewer losses. intrinsic, so that it is possible in the medium term to obtain economic gains in the water, gas and energy systems in condominiums, to obtain the best constructions it is necessary to understand the physical aspects of the installations, iterate the two flows of inputs consumed with the transportation routes of these, Do not fail to comply with ABNT standards that define minimum guidelines for the two ways of carrying out installations.

The Neob project provides for the possibility of installing consumption meters for water, gas, electricity for each individual unit of a condominium where before there was only a centralized meter, to also have a rate of expenses proportional to the quantity that each individual unit consumes.

This work focuses especially on the measurement of electrical energy consumed, including an electronic circuit for measuring the electrical energy consumed or which generates a signal pulse that is indicative of each quantity of 1 KWh of energy consumed over a long period of time, the measurement indicator pulses are repeated over a long period of time. time according to how consumption occurs, thus this circuit is intended to be installed at the input point of an individual unit so that the energy consumed by an

individual consumer is made up and paid proportionally within the condominium of habitation and not only the total energy consumed of the condominium of habitation is or only given from the general energy input pattern.

The energy meter circuit was simulated in Multisim software, presenting results with accuracy of around 97% in the measurements.

To complement the study on electrical energy measurement, standards for the electrical sector that deal with the definitions of mandatory power capacities will be studied, including the electrical energy meters of the energy concessionaires' own, meaning that the energy meters are usually supplied by the concessionaires' own energy concessionaires and a maintenance of these is usually done by licensed laboratories, and having the possibility of purchasing energy consumers directly from the sources of energy generation, making the modality of free energy trade increasingly present, thus being able to be affected by the networks of energy cables of energy distributors for the transport of this generated purchased energy. Directly for us generators, it becomes even more interesting to produce self-installed energy consumption measurement systems by the buyers themselves, and we are now able to measure energy for the various points of consumption and manage two expenses or also charge for the amount of energy consumed for each unit belonging to the year. Larger set that centralizes or trades this energy purchased directly from two generators. It is possible that shopping centers, medium and large-sized industries, or groups of small industries, or communities of consumers purchase energy directly from the energy generation source and thus rate the total energy purchase based on the consumption data of each consumer unit to which in turn a special energy meter that was installed may be installed. The consumer itself, this meter being linked to the computer system for the storage two consumption data.

Another type of energy generation is the generation of energy itself, which, if it is a source of greater power, can market this energy for other consumers, as it may require a specific energy meter for the measurement, which does not require a regular energy meter to be installed by common electrical energy concessionaires.

Another advantage of having your own electricity meters is that the amount of energy consumed by each unit can be measured in real time for consumption management, allowing for cost control and enabling the achievement of tariff benefits related to off-peak consumption hours. This generates savings through precise knowledge of each individual unit's consumption.

The traditional electricity trading sector has specific regulations, which are explained in this work. Concessionaires must comply with regulatory tariff requirements, requirements regarding the quality of the energy being traded, and there are also regulations governing measurement methods and the characteristics of electricity meters. Therefore, energy meters must be capable of measuring energy under diverse conditions. Knowledge of these regulations makes the development of a dedicated meter useful.

This work evaluates various standards regarding the capabilities of electricity meters. It also studies standards concerning power quality requirements, given that energy meters for large consumers must be able to measure the consumer's influence on generating various types of negative interference in the power supply system.

A technical-scientific study is also conducted, describing the main types of existing electrical disturbances, their sources of generation, and the damage and risks that such disturbances pose to consumer equipment. This study is of great importance to civil engineers because, traditionally, the curriculum of good civil engineering schools includes a subject on electrical installations, but civil engineers do not receive training that covers details about electrical interferences and faults that can occur in installations. Thus, an electrical project, even if it meets basic standard requirements, can, depending on the types of equipment connected to the installation, be sensitive to or a source of electrical disturbances, leading to malfunctions in consumer appliances.

To complement the study, the application of standards for the execution and design of electrical installations is also explained. Additionally, a basic residential electrical project is modeled to synthesize a general understanding of the standard for the design of electrical installations.

The elaboration of this work, which focuses on understanding an electrical energy metering system that is part of a larger, already initiated project called Project NEOB, leads to the study of a vast set of theories on aspects of the standardization of electricity trading and its possible tariff benefits, on the standardization of electrical energy metering systems, on the standardization of electrical energy quality, and also incorporates learning about electrical design standards. Therefore, it is a broad learning experience that provides the civil engineer with valuable skills to identify various aspects for working in the field of electrical systems.

Keywords: Energy meter, gas, water consumed. Independent energy metering for each unit in a condominium. Economic feasibility of utility distribution systems. Engineering methods for metering. Computerization of metering. Standards for metering installations. Construction standards for water, gas, and energy transportation systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama do circuito eletrônico do transdutor de energia analógico	24
Figura 2 - Simulação com contagem de tempo quando a onda retorna à origem e gera pulso de sinalização de pacote de energia medido	26
Figura 3 - Etapa de entrada contendo as fontes de tensão e carga simuladas, e medição nos instrumentos	27
Figura 4 - Etapa do multiplicador analógico	27
Figura 5 - Visualização da primeira parte do circuito completo dividido em duas partes para mais fácil visualização	28
Figura 6 - Visualização da segunda parte do circuito completo dividido em duas partes para mais fácil	29
Figura 7 - Exemplo de sinal com distorção harmônica e sua decomposição em várias frequências harmônicas	33
Figura 8 - Exemplo de sinal senoidal puro que pode ser representado pela decomposição em frequências harmônicas	34
Figura 9 - Forma de onda simétrica	37
Figura 10 - forma de onda defasada em amplitude e fase	37
Figura 11 - Decomposição de um sinal em componentes pelo Teorema de Fourier	37
Figura 12 - Forma de onda de corrente contendo transitório impulsivo	40
Figura 13 - Forma de onda de tensão contendo transitório oscilatório	41
Figura 14 - Forma de onda de tensão contendo afundamento de tensão	42
Figura 15 - Divisor de tensão básico no ponto do afundamento de tensão	42
Figura 16 - Forma de onda de tensão contendo desequilíbrio	43
Figura 17- Forma de onda de tensão contendo notching	44

Figura 18 - Forma de onda de corrente sem distorção	45
Figura 19 - Onda de corrente contendo harmônicos	45
Figura 20 - Representação de fonte de distorção harmônica, forma de onda, FFT das componentes presentes	46
Figura 21 - Triângulo das potências	47
Figura 22 - Modelo simplificado de um transformador ferorressonante	48
Figura 23 - Planta residencial sugerida onde realizar projeto elétrico	53
Figura 24 - Cálculo de áreas e perímetros de cada cômodo	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos distúrbios elétricos	38
Tabela 2 - Tipos de efeitos causados pela presença de componentes harmônicas	47
Tabela 3 - Quadro resumo do cálculo de quantidade de iluminação e tomadas tipos TUG e TUE	56
Tabela 4 - Quadro resumo do número de fases no fornecimento de acordo com a carga total instalada	57
Tabela 5 - Quadro resumo do cálculo de corrente de projeto para cada circuito elétrico	60
Tabela 6 - Classificação dos tipos de linhas elétricas de acordo com local de instalação da tabela 33 da NBR 5410	61
Tabela 7 - Correntes máximas de condutores de acordo com seção transversal na tabela 36 da NBR 5410	62

Tabela 8 - Valores calculados para seção dos condutores no projeto de acordo com o circuito	62
Tabela 9 - Fator de demanda para tomadas TUG e iluminação na norma IS-NOR-030 da Neoenergia	64
Tabela 10 - fator de demanda para tomadas TUE e iluminação na norma IS-NOR-030 da Neoenergia	64
Tabela 11 - Classificação dos tipos de linhas elétricas de acordo com local de instalação da tabela 33 da NBR 5410	65
Tabela 12 - Quadro com os valores dos disjuntores calculados para cada circuito	66

LISTA DE ABREVIATURAS

BT	Baixa Tensão
DTT	Distorção Total de Tensão
MT	Média Tensão
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de energia elétrica do sistema elétrico nacional
QEE	Qualidade da Energia Elétrica
TDD	Distorção Total de Demanda
VE	Veículo Elétrico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

1.1	Motivação	17
1.2	Objetivos	20
1.3	Estrutura	22

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 22

2.1	Medidor de consumo de energia elétrica atualizado	23
2.1.1	Resultados da Simulação	30
2.2	Qualidade da energia elétrica	31
2.2.1	Distorção harmônica	31
2.2.2	Variados tipos de distúrbios elétricos que afetam a qualidade da energia elétrica	38
2.2.3	Danos causados pelos distúrbios elétricos	49
2.3	Exemplo de metodologia de realizar projeto elétrico residencial/predial	51

3 CONCLUSÃO 67

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 74

5 ANEXOS COM SELEÇÃO DE PARÁGRAFOS PERTINENTES DE NORMAS E COMENTÁRIOS INTERPRETATIVOS

5.1	Resolução Normativa ANEEL nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021 da Agência Nacional de Energia Elétrica	76
5.2	Resolução Normativa Aneel Nº 956, de 7 de Dezembro de 2021 Módulo 5 – Sistemas de Medição e Procedimentos de Leitura	86
5.3	Despacho ANEEL nº 3.424/2022, Submódulo 2.14. Requisitos mínimos para o Sistema de Medição para Faturamento	96
5.4	Resolução Normativa Aneel Nº 956, de 7 de Dezembro de 2021 Módulo 8 – Qualidade da Energia elétrica	98
5.5	Submódulo 2.9. Requisitos mínimos de qualidade de energia elétrica para acesso ou integração à Rede Básica. Despacho ANEEL nº 2.852/2022	104
5.6	Norma ABNT NBR 5410:2004. Estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão	107

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

O trabalho visa iniciar o desenvolvimento de um medidor de energia aplicável ao existente projeto NEOB, sendo que a medição de energia é apenas uma das medições que o projeto no todo se propõe a fazer. O projeto NEOB completo visa fazer o desenvolvimento de um sistema de medição de água, energia e gás, com interface com sistemas digitais online capazes de fazer armazenamento de dados de consumo para que se faça tomada de decisões sobre o consumo.

O projeto, quando ter desenvolvido um produto final, será integrado à infraestrutura dos locais de consumo, gerando economia através da administração consciente do consumo, gerando menos gastos, requisitando menos em infraestrutura de geração e fornecimento destes insumos, possibilitando menos danos ambientais, gerando conforto ao usuário.

Este trabalho também aborda aspectos relacionados ao mercado de energia elétrica, relata sobre possibilidade de alcançar benefícios fiscais e em contas, por exemplo, as aplicações dos medidores em ambientes de consumo de energia seja para medição de geração própria ou energia adquirida pelo livre comércio diretamente na fonte. Por haver ênfase no desenvolvimento da parte do projeto NEOB que é um medidor de energia, são estudados normas vigentes contendo requisitos técnicos para os medidores utilizados pelas concessionárias de energia, bem como as normas de distribuição e tarifação de energia emitidas pelo setor de regulação elétrico.

O projeto Neob propões a implementação de sistemas de medição para disponibilizar informações detalhadas sobre as medições de gastos de água, gás e energia elétrica, bem como disponibilizar os dados históricos de uso destes insumos, isso permitindo ter informação sobre custos atuais e ainda a partir dos dados passados registrados podem ser feitas previsões futuras de como alterar hábitos de consumo para uso consciente. A mudança dos hábitos parte das informações de uso disponibilizadas ao longo do tempo incluindo gráficos de tendências.

A concepção de instalações dimensionadas contendo incorporação de recursos de informação e controle sob demanda, cria novos comportamentos a partir de disponibilidade de informações vastas sobre medições, gera diversos benefícios como economia, privacidade, sustentabilidade, durabilidade e confiabilidade.

Para que as instalações sejam o mais bem projetadas mantendo ainda o custo de execução viável, devem ser estudados os aspectos que levam tais instalações a serem confiáveis e duráveis, devendo manter a característica de baixo custo de manutenção, desta forma se faz necessário conhecer aspectos técnicos de engenharia/científicos e as normas ABNT de execução. E para um medido de energia se mostra necessário conhecer normas de medição, regulação das concessionárias.

Existem normas rígidas que orientam como realizar com segurança as instalações de energia, água e gás, entretanto alguns aspectos adicionais de interesse como economia ou necessidade de disposição de flexibilidade para adicionar novas funções/aplicações futuras, são fatores de projeto para os quais o projetista realiza cálculos de forma minuciosa para atingir a personalização de projeto desejada, o caso considerado leva em consideração instalar instrumentos complementares para medição de consumo de água, gás e energia. São as medições previstas no projeto NEOB funções complementares e aplicações à parte que podem não ser obrigatórias de acordo com normas, mas pode surgir o interesse público e comercial de possuir aplicações complementares opcionais.

Instalações de infraestrutura de engenharia civil podem, em determinadas situações, superar os requisitos mínimos estabelecidos por normas técnicas, ocasionando de alcançar os ganhos econômicos comparado se se realizasse a implantação comum, alcançando ganhos a médio prazo, podendo por exemplo citar exemplos de ganhos a realização de projeto de instalações que produzem menos perdas em relação à instalação padrão exigida por norma, ou menos necessidade de manutenção, ou tempo de vida útil maior.

Alguns benefícios que se pode citar são as instalações para água, luz e energia que são executadas incluindo funcionalidades adicionais de acordo com necessidades específicas de clientes que requerem personalização adicional como conforto, facilidade de coleta de dados do consumo, disponibilidade de controle automatizado programado, controle à distância ou controle manual.

Para alcançar níveis elevados e eficiência é necessário conhecimento dos princípios físicos da mobilidade de energia e fluídos de consumo no interior dos condutores ou dutos,

depois partir para a realização da parte de construção civil de acordo com os requisitos calculados. As perdas devem ser calculadas, o trajeto deve ser avaliado, os materiais de dutos e condutos devem ser escolhidos de acordo com previsões de durabilidade, economia e funcionalidade.

Neste relatório são explicitados estudos do comportamento da energia elétrica, incluindo aspectos de interação entre sinais elétricos e ruídos, interferências conduzidas, irradiadas e harmônicas, pois estas são formas de interação que levam a dificuldades de medição em comparação com medição de sinal puro idealizado.

Inclui-se neste relatório estudo sobre a qualidade da energia elétrica, uma vez que podem ocorrer diversos tipos de anormalidades em instalações elétricas e tais fenômenos devem ser conhecidos pelo engenheiro civil que projeta instalações elétricas para ambientes sensíveis e é crescente o uso de aparelhos susceptíveis como os aparelhos eletrônicos, a citar aparelhos de informática, aparelhos de processamento de sinais, aparelhos hospitalares, instalações industriais. Ocorre vezes que as instalações elétricas não funcionam ou estão em risco alto de falhar e o diagnóstico/detecção de aparelhos causadores de problemas é difícil, problemas surgem por vezes mesmo que se tenha cumprido os requerimentos normativos mínimos sobre execução das instalações.

A confiabilidade dos sistemas de medição elétrica é explicitada em norma ABNT 5010 que é estudada neste trabalho, trata-se da classificação das fragilidades.

Neste relatório foi incluído o desenvolvimento de circuito eletrônico (sensor) capaz de medir energia consumida, e que uma aplicação completa requer inclusão de uma parte computacional possa fazer somatório e cálculo financeiro do consumo total.

O projeto inicial do medidor de energia utilizava somente componentes analógicos, enquanto no atual circuito houve evolução via redução de alguns componentes e uso de circuito integrado multiplicador de tensão dedicado, sendo o circuito desenvolvido capaz de fazer medição da energia consumida com aplicações para residenciais ou pequenas lojas comerciais, sendo necessário ainda implementar etapa posterior para calcular o custo da conta de energia elétrica.

Para a medição de energia elétrica nas unidades de consumo maiores como prédios ou locais de médio porte, são necessários circuito de medição de energia contendo indicativos da qualidade da energia específicos, como, fator de potência, identificação de sub tensão ou sobre tensão do potencial elétrico, medição de harmônicos, seria necessário

que o circuito do sensor de medição de energia tenha futuramente etapas com capacidade para identificar a forma de onda do sinal via processamento digital usando microcontrolador, para assim poder haver o processamento digital de informações complexas.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é dar início ao desenvolvimento de um medidor de energia elétrica, conhecer as normas de distribuição de energia, normas de tarifação, normas de qualidade de energia elétrica, normas de medição de energia. visa também proporcionar ao engenheiro civil conhecimento sobre aspectos de projetos de sistemas elétricos e avaliação da qualidade energia. Isso se justifica pois a medição da energia inclui a necessidade que o medidor seja capaz de medir energia sob o ponto de vista que a medição se tornará difícil quando a anergia consumida possuir formas de sinais complexos e com ruídos, que se somam ao sinal original de energia de acordo com o tipo de equipamentos de consumo, ocorrendo que muitos dispositivos que consome energia causam perda da qualidade da energia elétrica.

Os estudos contidos neste trabalho são úteis pelo fato de que a continuidade do projeto Neob possibilita a medição de energia elétrica e apresenta dados de consumo que podem ser acessados para a mensuração de quantitativo individual de energia a ser pago por cada unidade consumidora onde um medidor for instalado. Além disso, os dados estatísticos ou de tendência de consumo obtidos podem ser usados para a mudança de hábitos de consumo dos usuários. Para projetar o aparelho utilizado para medição, faz-se necessário serem conhecidos os aspectos do comportamento da energia elétrica, visto que há normas do setor de energia e das concessionárias que expressam como os medidores habilitados devem ser projetados. Do ponto de vista da execução de instalações elétricas, é fundamental que sejam duráveis, confiáveis, de baixo custo de manutenção e com as menores perdas possíveis no processo de medição.

Neste texto são apresentadas as regras de projeto elétrico através de um estudo amplo da norma NBR 5410 e o exemplo do passo a passo de um projeto elétrico simples.

O problema estudado trata do desenvolvimento de um circuito eletrônico capaz de medir energia elétrica a ser instalado em unidades de consumo individuais integrantes de um condomínio que, anteriormente, utilizaria apenas um medidor de energia para todas as unidades consumidoras. De acordo com a continuidade prevista do projeto Neob, na fase atual o circuito eletrônico do medidor de energia elétrica teve o número de componentes eletrônicos discretos reduzido. Além do circuito eletrônico, feito realizado estudo sobre a regulação normativa do setor elétrico, sobre a qualidade da energia elétrica e suas instalações projetadas, de forma a permitir ao engenheiro civil amplo conhecimento sobre o projeto de instalações em ambientes que exigem alta confiabilidade contra mau funcionamento.

O trabalho apresenta uma versão do circuito medidor de energia elétrica que teve agora a quantidade de componentes eletrônicos reduzida em relação à versão anterior encontrada no trabalho de TCC I, sendo a mudança principal a atual utilização de um chip circuito multiplicador analógico dedicado.

Em resumo, os objetivos deste trabalho são:

- Realizar um estudo que especifique como devem ser projetadas as instalações elétricas sob a ótica das regras impostas pelas normas NBR;
- Descrever as regras das concessionárias de energia elétrica quanto ao cumprimento das especificações das instalações;
- Realizar um estudo das diretrizes impostas pelo órgão de regulação elétrica nacional (ANEEL);
- Descrever os requisitos normativos a serem cumpridos por um medidor de energia elétrica;
- Estudar como obter economia na conta de energia via projeto de instalações que reduza perdas e manutenção;
- Analisar a confiabilidade da energia elétrica via conhecimento de aspectos da qualidade da energia;

- Considerar a personalização de requisitos e disposição de funcionalidades adicionais para clientes específicos;
- Citar sistemas de medição confiáveis, com interface amigável e utilidades complementares;
- Demonstrar o projeto considerando interesses de durabilidade, confiabilidade e facilidades embutidas.

1.3 Estrutura

O trabalho apresenta a versão atual do medidor de energia elétrica que sucede o circuito eletrônico anteriormente apresentado no trabalho de conclusão de curso TCC I. Na sequência, são apresentados aspectos normativos sobre medição de energia elétrica impostos pelo órgão nacional de energia Aneel incluindo normas sobre distribuição da energia elétrica e normas de tarifação e normas sobre qualidade da energia elétrica, por fim é feito estudo da norma de projetos elétricos pelo fato o medidor deve ser integrado a uma instalação, tudo estudado agregando vasto conhecimento ao engenheiro civil que projeta sistemas elétricos e atua no ramo de comércio de energia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O trabalho se inicia com a demonstração da versão atualizada do circuito medidor de energia elétrica.

O trabalho fará uma avaliação de aspectos relacionados à criação de instalações elétricas bem projetadas e orientadas para a economia, à inclusão de utilidades para o cliente e a aspectos sobre materiais e métodos de construção que levam à confiabilidade, à durabilidade, à redução de manutenções e ao retorno financeiro via melhores práticas.

2.1 Medidor de consumo de energia elétrica atualizado

Demonstra-se a simulação do circuito do transdutor/medidor de energia analógico, que apresenta atualizações em relação ao trabalho anterior TCC I. Ao final, será explicitado como poderia ser implementada uma versão digital de circuito contendo mais funções úteis para consumidores de maior porte, onde é requerida identificação de variáveis elétricas adicionais.

O programa usado na simulação do medidor é o software Multisim da National Instruments.

As etapas desenvolvidas do circuito são detalhadas, com suas respectivas especificações, e também são relatados como devem ser feitos ajustes antes da utilização.

Comparando ao circuito desenvolvido anteriormente na disciplina TCC, nesta fase foi substituído o amplificador logaritmo, que antes utilizava transistor bipolar para a função de somar o logaritmo de dois sinais (tensão e corrente). A soma de dois sinais (tensão e corrente) no formato logaritmo resulta em um sinal, que sendo depois desfeito o efeito logaritmo, passa esse sinal a representar a multiplicação analógica de sinais. Assim, o efeito do antilogaritmo da soma de dois sinais em logaritmo é o mesmo que a multiplicação destes. Portanto, para obter a potência elétrica, era necessário o antilogaritmo da soma de dois sinais de tensão e corrente elétrica em formato logaritmo.

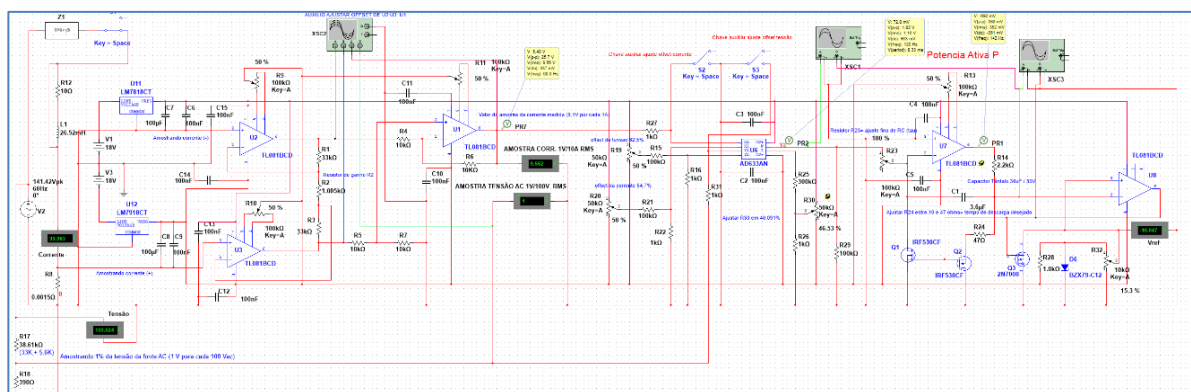
Com o novo circuito eletrônico, a multiplicação de sinais passa de tensão e corrente é realizada diretamente através de um chip de baixo custo com função dedicada, proporcionando maior facilidade na montagem e ajustes. Este método é menos propenso à variação de características dos componentes eletrônicos com a temperatura, comparando-se ao circuito multiplicador utilizando transistor bipolar, pois o chip tem mais estabilidade térmica. Tal suscetibilidade se deve ao fato de que todo componente eletrônico está sujeito a variar sensivelmente suas funções de acordo com a temperatura ambiente.

Foi realizado o esquemático do circuito no software Multisim, destacando-se neste novo circuito a presença do AOP AD 633, o qual tem a função de multiplicar diretamente os sinais amostrados de tensão e corrente.

O circuito começa com reguladores de tensão para sua alimentação o circuito, em seguida há o circuito de amostragem dos sinais de tensão e corrente, a etapa seguinte é a multiplicação dos dois sinais, a próxima etapa contém um integrador que faz a soma da energia elétrica consumida, e por fim há um circuito de reset para a carga do capacitor com

função de integração da energia consumida. A descarga do capacitor de integração se dá a cada ciclo de integração de um intervalo de consumo de energia, que pode ser ajustado para fins de adequação a outros circuitos de comunicação que possam ser futuramente integrados. O tempo de integração pode ser variado com a troca do capacitor de integração, permitindo que o circuito se adeque a diferentes instalações consumidoras.

Figura 1 – Diagrama do circuito eletrônico do transdutor de energia analógico



Fonte: próprio autor

Na figura a seguir, observa-se que, quando o consumo de energia da unidade consumidora for por exemplo de 1000 watts, o transdutor enviará um pulso de sinal a cada 3,6 segundos para indicar que uma energia de 10 Wh foi consumida. No intervalo de uma hora, para a carga de 1000 W conectada, serão gerados 100 pulsos de ciclos de integração, que totalizarão soma de medição do quantitativo de 1 KWh.

Tal unidade de tempo de integração usada na medição pode ser ajustada como sendo 100 pulsos para cada kWh ou mesmo 1000 pulsos, dependendo da escolha desejada e do valor do capacitor de integração que se queira utilizar.

A carga do capacitor, por representar a integração de frações de energia consumida, está sujeita a pequenas interferências, como ocorre comumente em todos os tipos de circuito. Isto se deve ao fato de que os componentes elétricos sempre possuem algum valor mínimo de fuga de corrente residual entre seus terminais, o que acarreta na descarga automática do capacitor, componente de integração, ao longo do tempo. São estas pequenas interferências que precisam ser consideradas caso que a instalação opere com medição de cargas de baixo consumo ou o circuito fique por tempo longo sem consumo.

Em teste de simulação, conforme a figura abaixo, observa-se que a amplitude obtida

do sinal de integração de energia (cor verde) obteve valor de 104% em relação ao valor correto. Tal sinal representa a integração do sinal de potência consumida ao longo do tempo, demonstrando a quantidade de energia consumida por uma reta em cor verde no gráfico.

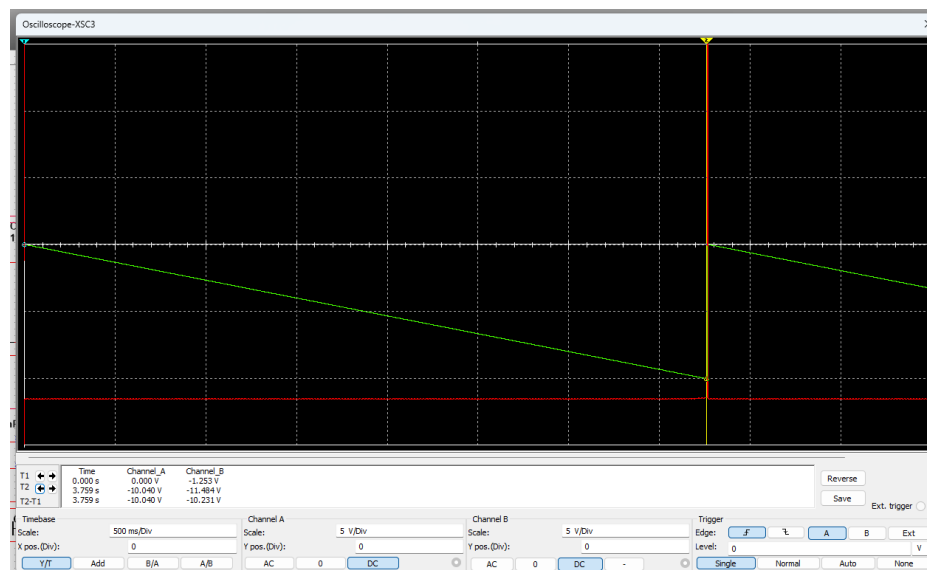
Parte da imprecisão decorre do fato que o software simulador não ser perfeito, e não permitir o ajuste nas tensões de offset nos três amplificadores operacionais tipo TL081, localizados na etapa inicial do circuito que trabalha com sinais de baixíssima amplitude. Portanto, em vez do tempo de integração ser de 3,6 segundos, foi de 3,759 segundos, conforme mostra o cursor T2 do osciloscópio visto na parte inferior do gráfico

Na figura, há o exemplo da integração de um sinal de potência constante de 1000 W que é a multiplicação da tensão amostrada, pelo valor da corrente elétrica amostrada, sendo assim calculada a energia, que é mostrado via o sinal em cor verde que é a integração da potência elétrica medida. Nota-se que a integração de uma potência constante sobre uma carga de 1000 W é representada por uma reta de nível linear com amplitude negativa, que retorna ao nível zero de amplitude quando a energia consumida da unidade consumidora de 1000 Watts atingiu 3,6 segundos, totalizando medição de um pacote de energia de 10 Wh. Assim temos 100 destes pulsos, cada um indicando medição de um pacote de energia de 10 Wh, a cada 1 kWh.

O valor de tempo medido pelo cursor T2 é mostrado na parte inferior esquerda da figura.

A figura abaixo exemplifica o funcionamento da medição da energia, que gera um pulso quando circuito mediu o quantitativo de 10 Wh no tempo calibrado inicialmente de 3,6 segundos, e que a 100 destes pulsos de pacotes de energia corresponderia à indicação do consumo de 1 kWh. O quantitativo de 1 kWh é unidade de cobrança da concessionária de energia. Os pulsos indicadores de cada pacote de energia que é medido, são indicados no gráfico pelo retorno brusco do sinal em cor verde. O sinal de integração da energia tem excussão negativa no gráfico, e que o circuito eletrônico inclui etapa que gera um sinal digital de pulso a cada pacote de energia que for medido, tal sinal de medição completa de um pacote de energia é representado pelo sinal em cor alaranjado no gráfico adiante.

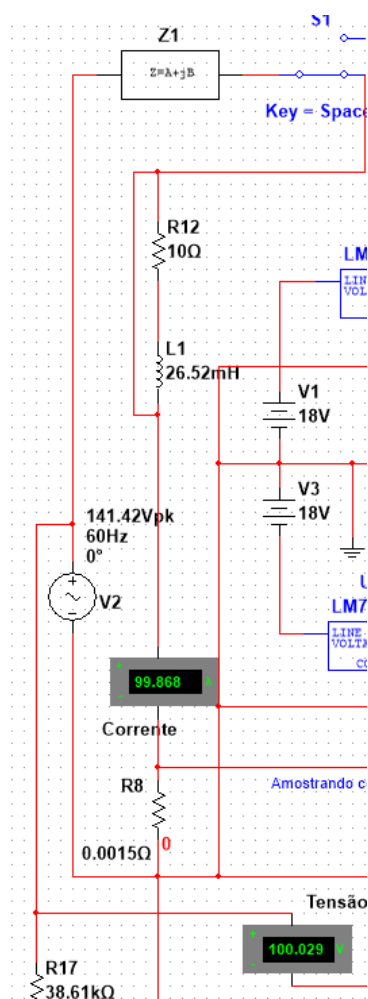
Figura 2: Simulação com contagem de tempo quando a onda retorna à origem e gera pulso de sinalização de pacote de energia medido no tempo de 3,759 segundos.



Fonte: próprio autor

Na simulação realizada, que é indicada na figura abaixo, quando a resistência da carga elétrica da unidade consumidora é ajustada em 10 ohms e que com a tensão da rede elétrica de alimentação ajustada em 100 volts rms (V2), isto corresponde a 141,42 volts de pico, já a corrente medida no amperímetro foi de 99,86 ampères, tal carga representa 1000 watts de consumo, e que ao fazer uma hora de simulação seriam consumidos 1 KWh sendo que o circuito de integração geraria nestas circunstâncias um total de 100 pulsos de contagem de pacotes de energia, cada um de 10 Wh.

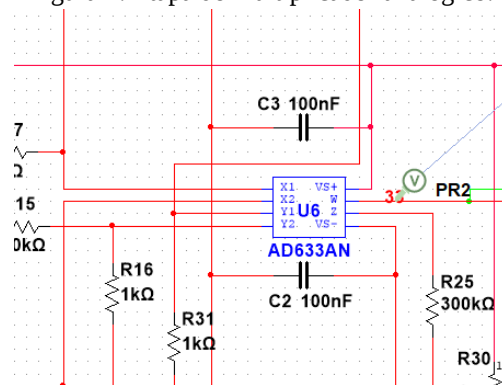
Figura 3: Etapa de entrada contendo as fontes de tensão e carga simuladas, e medição nos instrumentos



Fonte: próprio autor

Em comparação com o circuito eletrônico do transdutor medidor de energia apresentado em TCC 1, este circuito teve uma redução no número de componentes com a utilização de um chip multiplicador analógico, modelo AD633AN, conforme mostrado abaixo.

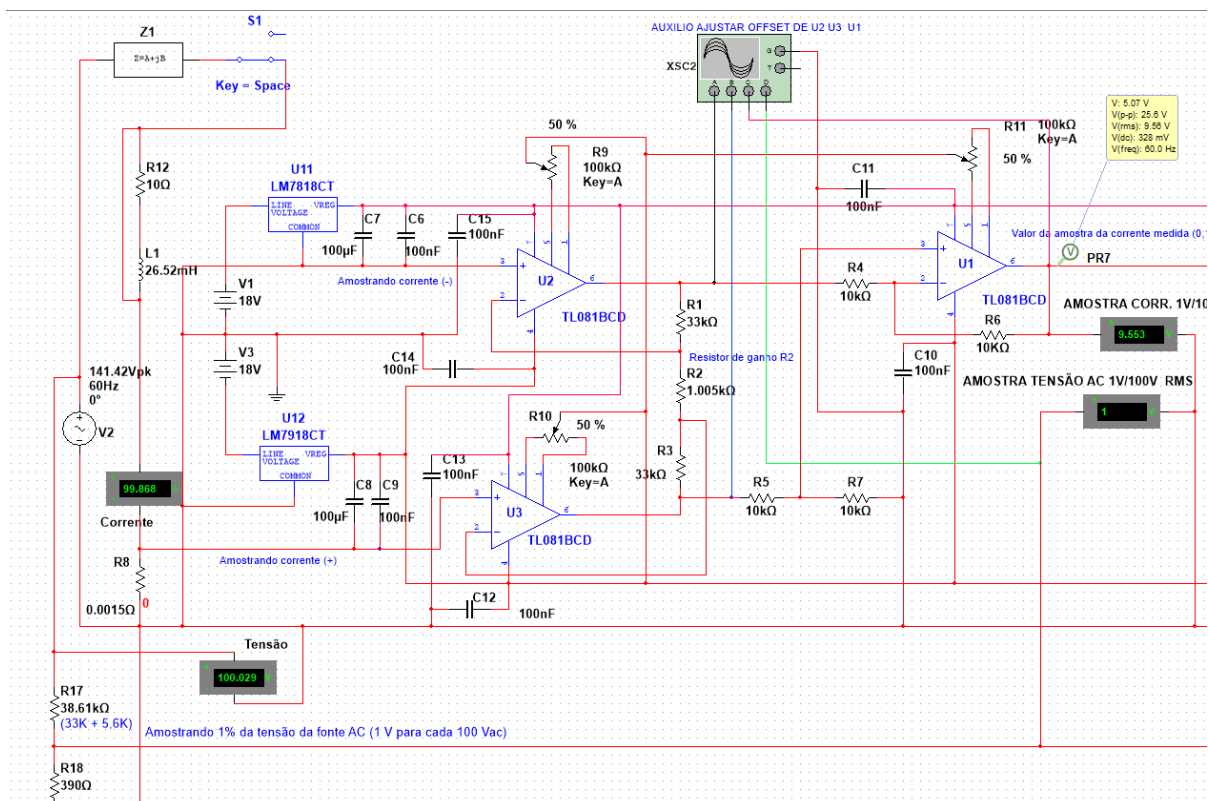
Figura 4: Etapa do multiplicador analógico.



