PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA EM SERVIÇOS COM ELETRICIDADE EM CONDIÇÃO SUBAQUÁTICA

SAFETY PROCEDURES FOR WORKING WITH ELECTRICAL CONDITIONS UNDERWATER

PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD PARA TRABAJAR CON INSTALACIONES ELÉCTRICAS BAJO EL AGUA

10.56238/IIMultiCientifica-138

Tiago da Silva de Sousa
Especializado em Gestão Empresarial, Gestão Escolar e Coordenação Pedagógica, Transição Energética e Novos Negócios

Frederico Ferreira Custódio
Especialista em Mergulho
Instituição: FIRJAN/SENAI

RESUMO
Este artigo analisa os procedimentos de segurança relacionados ao uso de eletricidade em operações subaquáticas, considerando a crescente complexidade do mergulho profissional e a ampliação do uso de equipamentos elétricos nesse ambiente. A revisão bibliográfica abrange normas técnicas, documentos regulatórios, manuais operacionais e relatos de incidentes, o que evidencia a ausência de diretrizes unificadas para proteção elétrica em condições submersas e reforça a necessidade de integrar princípios de engenharia elétrica às práticas operacionais de mergulho. A análise de normas nacionais e internacionais, associada ao estudo de casos reais, permite caracterizar riscos recorrentes, como choque elétrico, falhas de isolamento, uso de equipamentos incompatíveis com a profundidade, deficiências de manutenção e lacunas na capacitação das equipes. Os resultados indicam que, embora existam recomendações gerais de segurança, há carência de procedimentos operacionais padronizados voltados especificamente ao contexto subaquático. Os casos analisados indicam que parte significativa dos acidentes poderia ser evitada por meio de inspeções sistemáticas, aterramento adequado, uso de dispositivos diferenciais residuais, seleção correta de equipamentos e treinamento específico em riscos elétricos. A segurança elétrica em ambiente submerso depende de uma abordagem multidisciplinar, que envolve planejamento, operação, manutenção e capacitação profissional. Como contribuição, o estudo organiza boas práticas, evidencia lacunas normativas e indica direções para pesquisas futuras, incluindo o desenvolvimento de equipamentos de proteção com propriedades dielétricas adequadas, sistemas de monitoramento elétrico em tempo real e protocolos específicos de inspeção para operações hiperbáricas.

Palavras-chave: Segurança Elétrica. Mergulho Profissional. Risco Elétrico. Submersão. Eletricidade Subaquática.

ABSTRACT
This article analyzes safety procedures related to the use of electricity in underwater operations, considering the increasing complexity of professional diving and the expanded use of electrical equipment in this environment. The literature review covers technical standards, regulatory documents, operational manuals, and incident reports, highlighting the lack of unified guidelines for electrical protection in submerged conditions and reinforcing the need to integrate electrical engineering principles into diving operational practices. The analysis of national and international standards, combined with the study of real cases, allows for the characterization of recurring risks, such as electric shock, insulation failures, use of equipment incompatible with the depth, maintenance deficiencies, and gaps in team training. The results indicate that, although general safety recommendations exist, there is a lack of standardized operational procedures specifically geared towards the underwater context. The cases analyzed indicate that a significant portion of accidents could be avoided through systematic inspections, proper grounding, use of residual current devices, correct equipment selection, and specific training in electrical hazards. Electrical safety in underwater environments depends on a multidisciplinary approach, involving planning, operation, maintenance, and professional training. As a contribution, this study organizes best practices, highlights regulatory gaps, and indicates directions for future research, including the development of protective equipment with adequate dielectric properties, real-time electrical monitoring systems, and specific inspection protocols for hyperbaric operations.

Keywords: Electrical Safety. Professional Diving. Electrical Risk. Submersion. Underwater Electricity.

RESUMEN
Este artículo analiza los procedimientos de seguridad relacionados con el uso de electricidad en operaciones subacuáticas, considerando la creciente complejidad del buceo profesional y el uso cada vez mayor de equipos eléctricos en este entorno. La revisión bibliográfica abarca normas técnicas, documentos reglamentarios, manuales operativos e informes de incidentes, destacando la falta de directrices unificadas para la protección eléctrica en condiciones de inmersión y reforzando la necesidad de integrar los principios de la ingeniería eléctrica en las prácticas operativas de buceo. El análisis de normas nacionales e internacionales, combinado con el estudio de casos reales, permite caracterizar riesgos recurrentes, como descargas eléctricas, fallos de aislamiento, uso de equipos incompatibles con la profundidad, deficiencias en el mantenimiento y lagunas en la formación del equipo. Los resultados indican que, si bien existen recomendaciones generales de seguridad, hay una falta de procedimientos operativos estandarizados específicamente adaptados al contexto subacuático. Los casos analizados indican que una parte significativa de los accidentes podría evitarse mediante inspecciones sistemáticas, una correcta puesta a tierra, el uso de dispositivos de corriente residual, la selección adecuada de equipos y una formación específica en riesgos eléctricos. La seguridad eléctrica en entornos subacuáticos depende de un enfoque multidisciplinar que abarca la planificación, la operación, el mantenimiento y la formación profesional. Este estudio recopila buenas prácticas, destaca las deficiencias normativas e indica líneas de investigación futuras, incluyendo el desarrollo de equipos de protección con propiedades dieléctricas adecuadas, sistemas de monitorización eléctrica en tiempo real y protocolos de inspección específicos para operaciones hiperbáricas.

