



ATERRAMENTO ELÉTRICO EM INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Arthur Hirury Hwang Bo

Graduando em Engenharia de Controle e Automação

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP Cubatão),
Cubatão, SP, Brasil

Gabriel Henrique Castilho Oliveira

Graduando em Engenharia de Controle e Automação

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP Cubatão),
Cubatão, SP, Brasil

Matheus Cardoso Medeiros

Graduando em Engenharia de Controle e Automação

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP Cubatão),
Cubatão, SP, Brasil

João Pedro Ribeiro Bezerra

Graduando em Engenharia de Controle e Automação

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP Cubatão),
Cubatão, SP, Brasil

Ulisses Galvão Romão

Especialista, Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
São Paulo, Campus Cubatão (IFSP Cubatão),

Cubatão, SP, Brasil.

D.O.I.:

Resumo: Em uma instalação industrial, o aterramento elétrico raramente cumpre uma única função: protege pessoas contra choques, escoar correntes de curto-circuito e de surtos atmosféricos, estabelece referência estável de potencial para eletrônica sensível e contém a interferência eletromagnética. Esta revisão organiza os fundamentos teóricos do tema, os fatores que determinam a eficácia da malha —

sobretudo a resistividade do solo e sua medição pelo método de Wenner —, os tipos de sistemas e esquemas do ambiente industrial, os critérios de tensão de passo e de toque, o dimensionamento de malhas em subestações e o conjunto de normas técnicas brasileiras que disciplinam a matéria. Discute-se também o desempenho em ambientes agressivos, em que substâncias químicas aceleram a corrosão dos eletrodos, e o papel dos dispositivos de proteção contra surtos. Os números levantados são preocupantes: parcela expressiva das instalações industriais brasileiras opera em desconformidade com as normas. Projeto criterioso, materiais adequados ao ambiente, profissionais treinados e inspeções regulares são as medidas centrais para reverter esse quadro.

Palavras-chave: Resistividade do solo. Método de Wenner. Equipotencialização. Segurança elétrica. NR-10.

Abstract: Within an industrial facility, electrical grounding seldom performs a single role. It protects people from shock, drains short-circuit and lightning surge currents, sets a stable potential reference for sensitive electronics, and helps to contain electromagnetic interference. This review organises the theoretical fundamentals, the factors driving grounding effectiveness — particularly soil resistivity and its measurement through the Wenner method —, the systems and schemes used in industrial environments, step and touch voltage criteria, mesh design in substations, and the Brazilian technical standards that regulate the matter. The behaviour of grounding in aggressive environments and the role of surge protection devices are also examined. The gathered figures are far from encouraging: a significant share of Brazilian industrial installations operates outside the standards. Careful design, suitable materials, trained personnel and regular inspections emerge as the central measures to reverse this scenario.

Keywords: Soil resistivity. Wenner method. Bonding. Electrical safety. NR-10.

INTRODUÇÃO

Em instalações industriais modernas, a segurança das operações depende de um referencial de potencial estável e de um caminho seguro para o escoamento de correntes de falta — papel do aterramento elétrico (Creder, 2022; Mamede Filho,

2020). Além da proteção contra choques e descargas atmosféricas, o aterramento industrial oferece referência de potencial para transmissores analógicos, controladores lógicos programáveis e redes de comunicação que operam em baixos níveis de tensão (Silva; Júnior, 2006). Em refinarias, petroquímicas e demais ambientes classificados, soma-se a tarefa de impedir o acúmulo de cargas eletrostáticas, fonte de acidentes graves (Gomes, 2019).

Historicamente, o aterramento elétrico evoluiu para uma disciplina formalizada com a publicação de normas internacionais a partir da década de 1950. No Brasil, a primeira edição da NBR 5410 data de 1980 e a NBR 5419 foi publicada em 1993; a consolidação do tema como objeto de estudo sistemático acompanhou a expansão da eletrificação industrial e a proliferação de eletrônica embarcada nos processos produtivos (Visacro Filho, 2002; Kindermann; Campagnolo, 1995).

Os números dessa relevância são preocupantes no contexto brasileiro. Levantamentos compilados entre 2001 e 2016 indicam que aproximadamente 70% das edificações industriais do país possuem sistemas de aterramento em desacordo com as normas, ou simplesmente não os têm (Modena, 2016; Santos et al., 2023). Esta revisão bibliográfica consolida o conhecimento disponível sobre o tema, percorrendo seus fundamentos teóricos, as características do solo, os componentes empregados, os requisitos normativos nacionais, os critérios de tensão de passo e de toque, o dimensionamento de malhas em subestações e os desafios em ambientes industriais agressivos. Pretende-se oferecer ao leitor um panorama integrado que articule os aspectos técnicos, normativos e práticos do tema, contribuindo para a redução do hiato entre o que prescrevem as normas e o que se observa em campo.

OBJETIVOS

O objetivo geral é apresentar, de forma organizada, o estado da arte do aterramento elétrico em instalações industriais, com ênfase nos aspectos técnicos, normativos e práticos. Como objetivos específicos, pretende-se: descrever os principais sistemas de aterramento e suas características de desempenho; identificar as normas técnicas brasileiras aplicáveis; analisar os fatores que influenciam a eficácia da malha; caracterizar o aterramento de equipamentos sensíveis; discutir o

comportamento dos sistemas em ambientes agressivos; e mapear os principais desafios de conformidade nas indústrias brasileiras.