Fonte: próprio autor

Outras reduções no número de componentes do circuito ou variações do circuito ainda podem ser planejadas mediante o uso de um microcontrolador que meça os sinais amostrados de tensão e corrente, realize a multiplicação destes sinais e, posteriormente, efetue a integração destes sinais para representar a energia consumida

Figura 5: Visualização da primeira parte do circuito completo dividido em duas partes para mais fácil visualização



Fonte: próprio autor



2.1.1 Resultados de simulação

O circuito apresentado é capaz de medir a potência ativa consumida, tendo apresentado boa precisão e gerando um pulso elétrico de sinalização a cada 10 Wh de energia consumida por uma carga ajustada para consumir uma corrente RMS de 1 ampère, quando a tensão de alimentação da rede é de 100 V RMS. A ligação deste circuito em uma tensão de 127 volts na rede de energia fará as medições corretas de energia devido á flexibilidade de faixa de medição de tensão e corrente contida no medidor.

O tempo de integração sobre uma curva de um sinal de potência indica a energia elétrica medida. O circuito eletrônico mostrado demorou um tempo de 3,759 segundos em vez de 3,6 segundos que seria o tempo exato necessário para gerar um pulso elétrico de sinalização de haver ocorrido o consumo de 10 Wh de energia. Houve uma aproximação do valor correto do tempo em 104%. Como há ajustes possíveis no circuito exatamente para esta finalidade de calibrar o tempo de integração, o funcionamento pode ser considerado correto. Os consumidores de pequeno porte como as residências pagam apenas pela potência ativa consumida, sendo esta a mesma que é medida por este circuito eletrônico.

Para o caso de haver medição de energia apenas em um medidor de energia geral na entrada de um condomínio residencial, shopping ou indústria, onde se deseje posteriormente fazer a medição em cada ponto de consumo depois do ponto de medição única geral existente, para que se possa ratear os custos de energia entre os diversos pontos de consumo, um medidor como o do circuito eletrônico apresentado pode ser utilizado.

2.2 QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

2.2.1 Distorção harmônica

A distorção das formas de onda de um sinal elétrico na rede de distribuição se refere ao desvio do nível de amplitude e ao deslocamento de fase das ondas de tensão, ou mesmo da corrente elétrica, em relação a um formato de onda característico de uma senoide ideal. As variações dos formatos dos sinais de energia que percorrem as instalações de consumo podem ocorrer em relação à amplitude do sinal e também ao deslocamento do sinal no tempo em relação ao formato do sinal fornecido pela fonte de energia. As causas de origem destes distúrbios são diversas, como o uso de aparelhos de consumo não linear, componentes armazenadores de energia instalados na unidade de consumo alterando, na instalação local, o formato do sinal fornecido pela fonte de energia da concessionária, correntes de partida elevadas em motores elétricos e o uso de aparelhos contendo circuitos eletrônicos de alta potência trabalhando em alta frequência de comutação.

As distorções podem ser classificadas em harmônicas, inter-harmônicas, supraharmônicas, e a não periódicas.

Os sinais harmônicos, especificamente, são múltiplos inteiros da frequência fundamental do sinal elétrico, sendo predominantes nas redes de energia. Assim, o sinal da rede elétrica de 60 Hz, quando distorcido por cargas não lineares, é composto pela frequência fundamental de 60 Hz e por frequências adicionais chamadas harmônicas, que são múltiplos inteiros da frequência fundamental.

As distorções inter-harmônicas possuem frequência elétrica múltipla não inteira da forma de onda fundamental.

As supra-harmônicas são os sinais de elevada frequência, acima de 2 KHz, e que sua intensidade normalmente aparece em baixa amplitude.

Já as deformações não periódicas de um sinal de energia podem ser os afundamentos de tensão momentâneos e sem periodicidade, os casos de sobretensão, os casos de variações da amplitude da onda original com tempos de repetição não periódicos.

Fazer medição da distorção harmônica total (THD) é usualmente realizado com o uso de medidores capazes de fazer análise geral da distorção do sinal, devido a que interpretar e extrair informações detalhadas sobre cada um dos harmônicos isolados envolvidos e calcular efeitos combinados é uma tarefa complexa.

Uma forma de onda de um sinal de energia original, quando possui influência de harmônicos gerados por aparelhos conectados na mesma instalação elétrica, resultará na

união dos sinais, gerando um sinal único deformado resultante constituído pela soma de todos os sinais.

A rede elétrica residencial de 127 V tem como amplitude do valor RMS nominal o mesmo valor, mas, por ser um sinal no formato senoidal, esta tensão terá um valor de pico sendo o múltiplo da tensão RMS por raiz de dois, resultando em uma amplitude de pico de aproximadamente 180 V. Sendo a frequência da rede de 60 Hz, significa que o ciclo completo da onda (indo de amplitude de tensão zero até o próximo ponto de cruzamento com amplitude zero do sinal) terá duração de tempo de 1/60 segundo, resultando em 16,6 ms.

Quando a energia é consumida nas unidades residenciais por cargas lineares como chuveiros, lâmpadas de filamentos, ferros de passar roupa, aquecedores elétricos, sanduicheiras, a corrente elétrica consumida tem formato idêntico à forma de onda do sinal de tensão enviado pela concessionária de energia, sem a presença de sinais harmônicos na rede.

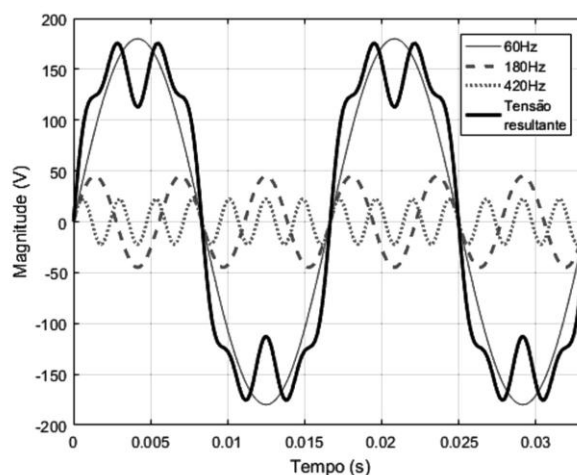
Quando são usados equipamentos que utilizam motores elétricos, sejam motores de corrente contínua (CC) ou motores de corrente alternada (CA), há o consumo de corrente elétrica com desfasagem em relação à senoide de tensão. Nos motores de corrente contínua, a energia consumida contém harmônicos devido à troca rápida dos contatos elétricos condutores de corrente (escovas) no eixo do motor, que gira em alta velocidade. Já os motores sem escovas de comutação (motores de indução), alimentados por corrente alternada, consomem corrente elétrica com grande desfasagem temporal em relação ao sinal de tensão, pois os indutores do motor são acumuladores que causam efeito de variação da linearidade e deslocamento de fase na corrente elétrica.

Outros tipos de aparelhos que usam fontes eletrônicas chaveadas, como os televisores, computadores, impressoras, carregadores de celular, além de luminárias de LED, consomem energia e geram muitos sinais harmônicos, devido ao chaveamento em alta frequência dos transistores e também à presença de capacitores de alta capacidade na entrada do circuito, que só começam a carregar a partir de determinada amplitude do sinal da fonte devido estes componentes de antes já estarem pré-carregados, ocorrendo a cada semiciclo da tensão de alimentação da concessionária de energia.

A seguir, é mostrado na figura 7 um exemplo do significado de um sinal contendo o efeito da presença de sinais harmônicos gerados pelo uso de aparelhos eletrônicos e injetados na rede de energia. A linha contínua grossa indica a resultante da corrente elétrica fornecida pela concessionária de energia para alimentar um aparelho de consumo não linear, ele é formado pelo consumo de corrente na frequência fundamental de 60 Hz, e também haver consumo de corrente nas frequências harmônicas de 180 Hz e 420 Hz. O consumo do aparelho é indicado pela linha fina e pelas duas outras linhas pontilhadas de menor amplitude, que são harmônicos nas frequências de 180 Hz e 420 Hz (3º e 7º harmônicos).

A linha contínua grossa representa a corrente consumida resultante que é medido pelo instrumento de medição de consumo instalado, não é um sinal perfeitamente senoidal que ocorreria se a carga fosse puramente resistiva, mas sim um sinal de onda de formato complexo que leva dificuldades para a medição do consumo de energia pelo instrumento de medição instalado.

Figura 7 – Exemplo de sinal com distorção harmônica e sua decomposição em várias frequências harmônicas



Fonte:(PULZ, 2017)

Posto isto, observa-se que a medição de sinais elétricos, seja de tensão ou de corrente, se torna mais difícil quando há presença de cargas não lineares na instalação da unidade consumidora, pois a medição amostral, que tenta obter o contorno da forma de sinal contendo harmônicas, se torna muito mais difícil quando do uso de técnica de amostragem do sinal no tempo. Medir um sinal com variação brusca no tempo demanda dificuldade adicional ao medidor, que precisa acompanhar variações de um sinal contendo taxa elevada

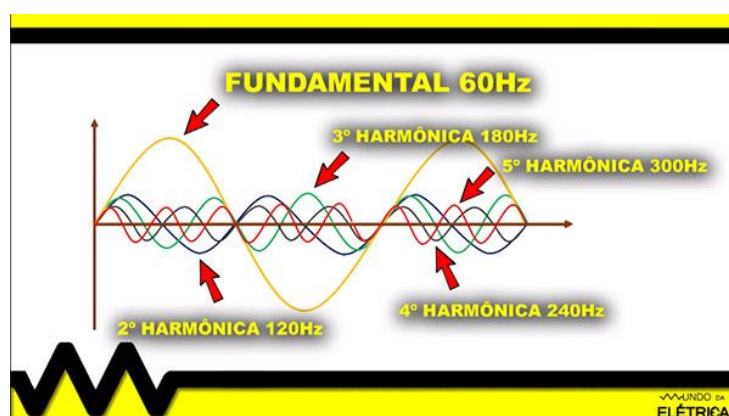
de variação (derivada elevada), e se torna inapropriado usar técnica de interpolação de pontos amostrais em baixa frequência de amostragem, quando fazendo aproximações de sinais reais com os amostrados.

Atualmente, é grande o número de cargas eletrônicas conectadas, sendo o efeito combinado de tais cargas prejudicial para a fonte de energia das concessionárias. Isto se deve ao risco do efeito de saturação magnética dos núcleos dos transformadores da rede da concessionária, além do fato que as ondas não senoidais acabam por gerar mais calor nestes componentes da rede de distribuição.

Outro efeito da combinação de diversos sinais puramente harmônicos pode ser matematicamente entendido através do conceito de que qualquer sinal periódico com frequência definida pode ser formado pela soma de sinais harmônicos diversos. Assim, no exemplo da figura seguinte, um sinal de 60 Hz pode ser criado pela soma de diversos outros sinais senoidais harmônicos.

Na figura abaixo, o conjunto dos harmônicos, sendo múltiplos inteiros do valor da frequência fundamental, forma por meio da sua combinação o sinal fundamental na frequência de 60 Hz, indicado pela linha amarela da figura.

Figura 8 – Exemplo de sinal senoidal puro que pode ser representado pela decomposição em frequências harmônicas



Fonte: <https://www.mundodaeletrica.com/harmonicas-em-sistemas-eletricos-guia-completo/>

A quantificação matemática da distorção harmônica é feita usando a teoria da série de Fourier.

Na figura 8, observa-se que um sinal senoidal pode ser formado pela soma de diversos sinais, cada um deles com uma frequência que é múltipla inteira da frequência fundamental, sendo que, quanto mais múltiplos da frequência fundamental houver, mais próxima da onda senoidal perfeita será a forma da combinação resultante dos sinais. Os sinais de maior frequência harmônica costumam apresentar menor amplitude comparados aos sinais de menor índice harmônico, portanto, à medida que a frequência harmônica aumenta, a amplitude dessa harmônica diminui.

Conclui-se que a qualidade da energia elétrica pode ser avaliada por instrumento que mede os sinais de tensão ou de corrente contendo interferência de distorção harmônica, e apresenta como resultados a medição da amplitude da frequência fundamental, e a medição de cada harmônica. As medidas são feitas através de um circuito analógico e digital que faz a caracterização dos sinais presentes, por uma distribuição de diversos sinais contendo cada um uma frequência harmônica, devendo ser estimados a frequência, magnitude e ângulo de fase, o que é uma tarefa bem complexa que exige uso de algoritmos de estimação complexos.

Dessa forma, entende-se que a soma das contribuições de um número elevado de aparelhos de consumo de energia conectados na rede local cria interferências nesta rede local e na rede da concessionária de energia. O crescente uso de cargas não lineares faz com que a medição de energia seja mais complexa nos tempos atuais do que no passado, motivo pelo qual os medidores de energia antigos estão sendo substituídos por medidores eletrônicos.

Nas unidades consumidoras, há atualmente um número elevado de aparelhos eletrônicos conectados gerando harmônicos. Os dispositivos que não geram harmônicos são os que possuem cargas lineares, como, por exemplo, aparelhos que realizam aquecimento (chuveiros, aquecedores, ferro de passar roupa, air fry, fritadeiras elétricas, fornos elétricos), pelo motivo de usarem resistências como carga.

Devido ao número elevado de residências em um centro urbano, a rede da concessionária acaba sendo afetada, tendo que se manter-se imune da propagação de harmônicos para todas outras unidades consumidoras ligadas na mesma rede.

Fontes de não linearidades do tipo distorções e harmônicos

As cargas lineares, sendo elas, máquinas de aquecimento diversas (lâmpada de filamento incandescente, ferro de passar roupa, secadora elétrica, cafeteira elétrica, estufas, autoclaves, sanduicheiras, fornos elétricos, etc), são consumidores de corrente elétrica que possuem forma de onda de corrente consumida cujas formas de onda sincronizadas (amplitude e fase) com o sinal de tensão elétrica fornecido pela concessionária de energia.

Já, para outros tipos de cargas, as não lineares, possuem a corrente elétrica consumida com deformação, mesmo quando sendo aplicada uma tensão elétrica de alimentação em formato perfeitamente senoidal. As distorções geradas, pelos aparelhos consumidores, podem afetar a amplitude da forma de onda da tensão na rede local e até mesmo na rede da concessionária. Outra forma de interferência, é o atraso ou adiantamento da forma de onda da corrente elétrica consumida, em relação à fase da tensão de fornecimento da concessionária de energia.

Nas redes de consumo residenciais, as cargas lineares são as predominantes em certos horários devido ao elevado consumo dos tipos de aparelhos usados para aquecimento, como chuveiros. Mas, na maior parte do tempo, são as cargas não lineares que predominam, devido serem as cargas típicas dos aparelhos eletrônicos residenciais, e dos maiores consumidores de energia que são as empresas. Sendo exemplos destas cargas não lineares, os transformadores abaixadores de tensão contidos nos aparelhos diversos, os motores elétricos diversos e as fontes conversoras de tensão elétrica contidas em aparelhos eletrônicos por possuírem modos operação com uso de dispositivos semicondutores de potência operando em alta frequência.

Um sistema elétrico de distribuição de energia ideal fornece energia com forma de onda da tensão senoidal durante todo o tempo, frequência da energia constante, amplitude da tensão constante, capacidade de fornecimento de tensões trifásicas equilibradas, fator de potência unitário, perdas nulas, mas, na prática, há pequenos desvios como defasamento de fases, fornecimento de tensões levemente desequilibradas.

Figura 9: Forma de onda simétrica

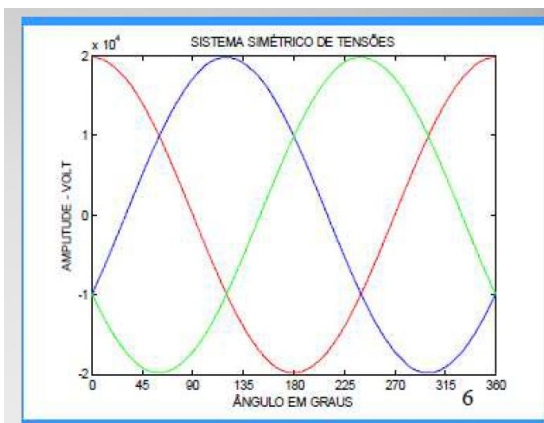
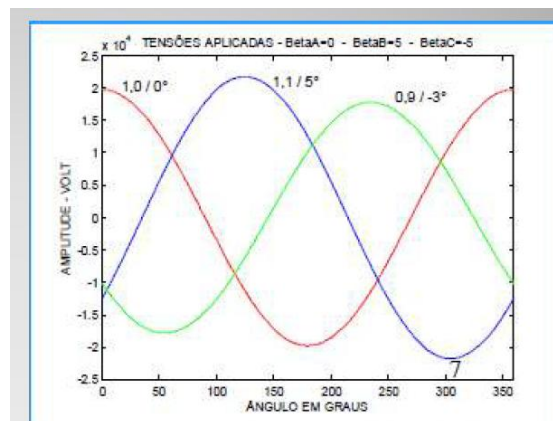


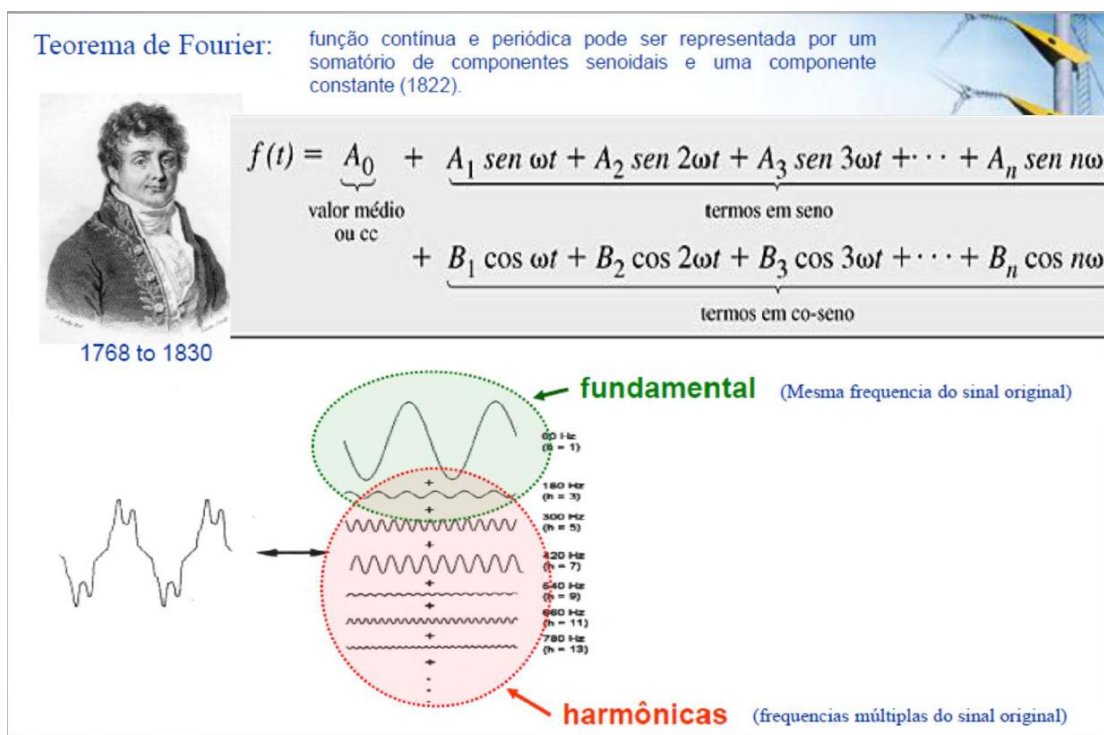
Figura 10: Forma de onda defasada em amplitude e fase



Fonte: <https://electroenge.com.br/wp-content/uploads/2020/11/QUALIDADE-DE-ENERGIA.pdf>

Uma das formas de calcular a composição de sinais harmônicos em um sinal é transformar um sinal complexo em uma soma de várias componentes de frequência e amplitude constantes através do Teorema de Fourier.

Figura 11: Decomposição de um sinal em componentes pelo Teorema de Fourier



Fonte: <https://electroenge.com.br/wp-content/uploads/2020/11/QUALIDADE-DE-ENERGIA.pdf>

Há diversas normas que definem limites da presença de sinais harmônicos dependendo do local da instalação elétrica e tipos de equipamentos.

- IEEE 519-2022: Padrão internacional fundamental para controle harmônico, estabelece limites de corrente para consumidores e distorção de tensão no sistema.

- IEC 61000 (partes 2-2, 2-4, 3-2, 3-12): Normas da Comissão Eletrotécnica Internacional que definem limites para compatibilidade eletromagnética, aplicáveis a diferentes níveis de tensão e tipos de equipamentos.
- PRODIST (Módulo 8 e 13): Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) regulamenta o acesso e operação de cargas perturbadoras na rede de distribuição, definindo limites globais e individuais, e os critérios para estudos de harmônicas.
- NBR 5410: Norma brasileira para instalações elétricas de baixa tensão, inclui requisitos para o dimensionamento do condutor neutro em circuitos com harmônicos (especialmente o 3º harmônico), como na necessidade de bitolas maiores.

2.2.2 Variados tipos de distúrbios elétricos que afetam a qualidade da energia elétrica

Tabela 1: Classificação dos distúrbios elétricos

	Tipos de Distúrbios	Duração	Métodos de Caracterização
Eventos	Transitório impulsivo	Curta duração	Tempo de subida Magnitude de pico Duração
	Transitório oscilatório	Curta duração	Tempo de Subida Banda de frequência Magnitude de pico
	Interrupção	Curta duração	Magnitude Duração Frequência de ocorrência
	Afundamento de tensão	Curta duração	Magnitude Duração Frequência de ocorrência
Frequências Sustentadas	Sobretensão	Estado permanente	Magnitude Duração
	Subtensão	Estado permanente	Magnitude Duração
	Interrupção	Estado permanente	Duração Frequência de ocorrência
	Flutuação de tensão	Estado permanente	Variação da Magnitude Frequência de Modulação Frequência de Ocorrência
	Desequilíbrio de tensão	Estado permanente	Fator de desequilíbrio
	Ruídos	Estado permanente ou Curta duração	Magnitude Espectro de frequência
	Notches ou cortes	Estado permanente	Magnitude Espectro de frequência
	Harmônicos	Estado permanente	Espectro harmônico

Fonte: Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro, 2015

As principais fontes de distúrbios na energia elétrica em ambiente industrial são:

- Os dispositivos de acionamento são circuitos que ao serem ligados consomem elevado nível de energia e o início do acoplamento da carga se dá fora de sincronismo com o início do semiciclo de tensão de fornecimento da distribuidora, havendo picos de consumo tanto pelo acionamento de motores, com também devido à presença de capacitores que podem demandar subitamente um elevado consumo de energia. São exemplos a ligação de máquinas, compressores de ar, bombas de água.

- As pontes retificadoras em aparelhos de alto consumo contém componentes onde ocorre o início da condução de corrente ocorre em tempo diferente do ponto de passagem da onda de tensão pelo potencial de zero volts (zero crossing). São exemplos os dimerizadores para fornos e para chuveiros.

- Os conversores de frequência para motores elétricos são equipamentos que controlam velocidade de motores de corrente alternada (CA). O uso destes aparelhos gera harmônicos na rede elétrica local. Isso inclui o acionamento de motores de elevadores, que são equipamentos eletrônicos de média potência responsáveis pela partida dos motores no ponto de pequena rotação elevado torque e, posteriormente, pela operação em alta velocidade para a movimentação rápida entre andares.

- Os guindastes, elevadores de carga e elevadores para pessoas deficientes costumam apresentar picos de consumo de corrente elevada na partida dos motores, o que acarreta em afundamentos de tensão na rede.

- Cargas cíclicas de aparelhos que ligam e desligam repetidamente. Geram quedas de tensão a cada momento de partida dos motores, visto que a corrente de partida dos motores pode ser até oito vezes maior que a corrente de consumo nominal.

- No ambiente industrial há os fornos a arco para fusão de metais. Esses aparelhos são responsáveis por um grande consumo de energia e pela geração de harmônicos intensos.

- Máquinas de solda. Demandam elevada corrente elétrica da rede e geram grande quantidade de harmônicos.

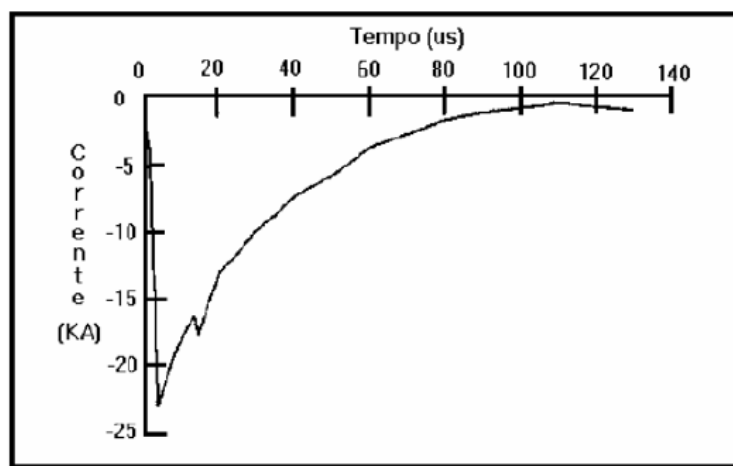
No ambiente residencial os aparelhos que costumam gerar distúrbios de energia na rede local são: os televisores, eletrodomésticos, aparelhos de ar-condicionado, lâmpadas compactas, reatores eletrônicos, controladores de aquecimento, lâmpadas.

Transitório Impulsivo

Os transitórios são causados por efeitos eletromagnéticos devido a alterações repentinas nas condições operacionais do sistema de energia. Possuem duração reduzida, mas expõem os equipamentos a solicitações elevadas de corrente ou tensão.

Os transitórios impulsivos em específico são causados por descargas atmosféricas, sendo a polaridade de sentido único.

Figura 12: Forma de onda de corrente contendo transitório impulsivo



Fonte: Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro, 2015

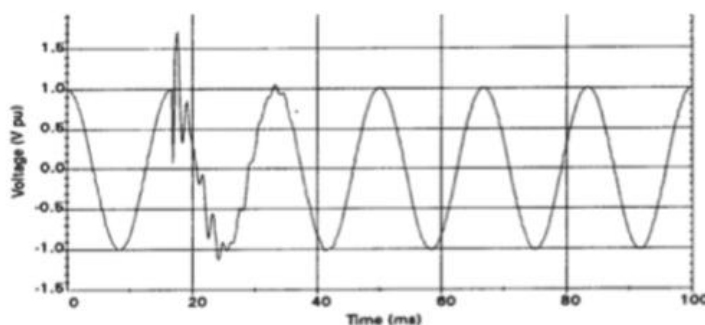
Quando ocorre a incidência de raios, a geração do transitório impulsivo pode ocorrer por condução (em caso de queda do raio diretamente em cabos), elevando o potencial do cabo de fase ou do cabo de terra. Além disso, as correntes que percorrem os cabos de aterramento induzem tensões elevadas nos outros que são os cabos de fase. Os raios que incidem mesmo que afastados de cabos, podem induzir interferências eletromagnéticas nos cabos das proximidades, devido a que é alta a potência envolvida. A solução comumente adotada consiste na instalação de dispositivos de proteção contra surto DPS.

Transitório Oscilatório

São causados principalmente devido chaveamentos que produzem alterações bruscas na tensão ou corrente, ou em ambas. São originados pela religação de linhas de transmissão, desconexão de faltas (curtos circuitos) chaveamento de capacitores, ligação de transformadores, retorno de energia após religação de disjuntor, sendo frequentes em sistemas de subtransmissão das concessionárias e na parte de distribuição da energia, costumam durar de 0,5 a 3 ciclos e possuem frequência entre 5 e 500 Hz.

Alguns transitórios oscilatórios são os distúrbios de ocorrência com frequência maior, podem ser gerados por chaveamentos de cargas indutivas e capacitivas, ferroressonância, ou devido descarga atmosférica. Algumas soluções incluem o isolamento de cargas sensíveis através de transformadores, visto que transformadores com núcleo de ferro possuem perdas de energia elevadas em altas frequências (ruído), ou pode ser feito uso de filtro de alta frequência.

Figura 13: Forma de onda de tensão contendo transitório oscilatório



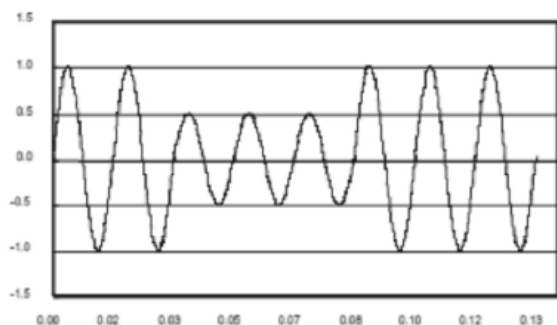
Fonte: Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro, 2015

Sags de Tensão ou Afundamento de Tensão

Sua intensidade depende da localização e impedância da falta (curto circuito), a intensidade da tensão pode variar na faixa de 0,1 pu a 0,9 pu, tendo duração de 0,5 ciclo a 1 minuto. Na rede de distribuição, podem ter origem na partida de grandes motores, neste caso a solução seria o uso de dispositivos soft-starter, já nos locais que são o sistema elétrico de potência podem ter origem nas descargas atmosféricas, contatos de linhas de alta tensão com animais ou árvores, neste caso o afundamento continua presente até que a proteção atue e a tensão seja desligada por completo, para depois os religadores reconectarem à linha.

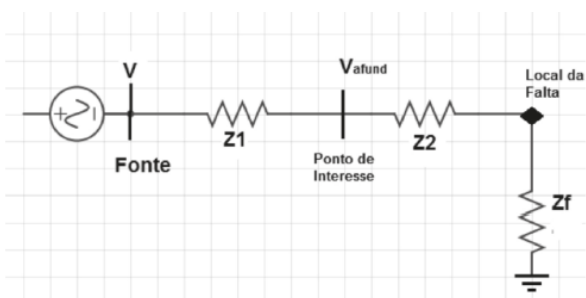
As figuras abaixo mostram a representação do afundamento e o efeito da posição da falta sobre o valor do afundamento. Uma das possíveis soluções, quando as cargas próprias originam o problema, é a separação dos circuitos de forças dos circuitos de comando que possuem cargas críticas. Para a solução direta sobre os equipamentos sensíveis pode ser feita a utilização de condicionadores de energia que mantém a saída estável independente de variações na tensão de entrada.

Figura 14: Forma de onda de tensão contendo afundamento de tensão



Fonte: Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro, 2015

Figura 15: Divisor de tensão básico no ponto do afundamento de tensão



Sobretensão

É um aumento no valor da tensão CA acima de 110% na frequência do sistema com duração maior que um minuto. As causas podem ser o desligamento de grandes cargas ou a energização de bancos de capacitores. As soluções são a troca dos bancos de capacitores fixos por automáticos e o uso de compensadores estáticos de reativos.

Subtensões

É a queda no valor eficaz da tensão para menos de 90% na frequência do sistema, tem duração maior que um minuto. As causas podem ser o carregamento excessivo de circuitos interagindo com a impedância de circuitos de rede, o desligamento de bancos de capacitores gerando excesso de reativos, alta impedância no percurso da corrente elétrica, baixo fator de potência, má operação de reguladores estáticos, utilização de bancos fixos de capacitores. Causam falhas principalmente em equipamentos eletrônicos contendo microcontroladores, microprocessadores e memórias. Algumas soluções aplicadas nos setores industriais são a mudança transformador de serviço para um de maior capacidade, em outros casos instalar compensadores estáticos de reativos, os quais tem função parecida com os bancos de capacitores e com vantagem da capacidade de corrigir mudanças bruscas de carga.

Interrupções

É a queda da tensão para o nível zero por tempo maior que um minuto. Costumam se manter nesta condição em estado permanente, e precisa de ação humana para restauração da condição normal de funcionamento. As causas costumam ser problemas em disjuntores, fusíveis ou problemas de rede da concessionária.

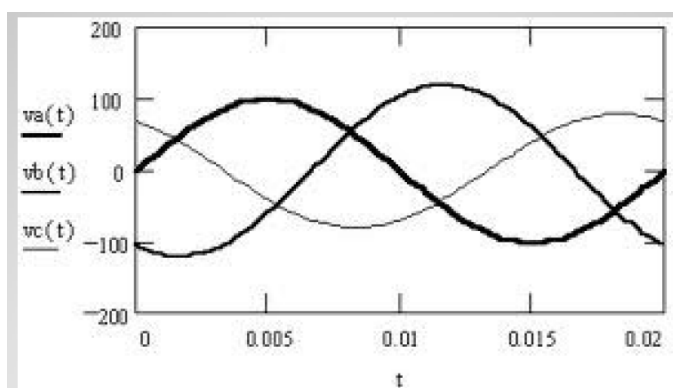
Flutuação de tensão

Pode ocorrer devido ausência à de condutor de retorno, vindo a ocorrer flutuação da tensão de neutro. No caso de funcionamento de lâmpadas, pode ser vista uma cintilação/tremulação na luz. Devido ser a flutuação um distúrbio classificado como regime permanente, sua ocorrência está relacionada com problemas nas instalações e equipamentos conectados, de forma que apresentam falhas de longa duração, como uso de cargas variáveis de elevado consumo, máquinas de solda, elevadores, ar-condicionado de grande porte, linhas de transmissão sobrecarregadas ou falhas de transformadores.

Desiquilíbrio de tensão

Ocorre quando há distribuição desigual de cargas monofásicas (carga assimétrica), impedâncias desiguais nas linhas, falhas em equipamentos, ligação de carregadores de veículos elétricos ou capacitor de correção de fator de potência com defeito. Por exemplo, quando o capacitor trifásico possui três células monofásicas, a queima de algum dos capacitores causa desbalanceamento de tensão. O uso de cargas desequilibradas entre sistemas trifásicos causa o aparecimento de correntes no condutor de neutro. Uma pequena tensão de desequilíbrio alimentando motores trifásicos causa um grande desequilíbrio de corrente.