Palabras clave: Seguridad Eléctrica. Buceo Profesional. Riesgo Eléctrico. Inmersión. Electricidad Subacuática.

1 INTRODUÇÃO

A atividade de mergulho comercial no Brasil é regulamentada por normas específicas, como a NORMAM-222/DPC da Marinha do Brasil e o Anexo VI da NR-15, que estabelecem diretrizes para operações em condições hiperbáricas. Essas normativas fazem referência a manuais internacionais, como o *US Navy Diving Manual*, consolidando um conjunto de diretrizes voltadas à segurança do mergulhador.

No entanto, apesar da existência dessas regulamentações, observa-se que os requisitos relacionados à segurança elétrica em ambientes submersos são tratados de forma genérica e não integrada. O uso crescente de equipamentos eletroeletrônicos em operações subaquáticas — incluindo sistemas de iluminação, ferramentas elétricas, soldagem subaquática, câmeras e dispositivos de monitoramento — amplia significativamente os riscos associados à condução elétrica em meio líquido.

De acordo com o *US Navy Diving Manual* (2018), o choque elétrico em operações de mergulho pode ocorrer tanto por falhas em equipamentos utilizados pelo próprio mergulhador quanto por fontes externas, como cabos energizados com isolamento comprometido ou sistemas elétricos submersos. Adicionalmente, tecnologias como proteção catódica por corrente impressa e sistemas de aquecimento elétrico de vestimentas introduzem novos cenários de risco que exigem abordagens específicas de controle.

Nesse contexto, evidencia-se a ausência de uma sistematização clara e consolidada de procedimentos voltados à segurança elétrica em operações subaquáticas, especialmente no que se refere à integração entre normas nacionais e práticas internacionais.

Diante disso, este estudo tem como objetivo analisar e sistematizar procedimentos de segurança elétrica aplicáveis a operações de mergulho comercial, com base em revisão bibliográfica de normas técnicas, literatura especializada e análise de casos reais, visando contribuir para a mitigação de riscos em ambientes submersos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FUNDAMENTOS DE ELETRICIDADE EM MEIO SUBAQUÁTICO

A condução elétrica em meio subaquático apresenta características distintas em relação ao ambiente atmosférico, devido à maior condutividade da água, influenciada por fatores como salinidade, temperatura e pressão. Nessas condições, correntes elétricas podem se propagar de forma difusa e de difícil controle, ampliando o risco de choque elétrico em caso de falhas de isolamento.

Conforme destacado por Boylestad (2013), o aumento da diferença de potencial intensifica a circulação de corrente que, em ambiente submerso, potencializa efeitos fisiológicos adversos ao mergulhador.

De acordo com a IMCA (2010), o choque elétrico pode ocorrer por contato direto com partes energizadas ou pela exposição a campos elétricos em proximidade de fontes energizadas. Nessas situações, o corpo humano passa a conduzir corrente elétrica, podendo resultar em efeitos que variam desde desconforto e contrações musculares até fibrilação ventricular, condição potencialmente fatal.

2.2 NORMAS E REGULAMENTAÇÕES APLICÁVEIS

No contexto nacional, não foram identificadas normas específicas que tratem de forma integrada a segurança elétrica em condições submersas. Entretanto, diversas regulamentações relacionadas à atividade elétrica e ao mergulho profissional estabelecem diretrizes que, de forma complementar, podem ser aplicadas à mitigação desses riscos.

No âmbito das Normas Regulamentadoras, destaca-se a NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade, cuja redação vigente durante o desenvolvimento deste estudo foi estabelecida pela Portaria SEPRT nº 915/2019. Em maio de 2026, a Portaria MTE nº 737/2026 estabeleceu nova redação para a NR-10, com vigência prevista para 1º de junho de 2027. A nova redação amplia e reorganiza requisitos relacionados ao gerenciamento de riscos, qualificação, autorização, treinamento e medidas de proteção. A NR-15, cujo Anexo VI trata das atividades em condições hiperbáricas, incluindo o mergulho, em consonância com as diretrizes da Marinha do Brasil. Outras normas, como NR-06, NR-30 e NR-37, contribuem de forma indireta ao abordar o uso de equipamentos de proteção individual e condições de segurança em ambientes aquaviários e offshore.

A NORMAM-222/DPC configura-se como a principal referência nacional para o mergulho comercial, incorporando diretrizes internacionais, como o U.S. *Navy Diving Manual*, amplamente utilizado como base técnica para operações subaquáticas. Esse arcabouço normativo evidencia uma abordagem fragmentada, na qual aspectos de segurança elétrica são tratados de forma indireta e não sistematizada.

Em nível internacional, a *International Marine Contractors Association* (IMCA) disponibiliza um conjunto abrangente de diretrizes técnicas voltadas às operações offshore, incluindo recomendações específicas para o uso seguro de eletricidade em ambiente subaquático. Embora não possuam caráter obrigatório no Brasil, essas normas são amplamente adotadas como referência em contratos internacionais e em boas práticas operacionais.

Dentre essas diretrizes, destaca-se a norma IMCA D 045, que aborda especificamente a segurança no uso de eletricidade subaquática, complementada por outras normas relacionadas ao projeto, operação e inspeção de sistemas de mergulho. A tabela 1 apresenta uma síntese das principais diretrizes da IMCA aplicáveis à análise e mitigação de riscos elétricos em operações subaquáticas.