METODOLOGIA

Este trabalho adotou a abordagem de revisão bibliográfica narrativa, conduzida em quatro etapas: definição das fontes e descritores, seleção segundo critérios explícitos, leitura analítica e síntese. As fontes foram levantadas em bases de dados científicas, normas técnicas da ABNT, normas regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego, livros de referência e periódicos técnicos. A busca foi orientada pelos descritores “aterramento elétrico”, “instalações industriais”, “resistividade do solo”, “NBR 5410”, “NBR 5419” e “NR-10”. Foram adotados como critérios de inclusão: (i) aderência direta ao aterramento em instalações industriais, de média e baixa tensão ou de subestações; (ii) publicação preferencial a partir de 2000, sobretudo para normas e temas em evolução, recorrendo a obras anteriores quando constituem referência consolidada sobre o assunto; (iii) prioridade a normas técnicas em sua versão vigente e a trabalhos revisados por pares ou de origem institucional. Como critérios de exclusão, descartaram-se materiais sem identificação de autoria ou de fonte, conteúdos meramente comerciais e trabalhos cujo escopo se restringia à proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) sem interface com o aterramento funcional ou de proteção, tema deliberadamente mantido fora do recorte. A seleção partiu da leitura de títulos e resumos e, na sequência, da análise do texto integral dos materiais retidos, da qual resultaram as referências aqui discutidas. Por se tratar de revisão narrativa, e não sistemática, não se aplicou protocolo de elegibilidade quantitativo; a triagem final apoiou-se no julgamento dos autores quanto à relevância e à convergência das fontes.

FUNDAMENTOS DO ATERRAMENTO ELÉTRICO

Conceito e Definição

O aterramento elétrico é a ligação intencional de estruturas, massas metálicas ou pontos de um circuito ao solo, com dois propósitos simultâneos: estabelecer uma

referência de potencial e oferecer caminho de baixa impedância para correntes de falta (Creder, 2022; Visacro Filho, 2002). Vale distinguir três termos frequentemente confundidos (Capelli, 2000): o neutro é o condutor de retorno da corrente em regime normal; o terra (condutor PE) não conduz corrente em condições normais, atuando apenas em faltas ou surtos; e a massa designa as partes condutivas acessíveis dos equipamentos, que devem estar conectadas ao PE para evitar potenciais perigosos em caso de falha do isolamento.

A NBR 5410 define hierarquia de eletrodos preferenciais: armaduras de fundação de concreto têm prioridade, seguidas por fitas ou cabos metálicos imersos em concreto, malhas horizontais enterradas e anéis perimetrais à edificação (Cotrim, 2009).

Funções e Grandezas

Um sistema de aterramento industrial precisa: escoar correntes de descarga atmosférica e cargas eletrostáticas; oferecer referência de potencial zero; apresentar baixa resistência para atuação rápida das proteções; controlar gradientes de tensão de passo e de toque; e manter equipotencializadas as massas metálicas (Kindermann; Campagnolo, 1995).

A grandeza central é a resistência de aterramento (Ω). Para hastes verticais, ela cai com o aumento do comprimento enterrado e com a menor resistividade do solo; para malhas reticuladas, a área coberta é o fator predominante (Mamede Filho, 2020). Como referência, a NBR 5419 indica valores inferiores a 10 Ω ; aplicações com eletrônica sensível comumente exigem até 5 Ω (Capelli, 2000).

RESISTIVIDADE DO SOLO E SEU TRATAMENTO

Fatores Condicionantes e Variabilidade no Brasil

A resistividade do solo (ρ , em $\Omega \cdot m$) é governada por umidade, teor de sais minerais, temperatura, compactação e estratificação geológica. O Brasil exibe grande variabilidade: em Minas Gerais, a média gira em torno de 2.450 $\Omega \cdot m$; em São Paulo, próxima de 700 $\Omega \cdot m$; no Paraná, entre 200 e 1.000 $\Omega \cdot m$; e em Pernambuco, de 100 a 2.000 $\Omega \cdot m$ (Visacro Filho, 2002). Oscilações sazonais de umidade justificam medições em diferentes épocas do ano para instalações críticas (Freire, 2023).

Medição da Resistividade: Método de Wenner

A NBR 7117:2012 mantém como técnica primária o método dos quatro eletrodos, proposto por Frank Wenner em 1915 (O Setor Elétrico, 2021). Quatro hastes são cravadas em linha reta com espaçamento uniforme; corrente é injetada nos eletrodos externos e a diferença de potencial medida nos internos. Com a variação progressiva de espaçamento, obtém-se a curva de resistividade aparente em função da profundidade, que alimenta a estratificação do solo em camadas (Dias, 2011).

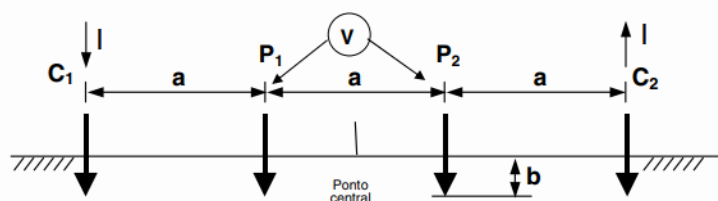


Figura 1 – Arranjo do método de Wenner para medição da resistividade do solo.

Fonte: NBR 7117 (ABNT, 2012).