Figura 16: Forma de onda de tensão contendo desiquilíbrio de tensão



Ruídos

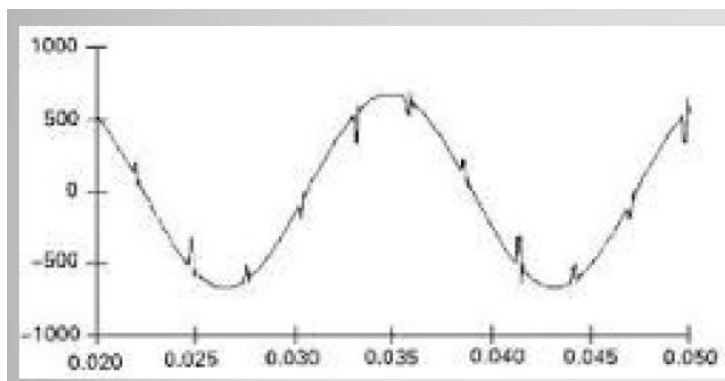
São sinais elétricos de alta frequência que alteram a forma de onda da tensão padrão ou corrente, podendo ocorrer como ruído entre neutro e terra, afetando a referência nos circuitos eletrônicos. Os ruídos também podem ocorrer entre dois fios de fase. Sua ocorrência pode ser devido a interferências de estações de rádio e TV, ou à operação de equipamentos

eletrônicos que não possuem filtros adequados na etapa de entrada de energia. Podem causar travamentos/erros em sistemas computacionais e falhas em equipamentos sensíveis, como os de reprodução de áudio e vídeo. Algumas soluções incluem o uso de filtro de linha, UPS, melhoria do aterramento, blindagem eletromagnética ou acoplamento de sinais (indutivo e capacitivo).

Notching

São originados por má operação de equipamentos de eletrônica de potência que criam curtos-circuitos momentâneos entre fases, que podem ter origem na comutação irregular de tiristores em um retificador controlado, ou nos conversores usados em acionamento de motores. Costumam ter origem pelo uso de cargas não lineares que realizam comutação entre fases ou nos dimmers controladores de intensidade de luz ou de aquecimento. Causam interferência de alta frequência, a sua intensidade é maior quando o fornecimento de energia é uma fonte com baixa potência de curto circuito ou há presença de indutância a montante do ponto de alimentação.

Figura 17: Forma de onda de tensão contendo notching



Fonte: <https://electroenge.com.br/wp-content/uploads/2020/11/QUALIDADE-DE-ENERGIA.pdf>

Distorção harmônica

Cargas lineares consomem corrente elétrica não distorcida, sendo a corrente em formato senoidal, o que corresponde à mesma fase da tensão elétrica que alimenta a carga, assim, não injetam correntes harmônicas na rede local

Cargas não lineares consomem correntes distorcidas em fase quando comparado com a fase da tensão de fornecimento da concessionária. Essas distorções na corrente consumida são representadas por harmônicas que podem afetar o formato da onda de tensão no ponto de conexão.

Na figura abaixo, observa-se em cor vermelha a corrente elétrica consumida por uma carga não linear de um circuito que possui componentes que comutam a energia em alta velocidade. Nota-se que a corrente começa com defasagem em relação à fase da tensão elétrica e ainda há diversas oscilações no pico da corrente. Isto se deve ao fato de que o capacitor no circuito já se encontra previamente carregado quando começa a condução de corrente, e a comutação dos componentes causa oscilação na corrente de consumo.

A corrente consumida pela fonte de energia pode ser decomposta em um conjunto de correntes de diferentes frequências sendo indicado no gráfico de colunas o percentual de cada corrente harmônica presente neste circuito.

A queda de tensão provocada pelas correntes harmônicas no circuito local onde a carga é conectada pode causar falhas de funcionamento de outros aparelhos eletrônicos conectados na mesma instalação de consumo, além de causar aquecimento excessivo em instalações elétricas e aparelhos, aumento de perdas elétricas nos cabos e transformadores e redução na vida útil de equipamentos.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece limites de THD por meio do seu Procedimento do Setor Elétrico (Prodist), determinando que a distorção harmônica total deve ser mantida abaixo de 10%.

Na figura 18 abaixo, é mostrado que o fornecimento de energia para as cargas de alta potência deveria ser linear, como idealmente ocorre no caso de uso de cargas resistivas, motores equilibrados. No entanto, como visto na figura 19, o sistema elétrico deve suprir energia também para as cargas do tipo não lineares, as quais, por sua vez consomem corrente sem sincronismo de amplitude e tensão com a onda de tensão.

Figura 18: Forma de onda de corrente sem distorção

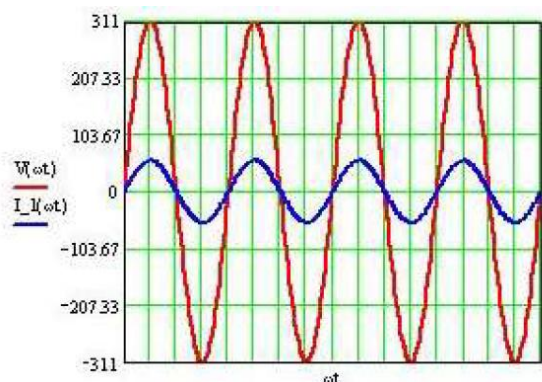
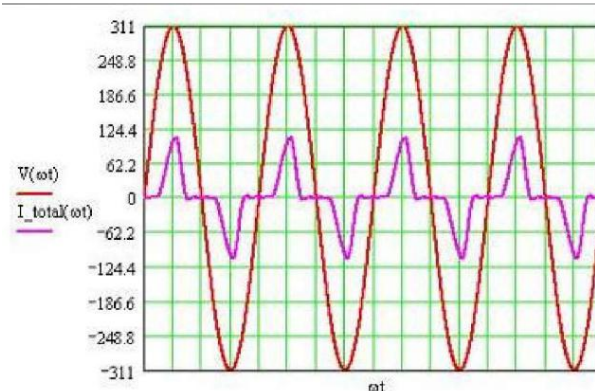


Figura 19: Onda de corrente contendo harmônicos

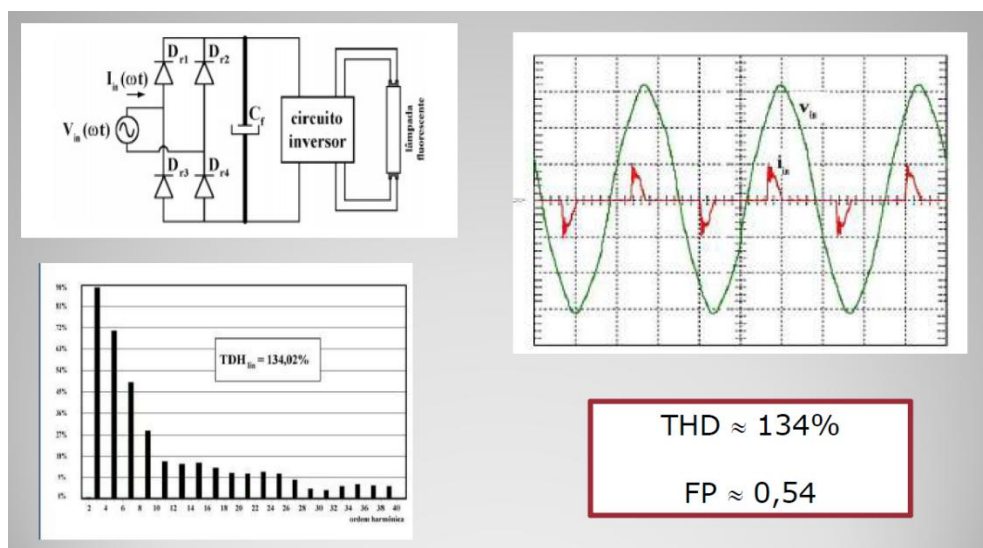


$$DHT_{\text{corrente}} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \times 100\%$$

Onde:

- I_1 : valor RMS da corrente fundamental.
- $I_2, I_3, I_4, \dots, I_n$: valores RMS das correntes harmônicas de segunda, terceira, quarta, e assim por diante, até a enésima ordem. φ

Figura 20: Representação de fonte de distorção harmônica, forma de onda, FFT das componentes presentes



Fonte: <https://electroenge.com.br/wp-content/uploads/2020/11/QUALIDADE-DE-ENERGIA.pdf>

Na tabela a seguir, são listados os danos e os tipos de falhas que são originados da presença de sinais harmônicos na rede de energia.

Tabela 2: Tipos de efeitos causados pela presença de componentes harmônicas

Equipamento	Efeito das Componentes Harmônicas	Resultado
Capacitores	- Sobreaquecimento; - Rompimento do material dielétrico;	- Aquecimento e aumento das perdas no dielétrico; - Curto-Circuito; - Explosão;
Transformadores	- Componentes harmônicas da corrente podem elevar consideravelmente as perdas nos transformadores;	- Aquecimento; - Redução da vida útil; - Aumento das perdas no ferro e no cobre; - Stress na isolação; - Ruído excessivo;
Motores	- Aumento das perdas; - Alterações no campo magnético;	- Aquecimento; - Vibrações mecânicas e ruído; - Redução na eficiência; - Torques pulsantes;
Disjuntores	- Falhas na operação;	- Abertura de disjuntores com correntes abaixo da nominal.
Sistemas de Telefonia	- As componentes harmônicas podem acoplar-se as linhas de telecomunicações produzindo interferências;	- Ruídos nas ligações.
Sobrecarga no neutro	- Em determinados sistemas trifásicos, as harmônicas de ordem 3 (3ª, 6ª, 9ª...) produzidas por cada uma das fases se somam no neutro, produzindo correntes maiores que as correntes de fase.	- Aquecimento e aumento das perdas - Redução da vida útil da instalação elétrica - Queima de fusíveis - Falha na operação de disjuntores

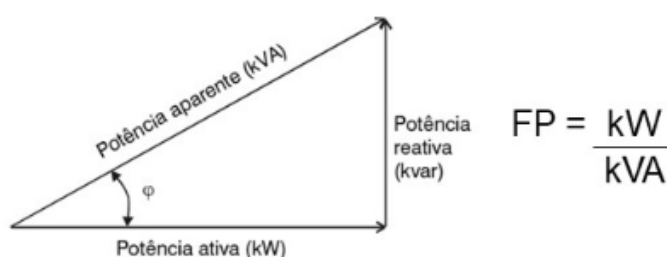
Fonte: <https://electroenge.com.br/wp-content/uploads/2020/11/QUALIDADE-DE-ENERGIA.pdf>

Baixo fator de potência

O fator de potência mínimo exigido pela ANEEL para unidades consumidoras é de 0,92, conforme a Resolução Normativa nº 414/2010. Um fator de potência abaixo desse limite pode resultar em multas na conta de energia elétrica devido ao excesso de energia reativa, que não realiza trabalho útil, mas é necessária para o funcionamento de equipamentos como motores de indução. Para unidades do Grupo A (tensão >2300V), essa medição é obrigatória, enquanto para o Grupo B (tensão ≤2300V) ela é facultativa na prática.

$$FP = \frac{\text{Potência Ativa (kW)}}{\text{Potência Aparente (kVA)}}$$

Figura 21: Triângulo das potências



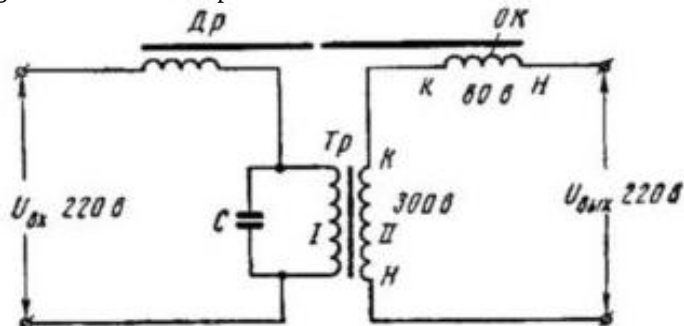
Fonte: Alex Fernando de Medeiros Marques, 2018

Dispositivos usados para regulação de tensão

- Transformadores de tap variável: permitem ajustar a relação de espiras e, disto a tensão de saída. Normalmente, são usados autotransformadores, uma chave comutadora mecânica ou eletrônica é usada para selecionar o ponto de conexão de alimentação do transformador.

- Dispositivos de isolação com reguladores de tensão independentes: são conversores de energia que isolam a carga da fonte de energia. Incluem os sistemas UPS e transformadores ferorressonantes (tensão constante), os quais possuem um princípio de funcionamento em que há a combinação da indutância não linear do núcleo, que satura, na ressonância junto com a capacitância do circuito. O sistema opera na ressonância ou próxima dela, explorando a saturação magnética do núcleo, o que mantém a tensão de saída quase constante mesmo com variações na tensão de entrada.

Figura 22: Modelo simplificado de um transformador ferorressonante



Fonte: <https://ihouses.decorexpro.com/pt/elektrosnabzhenie/ferorezonans-v-transformatore-naprazenia/>

- Dispositivos de compensação de impedância: os capacitores shunt, pelo efeito da redução da corrente de linha, ajudam a manter a tensão estável. Outro tipo de equipamentos são os compensadores estáticos, que costumam estar presentes nos sistemas das concessionárias e nas indústrias.

2.2.1.3 Danos causados pelos distúrbios elétricos

Quando da ocorrência de geração de interferências na própria instalação elétrica da rede consumidora, ou quando a energia recebida da rede de distribuição já contém distúrbios, os efeitos percebidos podem ser:

- Oscilação de potência: Pode ser percebida pela variação da velocidade de rotação de motores elétricos e perda de torque nos aparelhos, como geladeira, secadores de cabelo e ferramentas rotativas.

- Cintilação luminosa (flicker): percebida pela mudança da intensidade do brilho de lâmpadas.

- Fadiga do dielétrico de componentes eletrônicos: pode ocorrer pela sobretensão nos capacitores dos aparelhos eletrônicos ou pelo desgaste do isolante dos fios de transformadores como os transformadores, como os transformadores de alta tensão em fornos micro-ondas.

- Mau funcionamento de equipamentos eletrônicos: podem chegar a desligar ou mesmo travar.

- Erro do tempo síncrono: nos diversos aparelhos que possuem como referência de tempo a frequência da rede elétrica, como relógios digitais e temporizadores digitais. Além disto pode haver perda de sincronismo em motores síncronos ou variação de velocidade em motores CA.

- Velocidade variável de motores elétricos: pois estes são sensíveis tanto à amplitude da tensão elétrica de alimentação.

- Perdas adicionais nos cabos: ocorrem quando há um baixo fator de potência FP, pois isto eleva a corrente aparente nos cabos sem que o trabalho útil da parcela que é corrente real aumente. Além disto, a variação de tensão em um ponto da instalação afeta o trabalho realizado por máquinas rotativas.

- Sobrecarga nos cabos elétricos: pode ocorrer quando as perdas nos cabos são elevadas devido ao aumento da potência aparente. Pode haver sobreaquecimento dos cabos e transformadores, e as proteções por disjuntores ou proteções térmicas de motores também podem atuar de forma indevida.

- Aquecimento indevido: pode ocorrer em componentes da instalação com o aumento indevido de corrente devido aos harmônicos presentes ou em circuitos eletrônicos conversores que passarão a demandar mais corrente elétrica com a queda de tensão da linha.

- Queda de tensão útil de alimentação: pode ocorrer quando o fio de retorno ou neutro é mal dimensionado, aliado à presença de excesso de corrente harmônica, há surgimento de

tensões estranhas no cabo de retorno, que fazem subtrair amplitude útil da tensão diferencial que alimenta os aparelhos.

- Perdas financeiras na conta de energia: ocorre pelo pagamento de multa devido ao baixo fator de potência, ainda podendo haver perdas por paralização ou rendimento do processo produtivo. Há gastos maiores com energia, devido menos rendimento de certas máquinas, quando há problemas de qualidade da energia.

- Sobrecarga de capacitores de aparelhos eletrônicos: ocorre devido a afundamentos de tensão ou a oscilações de amplitude, que causam sobrecorrente nos capacitores quando estes compensam as perdas através de excesso de condução de corrente.

- Aquecimento de enrolamentos de motores e transformadores: ocorre quando há presença de harmônicos e quando há afundamentos de tensão da rede, devido ao maior consumo de corrente nestes componentes ao tentarem manter a potência de trabalho em nível constante.

- Operação intempestiva de proteção: ocorre, se de forma imprevista ao projeto, haver um baixo fator de potência nas cargas ligadas na instalação elétrica.

- Sobretensão: pode ocorrer quando há curto circuito que eleva a corrente em algum transformador á montante na instalação como os que convertem 110/220 V e o circuito volta a operar repentinamente ao fim do momento do curto circuito, momento este que a elevada variação de fluxo magnético no transformador provoca também espúrios de tensão sobre a instalação elétrica.

- Indução mútua entre cabos elétricos: cabos muito próximos podem causar geração de tensões induzidas que afetam aparelhos sensíveis.

- Falha no processamento de dados: em microprocessadores e em controladores lógicos programáveis de máquinas (CLPS), ocorrem falhas quando as tensões de alimentação caem abaixo de valor aceitável. Durante gravação de dados em circuitos de variados tipos de memórias não voláteis, pode haver erro na gravação.

- Variação da velocidade de motores: ocorre tanto devido à variação da amplitude da tensão de alimentação, como também, nos casos de variação da frequência de alimentação.

- Falhas de comutação: em circuitos contendo relés ou contadores, pode ocorrer falha na lógica de comando, quando há oscilação na tensão de comando e nos afundamentos de tensão.

- Desligamento de lâmpadas a descarga: ocorre nos afundamentos de tensão de alimentação.

2.3 Exemplo de metodologia de realizar um projeto elétrico residencial/predial

Os projetos de instalações elétricas residenciais são os projetos mais simples da área de engenharia elétrica. Os CREAs permitem ao engenheiro civil projetar circuitos com potência aparente de até 75 KVA, e que esta limitação ainda abrange a maioria das instalações residenciais e de pequenos prédios. Contudo, com formação complementar o engenheiro civil pode dimensionar instalações elétricas de potência maior que 75 KVA.

A expressiva representação de engenheiros civis nos CREAs, por ser a de maior número em representatividade política de decisões, deu a possibilidade de o engenheiro civil projetar em áreas, que atingem, em parte, atividades que são de outras engenharias como a mecânica e a elétrica. Isso ocorre porque é de interesse da representação dos engenheiros civis que os mesmos profissionais sejam habilitados para os tipos de projetos possíveis que tenham vínculo com a construção de edificações, estruturas metálicas e instalações.

Os sistemas elétricos de alta potência envolvem conhecimento avançado do comportamento de componentes elétricos/eletrônicos, equipamentos complexos dedicados a sistemas de energia, habilidade com programação de lógica de controle em dispositivos, conhecimento de interações de energias para o caso de instalações sensíveis, cálculos avançados de fluxos de potência, etc.

A formação do engenheiro civil, em muitas universidades/faculdades, não inclui disciplinas de estudos de fundamentos de comportamento da energia elétrica, lógica de programação, estudos de funcionamento e características de dispositivos e componentes elétricos, projetos de instalações elétricas ou estudos sobre comportamento de máquinas elétricas e suas interações com a energia. Desta forma, o projeto de instalações elétricas industriais avançadas, instalações elétricas de hospitais, sistemas elétricos de alta tensão, instalação e ajuste de aparelhos avançados de correção da qualidade de energia (como compensadores estáticos) e projeto de subestações de energia são demandas que necessitam da participação de um engenheiro eletricitista, ou que o engenheiro civil procure formação complementar em cursos de especialização.

Tal conhecimento específico sobre instalações elétricas é necessário visto que instalações elétricas mal projetadas representam risco de incêndio com perdas elevadas, risco de vida devido risco a choques elétricos e risco de perdas elevadas em plantas fabris.

A grade curricular do curso de engenharia civil do IFMG campus Santa Luzia é adequada para a habilitação, junto ao CREA, do engenheiro civil formado para projetar instalações elétricas residenciais e prediais, tendo no curso

Este trabalho por ser dedicado ao estudo de implantação de um sistema elétrico de medição de energia teve como estudos vinculados a descrição de regras de regulação do setor de energia, regras de distribuição da energia, e o estudo da qualidade da energia. Assim, é importante incluir o estudo de projeto de instalações elétricas.

Neste trabalho foi incluído o exemplo de desenvolvimento de um projeto elétrico residencial de forma a complementar o conhecimento do aluno. Este estudo é eficiente para levantar o pensamento crítico de como ter um projeto que ofereça ao usuário energia com qualidade, poucas perdas elétricas, instalações elétricas seguras contra choques, proteção básica contra raios e sobretensões que colocariam em risco os dispositivos ligados à instalação.

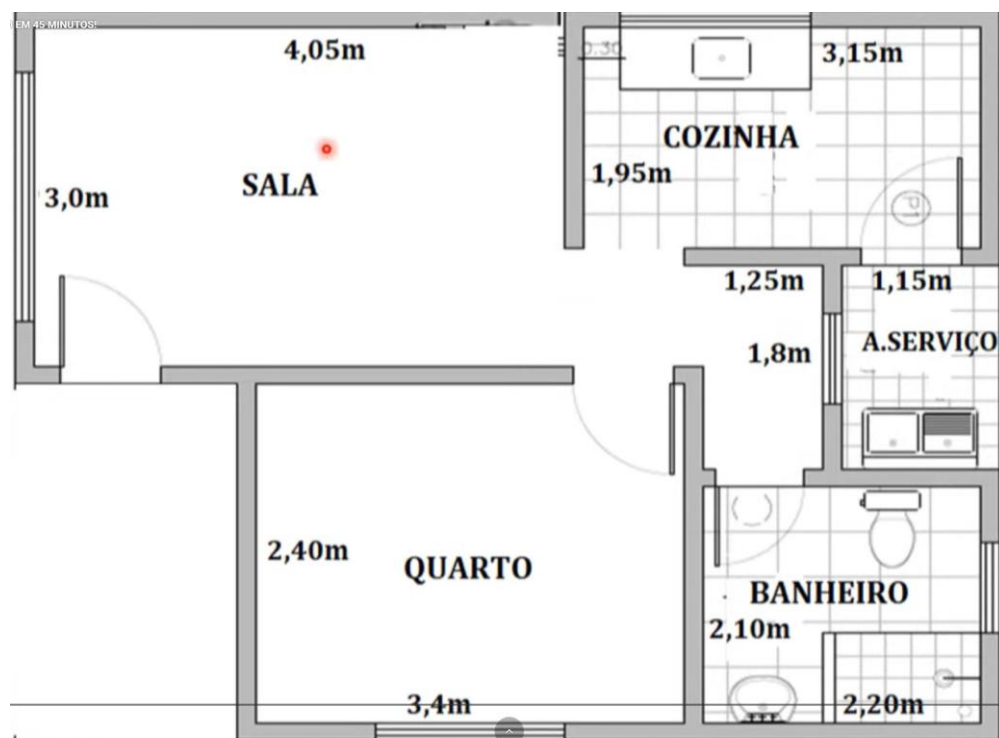
Uma instalação elétrica residencial inclui a instalação de um padrão de energia junto à concessionária local, devendo ser instalado poste de entrada, caixa para armazenar o medidor de energia e instalação de ponto de aterramento elétrico.

As normas técnicas da concessionária local de energia (Cemig) tratam dos requerimentos das instalações básicas para receber ligação de fornecimento de energia elétrica. As principais normas ND-5.1 (Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária – Rede de Distribuição Aérea – Edificações Individuais), e ND-5.2 (Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária Rede de Distribuição Aérea – Edificações Coletivas), além de ser útil o conhecimento do manual do consumidor.

São tratados em tais normas a descrição das instalações obrigatórias de serem feitas pelo consumidor, dimensões do padrão de energia, cálculo de demanda, dimensionamento dos cabos e sistema de aterramento e disjuntor, métodos de execução e instalação de todos os componentes, condições de fornecimento da energia e limites de fornecimento.

Abaixo vemos a planta de uma residência para a qual vamos projetar o dimensionamento do circuito elétrico de acordo com a norma NBR 5410.

Figura 23: Planta residencial sugerida onde realizar projeto elétrico



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=g7qYsU35Ggo>

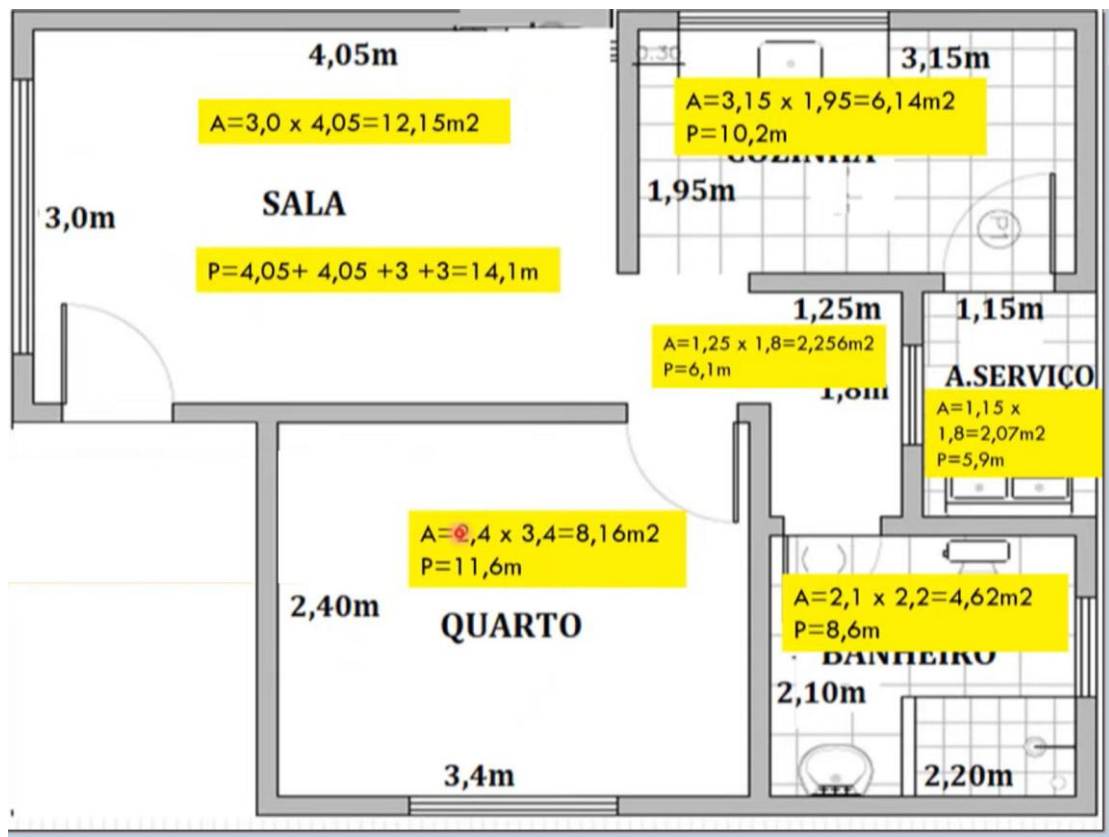
De início, o que deve ser calculado são as cargas mínimas de iluminação e de tomadas estipuladas pela norma NBR 5410. É necessário não apenas se limitar a projetar com base em cargas mínimas de norma, mas também prever a real demanda de potência de acordo com o número e tipos de aparelhos que serão alimentados.

Para cada ambiente da casa (cômodo), deve ser calculada a área do ambiente baseada na área equivalente do chão. Deve-se ainda ser calculado o perímetro de cada cômodo baseado na soma do comprimento longitudinal de todas as paredes no sentido horizontal, para que, com esses dados, seja calculado o número mínimo de tomadas e potência destas tomadas em cada cômodo, sendo elas, as tomadas de uso geral (TUG) e de iluminação.

A norma NBR 5410 estipula valores mínimos de potência para tomadas, mas, que para cada cômodo, deve ser levantado o tipo e número de tomadas de uso específico (TUE). Estas são as tomadas usadas para alimentar dispositivos que consomem valores maiores de potência, por exemplo: chuveiros, aparelhos de ar condicionado, aparelhos para aquecimento de ambientes, forno micro-ondas, fornos elétricos e máquinas elétricas específicas de maior consumo. O item 9.5.2.2 da norma NBR 5410 define o número de pontos de tomadas e a

potência dos pontos de tomada. Os dados de área superficial de cada cômodo e o perímetro no sentido horizontal em cada cômodo definem o número de tomadas, portanto, as duas dimensões citadas são calculadas sendo mostrado na figura abaixo.

Figura 24: Cálculo de áreas e perímetros de cada cômodo



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=g7qYsU35Ggo>

Cálculo do número de tomadas de uso geral (TUG).

O item d) em 9.5.2.2.1 da NBR 5410 estipula que para a sala e os dormitórios deve haver um ponto de tomada para cada 5 m ou fração de perímetro, portanto teremos:

- Para a sala $14,1\text{ m} / 5 = 2,82 = 3$ tomadas
- Para o quarto $11,6\text{ m} / 5 = 2,32 = 3$ tomadas

O item b) em 9.5.2.2.1 da NBR 5410 estipula que na cozinha e na área de serviço deve haver uma tomada a cada 3,5 m ou fração de perímetro, portanto teremos:

- Para a cozinha $10,2\text{ m} / 3,5 = 2,91 = 3$ tomadas
- Para a área de serviço $5,9\text{ m} / 3,5 = 1,68 = 2$ tomadas

O item a) em 9.5.2.2.1 da NBR 5410 estipula que em banheiros deve haver pelo menos uma tomada, portanto teremos:

- Para o banheiro= 1 tomada

O item e) em 9.5.2.2.1 da NBR 5410 estipula três casos, sendo que para os que são os demais cômodos e dependências deve haver pelo menos uma tomada se $2,25 \text{ m}^2 < \text{área} \leq 6 \text{ m}^2$, portanto teremos para o hall:

- Para o hall= 1 tomada

Cálculo da potência de tomadas de uso geral (TUG)

Em 9.5.2.2.2 da NBR 5410 é estipulado que a potência das tomadas deve ser de acordo com o equipamento que poderá vir a alimentar, sendo os valores mínimos admissíveis calculados pelas regras que se seguem.

O item a) em 9.5.2.2.2 da NBR 5410 estipula que em banheiros, cozinhas e áreas de serviço deve haver no mínimo um ponto de 600 VA em cada uma das três primeiras tomadas e para as tomadas excedentes a potência deve ser de 100 VA, portanto teremos:

- Para o banheiro= 1 tomada de 600 VA
- Para a cozinha= 3 tomadas de 600 VA
- Para a área de serviço= 2 tomadas de 600 VA

O item b) em 9.5.2.2.2 da NBR 5410 estipula que para os demais cômodos deve ser prevista no mínimo uma tomada com 100 VA, portanto teremos:

- Para a sala= 3 tomadas de 100 VA
- Para o quarto= 3 tomadas de 100 VA

Cálculo do número e potência de tomadas de uso específico (TUE)

O número de tomadas TUE é em função do quantitativo de equipamentos de alta potência como chuveiros, ar-condicionado, micro-ondas e máquinas de lavar, exigindo circuitos separados, disjuntores próprios e dimensionamento para a carga específica do aparelho.

No item c) em 4.2.1.2.3 da NBR 5410 é descrito que a potência de cada tomada TUE deve ser igual ou superior à potência nominal do equipamento que se deseja instalar, e que cada ponto de tomada pode ter mais de uma tomada. O ponto de tomada deve ser capaz de

fornecer potência superior à soma do consumo dos equipamentos conectados, portanto é previsto:

- Para o banheiro= 1 tomada TUE de 6500 VA para uso no chuveiro.
- Para a cozinha= 1 tomadas TUE de 4500 VA para um forno.
- Para o quarto= 1 tomadas TUE de 2500 VA para uso com ar condicionado.

Cálculo do número dos pontos de iluminação e sua potência.

O item 9.5.2.1.2 da NBR 5410 estipula que em ambientes menores que 6 m² deve haver pelo menos um ponto de iluminação com capacidade de pelo menos 100 VA. Para ambientes maiores que 6 m², deve ser calculado o primeiro ponto de iluminação com pelo menos 100 VA, e para cada 4 m² inteiros restantes de área deve ser previsto ponto de iluminação de 60 VA, portanto temos:

- Para o banheiro de área 4,66 m² = 1 ponto de iluminação de 100 VA
- Para a cozinha de área 6,14 m² = 1 ponto de iluminação de 100 VA
- Para a área de serviço de área 2,07 m² = 1 ponto de iluminação de 100 VA
- Para a sala de área 12,15 m² = 6 m² x 1 + 4 m² x 1 + 2,15 m² = 1 ponto de iluminação de 100 VA + 1 ponto de iluminação de 60 VA
- Para o quarto de área 8,16 m² = 6 m² x 1 + 2,16 m² = 1 ponto de iluminação de 100 VA
- Para o hall de área 2,25 m² = 1 ponto de iluminação de 100 VA

O resumo contendo os pontos de tomadas TUG e TUE e iluminação com as potências calculadas é apresentado no quadro a seguir.

Tabela 3: Quadro resumo do cálculo de quantidade de iluminação e tomadas tipos TUG e TUE

AMBIENTE	ÁREA	PERÍMETRO	CARGA ILUMINAÇÃO(VA)	QUANTIDADE DE TUG	CARGA TUG(VA)	CARGA TUE(W)
SALA	12,15	14,1	160	3	300	
QUARTO	8,16	11,6	100	3	300	2500
COZINHA	6,14	10,2	100	3	1800	4500
BANHEIRO	4,62	8,6	100	1	600	6500
ÁREA SERVIÇO	2,07	5,9	100	2	1200	
HALL	2,25	6,1	100	1	100	
			660	13	4300	13500

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=g7qYsU35Ggo>

A carga de iluminação deve ser considerada tendo um fator de potência (FP) de acordo com os dados fornecidos pelo fabricante, conforme citado em 4.2.1.2.2, para as lâmpadas no caso atual, vamos considerar $FP = 1$. Para as cargas de tomadas do tipo TUG, deve ser considerado o fator de potência dado pelo fabricante, como descrito no item, alínea “a” de 4.2.1.2.1. Assim, a média do FP para o circuito em questão, foi calculada em $FP = 0,8$. As tomadas TUE são escolhidas de acordo com potência ativa informada na etiqueta ou manual do produto, sendo neste exemplo o $FP = 1$.

A potência instalada total é de $660 \text{ VA} \times 1 + 4300 \text{ VA} \times 0,8 + 13500 \text{ W} = 17600 \text{ W}$.

Para cada diferente distribuidora de energia, há o fornecimento de energia, na forma, que o número de fios de fase varia, de acordo com cada concessionária de energia, tal fato depende da potência total instalada no ponto de consumo.

