# CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS: DESAFIOS PRESENTES E FUTUROS EM MATÉRIA DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO

## Introdução

Inodoros, inaudíveis e invisíveis, os campos eletromagnéticos (CEM) — emitidos por telemóveis, antenas de rádio, *routers Wi-Fi*, linhas elétricas, etc. — estão por toda a parte na sociedade moderna. O número e a variedade de fontes presentes em residências, espaços públicos e locais de trabalho continuam a aumentar. Com efeito, nos últimos anos, surgiram novas tecnologias de utilização generalizada baseadas nos CEM, como, a quinta geração de redes móveis (5G), a transferência de energia sem fios e diversas aplicações médicas. Os avanços nas tecnologias sem fios são atualmente considerados fatores essenciais para a digitalização do trabalho[1] e para a concretização da Indústria 5.0 (CE, 2022). Estas tecnologias têm impacto em muitas áreas relevantes para o futuro do trabalho[2], como a Internet das Coisas (IdC), o trabalho híbrido e os ambientes virtuais de trabalho. Além disso, desempenham um papel fundamental em aplicações emergentes como na condução autónoma, nos veículos aéreos não tripulados (VANT), nos sensores e na robótica avançada. Devido à crescente omnipresença das fontes de CEM, o debate em torno dos CEM tem vindo a despertar um interesse crescente, tanto na comunidade científica como junto do público em geral. Além disso, devido à sua rápida implantação e crescente utilização em contextos profissionais, a Comissão Europeia (CE) salientou recentemente a importância de analisar a exposição profissional dos trabalhadores aos CEM, bem como os potenciais efeitos adversos para a saúde decorrentes dessa exposição (CE, 2021).

O presente documento tem como objetivo identificar os desenvolvimentos emergentes e futuros das aplicações profissionais dos CEM, bem como, as suas potenciais implicações para a segurança e saúde no trabalho (SST). Procura também destacar as lacunas de conhecimento sobre os níveis (seguros) de exposição. Adicionalmente, o documento apresenta recomendações dirigidas a trabalhadores e empregadores, profissionais de segurança e saúde no trabalho e decisores políticos, com o objetivo de minimizar os riscos associados à exposição aos CEM em contexto profissional. Para obter informações sobre os riscos e benefícios indiretos para a SST das aplicações relevantes para o futuro do trabalho possibilitadas pelos CEM, recomenda-se a consulta das publicações pertinentes da EU-OSHA[1,2].

## O que são campos eletromagnéticos?

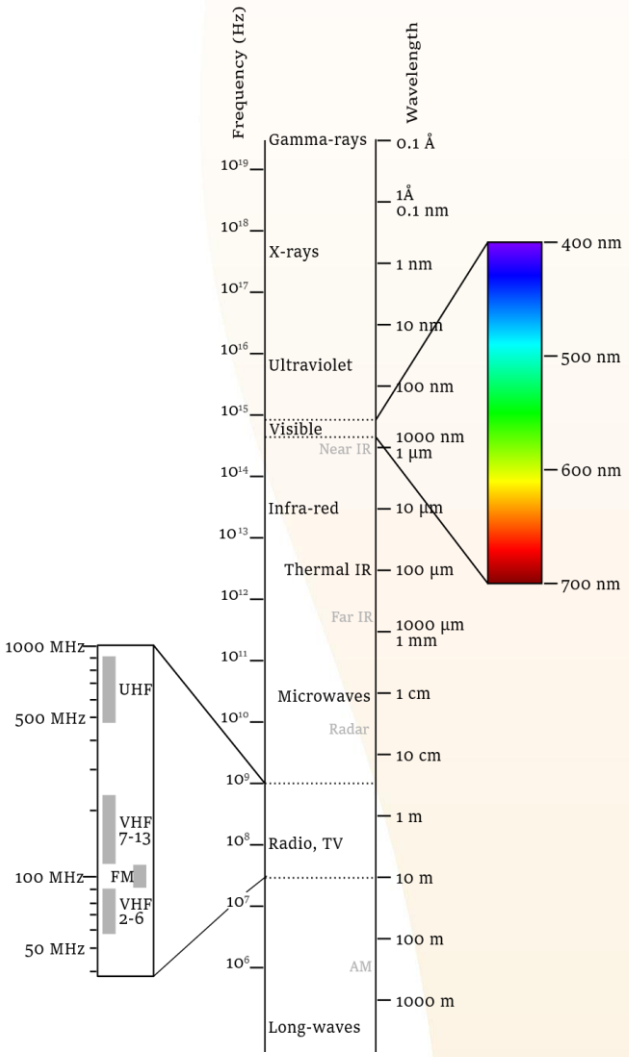
Na sua essência, os CEM são gerados por cargas elétricas em movimento e propagam-se sob a forma de ondas elétricas e magnéticas oscilantes à velocidade da luz. O campo elétrico resulta das forças que as partículas carregadas exercem umas sobre as outras, enquanto o campo magnético é produzido por cargas em movimento (correntes elétricas). Os CEM caracterizam-se pela sua frequência, comprimento de onda, características do sinal e intensidade. A frequência, medida em hertz (Hz), corresponde ao número de ciclos que a onda completa por segundo. O comprimento de onda, medido em metros (m), corresponde à distância entre dois picos consecutivos da onda. As características do sinal referem-se, por exemplo, a CEM sinusoidais ou pulsados contínuos. A intensidade é a energia da onda, correlacionada com a amplitude (altura do pico) da onda. O nível de exposição refere-se à intensidade da onda incidente numa determinada região do corpo, geralmente ponderada (média) em termos de tempo, volume e/ou espaço durante um determinado período, superfície e/ou volume. Este nível é medido em termos de densidade de potência (em watts por metro quadrado) ou intensidade do campo elétrico (em volts por metro). A frequência e o comprimento de