Tratamento do Solo

Quando a resistência não alcança os valores exigidos, técnicas de tratamento são usadas. O **tratamento químico** adiciona sais ou compostos condutores ao entorno do eletrodo; sua eficácia é de curto a médio prazo, pois podem ter sua corrosão acelerada (Kindermann; Campagnolo, 1995; Visacro Filho, 2002). O **tratamento físico** envolve o eletrodo com materiais de alta retenção de umidade, sendo indicado em solos arenosos ou muito secos (Kindermann; Campagnolo, 1995; Creder, 2022).

COMPONENTES DO SISTEMA DE ATERRAMENTO

Eletrodos de Aterramento

Em ambientes industriais, os eletrodos aparecem como armaduras de fundação, malhas horizontais de cabo de cobre nu, anéis perimetrais e hastes verticais. As hastes mais comuns são do tipo Copperweld (alma de aço revestida de cobre). Em ambientes agressivos, hastes de aço inoxidável apresentam maior durabilidade (Lopes, 2024). Para subestações de maior porte, a malha reticulada —

cabos de cobre nu em grade com hastes nos vértices — entrega baixa resistência global e controla tensões de passo e de toque (Mamede Filho, 2020).

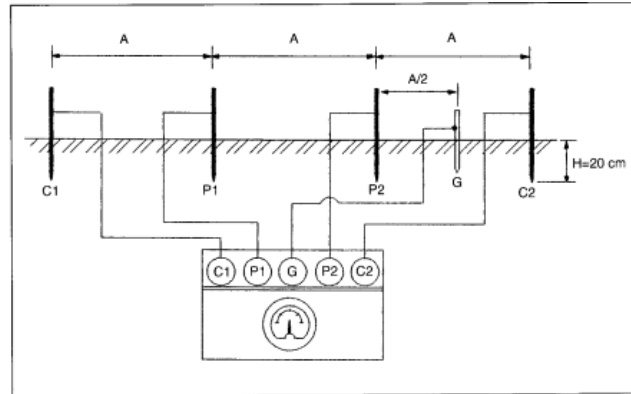


Figura 2 – Exemplo de ligação do Megger de terra aos eletrodos de medida de resistividade do solo.

Fonte: Mamede Filho (2020).

Condutores de Proteção e BEP

O condutor de proteção (PE) liga as massas ao Barramento de Equipotencialização Principal (BEP). A NBR 5410 fixa sua seção mínima conforme a seção da fase: igual à fase para condutores abaixo de 16 mm²; 16 mm² para fases entre 16 e 35 mm²; metade da fase acima de 35 mm² (Capelli, 2000). O BEP concentra todas as ligações de proteção e deve ser acessível para inspeção.

A interligação entre hastes e barramentos pode ser feita por conectores, grampos ou soldagem exotérmica (Cadweld), sendo esta última preferida em ambientes severos pela homogeneidade molecular da união e resistência à vibração e corrosão galvânica (Capelli, 2000).

ESQUEMAS DE ATERRAMENTO SEGUNDO A NBR 5410

A NBR 5410 normaliza cinco esquemas identificados por combinações de T, N, I, S e C: a primeira letra indica a relação do ponto de alimentação com a terra; a segunda, a condição das massas; a terceira, quando presente, a disposição entre neutro e proteção (Creder, 2022; Capelli, 2000).

Tabela 1 – Características dos esquemas de aterramento (NBR 5410)

Esquema	Características principais	Aplicação típica
TN-S	Neutro e PE fisicamente separados em toda a instalação.	Equipamentos eletrônicos sensíveis.
TN-C	Funções de neutro e proteção combinadas (PEN).	Aplicações gerais.
TN-C-S	PEN na origem, desmembrado em N e PE no restante.	Modernizações parciais de plantas.
TT	Massas aterradas por eletrodo próprio, independente da fonte.	Grandes plantas; eficiente proteção indireta.
IT	Neutro isolado ou aterrado por alta impedância.	Processo contínuo (prioridade em continuidade).

Fonte: elaborado pelos autores com base em Creder (2022) e Capelli (2000).