Para a concessionária Neoenergia, em especial, é dado que, para suprir os 17600 W da instalação, o fornecimento pela concessionária será utilizando duas fases energizadas e mais um fio de neutro. Desta forma, a tensão de fornecimento que será utilizada nas cargas da instalação estudada será de 220 V quando medida entre o fio fase e o de neutro, já a tensão elétrica entre fases é de 380 V, mas não serão conectadas cargas entre fios fase-fase. A tabela abaixo mostra o número de fios energizados fornecidos pela concessionária em função de cada faixa de potência demandada.

Tabela 4: Quadro resumo do número de fases no fornecimento de acordo com a carga total instalada

FORNECIMENTO	NEOENERGIA
Monofásico M1	carga instalada de até 8 kW, 2 (dois) condutores, sendo 1 (uma) fase e neutro 220 volts
Monfásico M2	carga instalada superior a 8 kW e de até 11 kW, 2 (dois) condutores, sendo 1 (uma) fase e neutro 220 volts
Bifásico B1	possuem carga instalada superior a 11 kW e de até 15 kW, 3 (três) condutores, sendo 2 (duas) fases e neutro 380/220 volts
Bifásico B2	que possuem carga instalada superior a 15 kW e de até 22 kW, 3 (três) condutores, sendo 2 (duas) fases e neutro 380/220
Trifásico	que possuem demanda de até 26 kVA, 4 (quatro) condutores, sendo 3 (três) fases e neutro 380/220 volts

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=g7qYsU35Ggo>

Divisão das cargas em circuitos elétricos.

Os itens 9.5.3.1 a 9.5.3.3 da NBR 5410 descrevem como deve ser a distribuição de cargas, que se resume a:

- Todo circuito TUE ou cada equipamento que demande mais de 10 A (ampères) deve ter seu circuito elétrico independente.
- Os pontos de tomada de cozinha e área de serviço devem também ter um circuito independente para alimentar as tomadas de cada um destes tipos de cômodos, sendo, portanto, separadamente dos demais ambientes.
- Os pontos de iluminação podem ter um circuito comum, desde que todos os requisitos seguintes sejam atendidos: a soma das correntes não seja superior a 16 A, e que o circuito de iluminação não pode ser o ligado com tomada alguma. Para o exemplo que estamos estudando, não será feita ligação de iluminação com tomadas dos ambientes citados no parágrafo anterior.
- Por convenção entre engenheiros na execução prática, não se misturam circuitos de iluminação com outros circuitos, além de que, é comum prever ao menos dois circuitos de iluminação na residência.

A aplicação das regras implica que haverá três circuitos independentes para as tomadas TUE e outros circuitos para cada agrupamento de tomadas TUG, de forma a manter a carga abaixo de 10 A. Optou-se por utilizar dois circuitos de iluminação para evitar que, caso um circuito no futuro tenha problemas, não se comprometa toda a iluminação do imóvel.

O cálculo das correntes em cada um dos circuitos é feito abaixo pela divisão da potência aparente no circuito dividido pela tensão nominal de alimentação, devendo ser antes calculada a potência aparente para as cargas especificadas ainda conhecidas apenas por sua potência ativa.

$$P_{va} = P_w / FP$$

$$I_{circuito} = P_{va} / V_{nominal}$$

Circuito 1, iluminação de sala, quarto, cozinha: 360 VA

$$\text{Corrente} = 360 / 220 = 1,64 \text{ A}$$

Circuito 2, iluminação de banheiro, área de serviço, hall: 300 VA

$$\text{Corrente} = 300 / 220 = 1,36 \text{ A}$$

Circuito 3, tomadas TUG cozinha: 1800 VA

$$\text{Corrente} = 1800 / 220 = 8,18 \text{ A}$$

Circuito 4, tomadas TUG área de serviço: 1200 VA

$$\text{Corrente} = 1200 / 220 = 5,45 \text{ A}$$

Circuito 5, tomada TUG banheiro: 600 VA

$$\text{Corrente} = 600 / 220 = 2,73 \text{ A}$$

Circuito 6, tomada TUG sala, quarto, hall: 700 VA

$$\text{Corrente} = 700 / 220 = 3,18 \text{ A}$$

Circuito 7, tomada TUE chuveiro: 6500 W, FP= 1

$$\text{Corrente} = 6500 / 220 = 29,55 \text{ A}$$

Circuito 8, tomada TUE ar-condicionado quarto: 2500 W, FP= 0,8, $P_{va} = 2500/0,8 = 3125 \text{ VA}$

$$\text{Corrente} = 3125 / 220 = 14,20 \text{ A}$$

Circuito 9, tomada TUE forno cozinha: 4500 W, FP= 1

$$\text{Corrente} = 4500 / 220 = 20,45 \text{ A}$$

Em 6.1.3.1.2, a NBR 5410 descreve que a corrente a ser considerada para fins de projeto não é a corrente do circuito em si, mas sim a corrente de projeto calculada considerando o fator de temperatura e o fator de agrupamento. A capacidade de condução dos condutores deve ser igual ou maior que a corrente de projeto calculada para o circuito.

$$I_{\text{projeto}} = I_{\text{circuito}} / (\text{Fator}_{\text{agrupamento}} \times \text{Fator}_{\text{temperatura}})$$

O fator de temperatura é citado em 6.2.5.3 da NBR 5410, sendo igual a 01 para o caso da temperatura ambiente for de 30 °C. Para esta temperatura a NBR 5410 fornece, via tabela,

a capacidade de corrente dos condutores em função da seção transversal destes. Se a temperatura fosse diferente de 30 °C, os valores de corrente tabelados deveriam ser corrigidos.

O fator de agrupamento é imposto quando o número de condutores carregados é superior ao indicado nas tabelas de especificação de máxima corrente dos condutores. Nota-se que tais tabelas consideram apenas até três condutores carregados, mas, como no caso específico do projeto neste trabalho o agrupamento de circuitos nos eletrodutos no projeto considerado chega a três circuitos, então poderá haver até seis condutores carregados.

Em 6.2.5.5, a NBR 5410 considera que todos os condutores seriam iguais e com a mesma corrente, sendo fornecidas tabelas, já em 6.2.5.5.5, é descrito o caso em que nem todos os condutores são igualmente carregados, sendo esta a situação que ocorre no projeto aqui considerado como exemplo.

$$F = \frac{1}{\sqrt{N}}$$

Onde N é o número de circuito ou cabos multipolares

N= 3 nos eletrodutos que conterão circuitos de iluminação e TUG.

N= 1 nos eletrodutos com circuitos TUE.

No nosso caso, utilizaremos eletrodutos contendo três circuitos para os circuitos de iluminação e tomadas, e alguns eletrodutos contendo apenas um circuito, no caso das tomadas de uso específico.

Os cálculos obtidos das correntes de circuito e das correntes de projeto são resumidos na tabela a seguir.

Tabela 5: Quadro resumo do cálculo de corrente de projeto para cada circuito elétrico

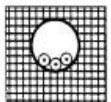
CIRCUITO	CARGA (VA)	Corrente Circuito (A)	Corrente de Projeto IB(A)
1	360	1,64	2,84
2	300	1,36	2,36
3	1800	8,18	14,17
4	1200	5,45	9,44
5	600	2,73	4,73
6	700	3,18	5,51
7	6500	29,55	29,55
8	3125	14,2	14,2
9	4500	20,45	20,45

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=g7qYsU35Ggo>

Conforme 6.2.6.2.1, o condutor neutro não pode ser comum a mais de um circuito; por isso, um condutor de neutro deve ser instalado junto a cada um dos circuitos.

A posição em que os eletrodutos serão instalados no exemplo considerado é embutido na parede, e o tipo de cabo usado nos circuitos é o cabo unipolar. Desta forma, consultando a tabela 33 da NBR 5410, verifica-se que o método de montagem do circuito é denominado B1.

Tabela 6: Classificação dos tipos de linhas elétricas de acordo com local de instalação da tabela 33 da NBR 5410

	Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B1
---	--	-----------

Fonte: NBR 5410

Consultando a tabela 36 da NBR 5410, podemos encontrar a seção necessária dos condutores de cada circuito. Para tal, deve ser observado na tabela o método de instalação B1 e o número de condutores carregados igual a dois, pois os condutores de fase e neutro conduzem durante o uso do circuito. Percorrendo a tabela no sentido vertical até encontrar a linha em que a corrente seja imediatamente superior à requerida pelo circuito, logo encontramos na interseção com a primeira coluna qual será a seção necessária do condutor.

Deve ser observado que, em 6.2.6.1.1 da NBR 5410, são estabelecidos valores mínimos de seções para os condutores de iluminação, sendo de 1,5 mm², enquanto as seções mínimas dos circuitos de força para tomadas são de 2,5 mm².

Tabela 7: Correntes máximas de condutores de acordo com seção transversal na tabela 36 da NBR 5410

Tabela 36 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D**Condutores: cobre e alumínio****Isolação: PVC****Temperatura no condutor: 70°C****Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)**

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52

Fonte: NBR 5410

Os valores encontrados para as seções dos condutores são resumidos na tabela abaixo.

Tabela 8: Valores calculados para seção dos condutores no projeto de acordo com o circuito

CIRCUITO	CONDUTOR
1	1,5mm ²
2	1,5mm ²
3	2,5mm ²
4	2,5mm ²
5	2,5mm ²
6	2,5mm ²
7	6mm ²
8	2,5mm ²
9	4,0mm ²

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=g7qYsU35Ggo>

Conforme 6.2.6.2.2 da NBR 5410, o condutor neutro de um circuito monofásico deve ter a mesma seção do condutor de fase.

Nos casos específicos em que houver circuito trifásico com neutro e os harmônicos forem maiores que 33%, o condutor de neutro pode ser de seção superior à dos condutores de fase, devendo ser consultado o anexo F da norma.

No item 6.2.6.1.2 da NBR 5410, é relatados um número mínimo indispensável de critérios que devem ser atendidos no cálculo da seção mínima dos condutores.

Com os cálculos realizados anteriormente, foi validado desde já o cumprimento do critério de corrente máxima permissível aos condutores.

Outro teste a ser feito no cálculo da bitola dos fios é o exame do critério de queda de tensão máxima admissível nos cabos, descrito em 6.2.7 da NBR 5410. Tal critério estipula que a queda de tensão a partir do ponto de entrega de energia até qualquer ponto de utilização não deve ser superior a 5% da tensão nominal da instalação.

Mas, em se tratando apenas da parte do circuito que vai do quadro geral de distribuição até as cargas, é descrito m 6.2.7.2 da NBR 5410 a limitação de que em nenhum caso a queda de tensão nos circuitos terminais pode ser superior a 4%.

A corrente utilizada para o cálculo das quedas de tensão é a corrente de projeto, como descrito em 6.2.7.4.

Para checar se a queda de tensão é menor que o valor esperado, a seção mínima necessária de cada condutor a ser utilizado pode ser verificada por meio da equação:

$$S_c \geq \frac{2 \times \rho \times l \times I_B}{\Delta V(\%) \times V_{nom}} \times 100\% \quad \rho = 1/56 \text{ ohm.mm}^2/\text{m}$$

$$V_{nom} = 220 \text{ V}$$

l = comprimento do quadro de distribuição de energia até o ponto de utilização

Com o uso das equações acima, todas as seções dos condutores da tabela anterior passaram no teste de bitola mínima necessária pelo critério de queda de tensão.

O próximo passo é o dimensionamento dos condutores do circuito geral, sendo estes os condutores que vão do ponto de entrega de energia da concessionária até o quadro geral de distribuição localizado no interior da residência.

Como nem sempre todas as cargas de um circuito estão ligadas ao mesmo tempo, utiliza-se um coeficiente chamado Fator de Demanda (FD). As tabelas com o fator de demanda para a concessionária Neoenergia são fornecidas pela norma interna DIS-NOR-030 - Fornecimento

de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição a Edificações Individuais - REV 06, encontrados em <https://www.neoenergia.com/web/brasil/sua-casa/normas-tecnicas>

Tabela 9: Fator de demanda para tomadas TUG e iluminação na norma IS-NOR-030 da Neoenergia

Tabela 6 – Fatores de Demanda Referentes à Tomadas e Iluminação Residencial

Carga instalada (kW)	Fator de demanda
$C \leq 1$	0,86
$1 < C \leq 2$	0,75
$2 < C \leq 3$	0,66
$3 < C \leq 4$	0,59
$4 < C \leq 5$	0,52
$5 < C \leq 6$	0,45
$6 < C \leq 7$	0,40
$7 < C \leq 8$	0,35
$8 < C \leq 9$	0,31
$9 < C \leq 10$	0,27
$C > 10$	0,24

Fonte: <https://www.neoenergia.com/web/brasil/sua-casa/normas-tecnicas>

Tabela 10: fator de demanda para tomadas TUE e iluminação na norma IS-NOR-030 da Neoenergia

Tabela 7 – Fatores de Demanda de Chuveiros, Torneiras, Aquecedores de Água de Passagem e Ferros Elétricos

Nº de aparelhos	Fator de demanda	Nº de aparelhos	Fator de demanda
1	1,00	14	0,45
2	1,00	15	0,44
3	0,84	16	0,43
4	0,76	17	0,42
5	0,70	18	0,41
6	0,65	19	0,40
7	0,60	20	0,40
8	0,57	21	0,39
9	0,54	22	0,39
10	0,52	23	0,39
11	0,49	24	0,38
12	0,48	25	0,38
13	0,46	acima de 25	0,38

Nota: O número de aparelhos indicado na tabela refere-se a soma das quantidades dos mesmos. Exemplo: 4 chuveiros + 2 torneiras + 1 ferro de passar roupa = 7 aparelhos, portanto, FD = 0,60.

Fonte: <https://www.neoenergia.com/web/brasil/sua-casa/normas-tecnicas>

Considerando a soma da potência ativa de todas as cargas na residência, que são as cargas totais de iluminação de 660 VA x FP, cargas totais dos circuitos TUG 4300 VA x FP e cargas de circuitos TUE 13500 W, obtém-se $P_{\text{total}} = 660 \times 1,0 + 4300 \times 0,8 + 13500 = 13472 \text{ W}$. A potência aparente total, considerando $\text{PF} = 0,95$, resulta em $S_{\text{total}} = 13472 / 0,95 = 14181,04 \text{ VA}$. A corrente total no condutor do circuito geral será de $I = S_{\text{total}} / V_{\text{fase-fase}} = 14181,04 / 380 \text{ V} = 37,32 \text{ A}$.

Novamente, calcula-se a seção mínima necessária do condutor para que o critério de queda de tensão seja tal, que a queda de tensão nos condutores não seja inferior a 4%.

$$S_c \geq \frac{2 \times \rho \times l \times I_B}{\Delta V(\%) \times V_{nom}} \times 100\% \quad \rho = 1/56 \text{ ohm.mm}^2/\text{m}$$

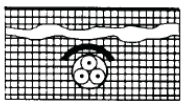
$$V_{nom} = 220 \times \sqrt{3}$$

$$l = \text{comprimento} = 20 \text{ m}$$

O cabo calculado foi de seção mínima de 3,5 mm².

Outro teste a ser feito é verificar a seção mínima em função dos métodos de referência. O cabo condutor do circuito geral estará aterrado, portanto, o método é o “D”.

Tabela 11: Classificação dos tipos de linhas elétricas de acordo com local de instalação da tabela 33 da NBR 5410

63		Cabos unipolares ou cabo multipolar diretamente enterrado(s), com proteção mecânica adicional ⁽⁹⁾	D
----	---	--	---

Fonte: NBR 5410

O critério de seleção do disjuntor é encontrado em 5.3.4.1 da NBR 5410, sendo:

$$I_B \leq I_n \leq I_z$$

Usando a tabela 36 da NBR 5410 com seleção dos campos de métodos de referência sendo o “D” e três condutores carregados, selecionamos o cabo de 10 mm², o qual possui capacidade de corrente máxima de 52 A. Portanto, o disjuntor a ser selecionado deve ter corrente nominal no intervalo 37,32 A ≤ I_n ≤ 52 A, sendo escolhido um disjuntor de 50 A para uso junto do cabo ao circuito geral.

O mesmo cálculo é feito para cada disjuntor de cada um dos circuitos da instalação. Usando os valores das correntes de projeto de cada circuito e a tabela 36 da NBR 5410, são, então, determinados todos os disjuntores, os quais são listados na tabela abaixo.

Tabela 12: Quadro com os valores dos disjuntores calculados para cada circuito

CIRCUITO	CONDUTOR	Disjuntor (A)
1	1,5mm ²	10
2	1,5mm ²	10
3	2,5mm ²	16
4	2,5mm ²	16
5	2,5mm ²	10
6	2,5mm ²	10
7	6mm ²	32
8	2,5mm ²	16
9	4,0mm ²	25

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=g7qYsU35Ggo>

O passo final é a previsão de instalação de DPS entre o fio de fase e o fio de neutro em cada um dos circuitos. Isto é feito em cada um dos fios de fase dos circuitos 1 ao 9 logo e fios de neutro logo após cada disjuntor, incluindo os barramentos de entrada após o disjuntor geral do quadro de comando interno da residência.

CONCLUSÃO

O projeto NEOB prevê a criação de um completo sistema de medição de insumos diversos, sendo eles água, energia e gás. Neste trabalho, o foco foi a medição de energia elétrica, trazendo à tona vários aspectos da normalização regulatória do setor de energia.

A medição de energia, quando realizada estrategicamente, com os valores de consumo armazenados e com visualização dos valores de medição instantâneos, permite fazer a gestão do consumo de forma a alcançar os benefícios, seja no controle dos gastos de acordo com o programado, identificando excessos de uso e desperdícios por uso inadequado, ou permitindo obter vantagens tarifárias, como a redução dos custos com o uso fora dos horários de ponta (conhecido como horário de pico).

Outra vantagem financeira proveniente do uso de uma medição aprimorada, com o desenvolvimento de um futuro medidor mais avançado, é que os grandes consumidores podem implantar sistemas com capacidade de fazer a leitura de fator de potência (razão entre potência aparente e potência ativa). Isso permite reduzir multas por excesso de consumo de potência reativa e evitar multas por injeção de excesso de energia reativa na rede.

O desenvolvimento futuro de um medidor de energia que seja capaz de medir sinais harmônicos também visa garantir um sistema de consumo que não gere interferências na rede de distribuição geral, o que poderia interferir em outros consumidores ligados na mesma rede ou nos próprios aparelhos sensíveis instalados localmente. Isso evita falhas como perda de dados em computadores, travamentos em equipamentos de comunicação e falha em aparelhos médico-hospitalares. Além disso, possibilitando o cumprimento de normas que limitam tanto a geração de sinais de energia na forma de harmônicos gerados pela instalação local, quanto a verificação se as concessionárias devem cumprir os requisitos de fornecimento de energia com qualidade.

Foi proposto neste trabalho o desenvolvimento inicial de um circuito de medição de energia ativa, o qual pode atingir os objetivos de fazer medição de energia. Esta medição se interpreta na forma de gerar um pulso elétrico de sinalização, após ter ocorrido o consumo de cada pacote de energia, sendo o pacote ajustável do tamanho que se queira medir. A

totalização da energia medida, se dá pela geração consecutiva de pulsos de sinalização, sendo emitido um pulso a cada pacote de energia medida.

O circuito eletrônico proposto foi capaz de medir energia ativa e emitir um pulso elétrico de sinalização a cada 10 Wh de energia consumida sob uma carga que simula o consumo real, por exemplo no padrão de entrada de um consumidor. Assim, 100 destes pulsos indicam o consumo totalizado de 1 KWh. A base de tempo da integração da potência, isto se refere, ao tamanho de cada pacote de energia medida, pode ser ajustado com a troca de um capacitor ou ajustes em um potenciômetro. O circuito interpreta energia medida com sendo a integração de um sinal de potência, há graus de liberdade em alterar o tempo de integração e o ponto de reset de um gerador de pulsos baseado em um comparador de uma tensão ajustável com a carga vigente do capacitor de integração para energia.

A grade curricular dos cursos de formação em engenharia civil inclui disciplinas de instalações elétricas e habilita o profissional para fazer projetos elétricos, contudo, com estrito conhecimento para fazer projetos básicos de instalações de energia. Assim o aprofundamento em aspectos sobre o setor de comércio de energia elétrica, normas diversas, material técnico a respeito da qualidade da energia e normas de projeto de instalações elétricas, faz-se útil. Para este trabalho, no desempenho de se conhecer estudo sobre medição de energia e a atividade do engenheiro civil ligada ao setor de energia, foram feitos estudos sobre os tipos de medidores de energia avançados utilizados pelas concessionárias, qualidade da energia, normas de projetos, para assim, avançar-se na elaboração de medidores avançados para o projeto NEOB. Tais medidores, na idealização em aplicações completas, inclui identificar diversas grandezas elétricas, como, medir variáveis indicativas sobre a qualidade da energia, fator de potência. Os estudos realizados levam o engenheiro da área civil a conhecer mais sobre sinais elétricos, o que propicia que se faça projetos de instalações elétricas diferenciadas, como em ambientes onde há presença de aparelhos sensíveis, ou ambientes industriais. O aprofundamento sobre comportamento de sinais elétricos eleva o profissional a ser capaz de identificar falhas avançadas, como, por exemplo, identificar mau funcionamento de instalação elétrica em hospitais, centros computacionais, ambientes industriais; tais falhas por vezes ocorrem mesmo que o projeto das instalações elétricas tenha sido realizado cumprindo os requisitos normativos básicos, sendo necessário medidas de controle precisas para correções necessárias.

Este trabalho incluiu o estudo técnico de teorias sobre a classificação dos diversos tipos de distúrbios que afetam a qualidade da energia elétrica, identificando as fontes comuns de geração destes distúrbios e apresentando algumas formas de solução. Tal estudo é importante para possibilitar-se a identificação de falhas nas instalações elétricas nos ambientes sensíveis como os industriais, hospitalares, bancos, locais com processamento de dados importantes.

As propostas do projeto NEOB, para favorecer ao consumidor um sistema inteligente e informatizado para a medição de água, energia elétrica e gás, poderá agregar muitos benefícios ao consumidor. Ao oferecer a exibição de dados de consumo aliado ao uso da tecnologia da informação, o consumidor fica favorecido em poder administrar o consumo, reduzindo gastos nas contas e alcançando benefícios fiscais. Sendo menor o consumo de insumos, isto leva à necessidade de menos infraestrutura de geração, menos danos ambientais, evita multas por excesso de consumo de potência reativa e permite a gestão do consumo para se ter consumo programado em horários fora do de pico. Além disso possibilita a medição da qualidade da energia, evitando multa por se gerar interferência negativa que propaga-se para o sistema comunitário de fornecimento de energia elétrica da concessionária e permitindo o monitoramento da qualidade da energia para identificar tendências ou ocorrências iniciais, evitando falhas em equipamentos sensíveis.

As grandes concessionárias de energia costumam instalar seus próprios medidores, mas um medidor de energia alternativo tem muitas aplicações, como: medição em pontos de consumo ao longo da ramificação a partir de onde há outro medidor centralizado instalado pelas concessionárias, ou para aplicações onde haja geração de energia própria e se deseja usar medidores próprios para medir cada ponto de consumo, ou quando há compra no comércio livre de energia e não são usados os medidores da própria concessionárias.

Um sistema de medição de energia elétrica como o proposto pelo projeto NEOB, que usa medidores independentes em cada unidade de consumo individual em um local pertencente a um grupo comunitário maior (como em um condomínio que ainda paga energia que é medida em um único ponto de entrada), cada medidor leva à possibilidade do benefício de rateio justo de custos de acordo com o exato consumo de energia ocorrido em cada unidade consumidora.

Outra aplicação destes medidores pode ser em locais onde há geração de energia própria capaz de suprir a demanda para vários consumidores, como ocorre em sistemas de distribuição de energia próprios chamados smart grid e se deseja medir a quantidade de energia que é destinada para cada consumidor individual.

Outra aplicação dos medidores é para os grandes consumidores que comprem energia elétrica diretamente na fonte de geração através da modalidade de compra livre de energia e usam as redes elétricas das concessionárias tradicionais pagando por taxa de uso de rede de fiação. A partir do padrão de entrada de energia centralizado, a energia comprada diretamente da fonte pode ser enviada para os vários consumidores individuais, que terão um medidor próprio do modelo proposto pelo projeto NEOB, e assim podem pagar pelo quantitativo exato de energia consumida.

O circuito eletrônico desenvolvido neste trabalho gera um total de 100 pulsos de sinalização a cada 1 KWh medido. Desta forma, o atual medidor precisa ser conectado a algum sistema de processamento de dados digital que realizará etapas seguintes, como contagem de pulsos emitidos pelo transdutor de energia (etapa inicial do medidor). Por ser um circuito predominantemente analógico, há a possibilidade mudar o quantitativo de pulsos enviados a cada 1 KWh medidos, mas há limitação para a escolha da faixa do tempo de integração da potência. A limitação em escolher tempos de integração maiores se dá devido à barreira de disponibilidade em encontrar, com baixo custo, um capacitor de maior capacidade para a etapa de integração de sinal e que ainda tenha baixa corrente de fuga. Além disso, a própria corrente de bias dos componentes envolvidos cria necessidade de ajustes precisos de ponto de funcionamento. O circuito proposto é didaticamente funcional e aplicável, e que é sugerido, para trabalho futuro, que a integração do sinal seja via processamento digital. O atual circuito atual serve para aplicação em pequenos consumidores e como base para desenvolver um projeto futuro com melhorias, como o planejamento de circuitos digitais. O circuito atual serve para medir a potência ativa em pequenos consumidores, e que sugere-se adicionar etapas com circuitos digitais, sem do que para aplicações mais robustas é necessário que se meça mais variáveis elétricas, como, fator de potência e a quantidade de sinais harmônicos.

O assunto qualidade da energia elétrica foi abordado pelo fato de que há muitas situações onde o conhecimento dos distúrbios elétricos se faz necessário para diagnosticar

motivos de falhas de aparelhos e conhecer tipos de cargas conectados nas próprias instalações que geram estes distúrbios. Há a necessidade que de saber, para o projeto de medidores, que medidores sofisticados devem medir energia mesmo que contendo sinais embutidos de rápida variação, para que no futuro seja desenvolvido um medidor que inclua capacidade de medir sinal elétrico padrão ou até mesmo sinais contendo ruídos, harmônicos e variações rápidas de sinais de difícil medição. Além disso o assunto qualidade da energia elétrica faz parte de requisitos encontrados de normas que ditam limites de intensidade de anomalias que possam estar inseridas em sinais de energia comercializados por concessionárias. O conhecimento dos tipos de impurezas elétricas existentes é útil para que o engenheiro projetista de instalações elétricas se possa diagnosticar motivos de falhas, reconhecer fontes de geração destes distúrbios e achar possíveis soluções.

Na atualidade, com o acentuado uso de aparelhos eletrônicos, há cada vez mais geração de ruídos sendo injetados nas redes elétricas, o que pode interferir em outros consumidores. O conhecimento de teorias sobre a qualidade da energia assunto que auxilia o engenheiro civil projetista de circuitos elétricos em prever problemas possíveis, diagnosticar problemas incidentais, diagnosticar mal funcionamento e propor soluções.

Sendo o engenheiro civil também habilitado a fazer projetos elétricos, foi proposto o desenvolvimento de um projeto elétrico simples para uma habitação, auxiliando na compreensão da norma NBR 5410, que trata de requisitos para instalações elétricas.

Existem diversas normas do setor elétrico que têm relação teórica com o medidor de energia proposto através do projeto NEOB, estas normas especificam regras de capacidades/requisitos dos medidores, regras de tarifação que beneficiam consumidores de acordo com a classificação do tipo de tarifação associada com a instalação, possibilidade de compra de energia elétrica diretamente da fonte de geração. O medidor de energia que é previsto no Projeto NEOB, auxilia, principalmente, na medição da energia consumida por cada unidade, para que o rateio de gastos seja exato com o quantitativo de consumo exato de cada consumidor individual.

A Resolução Normativa Aneel nº 956, de 7 de dezembro de 2021, possui onze módulos no total, cada um tratando de um assunto sobre procedimentos padrão para a

distribuição, tarifação e medição. Neste trabalho, foram estudados o Módulo 5 – Sistemas de Medição e Procedimentos de Leitura e o Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica.

Existem ainda os submódulos que são elaborados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e regulamentados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabelecem regras, requisitos e procedimentos detalhados para a operação e o planejamento do Sistema Interligado Nacional (SIN). Neste trabalho, são enfatizados dois submódulos sendo: um que trata como deve ser a aparelhagem de medição de energia e outro sobre requisitos de qualidade de energia elétrica. São eles: o Submódulo 2.14 - Requisitos Mínimos Para o Sistema de Medição Para Faturamento (Despacho ANEEL nº 3.424/2022), e o Submódulo 2.9. Requisitos Mínimos de Qualidade de Energia Elétrica Para Acesso ou Integração à Rede Básica (Despacho ANEEL nº 2.852/2022).

O assunto qualidade da energia elétrica é incluído neste trabalho porque os medidores de energia para grandes consumidores devem ser capazes de medir também aspectos da qualidade da energia elétrica. As cargas ligadas pelos grandes consumidores podem gerar interferências na rede de distribuição das concessionárias, afetando outros usuários. Além disso, o estudo sobre a qualidade da energia elétrica agrega ao engenheiro civil a capacidade de resolver problemas de falhas de equipamentos sensíveis que ligados como sendo cargas na rede do consumidor, e ainda há certos tipos de cargas críticas que demandam muito consumo de energia possuindo característica de gerar ruídos e harmônicos e alta corrente reativa.

O conhecimento sobre tipos de distúrbios elétricos, sua geração, propagação, interação com o sistema elétrico e aparelhos de consumo, leva ao engenheiro civil a realizar projetos de instalações elétricas mais confiáveis.

Existem normas complementares dependendo do tipo de ambiente em específico, por exemplo, há a ABNT NBR 13534 para instalações elétricas em ambientes hospitalares e a ABNT NBR 16690:2019 para sistemas de geração voltaicos, sendo este ambiente uma possível fonte de ruídos, que podem ser conduzidos, para o sistema de distribuição de concessionárias.

A norma básica de projetos de instalações elétricas é a NBR 5410, que é, por si, uma norma de alta complexidade de compreensão devido a serem contidas diversas condições

peculiares, dependendo do ambiente e potência da instalação sendo projetada. A NBR 5410 é uma norma geral para uma vasta variedade de tipos de projetos, incluindo aplicações específicas como: indústrias, hospitais, instalações prediais, comerciais, residenciais.

Em anexo juntado a este trabalho, são feitos comentários referentes aos principais artigos contidos na norma NBR 5410.

Ainda nos anexos deste trabalho são encontrados uma coletânea selecionada e comentada dos principais requisitos contidos nas normas do setor elétrico. Estas normas incluem: a classificação dos tipos de consumidores, regras para benefícios tarifários, requisitos para os medidores de energia, requisitos de qualidade de fornecimento de energia elétrica, requisitos para interligação de geração própria nas redes de distribuição das concessionárias.

As Normas do Setor Elétrico que foram estudadas neste trabalho são listadas abaixo.

Resolução Normativa ANEEL nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021 da Agência Nacional de Energia Elétrica. Classificação dos tipos de consumidores de energia, tipos de benefícios tarifários existentes.

Resolução normativa ANEEL nº 956, de 7 de dezembro de 2021
Módulo 5 – Sistemas de Medição e Procedimentos de Leitura

Submódulo 2.14. Requisitos mínimos para o Sistema de Medição para Faturamento.
Despacho ANEEL nº 3.424/2022

Resolução normativa ANEEL nº 956, de 7 de dezembro de 2021
Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica

Submódulo 2.9. Requisitos mínimos de qualidade de energia elétrica para acesso ou integração à Rede Básica. Despacho ANEEL nº 2.852/2022

Norma ABNT NBR 5410:2004

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MATTEDE, Henrique, **Harmônicas em sistemas elétricos**. Guia completo! Disponível em:

<mundodaeletrica.com/harmonicas-em-sistemas-eletricos-guia-completo/>

Acesso em: 07 jan. 2026.

Instituto Brasileiro Do Cobre (PROCOBRE). **Guia de Aplicação de Qualidade da Energia Elétrica: Harmônicas, Causas e Efeitos**. Disponível em:

<<https://abcobre.org.br/wp-content/uploads/2021/11/qe07-guia-3-1-harmnicas-causas-efeitos.pdf>> Acesso em: 07 jan. 2026.

PIERRE, Giuliano, **Qualidade De Energia**. Disponível em:

<<https://electroenge.com.br/wp-content/uploads/2020/11/QUALIDADE-DE-ENERGIA.pdf>>

Acesso em: 07 jan. 2026.

ALDABÓ, Ricardo, **Qualidade Na Energia Elétrica: Efeitos dos distúrbios, diagnósticos e soluções**. 2ª edição. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2001.

Ribeiro, Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho, **Qualidade da energia elétrica**, Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2015.

DUGAN, R. C.; MCGRANAGHAN, M. F.; BEATY, H. W. **Electrical power systems quality**. [S.l.]: New York: NY: McGraw-Hill, 1996.

Estabilizador de tensão ferorrressonante: vantagens e desvantagens. Disponível em:

<<https://ihouses.decorexpro.com/pt/elektrosnabzhenie/ferrorezonans-v-transformatore-naprazenia>> Acesso em: 07 jan. 2026.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução Normativa ANEEL nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021**. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. Disponível em:

<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html> Acesso em: 07 jan. 2026.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução normativa ANEEL nº 956, de 7 de dezembro de 2021.** Estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. **Anexo V - Módulo 5 - Sistemas de Medição e Procedimentos de Leitura.** Disponível no link interno em:

<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021956.html> Acesso em: 07 jan. 2026.

BRASIL. Operador Nacional do Sistema elétrico. Despacho ANEEL nº 3.424/2022. **Submódulo 2.14: Requisitos mínimos para o Sistema de Medição para Faturamento.** Estabelece os requisitos para o Sistema de Medição para Faturamento. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/adsp20223424_2.pdf Acesso em: 15 fev. 2026.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução normativa ANEEL nº 956, de 7 de dezembro de 2021.** Estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. **Anexo VIII - Módulo 8 – Qualidade do Fornecimento da Energia Elétrica.** Disponível no link interno em:

<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021956.html> Acesso em: 07 jan. 2026.

BRASIL. Operador Nacional do Sistema elétrico. Despacho ANEEL nº 2.852/2022. **Submódulo 2.9. Requisitos mínimos de qualidade de energia elétrica para acesso ou integração à Rede Básica.** Estabelece os requisitos para o Sistema de Medição para Faturamento. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/adsp20222852_2_1.pdf Acesso em: 15 fev. 2026.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.** 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

MARQUES, Alex Fernando De Medeiros, **Estudo da Qualidade da Energia Elétrica Fornecida Ao IFBA - Campus De Paulo Afonso.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal da Bahia, Paulo Afonso, 2018.

Universidade da Elétrica, **Vídeo Projeto Elétrico Residencial Passo a Passo Completo! Aprenda Tudo em 45 Minutos!** Disponível no link interno em:

<https://www.youtube.com/watch?v=g7qYsU35Ggo> Acesso em: 07 jan. 2026.