Tabela 1 – Principais normas da IMCA aplicáveis à segurança elétrica em operações subaquáticas

Documento IMCA	**Título original (em inglês)**	**Título Traduzido (Terminologia Offshore)**	**Foco**
IMCA D 003	*Guidelines for Oxy-Arc Cutting*	Diretrizes para Corte Oxi-Arco	Procedimentos seguros e boas práticas para corte subaquático utilizando processos de soldagem/corte a arco com oxigênio.
IMCA D 014	*IMCA International Code of Practice for Offshore Diving*	Código Internacional de Boas Práticas para Mergulho Offshore da IMCA	Regulamento fundamental. Diretrizes para o gerenciamento e execução de todas as operações de mergulho (Air Diving e Saturation Diving).
IMCA D 015	Mobile/Portable/Daughtercraft Surface Supplied Systems	Sistemas de Suprimento de Ar Superficial Móveis/Portáteis/embarcação de apoio	Diretrizes para projeto, operação e segurança de sistemas móveis ou portáteis de suprimento de ar para mergulho.
IMCA D 018	*Code of practice for the initial and periodic examination, testing and certification of diving plant and equipment*	Código de Prática para Inspeção, Testes e Certificação Inicial e Periódica de Equipamentos de Mergulho	Abrange os procedimentos de manutenção, inspeção e testes dos ativos de mergulho.
IMCA D 022	*Guidance for diving supervisors*	Orientação para Supervisores de Mergulho	Detalha as responsabilidades e a gestão de segurança e procedimentos operacionais pelo Supervisor.
IMCA D 023	*Diving Equipment Systems Inspection Guidance Note (DESIGN) for surface orientated (air) diving systems*	Nota de Orientação para Inspeção de Sistemas de Equipamentos de Mergulho (PROJETO) para Sistemas de Mergulho de Superfície (Ar)	Requisitos de projeto e inspeção para sistemas de Mergulho de Ar e Mergulho de Mistura Rasa.
IMCA D 024	*Design for saturation (bell) diving systems*	Requisitos de Projeto para Sistemas de Mergulho de Saturação (Sino)	Especifica o projeto, construção e inspeção dos Sistemas de Saturação.
IMCA D 040	*Design for mobile/portable surface supplied systems*	Requisitos de Projeto para Sistemas de Mergulho de Superfície Móveis/Portáteis	Diretrizes para sistemas menores e transportáveis (embarcação de apoio).
IMCA D 041	*Use of Battery-Operated Equipment in Hyperbaric Conditions*	Uso de Equipamentos Alimentados por Bateria em Condições Hiperbáricas	Define requisitos e limitações para operação de dispositivos elétricos portáteis em câmaras hiperbáricas e ambientes pressurizados
IMCA D 045	*Code of practice for the safe use of electricity under water*	Código de Prática para o Uso Seguro de Eletricidade Subaquática	Focado na prevenção de choque elétrico e outros riscos da eletricidade em operações de mergulho e soldagem subaquática.

Fonte: o autor, 2026

2.3 RISCOS ELÉTRICOS EM AMBIENTE SUBAQUÁTICO

O Manual de Mergulho da Marinha Americana (2018) define os riscos elétricos do como aqueles causados por falha de isolamento dos equipamentos eletroeletrônicos levados pelo mergulhador, por cabos submarinos ou instalações subaquáticas, destroços energizados e descargas atmosféricas.

A norma IMCA D 045 (2010) complementa os riscos considerando campo elétrico gerado por anodo de corrente impressa, roupas de mergulho aquecidas eletricamente, operações com ROV (especialmente se envolver manutenção ou resgate dos mesmos), equipamentos elétricos utilizados dentro da câmara hiperbárica.

2.4 EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIAS DE PROTEÇÃO

As operações de mergulho envolvem o uso de diversos equipamentos eletroeletrônicos que ampliam a exposição do mergulhador a riscos elétricos. Nesse contexto, além dos sistemas ativos, elementos passivos de proteção, como vestimentas, desempenham papel relevante na mitigação desses riscos.

As roupas de mergulho, especialmente as do tipo seca, atuam como barreira física entre o corpo do mergulhador e o meio condutor, reduzindo a possibilidade de circulação de corrente elétrica através do corpo. Em situações específicas, como em proximidade inferior a 4,5 m de sistemas de proteção catódica por corrente impressa, recomenda-se a utilização de vestimentas que minimizem o contato direto com o meio energizado, incluindo roupas secas ou conjuntos completos com isolamento adequado (*US Navy*, 2018).

No que se refere à proteção ativa, destacam-se dispositivos diferenciais residuais (RCD – *Residual Current Device*), amplamente utilizados para detecção de correntes de fuga. Esses dispositivos monitoram continuamente a corrente nos condutores de alimentação e promovem o desligamento automático do circuito em caso de desequilíbrio, indicando fuga de corrente para o meio externo. Em operações de mergulho, recomenda-se que cada equipamento elétrico seja protegido individualmente por RCD, de modo a garantir seletividade e continuidade operacional dos demais sistemas (IMCA, 2010).

De acordo com o *U.S. Navy Diving Manual* (2018), dispositivos de proteção desse tipo — também denominados GFI *(Ground Fault Interrupter*) — devem ser empregados em sistemas com tensões superiores a 7,5 VAC ou 30 VDC, apresentando tempo de atuação inferior a 20 ms para

correntes de fuga de até 30 mA. Esses parâmetros são fundamentais para a redução do risco de fibrilação ventricular em caso de exposição acidental à corrente elétrica.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo baseia-se em revisão bibliográfica estruturada, com o objetivo de coletar, analisar e sintetizar o conhecimento existente sobre segurança em operações submersas envolvendo o uso de equipamentos elétricos.