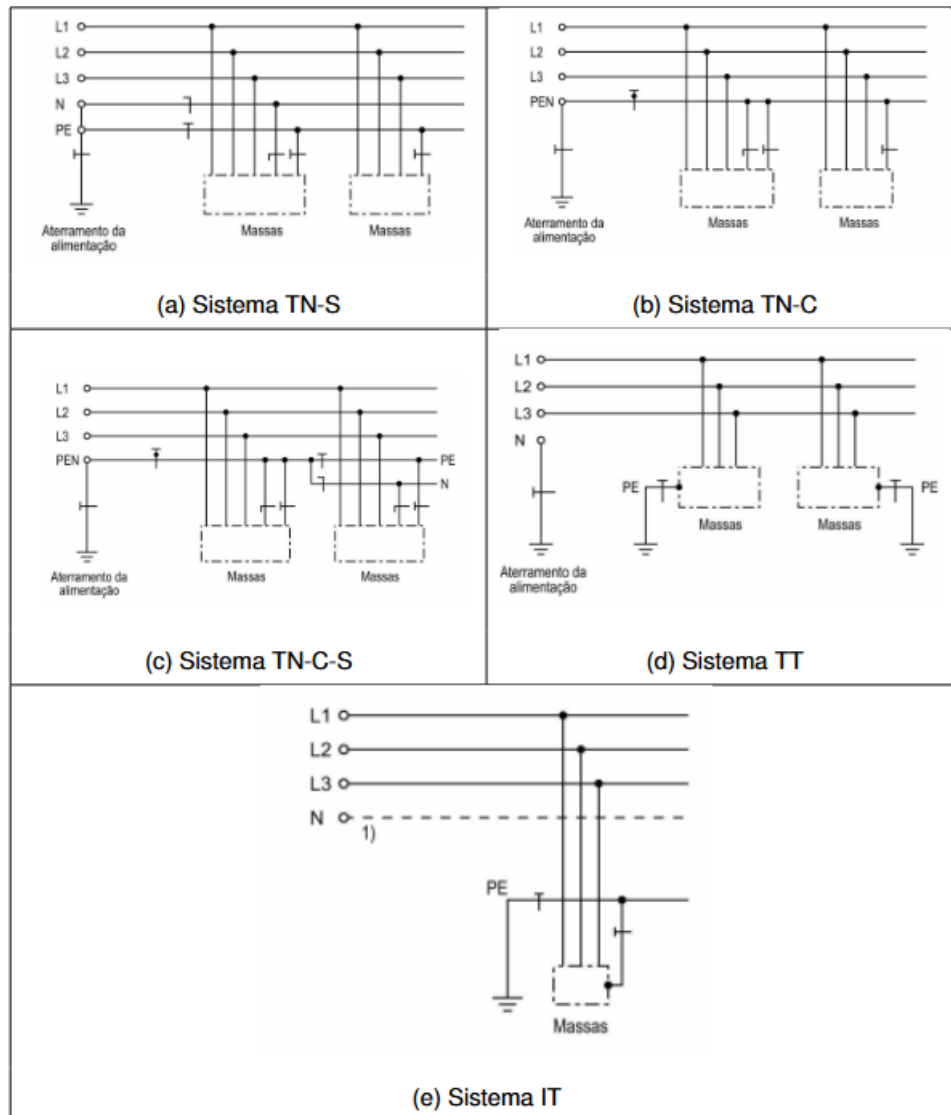


Figura 3 – Tipos de sistemas de aterramento conforme NBR 5410 / IEC 60364: (a) TN-S, (b) TN-C, (c) TN-C-S, (d) TT e (e) IT.

Fonte: NBR 5410 (ABNT, 2008).

NORMAS REGULAMENTADORAS APLICÁVEIS

ABNT NBR 5410 e NBR 5419

A NBR 5410 é a norma central para instalações de baixa tensão (até 1.000 V CA). Torna obrigatório o eletrodo de aterramento, regulamenta os esquemas TN, TT e IT, fixa critérios de dimensionamento dos condutores de proteção e prescreve regras de equipotencialização. Em ambientes com risco de explosão, impõe ligações

equipotenciais sistemáticas (Rando, 2021). A NBR 5419:2026 (substituindo a versão de 2015) regula o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), entre outras mudanças relevantes. Vale notar que a medição da resistência de aterramento permanece não obrigatória, e a norma não fixa 10Ω como exigência rígida.

NBR 7117, NBR 15749 e NBR 14039

A NBR 7117:2012 estabelece procedimentos para medição da resistividade e estratificação do solo, compatibilizando a engenharia elétrica com recursos da geofísica (O Setor Elétrico, 2021). A NBR 15749:2009 trata da medição da resistência de aterramento em subestações, incluindo malhas energizadas (Dias, 2011). A NBR 14039 cuida das instalações de média tensão (1,0 a 36,2 kV) e abrange aterramento do neutro do transformador, estruturas de cubículas e tensões de passo e de toque admissíveis (Guidorzi, 2018).

NR-10

A NR-10 é o principal instrumento legal de segurança elétrica no Brasil. Determina que o sistema de aterramento seja projetado, instalado e mantido conforme normas vigentes, exige inspeções periódicas registradas em prontuário (PIE) e impõe treinamento obrigatório com reciclagem (Brasil, 2019). A revisão aprovada em dezembro de 2025 integra a NR-10 ao Programa de Gerenciamento de Riscos da NR-1, trata o arco elétrico em paridade com o choque elétrico, incorpora o conceito de distância segura, entre outras mudanças.

Tabela 2 – Normas aplicáveis a sistemas de aterramento industrial

Norma	Escopo e aplicação no aterramento
NBR 5410	Instalações de baixa tensão: exige eletrodo, define esquemas (TN, TT, IT) e equipotencialização.
NBR 5419	Proteção contra descargas atmosféricas (SPDA): malhas de dissipação e integração ao sistema geral.
NBR 7117	Medição da resistividade e estratificação do solo (método de Wenner e modelos geoelétricos).
NBR 15749	Medição de resistência de aterramento em subestações (incluindo malhas energizadas).

Norma	Escopo e aplicação no aterramento
NBR 14039	Instalações de média tensão: subestações industriais, tensões de passo e toque admissíveis.
NR-10	Segurança em instalações: conformidade normativa, inspeções, PIE e treinamento obrigatório.

Fonte: elaborado pelos autores com base nas normas vigentes.

ATERRAMENTO DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS SENSÍVEIS

A presença crescente de transmissores em 24 VDC, redes de campo (Fieldbus, Profibus), CLPs e sistemas SCADA torna o aterramento progressivamente mais crítico, pois esses dispositivos são vulneráveis a distúrbios de aterramentos precários. Inversores de frequência e retificadores, por sua vez, geram intensa interferência eletromagnética (EMI), cuja contenção exige aterramento de baixa impedância em toda a faixa de frequências de interesse (Silva; Júnior, 2006).

Silva e Júnior (2006) agrupam quatro sistemas de aterramento voltados a equipamentos sensíveis:

- **Aterramento de força:** massas e barras de sinal ligadas à malha de força (60 Hz). Garante segurança pessoal, mas é ineficaz em alta frequência e pode acoplar ruídos da força aos circuitos de sinal.