5 ANEXOS COM SELEÇÃO DE PARÁGRAFOS PERTINENTES DE NORMAS E COMENTÁRIOS INTERPRETATIVOS

5.1 Resolução Normativa ANEEL nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021 da Agência Nacional de Energia Elétrica.

Esta resolução esclarece a respeito de classificação dos tipos de consumidores de energia, tipos de benefícios tarifários existentes.

Art. 1º Esta Resolução Normativa estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica, nas quais estão dispostos os direitos e deveres do consumidor e demais usuários do serviço.

§ 1º O disposto nesta Resolução aplica-se à concessionária e permissionária de serviço público de distribuição de energia elétrica e ao usuário do serviço, pessoa física ou jurídica que se beneficia ou utiliza, efetiva ou potencialmente, do serviço público, a exemplo de:

Para o correto desenvolvimento de um medidor de energia que atenda aos parâmetros utilizados nas concessionárias de energia elétrica, caso o medidor seja futuramente projetado para aceitação de suas medições de energia para utilização de medição de consumo diretamente aceito pela concessionária de energia elétrica, devem ser conhecidos as regras, classificações, deveres e direitos impostos pela agência de regulação de energia elétrica.

A medição da energia elétrica consumida é regida pela Resolução Normativa ANEEL nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021 da Agência Nacional de Energia Elétrica, tal norma especifica a forma de medição de energia para grandes consumidores, isto significa conjunto de prédios, condomínios, fábricas, shoppings, indústrias, etc.

Algumas definições deste instrumento de regulação são:

XII - Demanda contratada: demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela distribuidora no ponto de conexão, conforme valor e período de vigência fixados em contrato, em kW (quilowatts);

XIII - Demanda medida: maior demanda de potência ativa injetada ou requerida do sistema elétrico de distribuição pela carga ou geração, verificada por medição e integralizada em intervalos de 15 minutos durante o período de faturamento, em kW (quilowatts);

XIX - Fator de carga: razão entre a demanda média e a demanda máxima da unidade consumidora, ocorridas no mesmo intervalo de tempo;

XX - Fator de demanda: razão entre a demanda máxima num intervalo de tempo e a carga instalada na unidade consumidora;

XXI - Fator de potência: razão entre a energia elétrica ativa e a raiz quadrada da soma dos quadrados das energias elétricas ativa e reativa, consumidas num mesmo período;

XXIII - Grupo A: grupamento composto de unidades consumidoras com conexão em tensão maior ou igual a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão menor que 2,3 kV, e subdividido em subgrupos:

f) subgrupo AS: tensão de conexão menor que 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição;

XXIV - grupo B: grupamento composto de unidades consumidoras com conexão em tensão menor que 2,3 kV e subdividido nos seguintes subgrupos:

- a) subgrupo B1: residencial;
- b) subgrupo B2: rural;
- c) subgrupo B3: demais classes; e
- d) subgrupo B4: iluminação pública;

A partir das definições acima é obtido que os consumidores de energia elétrica que possuem instalações elétricas residenciais alimentadas por rede de distribuição aéreas são classificados no subgrupo B1 devido também que a tensão de utilização em aparelhos residenciais costuma ser de 127 V ou 220 V.

Caso a instalação residencial alimentada em baixa tensão de 127 V ou 220 V fosse alimentada por rede de distribuição de energia subterrânea com a que ocorre em grandes centros urbanos, a classificação das unidades consumidoras seria AS.

A definição de demanda contratada de energia para consumidores de maior porte leva em conta de que o consumidor por certos intervalos do dia poderá consumir mais que tal demanda contratada assim pode ocorrer multas e taxas extras por utilização de tal quantidade de energia excedente. A relação entre os quantitativos de demanda consumida e demanda contratada se chama fator de demanda.

Fato interessante sobre a medição de energia é que o quantitativo de energia ativa medida é calculado pela integração da potência medida durante o intervalo de 15 minutos, sendo tal tempo programado no próprio medidor de energia.

Para os consumidores do grupo A existem diversas classificações de subgrupos são listados acima e se refere a classificação para consumidores que são alimentados desde baixa tensão indo por média tensão e até os consumidores de alta tensão.

Os consumidores do grupo A dependendo da potência de consumo podem estar no grupo que recebem tarifas diferenciadas (tarifa binômica) de acordo com o horário em que consome energia, além de que pode pagar taxas adicionais de consome além da demanda contratada.

Os consumidores do grupo B são as residências e pequenos empreendimentos sendo que recebem a conta de energia calculada de forma simples (tarifa monômica) pela multiplicação do consumo pelo preço do kWh vendido.

Seção II

Da Tensão de Conexão

Art. 23. A distribuidora deve definir o grupo e o nível de tensão de conexão ao sistema elétrico, observados os critérios a seguir:

I - Para unidade consumidora:

a) Grupo B, com tensão menor que 2,3 kV em rede aérea: se a carga e a potência de geração instalada na unidade consumidora forem iguais ou menores que 75 kW;

b) Grupo B, com tensão menor que 2,3 kV em sistema subterrâneo: até o limite de potência instalada, conforme padrão de atendimento da distribuidora, observado o direito de opção para o subgrupo AS do Grupo A disposto no § 3º;

§ 2º Instalações de uso coletivo em edificações de múltiplas unidades consumidoras e que possuam carga maior que 75 kW podem ser enquadradas no Grupo B, desde que satisfeitas as seguintes condições:

- I - Mais que 50% das unidades da edificação se enquadrem no Grupo B;
- II - Existência de solicitação ou concordância do consumidor; e
- III - a distribuidora avalie a viabilidade por meio de realização de estudo.

§ 6º Unidade consumidora com minigeração distribuída deve ser enquadrada no Grupo A, observadas as disposições do inciso I do caput. (Incluído pela REN ANEEL 1.059, de 07.02.2023)

Do exposto no Art. 23 se extrai que quando há geração de energia no local de consumo a classificação tarifária passa a ser do tipo de consumidores em alta tensão (grupo A).

É entendido que os consumidores de cargas de baixa potência são classificados no grupo B, já os consumidores em alta potência ainda que pertencentes ao grupo B podem optar por serem tarifados segundo o grupo AS.

Sobre o possível interesse de consumidores migrarem a tarifação para o formato do grupo B se trata de benefícios de ter a estrutura da conta de energia mais simplificada e econômica pois poderiam se enquadrar na tarifa monômnia, e disto resultar em não distinção do horário em que ocorre o consumo de energia e nem de ser considerado multa por baixo fator de potência.

Seção II

Dos Benefícios Tarifários

Art. 175. A distribuidora deve reduzir as tarifas homologadas pela ANEEL caso haja previsão legal de benefícios tarifários ou o benefício tarifário for concedido de forma voluntária pela distribuidora.

§ 3º Os benefícios tarifários do grupo B devem ser aplicados à unidade consumidora do grupo A com opção de faturamento pelo grupo B.

§ 4º A distribuidora pode oferecer ao consumidor e demais usuários benefícios não tarifários, devendo definir as regras e os critérios de seleção por meio ampla divulgação.

A respeito dos benefícios tarifários que as distribuidoras de energia aplicam há o sistema de tarifa que prevê cobrança de energia por três faixas sendo elas tarifa fora de ponta, intermediária e ponta.

Fora de ponta é o período em que registra a menor demanda por eletricidade sendo então mais barata, já na faixa de tarifa dita intermediária e para a tarifa de ponta os preços cobrados são maiores.

O horário de pico tem três horas de duração, já o período intermediário costuma estar uma hora antes e uma hora depois dos horários de pico, os períodos de ponta são das 17h às 20h, já o período intermediário vai das 16h às 17h e de 20h às 21h, e para o período fora de ponta são as horas não especificadas nas outras modalidades.

Tal divisão de horários tarifários vale apenas para os dias úteis, nos finais de semana a tarifa de horário de ponta não é aplicada.

A tarifa branca permite que o consumidor pague de acordo com o horário e dia da semana assim o consumidor desloca o consumo para horários diferentes dos de ponta quando a capacidade da rede opera com capacidade ociosa. O objetivo da tarifa branca é estimular o uso da energia fora dos horários de pico.

A CEMIG possui outros benefícios tarifários como a tarifa noturna exclusivamente utilizada para a irrigação e aquicultura, como por exemplo consumo destinado à irrigação vinculada à agropecuária e nas cargas para finalidade da aquicultura (criação, no berçário, na aeração e na iluminação nesses locais).

A CEMIG possui também benefícios tarifários rurais destinados exclusivos para agricultura de subsistência.

A tarifa social é destinada para famílias de baixa renda cadastradas no cadúnico, famílias de baixa renda com consumo até de 80 KWh, idosos e pessoas com deficiência.

CAPÍTULO VII

DAS MODALIDADES TARIFÁRIAS

Seção I

Da Modalidade Tarifária Convencional

Art. 211. A modalidade tarifária convencional é caracterizada por uma única tarifa para o consumo de energia, sem segmentação horária no dia.

Seção II

Das Modalidades Tarifárias Horárias

Art. 212. A modalidade tarifária horária branca é caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia, sendo segmentada em três postos tarifários:

- I - Uma tarifa para o posto tarifário ponta;
- II - Uma tarifa para o posto tarifário intermediário; e
- III - Uma tarifa para o posto tarifário fora de ponta.

Do exposto na seção II é exposto que o posto tarifário ponta se refere aos horários de pico quando há maior demanda por energia elétrica no dia e que a tarifa é mais alta, já o posto tarifário intermediário se refere ao horário que sucede o de pico, mas que o preço de energia é ainda mais caro que no horário fora de ponta sendo este último o tempo do restante do dia e finais de semana e feriados quando o custo de energia é mais baixo.

A tarifa convencional é aplicada aos consumidores com baixa potência de consumo como os do grupo B.

Seção III

Da Medição Totalizadora

Art. 247. A medição para faturamento em cada local de consumo em empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras pode ser implementada de acordo com as seguintes disposições:

I - Instalação de medição pela distribuidora para:

- a) a totalização do faturamento entre o ponto de conexão e a entrada do barramento geral;
- b) o faturamento das unidades consumidoras em cada local de consumo; e
- c) a determinação da demanda correspondente às unidades consumidoras do grupo B, quando necessária à apuração do faturamento de unidade consumidora do grupo A por meio da medição totalizadora;

Do texto da seção III se compreende que a medição de energia pode ser em ponto único na entrada da edificação, outra opção é poder fazer medições em cada ponto final de consumo. A terceira opção é que dentro de um sistema maior do tipo grupo A de consumidores poderia se medir o consumo de unidades específicas do grupo B dentro deste sistema maior, haveriam então medidores adicionais (submedição) nas unidades consumidoras do grupo B enquanto o restante da energia não medida os consumidores tipo B seria estimado como o consumo do consumidor maior do grupo A.

Seção IV

Da Inspeção do Sistema de Medição

Art. 249. A inspeção do sistema de medição pode ser realizada:

- I - Pela distribuidora, no local das instalações;
- II - Em laboratórios acreditados para ensaios em medidores de energia elétrica;
- ou III - no laboratório da distribuidora, desde que com pessoal tecnicamente habilitado e equipamentos calibrados conforme padrões do Instituto Nacional de Metrologia – INMETRO ou do órgão metrológico delegado, devendo o processo ser certificado na norma ABNT NBR ISO 9001.

A seção IV esclarece que os medidores podem ser verificados pela própria distribuidora seja no próprio local de consumo ou em laboratórios aprovados ou por laboratórios acreditados que são terceiros, desta forma um possível projeto de medidores para individualizar a medição de unidades individuais dentro de condomínios pode ser passível de ser implementado no futuro.

Seção II

Do Faturamento do Grupo B

Art. 290. A distribuidora deve faturar a unidade consumidora do grupo B pelo maior valor obtido a partir do:

I - Consumo de energia elétrica ativa; ou

II - Custo de disponibilidade disposto no art. 291.

Nesta seção II é explicitado que os consumidores residenciais, justamente os consumidores do grupo B podem ser taxados apenas pelo consumo de potência ativa, sendo esta cobrança favorável ao menor custo de pagamento por energia justamente porque não considera o fator de potência que venha a ser consumido.

O custo de disponibilidade praticado pela distribuidora de energia CEMIG é um valor mínimo fixo único pela disponibilidade de infraestrutura e fornecimento de energia, sendo tal cobrança como valor único até atingir a faixa permitida de consumo, mas se o consumidor gastar energia acima da faixa permitida então pagará pelo exato valor consumido, e que as faixas de consumo são classificadas em monofásico equivalente a 30 kWh, bifásico equivalente a 50 kWh, trifásico equivalente a 100 kWh.

Seção VIII

Do Fator de Potência e do Reativo Excedente

Art. 302. O fator de potência de referência “ f_R ”, indutivo ou capacitivo, tem o valor limite mínimo permitido de 0,92 para a unidade consumidora do grupo A.

Art. 303. A distribuidora não pode cobrar a unidade consumidora do grupo B, que não tem fator de potência de referência, pelo consumo de energia elétrica reativa excedente.

Art. 304. A distribuidora deve cobrar o montante de energia elétrica e demanda de potência reativas excedentes da unidade consumidora do grupo A, incluindo a que optar pelo faturamento com a aplicação da tarifa do grupo B, conforme as seguintes equações:

$$E_{RE} = \sum_{T=1}^n \left[EEAM_T \times \left(\frac{f_R}{f_T} - 1 \right) \right] \times VR_{ERE}$$

$$D_{RE}(p) = \left[\sum_{T=1}^n MAX \left(DAM_T \times \frac{f_R}{f_T} \right) - DAF(p) \right] \times VR_{DRE}$$

O art. 304 esclarece que caso haja excedente de potência reativa consumida tanto os consumidores do grupo A quanto os consumidores do grupo A que optaram, por faturamento do grupo B devem pagar taxa extra. Por exemplo em uma grande indústria contendo muitos motores o baixo fator de potência pode gerar até 30% de custo adicional á conta de energia. Os consumidores do grupo B que incluem as residências de baixo consumo não devem ser taxados por terem baixo fator de potência.

Seção I

Dos Empreendimentos com Múltiplas Unidades Consumidoras

Art. 478. Em empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, nas quais a utilização da energia elétrica ocorra de forma independente, cada fração caracterizada por uso individualizado constitui uma unidade consumidora.

Parágrafo único. As instalações para atendimento das áreas de uso comum constituem uma unidade consumidora de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento.

Art. 479. O empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, cuja atividade predominante seja comercial, industrial ou de prestação de serviços, pode ser considerado uma única unidade consumidora, desde que sejam atendidas pelo menos uma das seguintes condições:

I - A propriedade de todos os compartimentos do imóvel, prédio ou conjunto de edificações deve ser de apenas uma pessoa física ou jurídica; ou

II - As unidades consumidoras devem pertencer ao mesmo condomínio edilício.

O art. 478 especifica que cada unidade de consumo pode ser considerado um consumidor individual, sendo assim neste caso foi dispensado o uso de um medidor único na entrada do condomínio. O art. 479 especifica que onde a atividade predominante for comercial poderá utilizar apenas um medidor de energia elétrica. Portanto a opção de usar apenas um medir de energia elétrica ou múltiplos medidores de energia é opção que a concessionária dispõe aos consumidores.

Seção III

Do Ponto de Conexão

Art. 25. O ponto de conexão localiza-se no limite da via pública com o imóvel onde estejam localizadas as instalações, exceto se tratar de:

IX - Edificações com múltiplas unidades consumidoras em que os equipamentos de transformação da distribuidora estejam instalados no interior do imóvel, caso em que o ponto de conexão se situará na entrada do barramento geral;

O ponto de conexão é o local onde a responsabilidade de concessionária termina sendo que a referida posição de conexão de energia se localiza nos limites da propriedade como por exemplo na posição do muro, mas que para consumidores de grande potência que utilizam equipamentos de transformação de potencial no interior da propriedade o ponto de conexão limite de responsabilidade da concessionária é dentro da propriedade em si.

Seção VII

Da Aprovação Prévia de Projeto

Art. 50. A distribuidora deve disciplinar em suas normas técnicas as situações em que é necessária a aprovação prévia de projeto das instalações de entrada de energia e das obras de responsabilidade do consumidor e demais usuários.

O art. 50 descreve que antes que os consumidores construam suas instalações elétricas de entrada de energia precisam pedir aprovação das instalações para que a ligação da energia seja efetuada ,as condições diferem de acordo com o quantitativo previsto de consumo de energia do local.

5.2 Resolução Normativa Aneel N° 956, de 7 de Dezembro de 2021

Módulo 5 – Sistemas de Medição e Procedimentos de Leitura

Tal resolução normativa estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, contendo diversos anexos que são denominados módulos de I a XI, e que neste trabalho serão estudados os módulos Módulo 5 – Sistemas de Medição e Procedimentos de Leitura e Módulo 8 – Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica;

Os diversos módulos desta resolução são:

- I - Anexo I - Módulo 1 – Glossário de Termos Técnicos do PRODIST;
- II - Anexo II - Módulo 2 – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição;
- III - Anexo III - Módulo 3 – Conexão ao Sistema de Distribuição de Energia Elétrica;
- IV - Anexo IV - Módulo 4 – Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição;
- V - Anexo V - Módulo 5 – Sistemas de Medição e Procedimentos de Leitura;
- VI - Anexo VI - Módulo 6 – Informações Requeridas e Obrigações;
- VII - Anexo VII - Módulo 7 – Cálculo de Perdas na Distribuição;
- VIII - Anexo VIII - Módulo 8 – Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica;
- IX - Anexo IX - Módulo 9 – Ressarcimento de Danos Elétricos;
- X - Anexo X - Módulo 10 – Sistema de Informação Geográfica Regulatório; e
- XI - Anexo XI - Módulo 11 – Fatura de Energia Elétrica e Informações Suplementares.

O módulo 5 em específico ao tratar do sistema de medição estabelece os critérios de medição, requisitos técnicos do equipamento de medição, grandezas que devem ser medidas.

1 OBJETIVO

1.1 Estabelecer os requisitos mínimos para medição das grandezas elétricas do sistema de distribuição aplicáveis ao faturamento, à qualidade da energia elétrica, ao planejamento da expansão e à operação do sistema de distribuição.

1.2 Apresentar os requisitos básicos mínimos para a especificação dos materiais, equipamentos, projeto, montagem, comissionamento, inspeção e manutenção dos sistemas de medição.

De forma geral o módulo 5 se divide em seções de forma a caracterizar a aplicabilidade, especificação dos medidores, formas de atuar para execução e manutenção dos medidores, forma de disponibilização de informações pelo sistema de medição.

CONTEÚDO DO MÓDULO 2.1

O módulo é composto de 5 (cinco) seções:

- a) seção 5.0 – INTRODUÇÃO;
- b) seção 5.1 – APLICABILIDADE - identifica os agentes aos quais este módulo se aplica, sua abrangência e as responsabilidades;
- c) seção 5.2 – ESPECIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO - uniformiza os critérios para as especificações dos sistemas de medição de energia elétrica utilizados nas conexões de acessantes aos sistemas de distribuição destinados ao faturamento da energia elétrica, ao planejamento da expansão do sistema e à qualidade da energia elétrica;
- d) seção 5.3 – IMPLANTAÇÃO, INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO - define as responsabilidades e procedimentos para os agentes envolvidos nas atividades de implantação, inspeção e manutenção dos sistemas de medição nas unidades consumidoras ou instalações da distribuidora;
- e) seção 5.4 – LEITURA, REGISTRO, COMPARTILHAMENTO E DISPONIBILIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE MEDIÇÃO - estabelece os procedimentos básicos para leitura, registro, compartilhamento e disponibilização das informações de medição de grandezas elétricas dos agentes conectados, acessados ou acessantes, ao sistema de distribuição.

Os medidores de energia dependendo do tipo de consumidor onde haver a instalação devem ser capazes de medir grandezas elétricas básica e por vezes medir também a qualidade da energia, e que aspectos sobre o local da instalação devem ser conhecidos para que haja conhecimento da demandada. A medição da qualidade da energia deve ser medida principalmente da consumidores do grupo A.

2.2 Deverão ser realizadas a medição e a coleta de dados referentes, quando couber:

- a) ao faturamento;
- b) à qualidade da energia elétrica (QEE);
- c) às cargas do sistema de distribuição;
- d) aos estudos de previsão de demanda;
- e) às curvas de carga.

A medição contempla medição da potência ativa instantânea para os grandes consumidores principalmente e desta medida é conhecido a demanda instantânea e disto calculado o fator de carga para fins de aplicação de multa quando cabível, deve ser medida a energia ativa consumida para todos tipos de acessantes pois esse é o quantitativo básico usado para cálculo da conta de energia elétrica, a qualidade da energia elétrica é medida principalmente para consumidores do grupo A e desta medição podem ser identificados excesso de geração de harmônicos por exemplo, os medidores usados para grandes consumidores devem armazenar dados com alta representatividade das medidas e por longos períodos.

2.3 Para atendimento destes requisitos, os dados medidos e coletados deverão ser:

- a) demanda em kW para faturamento dos encargos relativos ao uso dos sistemas de distribuição para acessantes em MT e AT e subgrupo AS;
- b) montantes de energia em kWh para fins de faturamento para todos os acessantes;
- c) parâmetros para cálculo de indicadores de QEE nos pontos pré-definidos;
- d) armazenados em memória de massa contendo kWh, kVArh, Vrms para levantamento de curvas de carga e conformidade de tensão.

2.4 Nas unidades consumidoras, os dados medidos e coletados deverão incluir:

- a) kvarh para o Grupo B, de forma opcional;
- b) kvarh e excedentes de reativo para o Grupo A.

Consumidor cativo é pessoa que é forçada a comprar de um único fornecedor devido à falta de alternativas, como um consumidor de energia no mercado regulado, as distribuidoras de energia fornecem o equipamento de medição.

3 RESPONSABILIDADES

3.1 Consumidores Cativos.

3.1.1 Os equipamentos de medição de consumidores cativos são de responsabilidade técnica e financeira da distribuidora acessada.

O consumidor livre é aquele que tem liberdade para negociar o fornecimento de energia elétrica diretamente com geradores ou comercializadores no Ambiente de Contratação Livre (ACL) e precisa ter demanda contratada mínima de 1.000 kW e estar conectada em média ou alta tensão (Grupo A), pode escolher entre energia convencional ou incentivada.

Consumidor especial é aquele com demanda contratada entre 500 kW e 1.000 kW que deseja acessar o Mercado Livre de Energia, mas só pode fazer contratação de energia incentivada (solar, eólica, PCH, biomassa), assim terá possibilidade de economizar com o desconto na tarifa de distribuição (TUSD);

Consumidores livres e consumidores especiais.

3.2.1 As distribuidoras são responsáveis tecnicamente pelos sistemas de medição das unidades consumidoras que conectarem suas instalações aos sistemas de distribuição.

3.2.2 Os novos consumidores cujas unidades consumidoras conectarem suas instalações aos sistemas de distribuição, e realizarem opção pelo Ambiente de Contratação Livre – ACL, são responsáveis financeiramente pela implantação do sistema de medição para faturamento.

3 REQUISITOS TÉCNICOS MÍNIMOS PARA OS SISTEMAS DE MEDIÇÃO

Os medidores devem ser capazes de registrar o horário de consumo para o caso de tarifação horosazonal (posto tarifário ponta, intermediário, fora de ponta), devem ser capazes de medir potência também no sentido inverso que é o caso que ocorre onde há micro geração, a classe de precisão dos medidores utilizados em pontos de conexão B é de 2%. A tensão primária de distribuição é a energia elétrica transmitida em média tensão (geralmente entre 11 kV e 34.5 kV).

3.7 Para os casos de conexões em tensão primária de distribuição, os sistemas de medição podem ser instalados no lado de baixa tensão dos transformadores de potência, se existir viabilidade técnica e for opção dos agentes.

3.8 Os sistemas de medição de unidades consumidoras, faturadas na estrutura tarifária horosazonal, deverão registrar os dados por período horário e sazonal de acordo com padronização das normas ABNT.

3.9 Para aplicação em pontos onde possa haver fluxo de potência nos dois sentidos, os sistemas de medição devem ser projetados de modo a respeitar as classes de exatidão especificadas nos Procedimentos de Rede, tanto para os casos de operação com o fluxo de potência em sentido direto quanto em sentido inverso.

3.12 As classes de exatidão dos medidores e dos TC e TP devem estar em conformidade com o grupo de conexão do acessante, segundo a Tabela 1 do item 6 desta seção.

TABELA 1- Características Mínimas para os Sistemas de Medição

Classe de Acessante	Tensão de distribuição	Classe do TP	Classe do TC	Tipo do medidor	Classe do medidor	Incerteza e(%)	Registros mínimos
Grupo B	BT	-	-	MEM A, MEM RO	2	±2,00	kWh, kvarh opcional
Grupo B (com TC)	BT	-	0,6	MEM A, MEM RO	2	±2,09	kWh, kvarh opcional
Grupo B (opcional)	BT	-	-	ME	2	±2,00	kWh; kvarh opcional
Grupo B (com TC) (opcional)	BT	-	0,6	ME	2	±2,09	kWh; kvarh opcional
Subgrupo B2 (irrigação)	BT	-	-	ME 2Q	2	±2,00	kWh por segmento, kvarh por segmento opcional
Subgrupo B2 (irrigação) (com TC)	BT	-	0,6	ME 2Q	2	±2,09	kWh por segmento, kvarh por segmento opcional
Medição de uso temporário	BT, MT, AT	0,3	0,3	ME 2Q ou ME 4Q (*)	1	1,14 ou -1,04	kW; kWh; kvar; kvarh; Vrms; Irms; MM
Levantamento de curva de carga	BT, MT, AT	0,3	0,3	ME 2Q ou ME 4Q (*)	1	1,14 ou -1,04	kW; kvar; MM
Medição de QEE	BT, MT, AT	0,3	0,3	ME 2Q ou ME 4Q (*)	1	1,14 ou -1,04	Fator de potência; VTCD; interrupções; harmônicas; desequilíbrio, flutuação; MM de Vrms por fase

LEGENDA			
MEM A	Medidor eletromecânico de energia ativa		
MEM R	Medidor eletromecânico de energia reativa		
MEM RO	Medidor eletromecânico de energia reativa opcional		
MEM A DM	Medidor eletromecânico de energia ativa com registrador de demanda máxima		
MM	Memória de massa		
ME	Medidor eletrônico exclusivo para aplicação em BT		
ME 2Q	Medidor eletrônico com medição em dois quadrantes		
ME 2QR	Medidor eletrônico com medição em dois quadrantes e excedentes de reativo		
ME 4Q	Medidor eletrônico com medição em quatro quadrantes		
ME 4QR	Medidor eletrônico com medição em quatro quadrantes e excedentes de reativo		
UFER	Unidade de faturamento de energia reativa		
DMCR	Demanda máxima corrigida		
BT	Baixa tensão: tensão igual ou inferior a 1 kV		
MT	Média tensão: tensão superior a 1 kV e inferior a 69 kV		
AT	Alta tensão: tensão igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV		
(*)	Nota: Caso haja possibilidade de se ter fluxo de energia nos dois sentidos no ponto de medição, o medidor deve então possuir capacidade de medição em quatro quadrantes.		
Incerteza	$e(\%) = 0,05 \pm \sqrt{M^2 + Tc^2 + Tp^2}$ Nota: As classes de exatidão do medidor, TC e TP, são consideradas incertezas "padrão" com base na Avaliação Tipo B do Guia. Referência: Guia para Expressão da Incerteza de Medição – ABNT/INMETRO	M	Incerteza padrão do medidor
		Tc	Incerteza padrão do TC
		Tp	Incerteza padrão do TP
	0,05		Erro sistemático, que é imposto pela resistência do cabo do TP

Principalmente para consumidores do grupo A devem os medidores ser capazes de medir diversas grandezas que indicam a qualidade da energia.

3.15.1 Os medidores eletrônicos utilizados para avaliação de indicadores de qualidade de energia elétrica – QEE deverão respeitar os parâmetros e metodologias de medição estabelecidos no Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica.

4 REQUISITOS TÉCNICOS MÍNIMOS PARA OS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

Todos medidores que as concessionárias de energia são responsáveis por instalar devem ser aprovados.

4.1.1.3 Modelos aprovados.

- a) os medidores de energia ativa devem ter seus modelos aprovados por portaria específica emitida pelo INMETRO;
- b) os modelos de medidores de energia reativa devem ser aprovados pelas distribuidoras com base nas normas pertinentes;

4.1.2 Medidores eletrônicos de energia elétrica para conexão de acessantes do Grupo A.

4.1.2.2 Os medidores devem possuir dispositivos ou atributos para leituras, respeitando:

- d) registro com data e hora das últimas 15 interrupções de energia e 15 ocorrências de alterações realizadas na programação do medidor;

Para fazer a apuração da energia consumida e conta a ser paga, os medidores devem medir a energia ativa que é o principal numeral indicador do consumo, já a energia reativa é medida para fins de aplicação de multa caso haja baixo fator de potência, já a demanda é calculada para medir se ocorreu excesso de consumo em relação à demanda contratada e disto aplicar multa, quando cabível devem ser registrados pelo medidor aspectos da qualidade da energia

4.1.2.3 Grandezas a serem medidas:

- a) os medidores eletrônicos devem registrar pelo menos as seguintes grandezas elétricas: energia ativa, energia reativa, demanda;
- b) Para a medição em quatro quadrantes, os medidores devem disponibilizar registros independentes para o fluxo direto e inverso;
- c) opcionalmente os medidores podem ser providos de saída específica para as medições instantâneas de potência ativa e reativa, fator de potência, corrente, tensão e frequência;
- d) para uso em tarifa horosazonal, os sistemas de medição devem disponibilizar o cálculo do consumo de energia elétrica e demanda de potência reativas excedentes, de acordo com o método de medição especificado no Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica

4.1.3 Medidores com memória de massa.

Os medidores devem ter tempo de integração de 5 minutos, e que normalmente um medidor deve permitir o ajuste para outros valores, como 10, 15, 30 ou 60 minutos dependendo da parametrização necessária para a medição e faturamento. Significa que a cada 5 minutos o medidor registra um valor de energia consumido e que os registros devem durar 37 dias.

4.1.3.1 Os medidores devem ter memória de massa com capacidade de armazenar os dados de energia ativa, reativa, demanda e tensão, considerado o fluxo direto de energia e o fluxo inverso de energia, conforme o uso, em intervalos de 5 minutos;

4.1.3.2 O armazenamento da memória de massa deve ser de 37 (trinta e sete) dias; entretanto, para os medidores com aquisição remota diária de leituras, tipicamente dos pontos de medição contabilizados na CCEE, o armazenamento pode ser de, no mínimo, 32 (trinta e dois) dias.

Os medidores devem ser capazes de receberem programação dos horários de posto tarifário ponta e intermediário e fora de ponta para fins de tarifação diferenciada de acordo com o momento do consumo, devem ser capazes de medir fator de potência para finalidade de avaliar aplicabilidade de multa, deve ser capaz de receber programação do tempo de integração da energia, e nos casos aplicáveis devem medir a qualidade da energia.

4.1.3.6 Os medidores que operam com software específico de programação, leitura, totalização dos dados e emissão de relatórios devem possibilitar no mínimo:

- a) a programação de posto tarifário, horário de verão, fator de potência, constantes, relação de transformação, parâmetros de compensação de perdas, quando for o caso, e demais parâmetros necessários;
- b) a programação da demanda em intervalos de 5 (cinco), 15 (quinze), 30 (trinta) e 60 (sessenta) minutos;
- f) a aquisição dos dados de qualidade de energia elétrica, nos medidores que forem providos desta função.

4.1.4 Medidores eletrônicos de energia elétrica para conexão de consumidores do Grupo B.

4.1.4.3 Os medidores eletrônicos de conjuntos de medição devem ser providos de dispositivos que disponibilizem as leituras individualmente para os consumidores.

4.1.4.4 Quanto às grandezas a medir:

- a) os medidores devem registrar a energia ativa em fluxo direto e quando aplicável devem registrar a energia reativa;
- b) quando aplicáveis, podem registrar corrente de neutro, demanda, energia ativa em fluxo inverso, indicadores de QEE e status da condição da tampa do medidor;
- c) quando aplicável, podem ser providos de memória de massa para registro de dados para curvas de carga.

4.2 Medição de Qualidade de Energia

4.2.1 Para verificação de nível de tensão em regime permanente, deve-se utilizar Registradores Digitais de Tensão (RDT), ou medidores de faturamento que atendam as características mínimas descritas no Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica.

4.2.2 O software de análise dos Registros do Digitais de Tensão - RDT deve apresentar no mínimo as seguintes informações:

- I - valores calculados dos indicadores individuais;
- II - tabela de medição;
- III - histograma de tensão.

SEÇÃO 5.3 – IMPLANTAÇÃO, INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO

2.1 O processo de implantação dos sistemas de medição é constituído de várias etapas, tais como a elaboração do projeto e a aquisição dos equipamentos, a aprovação do projeto pela distribuidora, quando exigido,

2.3 Os consumidores livres e demais acessantes devem observar de forma complementar as orientações e as responsabilidades estabelecidas nos Procedimentos de Rede e Regras e Procedimentos de Comercialização, pertinentes a implantação, inspeção e manutenção dos sistemas de medição.

3 IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO

3.1 Responsabilidades das distribuidoras.

3.1.1 Para com todos os consumidores.

3.1.1.1 Efetivado o pedido de fornecimento, a distribuidora cientificará quanto à obrigatoriedade de instalação, pelo interessado, em locais apropriados de livre e fácil acesso, de caixas, quadros, painéis ou cubículos destinados à instalação de medidores,

transformadores de medição e outros aparelhos da distribuidora, necessários à instalação do sistema de medição de energia elétrica e proteção destas instalações;

3.1.1.2 Fornecer os medidores e demais equipamentos de medição, exceto quando previsto em contrário em legislação específica e respeitando o disposto no Item 3 da Seção 5.1 deste Módulo.

3.1.2 Para com os consumidores do Grupo B.

3.1.2.1 Fornecer e arcar com o ônus de toda a instalação do sistema de medição, quando optar pela instalação dos equipamentos de medição, externamente às áreas das unidades consumidoras.

3.2 Responsabilidades dos consumidores.

3.2.2 Construir nas unidades consumidoras o abrigo destinado exclusivamente à instalação de equipamentos de proteção, transformação e medição, quando forem utilizados equipamentos de uso interno.

3.2.5 Instalar as caixas de medição, equipamentos de proteção e sistemas de aterramento, atendendo todos os requisitos pertinentes a cada tipo de padrão de entrada especificados nas normas das distribuidoras.

3.2.6 Condomínios ou conjunto de edificações, constituídos por uma só unidade consumidora e que desejem a individualização de suas medições, devem realizar as adequações necessárias nas suas instalações internas.

3.5 Procedimentos de implantação de sistemas de medição em unidades consumidoras atendidas em BT.

3.5.5 Para os casos de medição indireta, quando exigido, o consumidor deve apresentar à distribuidora o projeto do sistema de medição, elaborado por profissional habilitado e com a Anotação de Responsabilidade Técnica – ART do Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura - CREA.