A busca bibliográfica considerou publicações relacionadas aos termos segurança elétrica, eletricidade subaquática, mergulho profissional, choque elétrico, equipamentos elétricos submersos e riscos elétricos em atividades hiperbáricas. Foram priorizadas fontes normativas, documentos institucionais, manuais técnicos, literatura especializada e relatos de incidentes diretamente relacionados ao tema.

Como critério de inclusão, foram priorizadas publicações dos últimos 25 anos que abordassem atividades subaquáticas, riscos elétricos e medidas de segurança associadas, admitindo-se documentos anteriores quando considerados referências técnicas ou normativas relevantes para a fundamentação do estudo. Foram excluídos materiais que não tratassem de riscos ocupacionais ou que abordassem exclusivamente riscos não relacionados à eletricidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A operação de mergulho profissional envolve a interação constante entre seres humanos, equipamentos industriais, sistemas elétricos e um meio altamente condutor: a água, especialmente em ambiente marinho. Nesse contexto, a segurança elétrica configura-se como elemento crítico para a prevenção de acidentes graves e potencialmente fatais. O risco não se limita à condução direta da corrente elétrica, mas também à ocorrência de falhas combinadas dificilmente detectáveis. Assim, a compreensão integrada dos dispositivos de proteção, das normas aplicáveis, dos procedimentos operacionais, bem como das práticas de manutenção e qualificação profissional, constitui fator determinante para a segurança das operações.

Um dos principais dispositivos de proteção elétrica no mergulho é o dispositivo diferencial residual (RCD), conhecido internacionalmente como *Ground Fault Interrupter* (GFI). Esses dispositivos são projetados para interromper o fornecimento de energia ao detectar correntes de fuga superiores aos limites de segurança. No entanto, apesar de sua ampla utilização, apresentam limitações

operacionais relevantes. Falhas internas podem ocorrer sem indicação ao operador, inclusive após testes manuais aparentemente satisfatórios. A deterioração de componentes pode impedir o disparo automático em situações reais de fuga de corrente, evidenciando a necessidade de testes periódicos e manutenção adequada.

Adicionalmente, o correto funcionamento dos dispositivos diferenciais depende da integridade do sistema de aterramento de referência. Interrupções ou falhas nesse sistema comprometem sua capacidade de atuação. Configurações inadequadas, como o cascateamento de dispositivos diferenciais, podem eliminar a referência de terra e inviabilizar a proteção, configurando uma vulnerabilidade operacional significativa (*US Navy*, 2018).

O princípio de operação desses dispositivos baseia-se na detecção de desequilíbrio entre correntes nos condutores ativos, indicando fuga de corrente para o meio condutor, para a estrutura da embarcação ou para o corpo humano. Nesses casos, o dispositivo promove o desligamento automático do circuito, reduzindo o risco de exposição a correntes perigosas.

A integridade dos equipamentos constitui outro fator crítico para a segurança elétrica em operações subaquáticas. Cabos elétricos, umbilicais e conectores estão sujeitos a condições severas, incluindo abrasão, pressão hidrostática, flexão cíclica e corrosão. A degradação desses elementos pode resultar em falhas de isolamento e consequente energização do meio circundante. Dessa forma, a inspeção pré-operacional e a compatibilidade dos equipamentos com a profundidade de operação são requisitos essenciais, conforme evidenciado nos casos analisados na seção 4.3.

Recomendações da IMCA (2010) indicam a necessidade de monitoramento contínuo das fontes de energia utilizadas em sistemas subaquáticos, incluindo ferramentas, iluminação e veículos operados remotamente (ROVs). A operação simultânea de mergulhadores e ROVs é comum em ambientes offshore, o que amplia a complexidade dos riscos envolvidos. Falhas em umbilicais ou sistemas de isolamento podem transferir potenciais elétricos perigosos para a água, representando risco direto aos mergulhadores. Nesses cenários, a proteção por dispositivos diferenciais, o monitoramento de correntes de fuga e a integridade dos cabos tornam-se fatores críticos de segurança.

Em relação a sistemas de proteção catódica por corrente impressa (ICCP), o *U.S. Navy Diving Manual* (2018) estabelece a necessidade de desenergização, bloqueio e verificação da ausência de tensão antes da realização de operações de mergulho em proximidade. Esse procedimento apresenta similaridade com práticas de bloqueio e etiquetamento adotadas em instalações industriais, conforme diretrizes da NR-10. Em situações específicas, nas quais a desativação do sistema não é viável,

recomenda-se o uso de vestimentas isolantes e instrumentos de medição, como sondas de tensão, para avaliação de campos elétricos no ambiente subaquático.

A segurança elétrica também está diretamente associada à qualificação dos profissionais envolvidos. A NR-10 estabelece requisitos específicos para a qualificação, capacitação e autorização dos trabalhadores envolvidos em serviços e atividades em proximidade de instalações elétricas. Na nova redação da norma, são considerados autorizados os profissionais habilitados, qualificados e trabalhadores-capacitados que realizam serviços em instalações elétricas, bem como aqueles que atuam em proximidade ou supervisionam essas atividades, mediante autorização formal da organização e atendimento aos requisitos de aptidão e treinamento. No contexto do mergulho, observa-se uma lacuna na formação profissional, uma vez que na literatura e nos documentos normativos consultados, não foram identificados programas formalmente reconhecidos que integrem de forma específica competências em eletricidade aplicada ao ambiente subaquático. Essa ausência pode representar um fator adicional de risco operacional.