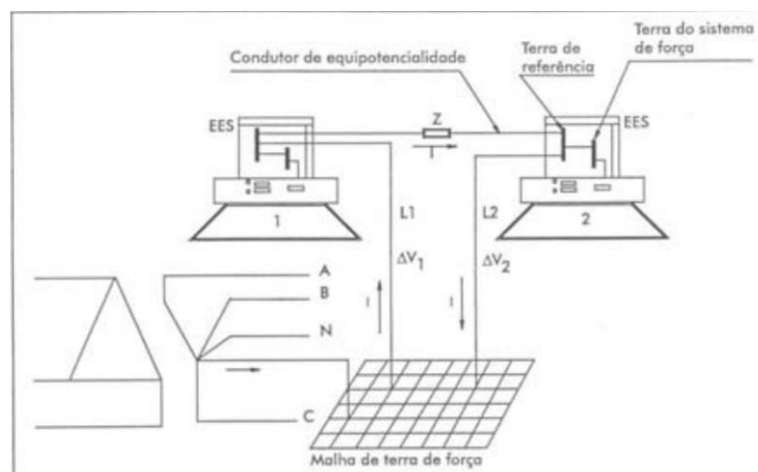


Figura 4 – Sistema de aterramento de força.

Fonte: Silva e Júnior (2006).

- **Aterramento independente:** duas malhas separadas por mais de 100 m. Não atende à NBR 5410 e representa risco de choque por diferenças de potencial entre malhas durante transitórios.

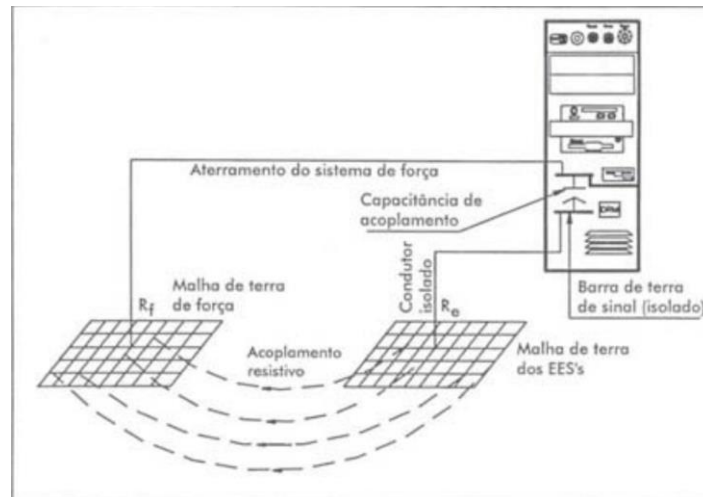


Figura 5 – Sistema de aterramento independente.

Fonte: Silva e Júnior (2006).

- **Ponto único:** barra de sinal ligada à malha de força em um único ponto (TN-S), eliminando laços de terra em baixa frequência. Ineficaz em alta frequência por acoplamento capacitivo residual.

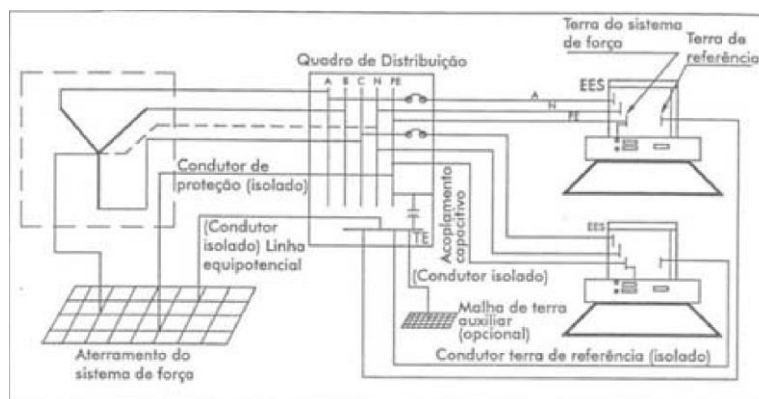


Figura 6 – Ponto único.

Fonte: Silva e Júnior (2006).

- **Malha de referência de sinal:** duas malhas interligadas em pelo menos dois pontos — a convencional e uma mesh de espaçamento reduzido para baixa

impedância em alta frequência. Solução mais completa para alta densidade de equipamentos sensíveis, a custo e complexidade maiores.

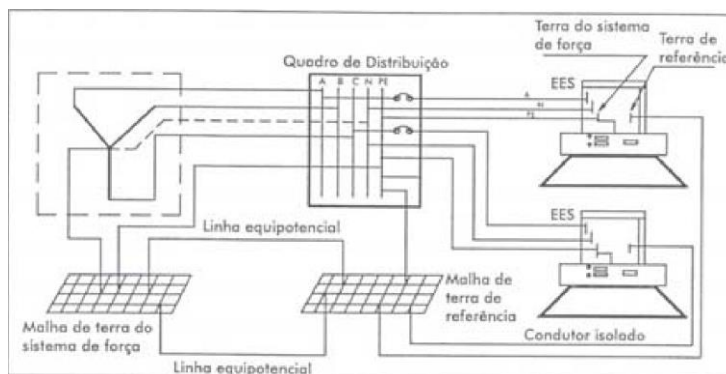


Figura 7 – Malha de referência de sinal.

Fonte: Silva e Júnior (2006).