A medição indireta de energia elétrica é comum em grandes consumidores, como indústrias e edifícios comerciais de médio e grande porte, o projeto deve estar acompanhado da devida Anotação de Responsabilidade Técnica (ART)

3.7 Para os procedimentos de implantação de sistemas de medição em unidades consumidoras de consumidores livres e conexões dos demais acessantes, deve-se observar o disposto nos Procedimentos de Rede.

5 TRATAMENTO DAS INFORMAÇÕES

5.3 A distribuidora deve estar preparada para disponibilizar, no mínimo, as seguintes informações relativas aos sistemas de medição para faturamento, exceto para consumidores do Grupo B:

- a) demanda;
- b) consumos de energia elétrica ativa e reativa;
- c) fator de potência;
- d) excedentes de energia;
- e) demandas reativas;
- f) na falta destes dados, deverá ser informado o critério utilizado na estimativa.

5.6 Os sistemas de medição que atuam na aferição da qualidade de energia do sistema de distribuição devem fornecer as seguintes informações:

- a) tensão RMS fase neutro, por fase ou fase-fase;
- b) fator de potência;
- c) distorções harmônicas;
- d) desequilíbrio de tensão;
- e) flutuação de tensão;
- f) variações de tensão de curta duração;
- g) interrupções.

Um sistema de distribuição de energia elétrica é composto pela infraestrutura que conecta as subestações da concessionária de energia aos consumidores finais, transportando a eletricidade pelas redes de média e baixa tensão. O sistema de distribuição é composto por subestações de distribuição que rebaixam a tensão, redes primárias (média tensão) que levam a energia para os bairros, e redes secundárias (baixa tensão) que a distribuem para as residências e pequenos comércios.

5.3 Despacho ANEEL nº 3.424/2022, Submódulo 2.14. Requisitos mínimos para o Sistema de Medição para Faturamento.

1. OBJETIVO

1.1. Estabelecer os requisitos para o Sistema de Medição para Faturamento (SMF), inclusive para a comunicação de dados, recursos de programação, medição de retaguarda, localização dos pontos de medição e arquitetura básica do SMF.

2.1.3. O SMF deve medir e registrar as energias, demandas, tensões, correntes e frequências presentes no ponto de conexão para os possíveis sentidos do fluxo de potência ativa e reativa.

2.1.4. O SMF deve ser instalado em painel ou cubículo exclusivo, localizado nas salas de comando das subestações, ou em abrigos apropriados próximos aos TI, nos quais devem ser instalados os medidores, inclusive o medidor de retaguarda, devendo-se segregar, quando possível, SMF de propriedade de agentes de medição distintos.

2.2. Medidores

Características elétricas

2.2.1.1. Os medidores devem ser polifásicos, atendendo às ligações a 3 (três) ou 4 (quatro) fios, conforme o sistema de potência trifásico considerado.

Classe de exatidão

2.2.2.1. Os medidores devem atender a todos os requisitos metrológicos pertinentes ao índice de classe D (0,2) prescritos em regulamento técnico específico [1], ou aquele que vier substituí-lo, para todos os sentidos de fluxo de potência ativa ou reativa.

Grandezas a medir

2.2.4.1. Os medidores devem permitir a medição e o registro de pelo menos as seguintes grandezas elétricas:

- (a) energia ativa e energia reativa com resolução de 3 (três) casas decimais;
- (b) tensão e corrente RMS por fase com resolução de 2 (duas) casas decimais;
- (c) demanda ativa e demanda reativa, de forma bidirecional, com pelo menos 4 (quatro) registros

independentes, 2 (dois) para cada sentido de fluxo (quatro quadrantes), com resolução de 3 (três) casas decimais; e

(d) frequência com resolução de 2 (duas) casas decimais.

5.4 Resolução Normativa Aneel N° 956, de 7 de Dezembro de 2021

Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica

1 OBJETIVO

1.1 Estabelecer os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica - QEE, abordando a qualidade do produto e a qualidade do serviço prestado e a qualidade do tratamento de reclamações.

1.2 Para a qualidade do produto, este módulo define a terminologia e os indicadores, caracteriza os fenômenos, estabelece os limites ou valores de referência, a metodologia de medição, a gestão das reclamações relativas à conformidade de tensão em regime permanente e às perturbações na forma de onda de tensão e os estudos específicos de qualidade da energia elétrica para fins de acesso aos sistemas de distribuição.

1.5 Descrever os estudos sobre a qualidade do produto para fins de acesso aos sistemas de distribuição.

2 ABRANGÊNCIA

2.1 Os procedimentos de qualidade da energia elétrica definidos neste módulo devem ser observados por:

- a) consumidores com instalações conectadas em qualquer classe de tensão de distribuição;
- b) centrais geradoras;
- c) distribuidoras;
- d) agentes importadores ou exportadores de energia elétrica;
- e) transmissoras detentoras de Demais Instalações de Transmissão – DIT;
- f) Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS.

2.2 Os procedimentos de qualidade da energia elétrica definidos neste módulo se aplicam aos atendimentos realizados por Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI e Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes – SIGFI, exceto o que estiver disposto em Resolução específica.

SEÇÃO 8.1 – QUALIDADE DO PRODUTO

1 OBJETIVO

1.1 Tratar os seguintes fenômenos da qualidade do produto em regime permanente ou transitório:

- a) Permanente

- i. tensão em regime permanente;
- ii. fator de potência;
- iii. harmônicos;
- iv. desequilíbrio de tensão;
- v. flutuação de tensão;
- vi. variação de frequência.

b) Transitório

- i. variações de tensão de curta duração - VTCD;

1.2 Definir os fenômenos da qualidade do produto, estabelecendo os seus indicadores e o seus valores de referência ou limites.

1.3 Estabelecer aspectos relacionados à instrumentação e à metodologia de medição dos fenômenos da qualidade do produto.

2.2 Avaliação da tensão em regime permanente

2.2.1 A tensão em regime permanente deve ser avaliada por meio de um conjunto de leituras obtidas por medição apropriada, de acordo com a metodologia descrita para os indicadores individuais e coletivos, nas modalidades descritas no item 9.2.1.

2.2.2 A conformidade dos níveis de tensão deve ser avaliada nos pontos de conexão à Rede de Distribuição, nos pontos de conexão entre distribuidoras e nos pontos de conexão com as unidades consumidoras, por meio dos indicadores estabelecidos neste Módulo.

2.3 Caracterização dos fenômenos e parâmetros

2.3.1 Com relação aos valores de referência:

- a) os valores de tensão obtidos por medições devem ser comparados à tensão de referência, a qual deve ser a tensão nominal ou a contratada, de acordo com o nível de tensão do ponto de conexão;
- b) os valores nominais devem ser fixados em função dos níveis de planejamento do sistema de distribuição de modo que haja compatibilidade com os níveis de projeto dos equipamentos elétricos de uso final;

2.3.2.3 Com relação às tensões contratadas junto à distribuidora:

c) a tensão a ser contratada nos pontos de conexão pelos acessantes atendidos em tensão igual ou inferior a 1 kV deve ser a tensão nominal do sistema.

4 FATOR DE POTÊNCIA

$$fp = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad \text{ou} \quad \frac{EA}{\sqrt{EA^2 + ER^2}}$$

3.1.2 O controle do fator de potência deve ser efetuado por medição permanente e obrigatória no caso de unidades consumidoras atendidas pelo SDMT e SDAT e nas conexões entre distribuidoras, ou por medição individual permanente e facultativa nos casos de unidades consumidoras do Grupo B com instalações conectadas pelo SDBT, observando o disposto em regulamentação.

3.2.1 Para unidade consumidora ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 (noventa e dois centésimos) e 1,00 (um) indutivo ou 1,00 (um) e 0,92 (noventa e dois centésimos) capacitivo, de acordo com regulamentação vigente.

5 DISTORÇÕES HARMÔNICAS

$$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} V_h^2}}{V_1} \times 100$$

sendo:

h = todas as ordens harmônicas de 2 até h_{máx}.

h_{máx} = conforme a classe A ou S.

4.1.1 As distorções harmônicas são fenômenos associados a deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental.

4.3.1 Os limites para as distorções harmônicas totais constam na Tabela 2.

Tabela 2 – Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental).

Indicador	Tensão nominal		
	$V_n \leq 1,0 \text{ kV}$	$1,0 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
DTT _{95%}	10,0%	8,0%	5,0%
DTT _{p95%}	2,5%	2,0%	1,0%
DTT _{i95%}	7,5%	6,0%	4,0%
DTT _{395%}	6,5%	5,0%	3,0%

5 DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

5.1.1 O desequilíbrio de tensão é o fenômeno caracterizado por qualquer diferença verificada nas amplitudes entre as três tensões de fase de um determinado sistema trifásico, e/ou na defasagem elétrica de 120° entre as tensões de fase do mesmo sistema.

5.2.2 A expressão para o cálculo do desequilíbrio de tensão é:

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} 100$$

V- é a Magnitude da tensão eficaz de sequência negativa – frequência fundamental

V+ é a Magnitude da tensão eficaz de sequência positiva – frequência fundamental

5.3.1 Os limites para o indicador de desequilíbrio de tensão estão apresentados na Tabela 4 a seguir:

Tabela 4 – Limites para os desequilíbrios de tensão.

Indicador	Tensão nominal	
	$V_n \leq 1,0 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < V_n < 230 \text{ kV}$
FD _{95%}	3,0%	2,0%

6 FLUTUAÇÃO DE TENSÃO

6.1.1 A flutuação de tensão é um fenômeno caracterizado pela variação aleatória, repetitiva ou esporádica do valor eficaz ou de pico da tensão instantânea.

6.1.2 A determinação da qualidade da tensão do sistema de distribuição quanto à flutuação de tensão tem por objetivo avaliar o incômodo provocado pelo efeito da cintilação luminosa no consumidor, que tenha em sua unidade consumidora pontos de iluminação alimentados em baixa tensão.

7 VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA

7.1 O sistema de distribuição e as instalações de geração conectadas ao mesmo devem, em condições normais de operação e em regime permanente, operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz.

8 VARIAÇÃO DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO

8.1.1 Variações de tensão de curta duração (VTCD) são desvios significativos na amplitude do valor eficaz da tensão durante um intervalo de tempo inferior a três minutos.

8.1.2 As variações de tensão de curta duração são classificadas de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 - Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Temporário de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior a 1,1 p.u

9 INSTRUMENTAÇÃO E METODOLOGIA DE MEDIÇÃO

9.1 Obtenção das leituras.

9.1.1 As leituras devem ser obtidas por meio de equipamentos que operem segundo o princípio da amostragem digital.

9.1.2 Um único instrumento de medição poderá ser utilizado para medir todos os fenômenos da qualidade do produto.

9.1.3 Os instrumentos de medição devem atender os seguintes requisitos mínimos:

b) Método de medição Classe A ou S, conforme norma vigente da IEC 61000-4-30.

9.1.3.1 Alternativamente até o ano de 2030, para a medição de tensão em regime permanente, poderão ser utilizados instrumentos com precisão de até 1% da leitura e os valores eficazes podem ser calculados a partir de amostras coletadas em janelas sucessivas. Cada janela compreenderá uma sequência de doze ciclos (0,2 segundos) a quinze ciclos (0,25 segundos).

9.1.3.2 Os instrumentos de medição Classe S poderão ser utilizados em quaisquer aplicações, excetuando-se as situações contratuais envolvendo a solução de disputas específicas ou as questões judiciais em que deverão ser utilizados os instrumentos Classe A.

9.1.5 O espectro harmônico a ser considerado para fins do cálculo das expressões relacionadas com a distorção harmônica total de tensão deve compreender uma faixa de frequências que considere desde a componente fundamental até pelo menos a 40ª ordem harmônica.

9.1.6 O conjunto de leituras para gerar os indicadores da qualidade do produto de regime permanente (distorções harmônicas, flutuação de tensão e desequilíbrio de tensão) deve compreender o registro de 1008 (mil e oito) leituras válidas obtidas em intervalos consecutivos (período de agregação) de 10 minutos cada.

9.5 Fator de Potência

9.5.1 Os registros dos valores reativos deverão ser feitos por instrumentos de medição adequados, preferencialmente eletrônicos, empregando o princípio da amostragem digital e aprovados pelo órgão responsável pela conformidade metrológica.

5.5 Submódulo 2.9. Requisitos mínimos de qualidade de energia elétrica para acesso ou integração à Rede Básica. Despacho ANEEL nº 2.852/2022

O Submódulo 2.9 do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS estabelece os requisitos mínimos de qualidade de energia elétrica (QEE) para a conexão de novas instalações à Rede Básica, focando nos indicadores de distorção harmônica de tensão, desequilíbrio e flutuação de tensão.

O submódulo também detalha a necessidade de estudos prévios e medições para avaliar o desempenho dos projetos e determina que instalações não lineares ou especiais devem ser avaliadas individualmente.

1. OBJETIVO

1.1. Apresentar os requisitos a serem atendidos por instalações que contenham elementos cujas características não lineares ou especiais possam vir a ocasionar distorções relativas à Qualidade de Energia (QEE) na Rede Básica.

Rede Básica é Um conjunto de instalações de transmissão de alta tensão, incluindo linhas e subestações, que fazem parte do Sistema Interligado Nacional (SIN).

2. REQUISITOS PARA OS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

2.1. O desempenho do instrumento de medição utilizado no processo de apuração dos indicadores deve ser compatível com equipamento classe A de norma IEC[1], bem como seguir o estabelecido nas publicações listadas a seguir, o que deve ser comprovado segundo critérios a serem estabelecidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS:

- (a) Flutuação de tensão: norma IEC [2]; e
- (b) Distorção harmônica de tensão: norma IEC [3].

5. REFERÊNCIAS

- [1] IEC, “Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods”. IEC 61000-4-30.
- [2] IEC, “Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specifications”. IEC 61000-4-15.

- [3] IEC, “Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto”. IEC 61000-4-7.
- [4] IEC, “Wind turbines - Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines”. IEC 61400-21.
- [5] IEC, “Instrument transformers - The use of instrument transformers for power quality measurement”. IEC/TR 61869-103.
- [6] ONS, “Instruções para realização de estudos e medições de QEE relacionados aos acessos à Rede Básica ou nos barramentos de fronteira com a Rede Básica para parques eólicos, solares, consumidores livres e distribuidoras”. ONS NT 009/2016-Rev. 02, março de 2018

2.3.7. Para atender aos requisitos para avaliação da QEE, os medidores devem apresentar taxa de amostragem de pelo menos 16 amostras por ciclo e conversor A/D (Analógico/Digital) de pelo menos 12 bits.

2.3.8. Medidores específicos de QEE devem ser instalados em barramentos sob responsabilidade de concessionárias de transmissão de energia elétrica indicados pelo ONS, desde que não haja Sistema de Medição para Faturamento - SMF instalado nesse barramento que contemple o indicador a ser monitorado.

3. REQUISITOS DE DESEMPENHO QUANTO AOS INDICADORES DE QEE

3.1. Indicadores de continuidade de serviço

3.2. Indicadores de frequência

3.3. Indicadores de tensão de atendimento em regime permanente

3.4. Indicadores de desempenho da flutuação, desequilíbrio e distorção harmônica de tensão

3.5. Indicadores de Variação de Tensão de Curta Duração – VTCD

4. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE INSTALAÇÃO QUE CONTENHA ELEMENTO NÃO LINEAR OU ESPECIAL EM PROCESSO DE ACESSO OU DE INTEGRAÇÃO À REDE BÁSICA QUANTO A QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA - QEE

4.1. Individualização de instalação não linear ou especial para avaliação de desempenho

4.1.1. As instalações que contenham elementos não lineares ou especiais, que se conectam às instalações sob responsabilidade de concessionária de transmissão, diretamente ou através de

um sistema de transmissão de uso exclusivo, compartilhado ou não, devem ser tratadas de forma individual, no que diz respeito à avaliação no PAC do seu desempenho quanto à QEE.

4.2. Estudos para avaliação de desempenho quanto a QEE

4.2.2. Os requisitos de distorção harmônica de tensão devem ser atendidos para qualquer valor de impedância que pertença ao Lugar Geométrico representativo da rede externa, como detalhado no Submódulo 2.3 – Premissas, critérios e metodologias para estudos elétricos.

4.3. Campanha de medição para avaliação de desempenho quanto a QEE

4.3.1. As campanhas de medição de tensão têm por objetivo apurar os valores dos indicadores de flutuação, desequilíbrio e distorção harmônica de tensão no Ponto de Acoplamento Comum - PAC.

4.3.2. Dependendo das características da instalação e da sua conexão, também devem ser medidos valores de correntes harmônicas obtidos através de campanha de corrente. Essas correntes harmônicas são obtidas na saída dos aerogeradores e dos inversores das células fotovoltaicas, inclusive se essas fontes constituírem centrais geradoras híbridas ou associadas. As medições de corrente, especificamente para parques eólicos e solares fotovoltaicos deverão ser realizadas de acordo com os requisitos estabelecidos por norma IEC [4].

4.3.3. Uma campanha de medição de tensão deve ter duração de 7 (sete) dias consecutivos, de acordo com protocolo de apuração estabelecido para o indicador em análise, considerando os valores dos indicadores integralizados em intervalos de 10 (dez) minutos.

4.3.4. A campanha de corrente, por sua vez, tem por finalidade permitir reavaliar o estudo de desempenho da instalação quanto à distorção harmônica de tensão e é realizada somente para parques eólicos e solares fotovoltaicos, inclusive quando esses empreendimentos constituírem parte de centrais geradoras híbridas ou associadas.

4.3.5. Outra campanha a ser realizada para parques eólicos e solares fotovoltaicos, inclusive quando esses empreendimentos constituírem parte de centrais geradoras híbridas ou Associadas, é a de monitoramento dos níveis de distorções harmônicas de tensão.

5.6 Norma ABNT NBR 5410:2004

Estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens.

O projeto e execução e manutenção de instalações elétricas residenciais e prediais deve atender à norma NBR 5410, a norma descreve também parâmetros de classificação da confiabilidade do sistema elétrico, sendo a seguir explicitados os requisitos principais desta norma.

Objetivo

1.1 Esta Norma estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens.

Esta Norma aplica-se:

a) Aos circuitos elétricos alimentados sob tensão nominal igual ou inferior a 1000 V em corrente alternada, com frequências inferiores a 400 Hz, ou a 1500 V em corrente contínua;

Tal norma é aplicada às instalações mais comuns, pois a energia fornecida à maior parcela de consumidores é em tensão de 127 V ou 220 V com frequência de 60 Hz.

1.2.3 Esta Norma aplica-se às instalações novas e às reformas em instalações existentes.

É explicitado que as reformas de instalações elétricas devem ser de acordo com a norma de forma que é necessário atualizar instalações realizadas sob regras já obsoletas, sendo assim não se pode apenas deter-se em fazer de trocar partes antigas danificadas por componentes novos, pois os critérios atualizados contidos em norma devem ser atendidos.

3.2 Proteção contra choques elétricos

3.2.2 Proteção básica: Meio destinado a impedir contato com partes vivas perigosas em condições normais.

Os métodos de proteção básica incluem proteção básica contra contato direto e de proteção básica contra sobretensões.

Exemplos de proteção básica contra contato direto:

- Isolação básica: Impedir que partes vivas perigosas fiquem expostas.
- Fita isolante: Emendando fios e cabos.
- Conectores: Utilizando conectores apropriados para unir condutores.
- Barreiras ou invólucros: Proteger contra o contato direto com as partes vivas, por exemplo uso de caixas de distribuição e painéis.
- Caixas de passagem: Usar caixas com tampa para proteger emendas e conexões elétricas.
- Painéis elétricos: A carcaça metálica dos painéis que envolve os componentes internos impede o contato.
- Separação básica: Separar eletricamente circuitos para diferentes tipos de usos como fazer os circuitos de iluminação separados dos circuitos de tomadas e fazer que circuitos de alto consumo de corrente sejam postos em separados dos outros.
- Circuitos isolados: É exigido em certos projetos para garantir que um circuito não esteja eletricamente conectado ao outro.

Exemplos de proteção básica contra sobretensões:

- Limitação de tensão: Reduzir o risco de choque elétrico através de níveis de tensão mais baixos.
- Equipamentos de extra baixa tensão (SELV/PELV): Utilizar sistemas que operam com tensões seguras em áreas sensíveis.
- Fazer uso de aterramento: em caso de falha a corrente é desviada para a terra.
- Usar DPS: colocar cada disjuntor em série com um DPS cria proteção adicional e evita do disjuntor geral desligue.

3.2.3 Proteção supletiva: Meio destinado a suprir a proteção contra choques elétricos quando massas ou partes condutivas acessíveis tornam-se acidentalmente vivas.

A proteção supletiva age quando a proteção básica falha, age impedindo que partes condutivas acessíveis e massas se tornem acidentalmente energizadas, sendo exemplos a equipotencialização, seccionamento automático, isolamento suplementar, separação elétrica.

Alguns exemplos são:

- Equipotencialização e seccionamento automático: A equipotencialização liga todas as partes condutivas acessíveis a um ponto de aterramento comum, ocorre que se uma falha energizar uma massa o seccionamento automático interrompe a energia do circuito.

- Isolação suplementar: Utiliza equipamentos com dupla isolamento, que oferece uma proteção adicional mesmo se a isolamento básica falhar.

- Separação elétrica: Usa um transformador isolador para separar fisicamente o circuito principal do circuito secundário, impedindo a transferência de corrente em caso de falha.

3.2.4 Proteção adicional: Meio destinado a garantir a proteção contra choques elétricos em situações de maior risco de perda ou anulação das medidas normalmente aplicáveis, de dificuldade no atendimento pleno das condições de segurança associadas a determinada medida de proteção e/ou, ainda, em situações ou locais em que os perigos do choque elétrico são particularmente graves.

As principais formas de proteção adicional incluem a equipotencialização suplementar e o uso de dispositivos diferenciais residuais (DR) de alta sensibilidade (30mA).

3.2.5 dispositivos de proteção a corrente diferencial-residual (formas abreviadas: dispositivo a corrente diferencial-residual, dispositivo diferencial, dispositivo DR): Dispositivo de seccionamento mecânico ou associação de dispositivos destinada a provocar a abertura de contatos quando a corrente diferencial residual atinge um valor dado em condições especificadas.

NOTA A equipotencialização é um recurso usado na proteção contra choques elétricos e na proteção contra sobretensões e perturbações eletromagnéticas.

A equipotencialização protege contra sobretensões e perturbações eletromagnéticas, sendo realizada conectando as massas e elementos condutores de uma edificação para que estejam o mais próximo possível do potencial da terra.

4.1.8 Seccionamento.

A alimentação da instalação elétrica, de seus circuitos e de seus equipamentos deve poder ser seccionada para fins de manutenção, verificação, localização de defeitos e reparos. O seccionamento pode ser realizado usando um disjuntor geral ou mesmo com os disjuntores de cada circuito.

4.1.13 Instalação dos componentes

Toda instalação elétrica requer uma cuidadosa execução por pessoas qualificadas, de forma a assegurar, entre outros objetivos, que:

- As características dos componentes da instalação, como indicado em 4.1.11, não sejam comprometidas durante sua montagem;
- Os componentes da instalação, e os condutores em particular, fiquem adequadamente identificados;
- Nas conexões, o contato seja seguro e confiável; - Os componentes sejam instalados preservando-se as condições de resfriamento previstas;
- Os componentes da instalação suscetíveis de produzir temperaturas elevadas ou arcos elétricos fiquem dispostos ou abrigados de modo a eliminar o risco de ignição de materiais inflamáveis; e
- As partes externas de componentes sujeitas a atingir temperaturas capazes de lesionar pessoas fiquem dispostas ou abrigadas de modo a garantir que as pessoas não corram risco de contatos acidentais com essas partes.

As instalações elétricas devem ser feitas por pessoas qualificadas devido que os riscos de mau funcionamento futuro e incêndio e choques em usuários é alto quando não executadas corretamente.

4.1.15 Qualificação profissional

O projeto, a execução, a verificação e a manutenção das instalações elétricas devem ser confiados somente a pessoas qualificadas a conceber e executar os trabalhos em conformidade com esta Norma.

4.2.1.2 Previsão de carga

A previsão de carga de uma instalação deve ser feita obedecendo-se às prescrições de 4.2.1.2.1 a 4.2.1.2.3.

4.2.1.2.1 Geral:

a) a carga a considerar para um equipamento de utilização é a potência nominal por ele absorvida, dada pelo fabricante ou calculada a partir da tensão nominal, da corrente nominal e do fator de potência;

4.2.1.2.2 Iluminação:

b) para os aparelhos fixos de iluminação a descarga, a potência nominal a ser considerada deve incluir a potência das lâmpadas, as perdas e o fator de potência dos equipamentos auxiliares.

A corrente elétrica que se usa para cálculo de limites dos cabos é em relação à potência aparente que considera a soma da potência ativa e potência reativa e perdas dos aparelhos,

$$P_{VA} = (P_{watts} / FP) \times (1 / \text{rendimento})$$

4.2.1.2.3 Pontos de tomada:

a) em locais de habitação, os pontos de tomada devem ser determinados e dimensionados de acordo com 9.5.2.2;

b) em *halls* de serviço, salas de manutenção e salas de equipamentos, tais como casas de máquinas, salas de bombas, barriletes e locais análogos, deve ser previsto no mínimo um ponto de tomada de uso geral.

Aos circuitos terminais respectivos deve ser atribuída uma potência de no mínimo 1000 VA;

c) quando um ponto de tomada for previsto para uso específico, deve ser a ele atribuída uma potência igual à potência nominal do equipamento a ser alimentado ou à soma das potências nominais dos equipamentos a serem alimentados.

4.2.2 Esquema de distribuição

O esquema de distribuição pode ser classificado de acordo com os seguintes critérios:

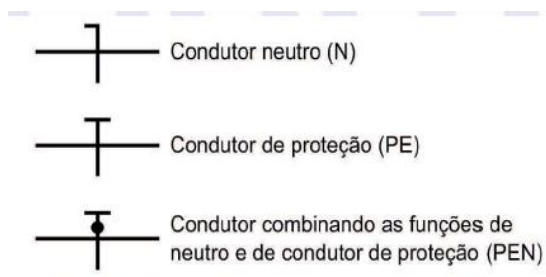
- a) esquema de condutores vivos;
- b) esquema de aterramento.

Os diagramas elétricos devem ter todos os condutores identificados sejam eles classificados em condutores de vivo e de neutro e de aterramento (proteção).

4.2.2.2 Esquema de aterramento

Nesta Norma são considerados os esquemas de aterramento descritos em 4.2.2.2.1 a 4.2.2.3, cabendo as seguintes observações sobre as ilustrações e símbolos utilizados:

Figura 25: Simbologia usadas para condutores com função de aterramento



b) na classificação dos esquemas de aterramento é utilizada a seguinte simbologia:

- Primeira letra – Situação da alimentação em relação à terra:

T = um ponto diretamente aterrado;

I = isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de impedância;

- Segunda letra – Situação das massas da instalação elétrica em relação à terra:

T = massas diretamente aterradas, independentemente do aterramento eventual de um ponto da alimentação;

N = massas ligadas ao ponto da alimentação aterrado (em corrente alternada, o ponto aterrado é normalmente o ponto neutro);

- Outras letras (eventuais) – Disposição do condutor neutro e do condutor de proteção:

S = funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos;

C = funções de neutro e de proteção combinadas em um único condutor (condutor PEN).

Os esquemas de aterramento podem então ser classificados nos seguintes tipos:

Esquema TN: TN-S, TN-C-S, TN-C

Esquema TT

Esquema IT

Figura 26: Esquema TN-S

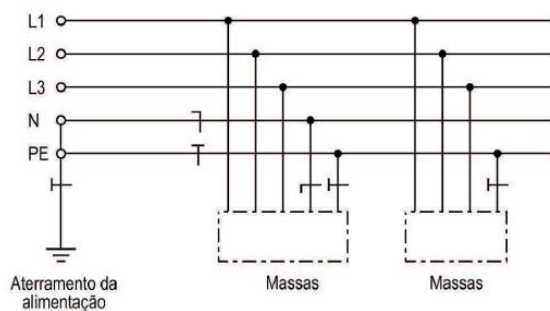


Figura 27: Esquema TN-C

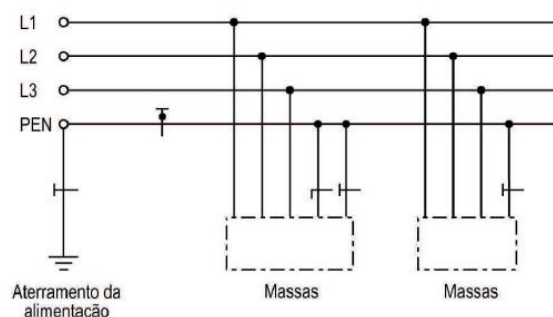


Figura 28: Esquema TT

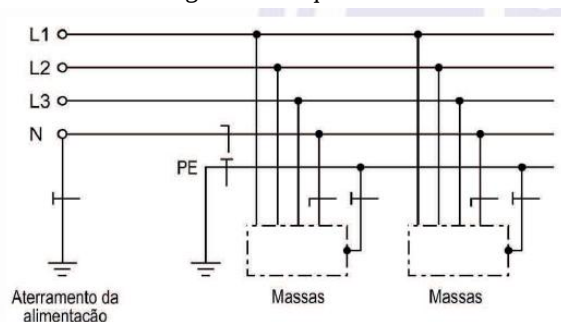


Figura 29: Esquema IT

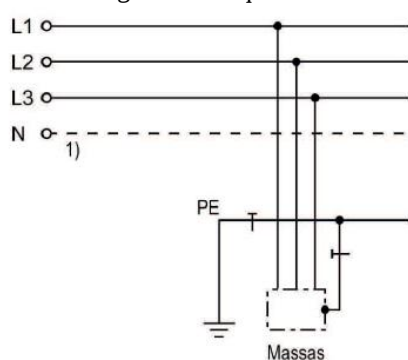
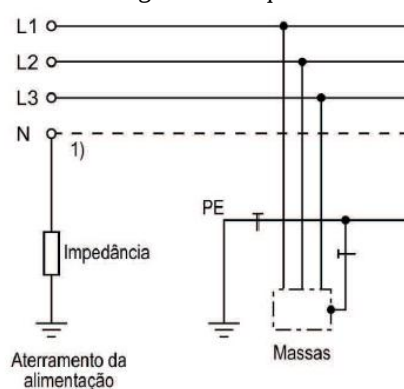


Figura 30: Esquema IT



TN-S (Neutro e Terra Separados).

Vantagens: A separação completa entre neutro (N) e condutor de proteção (PE) reduz a circulação de correntes no condutor de proteção, aumenta a confiabilidade e a segurança. É a opção preferida para instalações de alta segurança, como hospitais e indústrias.

TN-C (Neutro e Terra Combinados em Toda a Instalação).

Vantagens: É a solução mais econômica, pois utiliza um único condutor para as funções de neutro e terra em toda a instalação.

Esquema TT

Vantagens: Proporciona segurança elevada, com cada circuito possuindo um eletrodo de aterramento independente, o que reduz a interferência eletromagnética. É adequado para instalações de baixa tensão, como residências e pequenos comércios. O uso obrigatório de um Dispositivo de Corrente de Fuga (DR) garante a proteção contra choques elétricos, desligando o circuito em caso de falhas.

Esquema IT

Vantagens: Oferece segurança operacional máxima, sendo a melhor opção para locais que não podem sofrer interrupção, como hospitais e processos industriais críticos. A primeira falha não causa interrupção do fornecimento de energia, pois a instalação é isolada da terra ou aterrada através de um componente de impedância, garantindo a continuidade do serviço. Permite a localização precisa da falha sem interromper o funcionamento da instalação.

4.2.5.4 Na divisão da instalação devem ser consideradas também as necessidades futuras.

As ampliações previsíveis devem se refletir não só na potência de alimentação, como tratado em 4.2.1, mas também na taxa de ocupação dos condutos e dos quadros de distribuição.

Quando o projetista calcula as fiações deve ser considerado que no futuro o usuário possa modificar as cargas ligadas nos circuitos, desta forma os condutores devem ser sobre dimensionados para suportar valores de corrente acima das cargas iniciais previstas em projeto básico.

O valor da corrente de curto circuito em um ponto é necessário de ser conhecido para que se possa dimensionar os disjuntores de energia.

4.2.6 Classificação das influências externas.

Esta subseção estabelece uma classificação e uma codificação das influências externas que devem ser consideradas na concepção e na execução das instalações elétricas. Cada condição de influência externa é designada por um código que compreende sempre um grupo de duas

letras maiúsculas e um número, como descrito a seguir:

- a) A primeira letra indica a categoria geral da influência externa:
 - A = Meio Ambiente; (Temperatura ambiente, Altitude, Presença de corpos sólidos, Presença de substâncias corrosivas ou poluentes, Solicitações mecânicas, Presença de flora e mofo, Influências eletromagnéticas, eletrostáticas ou ionizantes, Radiação solar, Descargas atmosféricas, Movimentação do ar, Vento)
 - B = Utilização; (Competência das pessoas, Resistência elétrica do corpo humano, Contato das pessoas com o potencial da terra, Condições de fuga das pessoas em emergências, Natureza dos materiais processados ou armazenados)
 - C = Construção das Edificações; (Materiais de construção, Estrutura das edificações, Compatibilidade, Manutenção)
- b) A segunda letra (A, B, C, ...) indica a natureza da influência externa;
- c) O número (1, 2, 3, ...) indica a classe de cada influência externa.

4.2.6.1 Meio ambiente

4.2.6.1.1 Temperatura ambiente

A temperatura ambiente (ver tabela 1) a considerar para um componente é a temperatura no local onde deve ser instalado, incluída a influência dos demais componentes instalados no local e em funcionamento, e excluída a contribuição térmica do próprio componente considerado.

4.2.6.1.2 Condições climáticas do ambiente (influências combinadas de temperatura e umidade)

4.2.6.1.3 Altitude

Para alguns componentes, podem ser necessárias medidas especiais a partir de 1000 m de altitude

4.2.6.1.4 Presença de água

As partes descobertas dos condutores devem estar em locais sempre que possível secos para evitar fugas de corrente e choques, sendo que quando a atividade requer uso de água que índice sobre os condutores estes deverão ser com capacidade para trabalhar nas condições projetadas ou deve ser usadas proteções.

4.2.6.1.5 Presença de corpos sólidos

A deposição de poeira sobre os condutores pode causar fugas de corrente ou pode causar deterioração dos materiais.