4.1 PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA E BOAS PRÁTICAS

A NORMAM-222/DPC (2025), em seu item 11.4 (Análise Preliminar de Risco), estabelece a obrigatoriedade de identificação e registro dos riscos elétricos antes do início das operações de mergulho. Entretanto, observa-se que a norma não detalha procedimentos específicos para mitigação desses riscos, limitando-se à exigência de sua consideração formal no planejamento.

O *U.S. Navy Diving Manual* (2018), por sua vez, apresenta diretrizes operacionais mais específicas, incluindo o monitoramento contínuo de equipamentos elétricos subaquáticos por meio de instrumentos de medição na superfície, como amperímetros, além da exigência de acionamento controlado de equipamentos de alto risco, como máquinas de solda elétrica. Também são recomendadas inspeções pré-operacionais rigorosas, proteção mecânica de cabos contra abrasão e a interrupção das atividades em condições ambientais adversas, como tempestades com incidência de descargas atmosféricas. Essas medidas evidenciam uma abordagem mais prescritiva e operacionalmente orientada para a mitigação de riscos elétricos.

A NR-10 estabelece procedimentos estruturados para a desenergização de instalações elétricas, contemplando seccionamento ou desligamento, constatação da ausência de tensão, impedimento de reenergização, aterramento temporário com equipotencialização, proteção dos elementos energizados existentes na zona controlada e sinalização de impedimento de reenergização. Na nova redação da

norma, esses procedimentos estão estabelecidos no item 10.13.1. Tais procedimentos apresentam similaridade conceitual com requisitos operacionais previstos para mergulho em barragens, conforme a NORMAM-222 (2025), item 11.21.

No entanto, a análise comparativa evidencia uma diferença significativa de abordagem. Enquanto a NR-10 apresenta um procedimento estruturado e sequencial para controle de riscos elétricos, a NORMAM-222 não contempla, de forma sistematizada, etapas equivalentes voltadas à desenergização e controle de energia elétrica em ambiente submerso. Observa-se que a norma de mergulho prioriza riscos hidrodinâmicos, como o delta P, em detrimento de uma abordagem detalhada dos riscos elétricos.

Essa lacuna normativa sugere a necessidade de integração de práticas consolidadas da engenharia elétrica às operações de mergulho, especialmente em cenários que envolvem interação direta com sistemas energizados.

A Tabela 2 apresenta uma síntese comparativa entre os procedimentos previstos na NORMAM-222 e na NR-10, evidenciando pontos de convergência e lacunas operacionais relacionadas à segurança elétrica. A comparação apresentada tem caráter exclusivamente analítico e não implica equivalência ou aplicação direta dos requisitos da NR-10 às operações de mergulho.

Tabela 2 – Comparação entre procedimentos da NORMAM-222 e NR-10

NORMAM 222/DPC	**NR-10 (2026)**
11.21. OPERAÇÕES DE MERGULHO EM USINAS HIDRELÉTRICAS Além dos requisitos de segurança estabelecidos nas presentes Normas, os seguintes requisitos adicionais deverão ser cumpridos por ocasião dos mergulhos realizados em barragens de usinas hidrelétricas:	10.13.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho, mediante os procedimentos apropriados, obedecida a sequência abaixo e prevista no projeto:
a) A turbina da unidade de geração onde será realizado o mergulho, e as turbinas adjacentes, deverão estar desligadas	a) seccionamento ou desligamento;
(Não há correlação na NORMAM a esse item da NR-10)	b) constatação da ausência de tensão;
e com suas pás travadas. Os comandos localizados na sala de controle deverão estar travados (...)	c) impedimento de reenergização;
b) Dispositivos do tipo “corta-fluxo” deverão ser instalados, caso haja correnteza no local do mergulho	d) constatação de ausência de tensão para a instalação de aterramento temporário com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
(Não há correlação na NORMAM a esse item da NR-10)	e) proteção dos elementos energizados existentes na zona controlada (Anexo II desta NR) e proteção dos trabalhadores para os efeitos do arco elétrico;
Os comandos localizados na sala de controle deverão estar travados e etiquetados, de modo a não serem acionados inadvertidamente.	f) instalação da sinalização de impedimento de reenergização; e

c) O sistema de mergulho empregado deverá estar de acordo com a profundidade do local de trabalho, e em conformidade com os requisitos estabelecidos na presente Norma. Os projetos de engenharia, necessários para adequação dos sistemas de lançamento, a fim de possibilitar atender às necessidades específicas de acesso dos locais de trabalho das usinas deverão ser aprovadas por Organização Reconhecida. d) A equipe de mergulho deverá ser constituída de acordo com o estabelecido no artigo 4.3.	(Não há correlação na NR-10 a esses itens da NORMAM)
(Não há correlação na NORMAM a esse item da NR-10)	g) delimitação e sinalização da área de trabalho.

Fonte: elaborado pelo autor com base na NORMAM-222/DPC (2025) e na NR-10, com redação dada pela Portaria MTE nº 737/2026.

4.2 APLICAÇÕES E CONTEXTO PRÁTICO

A atividade de mergulho apresenta ampla diversidade de aplicações, conforme descrito na NORMAM-222/DPC (2025), abrangendo contextos militares, científicos, recreativos e industriais. Dentre esses, o mergulho comercial se destaca por envolver maior complexidade operacional e maior interação com sistemas eletroeletrônicos, sendo, portanto, o mais crítico do ponto de vista da segurança elétrica.