Tabela 3 – Vantagens e desvantagens dos sistemas para equipamentos sensíveis

Sistema	Vantagens	Desvantagens
Aterramento de força	Baixa impedância a 60 Hz; segurança pessoal.	Ineficaz em alta frequência; acopla ruídos da força.
Independente	Tenta isolar ruídos da malha de força.	Risco de choque; não atende à NBR 5410.
Ponto único	Elimina laços de terra em baixa frequência (TN-S).	Ineficaz em alta frequência; acoplamento capacitivo.
Malha mesh	Equaliza potenciais em baixa e alta frequência; alta imunidade.	Custo elevado; maior complexidade; manutenção criteriosa.

Fonte: elaborado pelos autores com base em Silva e Júnior (2006).

EQUIPOTENCIALIZAÇÃO

A equipotencialização consiste em interligar deliberadamente todos os eletrodos e massas metálicas ao BEP, fixando um único referencial de potencial (Creder, 2022). Sua ausência é causa frequente de falhas em equipamentos eletrônicos: diferenças de potencial entre massas distintas geram correntes parasitas que injetam ruído nos sinais analógicos e digitais de controle (Silva; Júnior, 2006). A NBR 5410 determina uma seção mínima em cobre para o condutor principal de equipotencialização em instalações industriais. Onde houver SPDA, a

equipotencialização garante elevação simultânea do potencial de todas as massas durante descargas, prevenindo faiscamentos.

MEDIÇÃO, INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

A NR-10 e a NBR 5419 exigem verificação periódica da resistência de aterramento com instrumentos adequados. O terrômetro e o alicate terrômetro, este último aplicável a instalações energizadas, medem a resistência de aterramento, enquanto o megôhmetro avalia o isolamento e revela conexões defeituosas no PE (Capelli, 2000; Lopes, 2024). A escolha do instrumento depende menos de suas particularidades construtivas do que da condição da instalação: a impossibilidade de desenergizar a malha é o fator que tende a determinar o método de campo adotado.

A NBR 5419 recomenda inspeções visuais anuais e inspeções completas a cada um ou dois anos — com periodicidade reduzida em ambientes agressivos. As inspeções devem englobar verificação visual de captores e conexões, medição da resistência de aterramento, ensaios de continuidade e avaliação dos DPS.

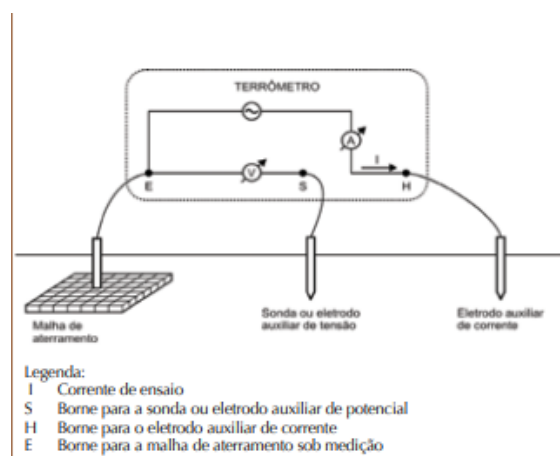


Figura 8 – Método de medição de resistência de aterramento pelo terrômetro (três pontos).

Fonte: NBR 15749 (ABNT, 2009).

ATERRAMENTO EM AMBIENTES INDUSTRIAIS AGRESSIVOS

Vapores ácidos em indústrias químicas, salinidade em regiões costeiras, efluentes corrosivos em ETAs e temperaturas elevadas em siderurgias agredem química e fisicamente os eletrodos enterrados (Rando, 2021). Embora o cobre forme camadas passivadoras em solos comuns, meios ácidos fortes ou soluções salinas

concentradas dissolvem essa proteção, elevando progressivamente a resistência de aterramento.

Os estudos de Lopes (2024) em uma indústria química documentam exatamente esse comportamento: em seis meses, hastes próximas a tanques de ácido sulfônico, fluorídrico e clorídrico apresentaram aumento contínuo de resistência; as hastes em áreas afastadas mantiveram valores estáveis.

Três estratégias de mitigação se destacam: reposicionar caixas de inspeção para fora das áreas de contenção química; substituir cobre por aço inoxidável (custo inicial maior, durabilidade superior); e vedar caixas de inspeção contra contato com líquidos derramados, respeitando a acessibilidade normativa. Em áreas com risco de explosão, NBR 5410 e NBR IEC 60079 impõem ligações equipotenciais entre tubulações, tanques e equipamentos envolvidos em transferência de fluidos inflamáveis (Rando, 2021).

TENDÊNCIAS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

A literatura recente aponta cinco frentes de evolução. No campo das **usinas fotovoltaicas (UFV)**, a ausência de norma ABNT específica levou à revisão da NBR 16690 para incorporar diretrizes de aterramento em plantas de grande área, com trackers motorizados e uso intensivo de aço cobreado (Canal Solar, 2025). Na **Indústria 4.0**, a revisão da IEC 62305:2024 reorganizou as Zonas de Proteção contra Raios (ZPR) integrando-as à compatibilidade eletromagnética (EMC) e às redes de TI (IEC, 2024), e aponta para o monitoramento remoto da malha por sensores e SCADA. Em **modelagem de alta frequência**, estudos recentes incorporam dependência espectral e ionização do solo ao comportamento das malhas sob correntes impulsivas (Araújo et al., 2024; Salarieh; Kordi, 2024), evidenciando que o conceito clássico de resistência a 60 Hz é insuficiente para descargas atmosféricas. Em **materiais alternativos**, eletrodos de grafite flexível e eletrodos encapsulados em concreto ganham espaço em ambientes agressivos, e a NBR 5419:2026 reconhece a equivalência do aço cobreado ao cobre (Barbosa, 2025). Por fim, o tema do **arco elétrico** tornou-se central na revisão da NR-10 aprovada em 2025: o cálculo da energia incidente passa a condicionar o projeto da instalação, com base na ABNT NBR 17227:2025, NFPA 70E e IEEE 1584 (Brasil, 2025).