4.2.6.1.6 Presença de substâncias corrosivas ou poluentes

Tabela 6 — Presença de substâncias corrosivas ou poluentes

Código	Classificação	Características	Aplicações e exemplos
AF1	Desprezível	A quantidade ou natureza dos agentes corrosivos ou poluentes não é significativa	—
AF2	Atmosférica	Presença significativa de agentes corrosivos ou poluentes de origem atmosférica	Instalações próximas da orla marítima ou de estabelecimentos industriais que produzam poluição atmosférica significativa, tais como indústrias químicas, fábricas de cimento, etc. Este tipo de poluição provém principalmente da emissão de poeiras abrasivas, isolantes ou condutivas
AF3	Intermitente ou acidental	Presença intermitente ou acidental de produtos químicos corrosivos ou poluentes de uso corrente	Locais onde se manipulam produtos químicos em pequenas quantidades e onde o contato desses produtos com os componentes da instalação seja meramente acidental. Tais condições podem ocorrer em laboratórios de fábricas e outros, ou em locais onde se utilizam hidrocarbonetos (centrais de calefação, oficinas, etc.)
AF4	Permanente	Presença permanente de produtos químicos corrosivos ou poluentes em quantidades significativas	Indústrias químicas, etc.

As partes elétricas devem ser protegidas de agentes químicos agressivos pois podem causar deterioração do isolamento e corrosão dos fios e mau conatos nas conexões.

Solicitações mecânicas

As vibrações e impactos podem causar fadiga nos condutores e com o tempo o rompimento dos cabos, por isso dever ser tomadas providências para evitar agressões, e fazer manutenção preventivas caso a exposição seja inevitável.

4.2.6.1.8 Presença de flora e mofo

Os mofos e flora causam esforços mecânicos e corrosão nas partes elétricas, deve haver limitação da ação dessas influências.

4.2.6.1.9 Presença de fauna

A presença de animais causa danos nos materiais devido fezes e peso dos animais, e risco de curto circuito, além de que os animais podem fazer ações indesejadas nas instalações como roer e partir partes.

4.2.6.1.10 Influências eletromagnéticas, eletrostáticas ou ionizantes

Tabela 10 da NBR 5410 – Fenômenos eletromagnéticos de baixa frequência (conduzidos ou radiados)

As interferências eletromagnéticas e baixa frequências sejam conduzidas ou irradiadas causam falhas e mau funcionamento em aparelhos sensíveis como medidores, aparelhos eletrônicos, as interferências conduzidas são causadas por outros sistemas ou circuitos conectados à mesma rede podem ser geradas a partir de ligação de motores elétricos, e as interferências irradiadas são causadas por outros componentes sob elevada carga que se situa próximo do outro circuito sensível sendo afetado.

Os fenômenos eletromagnéticos de alta frequência pode ser conduzidos, induzidos ou radiados (contínuos ou transitórios)

As interferências eletromagnéticas conduzidas de alta frequência são em muitas vezes geradas devido aos processos industriais onde há alto consumo de energia e cargas eletrônicas que fazem comutação de energia em média frequência e isto cria ruídos/interferência na rede elétrica que pode se propagar até outros consumidores distantes, já a interferência irradiada pode ser gerada por empresas de radiocomunicação.

4.2.6.1.11 Radiação solar

A radiação solar causa desgaste dos isolamentos dos condutores elétricos partes plásticas das instalações, além de que o calor prejudica o desempenho da condutividade dos cabos.

4.2.6.1.12 Descargas atmosféricas

Raios podem causar interferências irradiadas pois mesmo caindo no chão à distância podem ainda criar induzir geração de campos eletromagnéticos perigosos nas fiações, já quando o raio cai diretamente sobre as fiações causa interferência conduzida de alto perigo.

4.2.6.1.13 Movimentação do ar

O fluxo de ar quando forte em uma direção pode desgastar as partes das instalações com o tempo devido repetitividade do surgimento destes fluxos de ar ou mesmo estragar as instalações em pouco tempo caso a intensidade seja forte.

4.2.6.1.14 Vento

Ventos fortes causam fadiga nos cabos e desgaste nos pontos de fixação dos cabos, podem ainda quebrar partes se forem muito fortes.

4.2.6.2 Utilização

4.2.6.2.1 Competência das pessoas

Comuns, Crianças, Incapacitadas, Advertidas, Qualificadas.

De acordo com o público que fará uso das instalações pode haver riscos de choque ou riscos de danos nos componentes da instalação de o uso for inadequado.

4.2.6.2.2 Resistência elétrica do corpo humano

Tabela 19 — Resistência elétrica do corpo humano

Código	Classificação	Características	Aplicações e exemplos
BB1	Alta	Condições secas	Circunstâncias nas quais a pele está seca (nenhuma umidade, inclusive suor)
BB2	Normal	Condições úmidas	Passagem da corrente elétrica de uma mão à outra ou de uma mão a um pé, com a pele úmida de suor, sendo a superfície de contato significativa
BB3	Baixa	Condições molhadas	Passagem da corrente elétrica entre as duas mãos e os dois pés, estando as pessoas com os pés molhados ao ponto de se poder desprezar a resistência da pele e dos pés
BB4	Muito baixa	Condições imersas	Pessoas imersas na água, por exemplo em banheiras e piscinas

O risco de contato com partes energizadas é classificado sendo maior de acordo com a umidade do local e da pele, quanto maior a umidade maior será o risco de choque.

4.2.6.2.3 Contato das pessoas com o potencial da terra

Tabela 20 — Contato das pessoas com o potencial da terra

Código	Classificação	Características	Aplicações e exemplos
BC1	Nulo	Locais não-condutivos	Locais cujo piso e paredes sejam isolantes e que não possuam nenhum elemento condutivo
BC2	Raro	Em condições habituais, as pessoas não estão em contato com elementos condutivos ou postadas sobre superfícies condutivas	Locais cujo piso e paredes sejam isolantes, com elementos condutivos em pequena quantidade ou de pequenas dimensões e de tal forma a probabilidade de contato possa ser desprezada
BC3	Frequente	Pessoas em contato com elementos condutivos ou postadas sobre superfícies condutivas	Locais cujo piso e paredes sejam condutivos ou que possuam elementos condutivos em quantidade ou de dimensões consideráveis
BC4	Contínuo	Pessoas em contato permanente com paredes metálicas e com pequena possibilidade de poder interromper o contato	Locais como caldeiras ou vasos metálicos, cujas dimensões sejam tais que as pessoas que neles penetrem estejam continuamente em contato com as paredes. A redução da liberdade de movimentos das pessoas pode, por um lado, impedi-las de romper voluntariamente o contato e, por outro, aumentar os riscos de contato involuntário

O contato de pessoas com o potencial de terra representa perigo quando partes energizadas entram em contato com as pessoas como contato com o potencial terra, será formado caminho para fluxo de energia.

4.2.6.2.4 Condições de fuga das pessoas em emergências

As classificações são: Normal, longa, tumultuada, longa e tumultuada

Quanto mais for alta a densidade de pessoas nos locais maior será o risco de fuga em caso de acidentes.

4.2.6.2.5 Natureza dos materiais processados ou armazenados

Os riscos são classificados em: riscos de incêndio, riscos de explosão, riscos de contaminação

A presença de substâncias combustíveis, inflamáveis, alimentos e substância químicas levam ao risco de incêndio e que as instalações elétricas podem estar envolvidas de atuar ou de sofrer com os riscos.

4.2.6.3 Construção das edificações

4.2.6.3.1 Materiais de construção

Não combustíveis, Combustíveis

4.2.6.3.2 Estrutura das edificações

As classificações são: riscos desprezíveis, sujeitas a propagação de incêndio, sujeitas a movimentação, flexíveis ou instáveis

Os riscos para as instalações elétricas devidos aspectos da estrutura das edificações são ocorrem em decorrência de capacidade de propagação do incêndio devido altura e presença de condutos de ar onde as chamas podem propagar o fogo para outras partes, há também risco devido poder ser terreno instável causando esforços nos condutores postos ao longo do comprimento de partes da edificação, há ainda outros riscos originados de partes frágeis como forros, divisórias.

4.2.7 Compatibilidade

4.2.7.1 Devem ser tomadas medidas apropriadas quando quaisquer características dos componentes da instalação forem suscetíveis de produzir efeitos prejudiciais em outros componentes, em outros serviços ou ao bom funcionamento da fonte de alimentação. Essas características dizem respeito, por exemplo, a:

- sobretensões transitórias;
- variações rápidas de potência;
- correntes de partida;
- correntes harmônicas;
- componentes contínuas;
- oscilações de alta frequência;
- correntes de fuga.

Os consumidores de energia devem ficar atentos quando à presença de máquinas operando com defeito ou circuitos elétricos defeituosos os quais podem gerar distúrbios elétricos na rede de fornecimento de energia da concessionária e podem se propagar para outros consumidores ou pode ainda as interferências geradas localmente propagarem em direção para a rede de distribuição. Algumas medidas de proteção são evitar que fonte de geração de energia que se encontra em mal estado injete transitórios elétricos na rede da concessionária, deve ser evitado a brusca mudança de consumo de energia como ocorre em

partidas de grandes motores elétricos, deve observar efeitos da presença de conversores de energia chaveado eletricidade em alta potência os quais podem gerar harmônicos na rede, e que para correção do problema podem ser instalados filtros elétricos contra propagação de interferência, também deve ser evitado que circuitos defeituosos injetem corrente contínua na rede de energia como é o caso do risco de haver conectado na rede a geração própria que se encontra defeituosa ou presença de circuitos eletrônicos de alta potência defeituosos conectados na linha de alimentação da concessionária, prever que oscilações de alta frequência podem ser gerados por máquinas de indução, e corrente de fuga podem ser causadas por instalação mal feita ou sem manutenção.

4.2.7.2 Todos os componentes da instalação elétrica devem atender às exigências de compatibilidade eletromagnética e ser conforme o que as normas aplicáveis prescrevem, neste particular. Isso não dispensa, porém, a observância de medidas destinadas a reduzir os efeitos das sobretensões induzidas e das perturbações eletromagnéticas em geral, como indicado em 5.4.

A Compatibilidade Eletromagnética (EMC - Electromagnetic Compatibility) se refere a que equipamentos e sistemas devem funcionar sem problemas de falhas em seu ambiente eletromagnético onde utilizado, além de que não devem produzir perturbações em níveis que colocam em risco o funcionamento de outros dispositivos que estejam perto, cada vez mais são fabricados dispositivos que são sensíveis como computadores, equipamentos que operam com processamento de sinais, aparelhos médicos, etc. O principal objetivo é garantir a segurança, a confiabilidade e o funcionamento adequado da instalação elétrica e dos equipamentos conectados.

4.2.8 Manutenção

Devem-se estimar a frequência de manutenções e a qualidade da manutenção com que a instalação deve contar ao longo de sua vida útil. Esse dado deve ser levado em conta na aplicação das prescrições das seções 5, 6, 7 e 8, de forma que:

- As verificações periódicas, os ensaios, a manutenção e os reparos necessários possam ser realizados de forma fácil e segura;
- A efetividade das medidas de proteção fique garantida;
- A confiabilidade dos componentes, sob o ponto de vista do correto funcionamento da instalação, seja compatível com a vida útil prevista desta.

As manutenções devem ser facilitadas com a existência de prévia construção adequada das instalações, as proteções instaladas devem ser confiáveis e duráveis.

2.2 Proteção contra choques elétricos

5.1.1.1 Princípio fundamental

O princípio que fundamenta as medidas de proteção contra choques especificadas nesta norma pode ser assim resumido:

- partes vivas perigosas não devem ser acessíveis; e
- massas ou partes condutivas acessíveis não devem oferecer perigo, seja em condições normais, seja, em particular, em caso de alguma falha que as tornem acidentalmente vivas.

Deste modo, a proteção contra choques elétricos compreende, em caráter geral, dois tipos de proteção:

- a) proteção básica (ver 3.2.2) e
- b) proteção supletiva (ver 3.2.3).

3.2.2 Proteção básica: Meio destinado a impedir contato com partes vivas perigosas em condições normais.

Exemplos de proteção básica:

- isolamento básica ou separação básica;
- uso de barreira ou invólucro;
- limitação da tensão;

3.2.3 Proteção supletiva: Meio destinado a suprir a proteção contra choques elétricos quando massas ou partes condutivas acessíveis tornam-se acidentalmente vivas.

Exemplos de proteção supletiva:

- equipotencialização e seccionamento automático da alimentação;
- isolamento suplementar;
- separação elétrica.

5.1.1.3 Proteção adicional

Os casos em que se exige proteção adicional contra choques elétricos são especificados em 5.1.3 e na seção 9.

NOTA Ver definição de “proteção adicional” (3.2.4). São exemplos de proteção adicional contra choques elétricos a realização de equipotencializações suplementares e o uso de proteção diferencial-residual de alta sensibilidade.

Como observado são diversos os tipos de proteções que devem ser utilizados, sendo a proteção básica e a supletiva o básico, e que a proteção adicional é exigida em determinados locais.

5.1.2.2.3.3 Todas as massas da instalação situadas em uma mesma edificação devem estar vinculadas à equipotencialização principal da edificação e, dessa forma (ver 6.4.2.1), a um mesmo e único eletrodo de aterramento. Isso sem prejuízo de equipotencializações adicionais que se façam necessárias, para fins de proteção contra choques e/ou de compatibilidade eletromagnética.

5.1.2.5 Uso de extra baixa tensão: SELV e PELV

NOTA Os circuitos SELV não têm qualquer ponto aterrado nem massas aterradas.

Os circuitos PELV podem ser aterrados ou ter massas aterradas.

Sistema SELV (sistema de extra baixa tensão de segurança) é eletricamente separado da terra, enquanto o sistema PELV (tensão extra baixa de proteção) é aterrado, mas atende a todos os outros requisitos de segurança do SELV.

5.1.3.2 Uso de dispositivo diferencial-residual de alta sensibilidade

5.1.3.2.1.1 O uso de dispositivos de proteção a corrente diferencial-residual com corrente diferencial-residual nominal I_n igual ou inferior a 30 mA é reconhecido como proteção adicional contra choques elétricos.

Os dispositivos DR identificam quando pequena corrente elétrica passa fora do condutor de retorno, assim identificando que possa estar uma pessoa recebendo choque elétrico com circulação de corrente para a terra, então o DR realiza o desligamento da energia protegendo a pessoa que estava recebendo choque.

5.1.3.2.2 Casos em que o uso de dispositivo diferencial-residual de alta sensibilidade como proteção adicional é obrigatório.

Além dos casos especificados na seção 9, e qualquer que seja o esquema de aterramento, devem ser objeto de proteção adicional por dispositivos a corrente diferencial-residual com corrente diferencial-residual nominal I_n igual ou inferior a 30 mA os seguintes locais:

- a) os circuitos que sirvam a pontos de utilização situados em locais contendo banheira ou chuveiro (ver 9.1);
- b) os circuitos que alimentem tomadas de corrente situadas em áreas externas à edificação;
- c) os circuitos de tomadas de corrente situadas em áreas internas que possam vir a alimentar equipamentos no exterior;
- d) os circuitos que, em locais de habitação, sirvam a pontos de utilização situados em cozinhas, copas cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e demais dependências internas molhadas em uso normal ou sujeitas a lavagens;
- e) os circuitos que, em edificações não-residenciais, sirvam a pontos de tomada situados em cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e, no geral, em áreas internas molhadas em uso normal ou sujeitas a lavagens.

Os DR costumam estarem instalados em área com risco de ficarem molhadas, pois há maior risco de choque nestas áreas.

NOTAS

1- No que se refere a tomadas de corrente, a exigência de proteção adicional por DR de alta sensibilidade se aplica às tomadas com corrente nominal de até 32 A.

2- A exigência não se aplica a circuitos ou setores da instalação concebidos em esquema IT, visando garantir continuidade de serviço, quando essa continuidade for indispensável à segurança das pessoas e à preservação de vidas, como, por exemplo, na alimentação de salas cirúrgicas ou de serviços de segurança.

3- Admite-se a exclusão, na alínea d), dos pontos que alimentem aparelhos de iluminação posicionados a uma altura igual ou superior a 2,50 m.

4- Quando o risco de desligamento de congeladores por atuação intempestiva da proteção, associado à hipótese de ausência prolongada de pessoas, significar perdas e/ou consequências sanitárias relevantes, recomenda-se que as tomadas de corrente previstas para a alimentação de tais equipamentos sejam protegidas por dispositivo DR com característica de alta imunidade a perturbações transitórias, que o próprio circuito de alimentação do congelador

seja, sempre que possível, independente e que, caso exista outro dispositivo DR a montante do de alta imunidade, seja garantida seletividade entre os dispositivos (sobre seletividade entre dispositivos DR, ver 6.3.6.3.2). Alternativamente, ao invés de dispositivo DR, a tomada destinada ao congelador pode ser protegida por separação elétrica individual, recomendando-se que também aí o circuito seja independente e que caso haja dispositivo DR a montante, este seja de um tipo imune a perturbações transitórias.

A proteção dos circuitos pode ser realizada individualmente, por ponto de utilização ou por circuito ou por grupo de circuitos.

Isto significa que podem ser por decisão do projetista instalados disjuntores desde em cada circuito até mesmo em cada tomada.

5.3 Proteção contra sobrecorrentes

5.3.1.1 Os condutores vivos devem ser protegidos, por um ou mais dispositivos de seccionamento automático contra sobrecargas e contra curtos-circuitos. Excetuam-se os casos previstos nesta norma.

5.3.1.2 A proteção contra sobrecargas e a proteção contra curtos-circuitos devem ser coordenadas conforme 5.3.6.

5.3.2.1 Proteção dos condutores de fase

5.3.2.1.1 A detecção de sobrecorrentes deve ser prevista em todos os condutores de fase, admitindo-se a exceção indicada em 5.3.2.1.2, e deve provocar o seccionamento do condutor em que a sobrecorrente for detectada, não precisando, necessariamente, provocar o seccionamento dos outros condutores vivos.

5.3.5.5 Características dos dispositivos destinados a prover proteção contra correntes de curto circuito.

Todo dispositivo destinado a prover proteção contra curtos-circuitos deve atender às condições especificadas em 5.3.5.5.1 e 5.3.5.5.2.

5.3.5.5.1 A capacidade de interrupção do dispositivo deve ser no mínimo igual à corrente de curto-circuito presumida no ponto onde for instalado. Só se admite um dispositivo com capacidade de interrupção inferior se houver, a montante, um outro dispositivo com a capacidade de interrupção necessária; neste caso, as características dos dois dispositivos devem ser coordenadas de tal forma que a energia que eles deixam passar não seja superior à que podem suportar, sem danos, o dispositivo situado a jusante e as linhas por eles protegidas.

O texto afirma que o disjuntor deve ser capaz de conduzir sem desligar pelo menos a quantidade de corrente elétrica dos equipamentos que serão alimentados pelo circuito, e que ainda os disjuntores devem ser dimensionados de forma que limitem a corrente nos condutores abaixo do limite destes mesmos condutores.

5.3.5.5.2 A integral de Joule que o dispositivo deixa passar deve ser inferior ou igual à integral de Joule necessária para aquecer o condutor desde a temperatura máxima para serviço contínuo até a temperatura limite de curto-circuito, o que pode ser indicado pela seguinte expressão:

$$\int_0^t i^2 dt \leq k^2 S^2$$

$\int_0^t i^2 dt$ é a integral de Joule (energia) que o dispositivo de proteção deixa passar, em ampères quadrados–segundo;

$k^2.S^2$ é a integral de Joule (energia) capaz de elevar a temperatura do condutor desde a temperatura máxima para serviço contínuo até a temperatura de curto-circuito, supondo-se aquecimento adiabático. O valor de k é indicado na tabela 30 e S é a seção do condutor, em milímetros quadrados.

NOTA Para curtos-circuitos de qualquer duração em que a assimetria da corrente não seja significativa, e para curtos-circuitos assimétricos de duração $0,1s \leq t \leq 5s$, pode-se escrever: $I^2 \cdot t \leq k^2 S^2$ onde: I é a corrente de curto-circuito presumida simétrica, em ampères, valor eficaz; t é a duração do curto-circuito, em segundos.

O exposto acima é entendido que a anergia que o disjuntor deixa passar deve ser menor que a anergia que o condutor pode receber sem danificar por temperatura excessiva.

Tabela 30 — Valores de k para condutores com isolamento de PVC, EPR ou XLPE

Material do condutor	Isolação do condutor					
	PVC				EPR/XLPE	
	$\leq 300 \text{ mm}^2$		$> 300 \text{ mm}^2$			
	Temperatura					
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
	70°C	160°C	70°C	140°C	90°C	250°C
Cobre	115		103		143	
Alumínio	76		68		94	
Emendas soldadas em condutores de cobre	115		—		—	
NOTAS						
1 Outros valores de k, para os casos mencionados abaixo, ainda não estão normalizados: — condutores de pequena seção (principalmente para seções inferiores a 10 mm^2); — curtos-circuitos de duração superior a 5 s; — outros tipos de emendas nos condutores; — condutores nus.						
2 Os valores de k indicados na tabela são baseados na IEC 60724.						

O PVC é mais barato e adequado para baixa tensão, mas emite fumaça tóxica ao queimar e amolece com o calor. O EPR (Etileno Propileno) e o XLPE (Polietileno Reticulado) são mais resistentes ao calor e a altas temperaturas (suportam até 90°C ou mais) e são geralmente usados em aplicações de média e alta tensão, pois não amolecem nem se fragilizam com o calor. Se a aplicação exigir mais resistência mecânica, elétrica e térmica o XLPE é mais recomendado.

5.3.5.5.3 A corrente nominal do dispositivo destinado a prover proteção contra curtos-circuitos pode ser superior à capacidade de condução de corrente dos condutores do circuito.

Apesar do disjuntor poder ter especificação de corrente nominal acima da corrente nominal tabelada para os condutores, o que define o limite de temperatura que os condutores atingirão é o tempo que o disjuntor demora para abrir, sendo isto definido pelo manual do disjuntor.

5.3.6 Coordenação entre a proteção contra sobrecargas e a proteção contra curtos-circuitos

5.3.6.1 Proteções providas pelo mesmo dispositivo

O dispositivo destinado a prover proteção contra sobrecargas, selecionado de acordo com 5.3.4, pode prover também a proteção contra curtos-circuitos da linha situada a jusante do ponto em que for instalado se o dispositivo possuir uma capacidade de interrupção pelo menos igual à corrente de curto-circuito presumida nesse ponto e atender ao disposto em 5.3.5.5.2.

O disjuntor deve ter capacidade de suportar à corrente de curto circuito onde for instalado, esta corrente se refere à corrente momentânea em curto, mas que o mesmo disjuntor deve ter tempo de desligamento inferior ao tempo de aquecimento máximo dos condutores onde protege.

5.4.1 Proteção contra sobretensões temporárias

5.4.1.1 Determinadas ocorrências podem fazer com que os circuitos fase-neutro sejam submetidos a sobretensões que podem atingir o valor da tensão entre fases. Essas ocorrências são:

- a) perda do condutor neutro em esquemas TN e TT, em sistemas trifásicos com neutro, bifásicos com neutro e monofásicos a três condutores;
- b) falta à terra envolvendo qualquer dos condutores de fase em um esquema IT.

Nos casos de falhas na fiação e curto circuito os aparelhos alimentados em 127 V podem sofrer de serem temporariamente alimentados em 220 V.

5.4.2.1 Proteção contra sobretensões transitórias em linhas de energia

5.4.2.1.1 Deve ser provida proteção contra sobretensões transitórias, com o uso dos meios indicados em 5.4.2.1.2, nos seguintes casos:

- a) quando a instalação for alimentada por linha total ou parcialmente aérea, ou incluir ela própria linha aérea, e se situar em região sob condições de influências externas AQ2 (mais de 25 dias de trovoadas por ano);
- b) quando a instalação se situar em região sob condições de influências externas AQ3 (ver tabela 15).

Quando a linha de alimentação é aérea há o risco maior de raio gerar transitórios.

5.4.2.1.2 A proteção contra sobretensões requerida em 5.4.2.1.1 deve ser provida:

- a) por dispositivos de proteção contra surtos (DPSs), conforme 6.3.5.2; ou
- b) por outros meios que garantam uma atenuação das sobretensões no mínimo equivalente àquela obtida conforme a alínea a).

5.4.2.2 Proteção contra sobretensões transitórias em linhas de sinal

5.4.2.2.1 Toda linha externa de sinal, seja de telefonia, de comunicação de dados, de vídeo ou qualquer outro sinal eletrônico, deve ser provida de proteção contra surtos nos pontos de entrada e/ou saída da edificação, conforme 6.3.5.3.

5.4.3.5 Além da observância de 6.1.7.1 e 6.1.7.2 e das prescrições pertinentes de 6.4, devem ser adotadas as medidas necessárias para reduzir os efeitos das sobretensões induzidas e das interferências eletromagnéticas em níveis aceitáveis.

NOTA: São exemplos de medidas que contribuem para a redução dos efeitos das sobretensões induzidas e das interferências eletromagnéticas:

- a) disposição adequada das fontes potenciais de perturbações em relação aos equipamentos sensíveis;
- b) disposição adequada dos equipamentos sensíveis em relação a circuitos e equipamentos com altas correntes como, por exemplo, barramentos de distribuição e elevadores;
- c) uso de filtros e/ou dispositivos de proteção contra surtos (DPSs) em circuitos que alimentam equipamentos sensíveis;
- d) seleção de dispositivos de proteção com temporização adequada, para evitar desligamentos indesejáveis devidos a transitórios;
- e) equipotencialização de invólucros metálicos e blindagens;
- f) separação adequada, por distanciamento ou blindagem, entre as linhas de energia e as linhas de sinal, bem como seu cruzamento em ângulo reto;
- g) separação adequada, por distanciamento ou blindagem, das linhas de energia e de sinal em relação aos condutores de descida do sistema de proteção contra descargas atmosféricas;
- h) redução dos laços de indução pela adoção de um trajeto comum para as linhas dos diversos sistemas; i) utilização de cabos blindados para o tráfego de sinais;
- j) as mais curtas conexões de equipotencialização possíveis;
- k) linhas com condutores separados (por exemplo, condutores isolados ou cabos unipolares) contidas em condutos metálicos aterrados ou equivalentes;
- l) evitar o esquema TN-C, conforme disposto em 5.4.3.6;
- m) concentrar as entradas e/ou saídas das linhas externas em um mesmo ponto da edificação (ver nota de 6.4.2.1.2.);
- n) utilizar enlaces de fibra óptica sem revestimento metálico ou enlaces de comunicação sem fio na interligação de redes de sinal dispostas em áreas com equipotencializações separadas, sem interligação.

As interferências eletromagnéticas podem ser de alta amplitude como as geradas por raios e por dispositivos de alta tensão próximos ou dispositivos contendo indutores e alto consumo como grandes motores e transformadores, já as interferências eletromagnéticas de pequena amplitude são geradas por equipamentos de comunicação, instrumentos eletrônicos de chaveamento.

5.6.3 Seccionamento

5.6.2.2 Qualquer que seja o esquema de aterramento, o condutor de proteção não deve ser seccionado, incluindo o condutor PEN dos esquemas TN-C. No esquema TN-S, não é necessário seccionar o condutor neutro.

Os condutores de proteção devem ser mantidos sempre conectados para evitar perigos de choque com o contato com partes metálicas e proteger contra sobretensões fase-fase que ocorre quando da perda de condutor de retorno.

5.6.3.2 Devem ser previstas medidas adequadas para impedir a energização inadvertida de qualquer equipamento. Notas:

1- Essas precauções podem incluir uma ou mais das seguintes medidas:

- travamento do dispositivo de seccionamento com cadeado;
- afixação de placas de advertência;
- instalação em local ou invólucro fechado a chave.

2- Como medida suplementar, as partes vivas podem ser curto-circuitadas e aterradas.

Durante a manutenção de sistemas elétricos as medidas de proteção aos funcionários são obrigatórias e devem cumprir sequencia rigorosa de ativação das diversas proteções.

6.1.3.2 Influências externas

6.1.3.2.1 Os componentes da instalação devem ser selecionados e instalados de acordo com as prescrições da tabela 32. Esta tabela indica as características dos componentes em função das influências externas a que estão sujeitos (ver 4.2.6).

Classificação dos níveis de proteção requeridos pela NBR 5410 em sua tabela 32

Código	Influências externas						Características exigidas para seleção e instalação dos componentes	Referências
AB – Condições climáticas do ambiente (4.2.6.1.2)								
AB4	– 5	+40	5	95	1	29	Normal	
AB5	+ 5	+40	5	85	1	25	Normal	
AB6	+ 5	+60	10	100	1	35	Requer medidas adequadas ²⁾	
AB7	– 25	+55	10	100	0,5	29	Requer medidas adequadas ²⁾	
AB8	– 50	+40	15	100	0,04	36	Requer medidas adequadas ²⁾	
AC – Altitude (4.2.6.1.3)								
AC1	≤ 2 000 m						Normal	
AC2	> 2 000 m						Podem ser necessárias precauções especiais, como a aplicação de fatores de correção	
							NOTA Para certos componentes podem ser necessárias medidas especiais a partir de 1 000 m)	
AD – Presença de água (4.2.6.1.4)								
AD1	Desprezível						IPX0	
AD2	Gotejamento						IPX1 ou IPX2	
AD3	Precipitação						IPX3	
AD4	Aspersão						IPX4	
AD5	Jatos						IPX5	
AD6	Ondas						IPX6	
AD7	Imersão						IPX7	
AD8	Submersão						IPX8	
AE – Presença de corpos sólidos (4.2.6.1.5)								
AE1	Desprezível						IP0X	
AE2	Pequenos objetos (2,5 mm)						IP3X	
AE3	Objetos muito pequenos (1 mm)						IP4X	
AE4	Poeira leve						IP5X caso a penetração de poeira não prejudique o funcionamento do componente	
AE5	Poeira moderada							
AE6	Poeira intensa						IP6X caso a poeira não deva penetrar no componente	
							IP6X	

6.1.3.2.2 Quando um componente não possuir características construtivas compatíveis com as influências externas presentes no local, ele pode ser utilizado sob a condição de que lhe seja provida, na execução da instalação, uma proteção complementar apropriada. Esta proteção não deve afetar as condições de funcionamento do componente.

6.1.3.2.4 A escolha das características dos componentes em função das influências externas é necessária não somente para seu funcionamento correto, mas também para garantir a confiabilidade das medidas de proteção especificadas nesta Norma.

Como a tabela 32 é muito grande ela seu resumo de itens contidos é mostrado abaixo.

A – Condições ambientais (4.2.6.1)

AA – Temperatura ambiente (4.2.6.1.1)

AB – Condições climáticas do ambiente (4.2.6.1.2)

AC – Altitude (4.2.6.1.3)

AD – Presença de água (4.2.6.1.4)

AE – Presença de corpos sólidos (4.2.6.1.5)

AF – Presença de substâncias corrosivas ou poluentes (4.2.6.1.6)

AG – Choques mecânicos (4.2.6.1.7)

AH – Vibrações (4.2.6.1.7)

AK – Presença de flora ou mofo (4.2.6.1.8)

AL – Presença de fauna (4.2.6.1.9)

AM – Influências eletromagnéticas, eletrostáticas ou ionizantes (4.2.6.1.10)

AM1 – Harmônicas e inter-harmônicas (4.2.6.1.10)

AM2 – Tensões de sinalização (4.2.6.1.10)

AM3 – Variações de amplitude da tensão (4.2.6.1.10)

AM4 – Desequilíbrio de tensão (4.2.6.1.10)

AM5 – Variações de frequência (4.2.6.1.10)

AM6 – Tensões induzidas de baixa frequência (4.2.6.1.10)

AM7 – Componentes contínuas em redes c.a. (4.2.6.1.10)

AM8 – Campos magnéticos radiados (4.2.6.1.10)

AM9 – Campos elétricos (4.2.6.1.10)

AM21 – Tensões ou correntes induzidas oscilantes (4.2.6.1.10)

AM22 – Transitórios unidirecionais conduzidos, na faixa do nanossegundo (4.2.6.1.10)

AM23 – Transitórios unidirecionais conduzidos, na faixa do micro ao milissegundo (4.2.6.1.10)

AM24 – Transitórios oscilantes conduzidos (4.2.6.1.10)

AM25 – Fenômenos radiados de alta frequência (4.2.6.1.10)

AM31 – Descargas eletrostáticas (4.2.6.1.10)

AM41 – Radiações ionizantes (4.2.6.1.10)

AN – Radiação solar (4.2.6.1.11)

AQ – Descargas atmosféricas (4.2.6.1.12)

AR – Movimentação do ar (4.2.6.1.13)

AS – Vento (4.2.6.1.14)

B – Utilização (4.2.6.2)

BA – Competência de pessoas (4.2.6.2.1)

BB – Resistência elétrica do corpo humano (4.2.6.2.2)

BC – Contatos das pessoas com o potencial da terra (4.2.6.2.3)

BD – Fuga das pessoas em emergências (4.2.6.2.4)

BE – Natureza dos materiais processados ou armazenados (4.2.6.2.5)

C – Construção das edificações (4.2.6.3)

CA – Materiais de construção (4.2.6.3.1)

CB – Estrutura das edificações (4.2.6.3.2)

6.1.8 Documentação da instalação

6.1.8.1 A instalação deve ser executada a partir de projeto específico, que deve conter, no mínimo:

- a) plantas;
- b) esquemas unifilares e outros, quando aplicáveis;
- c) detalhes de montagem, quando necessários;
- d) memorial descritivo da instalação;
- e) especificação dos componentes (descrição, características nominais e normas que devem atender);
- f) parâmetros de projeto (correntes de curto-circuito, queda de tensão, fatores de demanda considerados, temperatura ambiente etc.).

O projeto de uma instalação elétrica deve conter desde esquemas, figuras, listas de materiais, especificações de limites, a fim de que a execução seja exata de acordo com o projetado, não sendo permitido trocas de componentes e ligações sem reexame do projeto.

6.1.8.3 As instalações para as quais não se prevê equipe permanente de operação, supervisão e/ou manutenção, composta por pessoal advertido ou qualificado (BA4 ou BA5, tabela 18), devem ser entregues acompanhadas de um manual do usuário, redigido em linguagem acessível a leigos, que contenha, no mínimo, os seguintes elementos:

- a) esquema(s) do(s) quadro(s) de distribuição com indicação dos circuitos e respectivas finalidades, incluindo relação dos pontos alimentados, no caso de circuitos terminais;
- b) potências máximas que podem ser ligadas em cada circuito terminal efetivamente disponível;
- c) potências máximas previstas nos circuitos terminais deixados como reserva, quando for o caso;
- d) recomendação explícita para que não sejam trocados, por tipos com características diferentes, os dispositivos de proteção existentes no(s) quadro(s).

Todo comprador de um imóvel novo deve receber um manual de uso que informe sobre os usos do sistema elétrico e seus limites de capacidade.

6.2.3.2 Os cabos uni e multipolares devem atender às seguintes normas:

- a) os cabos com isolamento de EPR, à ABNT NBR 7286;
- b) os cabos com isolamento de XLPE, à ABNT NBR 7287;
- c) os cabos com isolamento de PVC, à ABNT NBR 7288 ou à ABNT NBR 8661.

As instalações elétricas não podem ser executadas usando materiais importados sem certificação de qualidade, havendo muitos casos de execução com erros onde ocorre de são usados cabos de baixa qualidade que não são de cobre puro e que aquecem mais que os cabos que são especificados em norma e colocam em risco de incêndio as instalações tanto por aquecimento como também por terem material isolante antichama.