Nesse contexto, as operações frequentemente envolvem manutenção de cabos submarinos de energia e telecomunicações, inspeções e intervenções em plataformas offshore, embarcações, portos e estruturas submersas, além de atividades em usinas hidrelétricas, como inspeção de turbinas e comportas. Tais cenários implicam a presença direta ou indireta de sistemas energizados, aumentando significativamente o risco de exposição a correntes elétricas.

Adicionalmente, operações que envolvem o uso de ferramentas elétricas submersas, soldagem subaquática e interação com sistemas como ROVs e proteção catódica por corrente impressa configuram situações de elevado risco elétrico, exigindo a aplicação rigorosa de medidas de controle, conforme diretrizes da IMCA D 045 (2010).

Dessa forma, observa-se que o risco elétrico no mergulho não é uniforme entre suas diferentes aplicações, sendo mais relevante em ambientes industriais e offshore, onde há maior densidade de equipamentos energizados e maior complexidade operacional. Essa constatação reforça a necessidade de abordagens específicas de segurança elétrica adaptadas ao contexto de cada operação.

4.3 ESTUDOS DE CASO E REVISÃO DE INCIDENTES

O desenvolvimento e amadurecimento da atividade de mergulho profissional decorrem, em grande parte, da análise sistemática de incidentes e das lições aprendidas ao longo da prática

operacional. A avaliação de acidentes permite identificar falhas recorrentes, aprimorar procedimentos e consolidar boas práticas de segurança. A seguir, são apresentados casos representativos, associados às respectivas normas e medidas preventivas.

4.4 VERIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS (CHECK LIST) DE MERGULHO

A NORMAM-222/DPC (2025), em seu item 11.3, estabelece que todos os equipamentos de mergulho devem ser verificados quanto ao estado de conservação e às condições de operação antes do início das atividades.

O incidente relatado por Ange (2021, p. 50) envolveu um casal que realizou um mergulho recreativo a partir de uma embarcação sem equipe de apoio. Durante o mergulho, foram deslocados pela corrente e perderam a referência do barco. Ao emergirem, não conseguiram localizá-lo e iniciaram tentativas de sinalização de emergência, sem sucesso.

Verificou-se que:

- a luz estroboscópica estava com bateria descarregada;
- o bastão químico encontrava-se vencido.

Como consequência, permaneceram à deriva durante a noite, sofrendo hipotermia, sendo resgatados apenas ao amanhecer.

Diferentemente do que pode parecer à primeira vista, a realização de um checklist adequado poderia não apenas facilitar o resgate, mas potencialmente evitar a situação de risco, ao assegurar o correto funcionamento dos dispositivos de sinalização e a adoção de medidas operacionais seguras, como a presença de equipe de apoio na embarcação.

4.5 TREINAMENTO EM ELETRICIDADE PARA MERGULHADORES

Relato do *British Sub-Aqua Club* (2020),referente ao incidente 19/099 do *BSAC Diving Incident Report 2019* evidencia a importância da capacitação em riscos elétricos. A tripulação das embarcações é limitada por questões espaciais e logísticas, os profissionais que trabalham nesses ambientes precisam ser polivalentes.

Após falha no sistema elétrico da embarcação, um mergulhador tentou realizar a conexão de uma bateria auxiliar. Sem conhecimento técnico adequado, conectou os terminais de forma incorreta,

inverteu os cabos e provocou um curto-circuito, resultando em explosão, incêndio e ferimentos na equipe.

Foram identificadas as seguintes falhas:

- intervenção elétrica por pessoal não qualificado;
- ausência de verificação prévia dos equipamentos;
- falha na manutenção dos extintores de incêndio.

Embora a NR-10 não possua aplicação direta em águas internacionais, seus princípios podem ser utilizados como referência de boas práticas para o controle dos riscos elétricos, especialmente quanto à qualificação, capacitação e autorização dos trabalhadores envolvidos em intervenções elétricas.

4.6 ATERRAMENTO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS USADOS NO MERGULHO

Outro incidente relatado pelo *British Sub-Aqua Club* (2024), referente ao incidente 23/170 do *BSAC Incident Report 2023*, envolveu choque elétrico durante a utilização de uma talha de resgate *(lift)*.

Durante a operação, um mergulhador na superfície sofreu choque ao acionar o equipamento, evidenciando falha na equipotencialização ou aterramento do sistema.

Esse tipo de ocorrência está em desacordo com a Convenção SOLAS 74, que estabelece que partes metálicas expostas devem ser aterradas ou protegidas por medidas equivalentes, como:

- extrabaixa tensão;
- transformadores isoladores;
- duplo isolamento.

A correta equipotencialização contribui para reduzir a possibilidade de formação de tensões de toque perigosas e o risco de choque elétrico.

4.7 USO DE ROUPA SECA COMO PROTEÇÃO ELÉTRICA

Embora a roupa seca possa atuar como barreira adicional, sua finalidade principal não é a proteção elétrica, sim térmica e biológica.

O U.S. Navy Diving Manual (2018) recomenda seu uso em determinadas situações como medida complementar. No entanto, o caso descrito por Ange (2021, p. 159) evidencia riscos associados ao uso inadequado desse equipamento.