CENÁRIO BRASILEIRO E DESAFIOS DE CONFORMIDADE

Os dados levantados entre 2001 e 2016 indicam que cerca de 70% das edificações industriais brasileiras operam com sistemas de aterramento em desacordo com as normas (Modena, 2016; Santos et al., 2023). As causas incluem ausência de projetos formais em obras de ampliação e retrofit, baixa conscientização de gestores quanto aos riscos, fiscalização insuficiente e escassez de mão de obra qualificada (Guerra et al., 2016). Pesquisas mostram que parcela significativa das indústrias não cumpre integralmente as exigências de capacitação da NR-10 (Carvalho, 2018). Inspeções periódicas com terrômetro calibrado, registradas em prontuário, permanecem como único mecanismo sistemático para garantir a conformidade ao longo da vida útil da instalação (Lopes, 2024).

ANÁLISE COMPARATIVA DAS FONTES

Para além da exposição temática, a comparação das fontes consultadas revela como diferentes naturezas de obra moldam o recorte que cada autor adota. O Quadro 1 sintetiza, para as principais referências, o tipo de abordagem e o foco predominante, permitindo visualizar a complementaridade — e, em alguns pontos, a divergência — entre as perspectivas.

Quadro 1 – Abordagem e foco predominante das principais referências

Referência	Abordagem	Foco principal
Visacro Filho (2002)	Livro-texto de referência	Fundamentos físicos do aterramento, resistividade e estratificação do solo; comportamento em altas frequências.
Kindermann e Campagnolo (1995)	Livro-texto clássico	Funções do aterramento, tratamento químico e físico do solo e dimensionamento de eletrodos.
Mamede Filho (2020)	Livro-texto de instalações industriais	Projeto de malhas e eletrodos em ambiente industrial; resistência de aterramento e instrumentação.
Creder (2022); Cotrim (2009)	Livros-texto de instalações elétricas	Conceituação, hierarquia de eletrodos e esquemas de aterramento da NBR 5410.
Capelli (2000)	Série de artigos técnicos	Definições práticas, condutores de proteção e BEP, conexões e instrumentação de medição.

Referência	Abordagem	Foco principal
Silva e Júnior (2006)	Artigo de iniciação científica	Aterramento de equipamentos eletrônicos sensíveis; topologias e interferência eletromagnética.
Rando (2021)	Livro técnico especializado	Aterramento e equipotencialização em atmosferas explosivas e ambientes classificados.
Lopes (2024)	Dissertação de mestrado (estudo de caso)	Corrosão de eletrodos e desempenho do aterramento em ambiente industrial agressivo.
Dias (2011)	Dissertação de mestrado	Medição de resistência e dimensionamento de malhas em subestações energizadas.
Araújo et al. (2024); Salarieh e Kordi (2024)	Artigos científicos internacionais	Modelagem da malha no domínio da frequência, dependência espectral e ionização do solo.
Modena (2016); Santos et al. (2023)	Artigo técnico e revisão bibliográfica	Diagnóstico de conformidade do parque de instalações brasileiro.
Guerra et al. (2016); Carvalho (2018)	Livros técnicos sobre segurança	Aplicação da NR-10, capacitação profissional e gestão de risco elétrico.
ABNT (NBR 5410, 5419, 7117, 14039, 15749)	Normas técnicas	Prescrições obrigatórias de projeto, medição e proteção; base normativa do tema.
Brasil (NR-10, 2019/2025)	Norma regulamentadora	Exigências legais de segurança, inspeção, prontuário e arco elétrico.

Fonte: elaborado pelos autores.

A leitura comparativa evidencia, em primeiro lugar, uma divisão de trabalho entre as fontes. Os livros-texto clássicos (Kindermann e Campagnolo, 1995; Visacro Filho, 2002) consolidam os fundamentos físicos e o tratamento do solo, oferecendo a base conceitual sobre a qual as demais obras se apoiam; já as referências voltadas ao projeto industrial (Mamede Filho, 2020; Creder, 2022) deslocam a ênfase para o dimensionamento de malhas e a seleção de esquemas. Há convergência quase unânime quanto ao papel duplo do aterramento — referência de potencial e caminho de baixa impedância para correntes de falta — e quanto à primazia da resistividade do solo como fator determinante de desempenho, ponto em que Visacro Filho (2002) e Mamede Filho (2020) se reforçam mutuamente.