6.2.3.4 Os condutores isolados com isolamento de PVC de acordo com a ABNT NBR NM 247-3 devem ser não-propagantes de chama.

6.2.3.7 Os condutores utilizados nas linhas elétricas devem ser de cobre ou alumínio, sendo que, no caso do emprego de condutores de alumínio, devem ser atendidas as prescrições de 6.2.3.8.

A norma NBR 5410 proíbe o uso de condutores de alumínio em instalações elétricas residenciais. A norma exige o uso de cabos de cobre para instalações em residências, devido às restrições de segurança e às propriedades do alumínio, como maior resistência elétrica e a

necessidade de conectores e mão de obra específicos, sendo o cobre a opção mais segura e obrigatória para este tipo de instalação.

6.2.5.2.1 A corrente transportada por qualquer condutor, durante períodos prolongados em funcionamento normal, deve ser tal que a temperatura máxima para serviço contínuo dada na tabela 35 não seja ultrapassada.

A capacidade de condução de corrente deve determinada conforme 6.2.5.2.2 ou conforme 6.2.5.2.3.

Limites de temperatura dos condutores segundo NBR 5410 tabela 35

Tipo de isolamento	Temperatura máxima para serviço contínuo (condutor) °C	Temperatura limite de sobrecarga (condutor) °C	Temperatura limite de curto-circuito (condutor) °C
Policloreto de vinila (PVC) até 300 mm ²	70	100	160
Policloreto de vinila (PVC) maior que 300 mm ²	70	100	140
Borracha etileno-propileno (EPR)	90	130	250
Polietileno reticulado (XLPE)	90	130	250

6.2.5.2.2 A prescrição de 6.2.5.2.1 é considerada atendida se a corrente nos condutores não for superior às capacidades de condução de corrente adequadamente obtidas das tabelas 36 a 39, corrigidas, se for o caso, pelos fatores indicados nas tabelas 40 a 45.

Limites de corrente dos condutores segundo NBR 5410 tabela 36.

Tabela 36 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D

Condutores: cobre e alumínio

Isolação: PVC

Temperatura no condutor: 70°C

Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

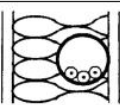
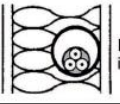
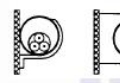
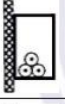
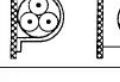
Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103

Na figura acima é visto a tabela com limites de capacidade de corrente dos condutores quando instalados segundo determinado tipo de agrupamento e número de condutores carregados.

Na tabela abaixo são exemplificados alguns tipos de agrupamentos dos cabos, e na tabela em sequência são mostrados os fatores de correção de temperatura usados quando a temperatura ambiente for diferente de 30°C.

Classificação dos métodos de referência de locais de instalação segundo NBR 5410 tabela 33

Tabela 33 — Tipos de linhas elétricas

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
1		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A1
2		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A2
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B1
4		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B2
5		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B1
6		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B2
7		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B1
8		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B2
11		Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do cabo	C
11A		Cabos unipolares ou cabo multipolar fixado diretamente no teto	C

6.2.5.3.1 O valor da temperatura ambiente a utilizar é o da temperatura do meio circundante quando o condutor considerado não estiver carregado.

6.2.5.3.2 Os valores de capacidade de condução de corrente fornecidos pelas tabelas 36 a 39 são referidos a uma temperatura ambiente de 30°C para todas as maneiras de instalar, exceto as linhas enterradas, cujas capacidades são referidas a uma temperatura (no solo) de 20°C.

6.2.5.3.3 Se os condutores forem instalados em ambiente cuja temperatura difira dos valores indicados em 6.2.5.3.2, sua capacidade de condução de corrente deve ser determinada, usando-se as tabelas 36 a 39, com a aplicação dos fatores de correção dados na tabela 40.

Tabela 40 — Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30°C para linhas não-subterrâneas e de 20°C (temperatura do solo) para linhas subterrâneas

Temperatura °C	Isolação	
	PVC	EPR ou XLPE
Ambiente		
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	—	0,65
70	—	0,58
75	—	0,50
80	—	0,41
Do solo		
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85

Como os limites de corrente tabelados na norma para cada tamanho se seção de cabo foram calculados para uma temperatura ambiente de 30 °C, no caso do ambiente tiver temperatura diferente desta então deve ser usada a tabela acima contendo fatores de correção de temperaturas.

6.2.5.5.3 As capacidades de condução de corrente indicadas nas tabelas 36 e 37 são válidas para maneiras de instalar que se enquadrem nos métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D, e para:

a) dois condutores carregados (dois condutores isolados, dois cabos unipolares ou um cabo bipolar);

b) três condutores carregados (três condutores isolados, três cabos unipolares ou um cabo tripolar).

Para um número maior de condutores agrupados, devem ser aplicados os fatores de correção especificados nas tabelas 42 a 45.

Tabela 42 — Fatores de correção aplicáveis a condutores agrupados em feixe (em linhas abertas ou fechadas) e a condutores agrupados num mesmo plano, em camada única

Ref.	Forma de agrupamento dos condutores	Número de circuitos ou de cabos multipolares												Tabelas dos métodos de referência
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 a 11	12 a 15	16 a 19	≥20	
1	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	36 a 39 (métodos A a F)
2	Camada única sobre parede, piso, ou em bandeja não perfurada ou prateleira	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70				36 e 37 (método C)
3	Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	Camada única em bandeja perfurada	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				38 e 39 (métodos E e F)
5	Camada única sobre leito, suporte etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

A tabela acima é usada para aplicar fator de correção de agrupamento de cabos no caso do número de condutores carregados for diferente daqueles da tabela 36 da NBR 5410.

6.2.6.1 Seção dos condutores de fase

6.2.6.1.1 A seção dos condutores de fase, em circuitos de corrente alternada, e dos condutores vivos, em circuitos de corrente contínua, não deve ser inferior ao valor pertinente dado na tabela 47.

Tabela 47 — Seção mínima dos condutores¹⁾

Tipo de linha		Utilização do circuito	Seção mínima do condutor mm ² - material
Instalações fixas em geral	Condutores e cabos isolados	Circuitos de iluminação	1,5 Cu 16 Al
		Circuitos de força ²⁾	2,5 Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5 Cu ³⁾
	Condutores nus	Circuitos de força	10Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	4 Cu
Linhas flexíveis com cabos isolados		Para um equipamento específico	Como especificado na norma do equipamento
		Para qualquer outra aplicação	0,75 Cu ⁴⁾
		Circuitos a extra baixa tensão para aplicações especiais	0,75 Cu

¹⁾ Seções mínimas ditadas por razões mecânicas

²⁾ Os circuitos de tomadas de corrente são considerados circuitos de força.

³⁾ Em circuitos de sinalização e controle destinados a equipamentos eletrônicos é admitida uma seção mínima de 0,1 mm².

⁴⁾ Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias é admitida uma seção mínima de 0,1 mm².

6.2.6.1.2 A seção dos condutores deve ser determinada de forma a que sejam atendidos, no mínimo, todos os seguintes critérios:

- a) a capacidade de condução de corrente dos condutores deve ser igual ou superior à corrente de projeto do circuito, incluindo as componentes harmônicas, afetada dos fatores de correção aplicáveis (ver 6.2.5);
- b) a proteção contra sobrecargas, conforme 5.3.4 e 6.3.4.2;
- c) a proteção contra curtos-circuitos e solicitações térmicas, conforme 5.3.5 e 6.3.4.3;
- d) a proteção contra choques elétricos por seccionamento automático da alimentação em esquemas TN e IT, quando pertinente (5.1.2.2.4);
- e) os limites de queda de tensão, conforme 6.2.7; e
- f) as seções mínimas indicadas em 6.2.6.1.1.

6.2.6.2 Condutor neutro 6.2.6.2.1 O condutor neutro não pode ser comum a mais de um circuito.

6.2.6.2.2 O condutor neutro de um circuito monofásico deve ter a mesma seção do condutor de fase.

6.2.6.2.3 Quando, num circuito trifásico com neutro, a taxa de terceira harmônica e seus múltiplos for superior a 15%, a seção do condutor neutro não deve ser inferior à dos condutores de fase, podendo ser igual à dos condutores de fase se essa taxa não for superior a 33%.

NOTAS

1 Tais níveis de correntes harmônicas são encontrados, por exemplo, em circuitos que alimentam luminárias com lâmpadas de descarga, incluindo as fluorescentes.

2 O caso de taxas superiores a 33% é tratado em 6.2.6.2.5. 6.2.6.2.4 A seção do condutor neutro de um circuito com duas fases e neutro não deve ser inferior à seção dos condutores de fase, podendo ser igual à dos condutores de fase se a taxa de terceira harmônica e seus múltiplos não for superior a 33%.

6.2.7 Quedas de tensão

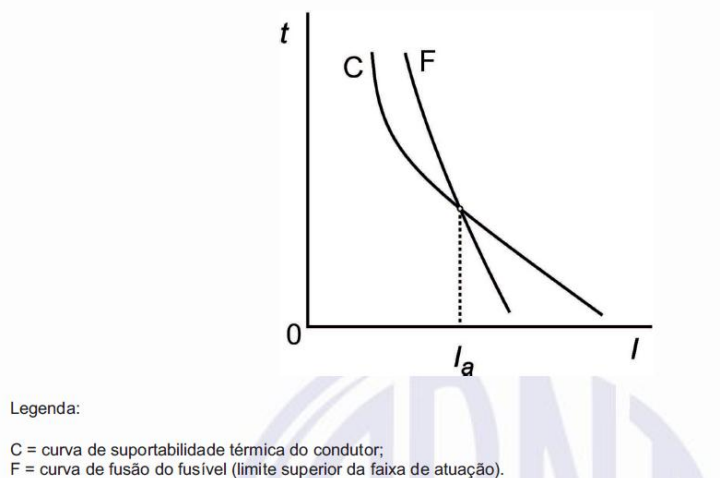
6.2.7.1 Em qualquer ponto de utilização da instalação, a queda de tensão verificada não deve ser superior aos seguintes valores, dados em relação ao valor da tensão nominal da instalação:

- a) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT, no caso de transformador de propriedade da(s) unidade(s) consumidora(s);
- b) 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado;
- c) 5%, calculados a partir do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição;
- d) 7%, calculados a partir dos terminais de saída do gerador, no caso de grupo gerador próprio.

6.3.4.3.1 Dispositivos fusíveis

Para aplicação das prescrições de 5.3.5 a curtos-circuitos de duração no máximo igual a 5s, os dispositivos fusíveis devem atender à seguinte condição: $I_a \leq I_{kmin}$ onde: I_a é a corrente correspondente à intersecção das curvas C e F da figura 10, e I_{kmin} é a corrente de curto-circuito mínima presumida.

Figura 31: Interseção da curva de suportabilidade térmica do condutor com a curva de fusão do fusível



Pela figura acima é visto que a seleção do fusível deve ser tal que a corrente do fusível deve ser menor que a corrente elétrica que faz superar a temperatura limite dos cabos de energia, e que ao mesmo tempo a corrente limite do fusível deve ser menor que a corrente de curto circuito do sistema.

Disjuntores

Existem disjuntores com diferentes curvas de atuação, sendo cada tipo destinado a um tipo de carga que é ligada ao circuito, os disjuntores possuem gráficos de atuação com duas curvas sendo a curva superior indicando tempo de atuação para o disjuntor frio e a curva inferior indicando tempo de atuação para o disjuntor quente.

Disjuntor curva A é aplicado para a proteção de circuitos eletrônicos por serem mais sensíveis e para circuitos de medição.

Disjuntor curva B é aplicado para a proteção de circuitos resistivos como chuveiros, torneiras elétricas e tomadas de uso geral.

Disjuntor curva C é aplicado para a proteção de circuitos que alimentam cargas de características indutivas onde apresentam picos de corrente no momento de ligação como micro-ondas, condicionador de ar, motores para bombas de recalque.

Disjuntor curva D é aplicado para a proteção de circuitos que alimentam cargas altamente indutivas que apresentam altos picos de corrente no momento de ligação, como grandes motores, transformadores.

Figura 32: Gráfico de disjuntor curva A

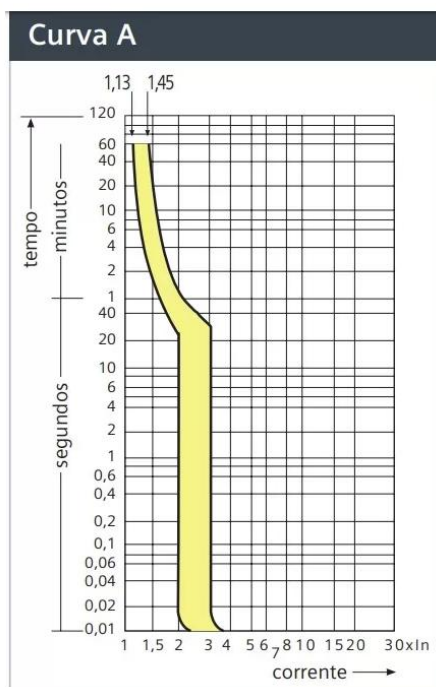


Figura 33: Gráfico de disjuntor curva B

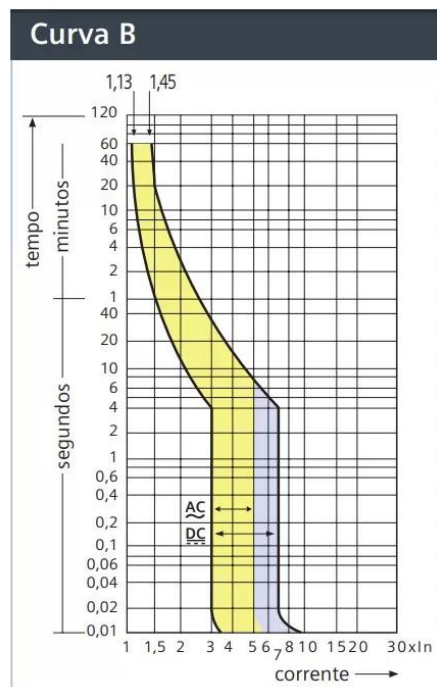


Figura 34: Gráfico de disjuntor curva C

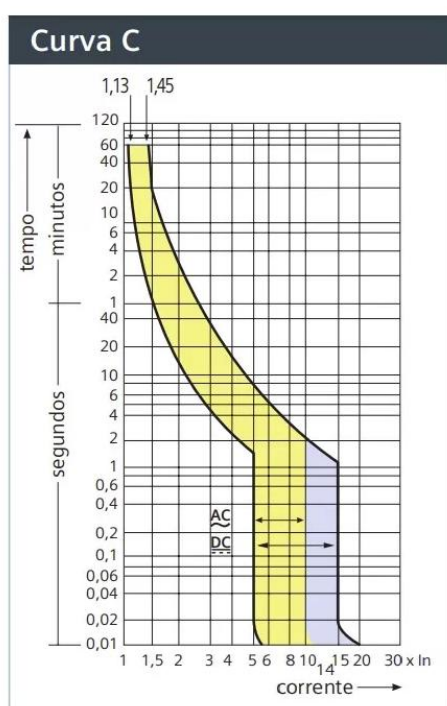
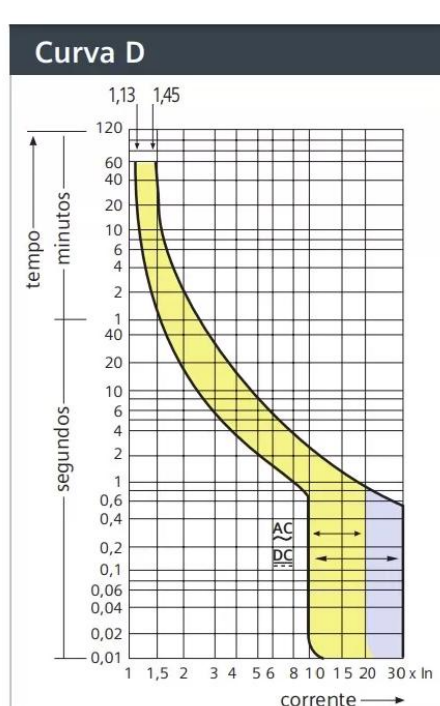


Figura 35: Gráfico de disjuntor curva D



6.3.4.3.2 Disjuntores

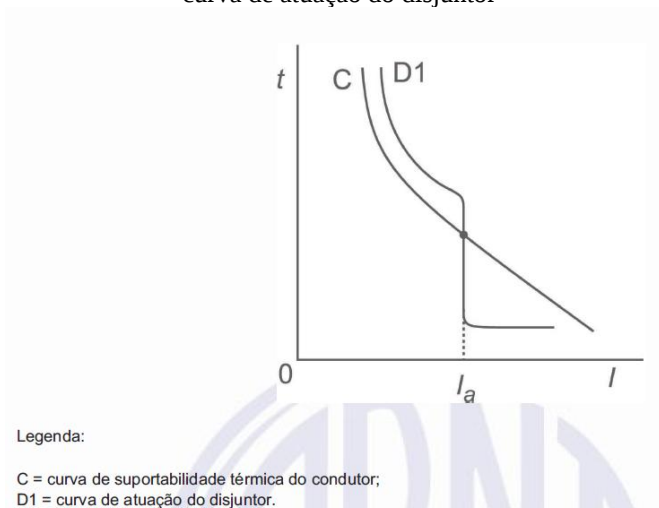
Para aplicação das prescrições de 5.3.5 a curtos-circuitos de duração no máximo igual a 5s, os disjuntores devem atender às duas condições a seguir:

- a) $I_a \leq I_{kmin}$;

b) $I_b \geq I_k$.

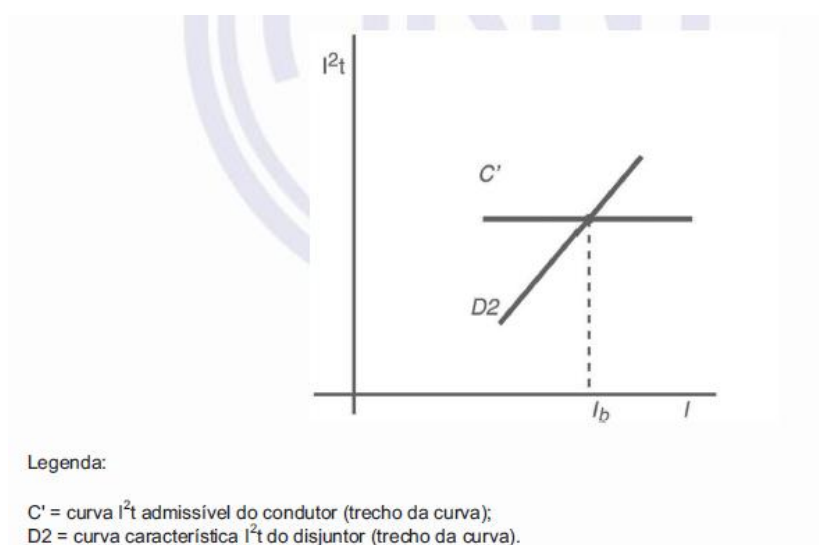
onde: I_a é a corrente correspondente à interseção das curvas C e D1 da figura 11; I_{kmin} é a corrente de curto-circuito mínima presumida; I_b é a corrente correspondente à interseção das curvas C' e D2 da figura 12; e I_k é a corrente de curto-circuito máxima presumida no ponto de instalação do disjuntor.

Figura 36: Interseção da curva de suportabilidade térmica do condutor com a curva de atuação do disjuntor



Pela figura acima é visto que o modelo do disjuntor é escolhido tendo o ponto de atuação onde é mínimo possível o tempo de atuação para a corrente de curto circuito mínima do circuito, sendo esta a corrente considerada que se tem ao ocorrer um curto circuito no local mais distante da instalação elétrica.

Figura 37: Interseção da curva da integral de joule (I^2t) suportável pelo condutor com a curva da integral de joule (I^2t) que o disjuntor deixa passar



A curva de atuação do disjuntor deve ser avaliada no ponto de corrente de curto circuito máximo que corresponde a um curto circuito próximo do disjuntor, e que a energia que passa pelo disjuntor até ele chegar a atuar deve ser anergia inferior à energia que pode aquecer os cabos até a temperatura máxima permissível.

Notas:

1 Para correntes de curto-circuito cuja duração seja superior a vários períodos, a integral de joule $I^2.t$ do dispositivo de proteção pode ser calculada multiplicando-se o quadrado do valor eficaz da corrente de atuação $I(t)$ do dispositivo de proteção pelo tempo de atuação t . Para correntes de curto-circuito de duração menor, devem-se consultar as características $I^2.t$ fornecidas pelo fabricante.

2 Para efeito de verificação das condições especificadas em 6.3.4.3.1 e 6.3.4.3.2, considera-se a corrente de curto-circuito mínima presumida como aquela correspondente a um curto-circuito de impedância desprezível que ocorra no ponto mais distante da linha protegida.

6.3.5.2.4 Seleção dos DPS

Os DPS devem atender à IEC 61643-1 e ser selecionados com base no mínimo nas seguintes características: nível de proteção, máxima tensão de operação contínua, suportabilidade a sobretensões temporárias, corrente nominal de descarga e/ou corrente de impulso e suportabilidade à corrente de curto circuito.

As condições a serem satisfeitas, na seleção do DPS, são apresentadas nas alíneas a) a f) a seguir.

- a) nível de proteção (Up) – O nível de proteção do DPS deve ser compatível com a categoria II de suportabilidade a impulsos indicada na tabela 31. No caso de conexões conforme o esquema 3 (ver figura 13), o nível de proteção exigido refere-se ao nível global, isto é, entre fase e PE.

Tabela 8: Suportabilidade a impulsos requeridas aos componentes da instalação

Tensão nominal da instalação V		Tensão de impulso suportável requerida kV			
		Categoria de produto			
Sistemas trifásicos	Sistemas monofásicos com neutro	Produto a ser utilizado na entrada da instalação	Produto a ser utilizado em circuitos de distribuição e circuitos terminais	Equipamentos de utilização	Produtos especialmente protegidos
		Categoria de suportabilidade a impulsos			
		IV	III	II	I
120/208 127/220	115–230 120–240 127–254	4	2,5	1,5	0,8
220/380, 230/400, 277/480	–	6	4	2,5	1,5
400/690	–	8	6	4	2,5

NOTAS

1 O anexo E traz orientação sobre esta tabela.

2 Valores válidos especificamente para seccionadores e interruptores-seccionadores são dados na tabela 50.

3 Para componentes associados a linhas de sinal utilizados na entrada da instalação (categoria IV de suportabilidade), a tensão de impulso suportável mínima é de 1 500 V (ver IEC 61663-2).

NOTA A tensão de impulso suportável caracteriza o nível de sobretensões transitórias que o isolamento de um produto é capaz de suportar, sem disrupções.

O Nível de Proteção Up É a tensão máxima que pode aparecer nos terminais do DPS durante a ocorrência de um surto, sendo sua função principal ser inferior à tensão de suportabilidade dos equipamentos protegidos.

- b) A máxima tensão de operação contínua (U_c) – A tensão máxima de operação contínua (U_c) do DPS deve ser igual ou superior aos valores indicados na tabela 49.

Tabela 49 — Valor mínimo de U_c exigível do DPS, em função do esquema de aterramento

DPS conectado entre				Esquema de aterramento				
Fase	Neutro	PE	PEN	TT	TN-C	TN-S	IT com neutro distribuído	IT sem neutro distribuído
X	X			$1,1 U_o$		$1,1 U_o$	$1,1 U_o$	
X		X		$1,1 U_o$		$1,1 U_o$	$\sqrt{3} U_o$	U
X			X		$1,1 U_o$			
	X	X		U_o		U_o	U_o	

NOTAS

1 Ausência de indicação significa que a conexão considerada não se aplica ao esquema de aterramento.

2 U_o é a tensão fase-neutro.

3 U é a tensão entre fases.

4 Os valores adequados de U_c podem ser significativamente superiores aos valores mínimos da tabela.

c) Sobretensões temporárias – O DPS deve atender aos ensaios pertinentes especificados na IEC 61643-1.

e) Suportabilidade à corrente de curto-circuito – Tendo em vista a possibilidade de falha do DPS, sua suportabilidade a correntes de curto-circuito, já levando em conta a ação do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes que o integrar ou for especificado pelo fabricante, deve ser igual ou superior à corrente de curto-circuito presumida no ponto em que vier a ser instalado.

Para os DPS a serem conectados entre neutro e PE, a capacidade de interrupção de corrente subsequente deve ser de no mínimo 100 A, em esquema TN ou TT, e deve ser a mesma dos DPS conectados entre fase e neutro, no caso de esquema IT.

6.3.5.2.5 Falha do DPS e proteção contra sobrecorrentes

A possibilidade de falha interna, fazendo com que o DPS entre em curto-circuito, impõe a necessidade de dispositivo de proteção contra sobrecorrentes, para eliminar tal curto-circuito.

6.4.1.1 Eletrodos de aterramento

6.4.1.1.1 Toda edificação deve dispor de uma infraestrutura de aterramento, denominada “eletrodo de aterramento”, sendo admitidas as seguintes opções:

- a) preferencialmente, uso das próprias armaduras do concreto das fundações (ver 6.4.1.1.9); ou
- b) uso de fitas, barras ou cabos metálicos, especialmente previstos, imersos no concreto das fundações (ver 6.4.1.1.10); ou
- c) uso de malhas metálicas enterradas, no nível das fundações, cobrindo a área da edificação e complementadas, quando necessário, por hastes verticais e/ou cabos dispostos radialmente (“pés-de-galinha”); ou
- d) no mínimo, uso de anel metálico enterrado, circundando o perímetro da edificação e complementado, quando necessário, por hastes verticais e/ou cabos dispostos radialmente (“pés-de-galinha”).

6.4.1.1.3 Como as opções de eletrodos de aterramento indicadas em 6.4.1.1.1 são também reconhecidas pela ABNT NBR 5419, elas podem e devem ser usadas conjuntamente pelo sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) da edificação, nas condições especificadas naquela norma.

NOTA Mastros de antenas devem ser incorporados ao SPDA, conforme ABNT NBR 5419.

6.4.1.1.4 Não se admite o uso de canalizações metálicas de água nem de outras utilidades como eletrodo de aterramento, o que não exclui as medidas de equipotencialização prescritas em 6.4.2.

6.4.1.2 Condutores de aterramento

6.4.1.2.1 A seção dos condutores de aterramento deve ser dimensionada conforme 6.4.3.1.

Para condutores enterrados no solo, a seção não deve ser inferior às indicadas na tabela 52.

Tabela 52 — Seções mínimas de condutores de aterramento enterrados no solo

	Protegido contra danos mecânicos	Não protegido contra danos mecânicos
Protegido contra corrosão	Cobre: 2,5 mm ² Aço: 10 mm ²	Cobre: 16 mm ² Aço: 16 mm ²
Não protegido contra corrosão	Cobre: 50 mm ² (solos ácidos ou alcalinos) Aço: 80 mm ²	

6.4.2 Equipotencialização

6.4.2.1.1 Em cada edificação deve ser realizada uma equipotencialização principal, reunindo os seguintes elementos:

- as armaduras de concreto armado e outras estruturas metálicas da edificação;
- as tubulações metálicas de água, de gás combustível, de esgoto, de sistemas de ar-condicionado, de gases industriais, de ar comprimido, de vapor etc., bem como os elementos estruturais metálicos a elas associados;
- os condutos metálicos das linhas de energia e de sinal que entram e/ou saem da edificação;
- as blindagens, armações, coberturas e capas metálicas de cabos das linhas de energia e de sinal que entram e/ou saem da edificação;
- os condutores de proteção das linhas de energia e de sinal que entram e/ou saem da edificação;
- os condutores de interligação provenientes de outros eletrodos de aterramento porventura existentes ou previstos no entorno da edificação;
- os condutores de interligação provenientes de eletrodos de aterramento de edificações vizinhas, nos casos em que essa interligação for necessária ou recomendável;
- o condutor neutro da alimentação elétrica, salvo se não existente ou se a edificação tiver que ser alimentada, por qualquer motivo, em esquema TT ou IT ;
- o(s) condutor(es) de proteção principal(is) da instalação elétrica (interna) da edificação.

6.4.2.2 Equipotencializações suplementares (equipotencializações locais)

A realização de equipotencializações suplementares (equipotencializações locais) pode ser necessária por razões de proteção contra choques, conforme previsto em 5.1.2.2, ou por razões funcionais, incluindo prevenção contra perturbações eletromagnéticas, conforme previsto em 5.4.3.5.

6.4.3 Condutores de proteção (PE)

6.4.3.1.2 A seção dos condutores de proteção não deve ser inferior ao valor determinado pela expressão seguinte, aplicável apenas para tempos de seccionamento que não excedam 5s:

onde:
$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}$$

S é a seção do condutor, em milímetros quadrados;

I é o valor eficaz, em ampères, da corrente de falta presumida, considerando falta direta;

t é o tempo de atuação do dispositivo de proteção responsável pelo seccionamento automático, em segundos;

k é um fator que depende do material do condutor de proteção, de sua isolação e outras partes, e das temperaturas inicial e final do condutor. As tabelas 53 a 57 indicam valores de k para diferentes tipos de condutores de proteção.

6.4.3.1.3 Em alternativa ao método de cálculo de 6.4.3.1.2, a seção do condutor de proteção pode ser determinada através da tabela 58. Quando a aplicação da tabela conduzir a seções não padronizadas, devem ser escolhidos condutores com a seção padronizada mais próxima. A tabela 58 é válida apenas se o condutor de proteção for constituído do mesmo metal que os condutores de fase. Quando este não for o caso, ver IEC 60364-5-54.

Tabela 11: Seção do condutor de proteção pela NBR 5410

Tabela 58 — Seção mínima do condutor de proteção

Seção dos condutores de fase S mm ²	Seção mínima do condutor de proteção correspondente mm ²
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

6.4.3.2 Tipos de condutores de proteção

6.4.3.2.1 Podem ser usados como condutores de proteção:

- a) veias de cabos multipolares;
- b) condutores isolados, cabos unipolares ou condutores nus em conduto comum com os condutores vivos;
- c) armações, coberturas metálicas ou blindagens de cabos;
- d) eletrodutos metálicos e outros condutos metálicos, desde que atendam às condições a) e b) de 6.4.3.2.2.

6.4.3.4 Condutores PEN

6.4.3.4.1 O uso de condutor PEN só é admitido em instalações fixas, desde que sua seção não seja inferior a 10 mm² em cobre ou 16 mm² em alumínio e observado o disposto em 5.4.3.6.

Um condutor PEN é um fio elétrico que combina as funções de proteção e neutro em um único condutor. Ele é usado em sistemas de aterramento do tipo TN-C (onde o condutor PEN é usado durante todo o caminho) ou TN-C-S (onde o PEN é usado em uma parte do sistema e separado nas outras).

6.4.4.2 Tipos de condutores de equipotencialização

Os seguintes elementos metálicos não são admitidos como condutor de equipotencialização:

- a) tubulações de água;
- b) tubulações de gases ou líquidos combustíveis ou inflamáveis;
- c) elementos de construção sujeitos a esforços mecânicos em serviço normal;
- d) eletrodutos flexíveis, exceto quando concebidos para esse fim;
- e) partes metálicas flexíveis.

O condutor de equipotencialização deve ser parte segura da instalação protegido de risco de agressões físicas por isto devem ser evitadas as partes destinadas para outros fins com risco de interrupção devido fragilidade.

9.5.2.2.1 Número de pontos de tomada

O número de pontos de tomada deve ser determinado em função da destinação do local e dos equipamentos elétricos que podem ser aí utilizados, observando-se no mínimo os seguintes critérios:

- a) em banheiros, deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada, próximo ao lavatório, atendidas as restrições de 9.1;

b) em cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, cozinha-área de serviço, lavanderias e locais análogos, deve ser previsto no mínimo um ponto de tomada para cada 3,5 m, ou fração, de perímetro, sendo que acima da bancada da pia devem ser previstas no mínimo duas tomadas de corrente, no mesmo ponto ou em pontos distintos;

c) em varandas, deve ser previsto pelo menos um ponto de tomada;

NOTA Admite-se que o ponto de tomada não seja instalado na própria varanda, mas próximo ao seu acesso, quando a varanda, por razões construtivas, não comportar o ponto de tomada, quando sua área for inferior a 2 m² ou, ainda, quando sua profundidade for inferior a 0,80 m.

d) em salas e dormitórios devem ser previstos pelo menos um ponto de tomada para cada 5 m, ou fração, de perímetro, devendo esses pontos ser espaçados tão uniformemente quanto possível;

NOTA Particularmente no caso de salas de estar, deve-se atentar para a possibilidade de que um ponto de tomada venha a ser usado para alimentação de mais de um equipamento, sendo recomendável equipá-lo, portanto, com a quantidade de tomadas julgada adequada.

e) em cada um dos demais cômodos e dependências de habitação devem ser previstos pelo menos:

- Um ponto de tomada, se a área do cômodo ou dependência for igual ou inferior a 2,25 m². Admite-se que esse ponto seja posicionado externamente ao cômodo ou dependência, a até 0,80 m no máximo

de sua porta de acesso;

- Um ponto de tomada, se a área do cômodo ou dependência for superior a 2,25 m² e igual ou inferior a 6 m² ;

- Um ponto de tomada para cada 5 m, ou fração, de perímetro, se a área do cômodo ou dependência for superior a 6 m², devendo esses pontos ser espaçados tão uniformemente quanto possível.

O número de tomadas pode ser excedido em relação à recomendação em norma, sendo que o número de tomadas pode ser calculado em função do número de utensílios eletroeletrônicos que se prevê que serão conectados, e que na atualidade há uma necessidade alta de grande número de tomadas devido existir muito tipos de aparelhos eletrônicos como celulares, computadores, aparelhos de telecomunicação que são muito usados.

9.5.2.2.2 Potências atribuíveis aos pontos de tomada

A potência a ser atribuída a cada ponto de tomada é função dos equipamentos que ele poderá vir a alimentar e não deve ser inferior aos seguintes valores mínimos:

a) em banheiros, cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e locais análogos, no mínimo 600 VA por ponto de tomada, até três pontos, e 100 VA por ponto para os excedentes, considerando-se cada um desses ambientes separadamente.

Quando o total de tomadas no conjunto desses ambientes for superior a seis pontos, admite-se que o critério de atribuição de potências seja de no mínimo 600 VA por ponto de tomada, até dois pontos, e 100 VA por ponto para os excedentes, sempre considerando cada um dos ambientes separadamente;

b) nos demais cômodos ou dependências, no mínimo 100 VA por ponto de tomada.

Apesar da norma prever potência de mínimo 600 VA para os pontos de tomada de maior consumo, na prática as tomadas devem ser projetadas para suportar cargas bem maiores, devendo ser considerado que existem muitos tipos de aparelhos que consomem mais potência como forno de micro-ondas, aparelhos de aquecimento ambiente, ferro de passar roupa, air fry, secador de cabelo.