No incidente, um mergulhador utilizou uma roupa seca excessivamente justa, resultando em compressão cervical e sufocamento fatal.

Esse caso evidencia que:

- o uso inadequado pode introduzir novos riscos;
- a roupa altera significativamente a flutuabilidade;
- pode ocorrer instabilidade devido à formação de bolsas de ar.

Dessa forma, o uso seguro requer:

- treinamento específico;
- ajuste adequado;
- compreensão do comportamento da vestimenta em operação.

4.8 EQUIPAMENTO INCOMPATÍVEL COM A PRESSÃO DA PROFUNDIDADE

Vasconcelos (2016, p. 189) descreve um acidente fatal ocorrido durante mergulho em adutora no Rio Guandu (RJ), em condições de baixa visibilidade.

O mergulhador utilizava uma lanterna alimentada pela superfície. Devido à pressão hidrostática, houve falha no isolamento elétrico do equipamento, resultando em eletrocussão.

Esse tipo de falha poderia ser mitigado por:

- uso de equipamentos compatíveis com a profundidade;
- monitoramento da alimentação elétrica na superfície;
- utilização de dispositivos de proteção (GFI/RCD);
- testes periódicos de isolamento.

4.9 TABELA SINTÉTICA DOS ACIDENTES

A tabela a seguir apresenta uma síntese dos acidentes e a correlação normativa e conceitual.

Tabela 3 - Síntese dos acidentes e correlação com normas e boas práticas

Tema do Caso	Descrição do Incidente	Causa Principal	Norma / Boa Prática Relacionada	Lições Aprendidas
Verificação de equipamentos (Check list)	Mergulho recreativo realizado sem equipe de apoio em superfície. Dispositivos de sinalização (luz estroboscópica e bastão químico) inoperantes, resultando em permanência prolongada na água e hipotermia.	Ausência de inspeção pré-operacional; falha nos dispositivos de emergência; ausência de apoio de superfície.	**NORMAM-222 (2025), item 11.3** – verificação prévia de equipamentos.	Realizar checklist completo; verificar funcionamento de dispositivos elétricos; garantir equipe de apoio na embarcação.
Treinamento em eletricidade (Acidente com bateria – BSAC 2019, incidente 19/099)	Tentativa de conexão de bateria auxiliar por pessoal não qualificado resultou em inversão de polaridade, curto-circuito, explosão e incêndio a bordo.	Intervenção elétrica por pessoal não qualificado; erro de conexão; falha na manutenção de equipamentos de combate a incêndio.	**NR-10 (como referência de boa prática)** – trabalho com eletricidade por profissional habilitado. Normas da Marinha (checklist).	Restringir intervenções elétricas a profissionais qualificados; realizar inspeções periódicas; garantir operabilidade dos sistemas de emergência.
Aterramento de equipamentos (Choque no lift – BSAC 2023, incidente 23/170)	Choque elétrico durante operação de talha de resgate (lift), indicando falha no aterramento ou equipotencialização do equipamento.	Deficiência de aterramento/equipotencialização; falha de manutenção; comprometimento do isolamento.	**SOLAS 74 – Regra 45, item 1.1** (partes metálicas expostas devem ser aterradas).	Garantir continuidade elétrica e aterramento adequado; prevenir tensões de toque; realizar manutenção preventiva.
Roupa seca como "proteção elétrica"	Uso inadequado de roupa seca, excessivamente justa, resultando em sufocamento fatal.	Uso inadequado da roupa; ajuste incorreto; falta de treinamento.	***US Navy Diving Manual*** uso de vestimentas como proteção complementar.	Treinamento específico; ajuste adequado da vestimenta; compreensão dos efeitos sobre flutuabilidade e mobilidade.
Equipamento incompatível com profundidade (Lanterna – Vasconcelos 2016)	Falha de isolamento de lanterna alimentada pela superfície devido à pressão hidrostática, resultando em eletrocussão fatal.	Uso de equipamento não compatível com a profundidade; falha de isolamento; ausência de proteção elétrica.	***US Navy Diving Manual*** (recomendação de uso de GFI/RCD e monitoramento de alimentação). Uso de **GFI/RCD** como proteção.	Utilizar equipamentos adequados à profundidade; prever falhas de isolamento; adotar proteção diferencial e monitoramento contínuo.

Fonte: Elaboração própria, com base em Ange (2021), BSAC (2020; 2024), Vasconcelos (2016), NORMAM-222/DPC (2025) e U.S. Navy (2018).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou uma análise estruturada dos procedimentos de segurança, das normativas aplicáveis e das boas práticas relacionadas às atividades submersas com uso de equipamentos elétricos. A partir de uma revisão bibliográfica abrangente, que contemplou literatura técnica, científica e regulatória, foi possível consolidar diferentes referenciais e evidenciar a complexidade da interação entre eletricidade e ambiente subaquático.

A análise das normas nacionais e internacionais demonstrou que, embora existam diretrizes relevantes para atividades de mergulho e para segurança em eletricidade, ainda há uma lacuna quanto à abordagem integrada da segurança elétrica em condições submersas. Esse cenário favorece uma aplicação fragmentada das medidas de prevenção, muitas vezes baseada na experiência operacional e na adoção de boas práticas.

Os estudos de caso analisados mostram que falhas em procedimentos básicos, como verificação de equipamentos, qualificação profissional, manutenção e planejamento operacional, podem levar a acidentes graves, mesmo em situações aparentemente controladas. Esses eventos evidenciam que a segurança elétrica no mergulho não depende de um único fator, mas da combinação de múltiplas camadas de proteção.