As divergências, contudo, são instrutivas. Enquanto a literatura nacional consolidada trata a resistência de aterramento como grandeza essencialmente estática, medida na frequência industrial, a produção internacional recente (Araújo et al., 2024; Salarieh e Kordi, 2024) sustenta que esse parâmetro é insuficiente diante de descargas atmosféricas, exigindo modelagem no domínio da frequência. Silva e Júnior (2006), por sua vez, introduzem uma preocupação ausente nos manuais generalistas — a imunidade eletromagnética de equipamentos sensíveis —, ao passo que Rando (2021) e Lopes (2024) especializam o olhar para contextos críticos, atmosferas explosivas e ambientes corrosivos, respectivamente. As normas (ABNT; Brasil) operam em registro distinto do das demais fontes: não descrevem ou explicam, mas prescrevem, e é justamente o contraste entre o caráter prescritivo das normas e o caráter analítico ou empírico das demais obras que delimita o hiato entre norma e prática discutido adiante. Essa variedade de abordagens, longe de fragilizar a revisão, reforça a constatação de que o aterramento industrial só pode ser compreendido pela combinação de perspectivas complementares.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aterramento elétrico industrial é tema multidisciplinar que articula engenharia elétrica, geotecnia, ciência dos materiais, segurança do trabalho e gestão de manutenção. Esta revisão evidencia que cravar hastes no solo sem projeto fundamentado nas normas vigentes está longe de garantir a segurança e a confiabilidade de uma instalação contemporânea. A presença crescente de eletrônica sensível torna o sistema cada vez mais crítico, enquanto a operação em ambientes agressivos impõe desafios adicionais de durabilidade e escolha de materiais. O arcabouço normativo brasileiro — NBR 5410, NBR 5419, NBR 7117, NBR 14039, NBR 15749 e NR-10 — oferece base técnica e legal abrangente; fechar o hiato entre norma e prática exige investimentos simultâneos em capacitação profissional, cultura de segurança elétrica e fiscalização efetiva.

Para pesquisas futuras, destacam-se: estudos de caso comparativos em plantas de diferentes segmentos avaliando o impacto econômico da conformidade normativa; metodologias simplificadas de diagnóstico para inspeções de rotina;

investigação de materiais de eletrodo em ambientes agressivos específicos; e avaliação de proteção catódica adaptada a sistemas de aterramento.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. R. de et al. Time domain modeling of lightning transients in grounding systems considering frequency dependence and soil ionization. **Electric Power Systems Research**, v. 234, art. 110585, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: proteção contra descargas atmosféricas – partes 1 a 4. Rio de Janeiro: ABNT, 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7117**: medição da resistividade e determinação da estratificação do solo. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14039**: instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15749**: medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16690**: instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – requisitos de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17227**: cálculo de energia incidente e gerenciamento do risco de arco elétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

BARBOSA, J. Revisão da NBR 5419 prevê redefinição da análise de risco e da densidade de raios. **O Setor Elétrico**, jun. 2025. Disponível em: <https://www.osetoelettrico.com.br/>. Acesso em: maio 2026.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-10**: segurança em instalações e serviços em eletricidade. Brasília: MTE, 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **CTPP aprova ajustes na NR 10.**

Brasília: Fundacentro, 19 dez. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/fundacentro/>. Acesso em: maio 2026.

CANAL SOLAR. Proposta de revisão da norma NBR 16690: aterramento de usinas fotovoltaicas. **Canal Solar**, maio 2025. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/>. Acesso em: maio 2026.

CAPELLI, A. Aterramento elétrico. **Saber Eletrônica**, n. 329-331, 2000.

CARVALHO, A. **Norma Regulamentadora 10 comentada**. São Paulo: LTC, 2018.

COTRIM, A. **Instalações elétricas**. 5. ed. São Paulo: Pearson Education, 2009.

CREDER, H. **Instalações elétricas**. 17. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

DIAS, A. D. **Malhas de aterramento em subestações energizadas**. 2011. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

FREIRE, P. E. A modelagem geoeletrica para projetos de aterramento. **Eletricidade Moderna**, n. 570, 2023.

GOMES, C. F. **Gestão de segurança e saúde no trabalho: riscos elétricos**. Porto: Vida Económica, 2019.

GUERRA, J. F. C. et al. **Segurança em instalações e serviços em eletricidade**. São Paulo: Érica, 2016.

GUIDORZI, R. **Manual de proteção, controle e medição em sistemas elétricos de potência**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2018.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 62305: protection against lightning – parts 1 to 4**. 3rd ed. Geneva: IEC, 2024.

KINDERMANN, G.; CAMPAGNOLO, J. M. **Aterramento elétrico**. 3. ed. Florianópolis: Sagra-DC Luzzatto, 1995.

LOPES, D. G. **Análise de sistemas de aterramento em ambientes industriais agressivos**. 2024. 57 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2024.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

MODENA, J. A situação dos sistemas de aterramento nas instalações elétricas das edificações do Brasil. **O Setor Elétrico**, 2016. Disponível em:

<https://www.osetoelettrico.com.br/>. Acesso em: maio 2026.

O SETOR ELÉTRICO. ABNT NBR 7117: a recente revisão da norma. **O Setor Elétrico**, jun. 2021. Disponível em: <https://www.osetoelettrico.com.br/>. Acesso em: maio 2026.

RANDO, R. **Aterramento em atmosferas explosivas**. São Paulo: Blucher, 2021.

SALARIEH, B.; KORDI, B. Investigation of soil resistivity impacts on grounding systems subjected to lightning. **IET Generation, Transmission & Distribution**, v. 18, n. 21, p. 3392-3406, 2024.

SANTOS, N. B. K. et al. Aterramento elétrico: uma revisão bibliográfica. **REASE**, São Paulo, v. 9, n. 5, p. 4656-4672, 2023.

SILVA, A. P. S.; JÚNIOR, L. S. Aterramento de instalações industriais eletroeletrônicas de instrumentação e redes de campo. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 10., 2006, São José dos Campos. Anais [...]. São José dos Campos: UNIVAP, 2006. p. 224-227.

VISACRO FILHO, S. **Aterramentos elétricos**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2002.