Verificou-se a existência de limitações relacionadas tanto à disponibilidade de equipamentos de proteção específicos para risco elétrico em ambiente submerso quanto à padronização de procedimentos operacionais voltados a essa realidade.

Dessa forma, conclui-se que a segurança elétrica em operações subaquáticas exige uma abordagem sistêmica, baseada na integração entre normativas, capacitação técnica, controle operacional e monitoramento contínuo dos sistemas envolvidos. Ao mesmo tempo, o tema ainda demanda avanços técnicos e normativos, especialmente no contexto nacional, o que reforça a relevância de estudos complementares.

6 TRABALHOS FUTUROS

A partir das lacunas identificadas, este estudo apresenta as seguintes propostas para pesquisas futuras:

6.1 DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO ELÉTRICO EM TEMPO REAL

Com base nas recomendações do *U.S. Navy Diving Manual* (2018), um estudo futuro pode desenvolver um sistema supervisório capaz de monitorar, na superfície, parâmetros elétricos de equipamentos submersos, como corrente, tensão e falhas, com geração de alarmes para condições críticas.

6.2 MODELAGEM COMPUTACIONAL DA PROPAGAÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA NA ÁGUA

Com base nas diretrizes da IMCA D 045 (2010), um estudo pode elaborar modelos computacionais para simular a distribuição de campos elétricos em ambiente subaquático, considerando variáveis como salinidade, temperatura e condutividade. Essa abordagem pode permitir a identificação prévia de zonas de risco.

6.3 ELABORAÇÃO DE PROTOCOLO DE INSPEÇÃO ELÉTRICA PARA MERGULHO

Diante da ausência de padronização nas normas, um estudo pode desenvolver um protocolo técnico de inspeção elétrica preventiva, incluindo ensaios dielétricos, critérios de aceitação e definição de responsabilidades técnicas.

6.4 DESENVOLVIMENTO DE EPIS COM FOCO EM ISOLAMENTO ELÉTRICO SUBAQUÁTICO

As normas atuais recomendam o uso de vestimentas convencionais, como neoprene, que não são projetadas especificamente para proteção elétrica. Estudos futuros podem investigar materiais e soluções construtivas para o desenvolvimento de EPIs com propriedades dielétricas adequadas ao ambiente hiperbárico.

6.5 PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO EM RISCOS ELÉTRICOS SUBAQUÁTICOS

Com base nos requisitos de treinamento e autorização estabelecidos nos capítulos 10.9 e 10.10 da nova redação da NR-10, propõe-se o desenvolvimento de um modelo de capacitação específico para mergulhadores, abordando identificação de riscos, procedimentos de segurança e resposta a emergências envolvendo eletricidade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ANGE, Micael A. **Mergulhador em Perigo**. Rio de Janeiro: Record, 2021.

BOYLESTAD, Robert L. **Introdução à análise de circuitos**. 12. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

BRASIL. Diretoria de Portos e Costas. **NORMAM 222/DPC: Normas da Autoridade Marítima para Mergulho Profissional**. Rio de Janeiro: DPC, 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 6: Equipamento de Proteção Individual (EPI)**. Brasília, DF: MTE, 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 10: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Brasília, DF: MTE, 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15: Atividades e Operações Insalubres**. Brasília, DF: MTE, 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 30: Segurança e Saúde no Trabalho Aquaviário**. Brasília, DF: MTE, 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego**. NR 34: Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção e Reparação Naval.** Brasília, DF: MTE, 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 37: Segurança e Saúde em Plataformas de Petróleo**. Brasília, DF: MTE, 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Portaria MTE nº 737, de 29 de maio de 2026**. Aprova nova redação da Norma Regulamentadora nº 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Brasília, DF: MTE, 2026

BRITISH SUB-AQUA CLUB. ***BSAC National Diving Committee Diving Incident Report 2019****.* Compilado por Clare Peddie e Jim Watson. *London: BSAC, 2020.* Disponível em: *https://www.bsac.com/document/bsac-diving-incident-report-2019/* Acesso em: 21 de set. 2025.

BRITISH SUB-AQUA CLUB. ***BSAC Incident Report 2023.*** Compilado por Jim Watson. *London: BSAC*, 2024. Disponível em: *https://www.bsac.com/document/bsac-diving-incidents-report-2023/* Acesso em: 21 de set. 2025.

EMERGENCY RESPONSE DIVING INTERNATIONAL. ERDI ***Emergency Response Diver I (ERDI)*** **Manual de Operações**. Deerfield Beach, FL: ERDI, 2023.

INTERNATIONAL MARINE CONTRACTORS ASSOCIATION (IMCA). ***IMCA D 045: Code of practice for the safe use of electricity under water***. Londres, Inglaterra: IMCA, 2010.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. ***International Convention for the Safety of Life at Sea – SOLAS, 1974. Consolidated text up to 2010***. London: IMO, 2010. Tradução: Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS), 1974. Disponível em: *https://www.aquaseg.ufsc.br/files/2011/07/Conven_salva_vida_no_mar_1974.pdf*. Acesso em: 18 set. 2025.

JORGE, Renato Rocha. **Manual de Mergulho**. São Paulo: Senac, 2016.

US NAVY. ***Diving Manual****. Washington, D.C.: Naval Sea Systems Command*, 2018.

VASCONCELOS, Alexandre. **Operação Mergulho**. Rio de Janeiro: Record, 2016.