[1] Consultar: https://osha.europa.eu/pt/themes/digitalisation-work

[2] Consultar os documentos de reflexão da EU-OSHA que abordam temas relevantes para o futuro do trabalho em: https://osha.europa.eu/pt/publications

onda estão inversamente relacionados (figura 1): o comprimento de onda (em metros) pode ser calculado dividindo a velocidade da luz (30 milhões de metros por segundo, no vácuo) pela frequência (em hertz, Hz). Note-se que, normalmente, os campos elétrico e magnético estão acoplados a distâncias superiores a 10 comprimentos de onda da fonte; essa região é designada por campo distante.

**Figura 1: O espetro eletromagnético**




A gama de frequências extremamente baixas (ELF) e parte da gama de frequências intermédias (FI) (1 Hz — 100 kHz) não estão incluídas nesta figura.

Lista de abreviaturas: MHz = megahertz, sendo Hz a unidade de frequência, indicando o número de ciclos/ondas sinusoidais por segundo; UHF = frequência ultra-alta, VHF = frequência muito alta; AM = amplitude modulada; FM = frequência modulada; IV = infravermelho; m = metro, cm = centímetro; mm = milímetro; µm = micrómetro, nm = nanómetro, Å = angstrom = 0,1 nm.

Fonte: Wikimedia Commons [Licença Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.5 Generic]

Existem fontes de CEM naturais e artificiais. De um modo geral, as fontes artificiais emitem CEM manipulados com o objetivo de transmitir informação ou energia. As suas aplicações práticas abrangem uma vasta gama de frequências: desde as frequências extremamente baixas (ELF, ou seja, frequências que variam entre 1 Hz e 300 Hz), típicas da produção e distribuição de energia elétrica, até às frequências intermédias (FI, ou seja, frequências entre 300 Hz e 10 MHz, sendo 1 MHz = $10^6$ Hz; figura 1) e às radiofrequências (RF, ou seja, frequências que variam entre 10 MHz e 300 GHz, sendo 1 GHz = $10^9$ Hz; figura 1), utilizadas, por exemplo, em sistemas de radar e nas comunicações móveis.

Importa salientar que este documento se centra exclusivamente nos CEM com frequências até alguns terahertz (sendo 1 THz = $10^{12}$ Hz; Figura 1), correspondentes às chamadas ondas de rádio (ITU, 2020). Estas situam-se abaixo da região da luz visível e integram a parte não ionizante do espetro eletromagnético, isto é, aquelas que não têm energia suficiente para remover eletrões fortemente ligados de átomos ou moléculas (o que pode causar danos moleculares e efeitos adversos na saúde). Tal significa que, para além da luz infravermelha e visível, outras regiões bem conhecidas do espetro eletromagnético, como a radiação ultravioleta (UV), os raios X e os raios gama, não são abrangidos no âmbito deste documento.

# Últimos desenvolvimentos no que diz respeito aos CEM no local de trabalho

## Redes de comunicações móveis

A **quinta geração de redes de telecomunicações móveis (5G)** opera em frequências não utilizadas anteriormente, algumas das quais são significativamente mais elevadas do que as utilizadas nas gerações anteriores [até 71 GHz (sendo 1 GHz = $10^9$ Hz), figura 1]. As redes 5G introduzem avanços tecnológicos que permitem que mais utilizadores sejam servidos simultaneamente pela mesma estação de base. Tal é possível através da divisão espacial da energia transmitida e da sua focalização em feixes direcionados para os utilizadores (*beamforming*). Na maioria dos países europeus, as entidades reguladoras já procederam à atribuição das novas bandas de frequência destinadas ao 5G.-

A implantação mundial das redes 5G foi recebida com apreensão pública, motivada por preocupações relacionadas com potenciais riscos para a saúde associados ao eventual aumento da exposição geral aos CEM e à utilização de frequências mais elevadas (cujos possíveis efeitos biológicos ainda não foram exaustivamente estudados). Paralelamente, verificaram-se episódios de desinformação e até atos de vandalismo contra infraestruturas de telecomunicações (UIT, 2021). Embora a introdução das redes 5G possa, de facto, conduzir a um aumento da exposição total aos CEM, é expectável que esta situação se mantenha enquanto as redes da geração anterior se mantiverem em funcionamento (CCRSAE, 2023a). Com o objetivo de esclarecer as preocupações do público sobre o 5G e monitorizar o impacto real na exposição total a campos eletromagnéticos de radiofrequência (CEM-RF), foram financiados, através do programa Horizonte Europa da UE, quatro projetos internacionais de investigação com o objetivo de avaliar o impacto na saúde e no ambiente da implantação do 5G, incluindo em contexto profissional[3]. Estes projetos tiveram início em 2022 e serão concluídos entre 2025 e 2027.

Em frequências mais elevadas, é necessário um número crescente de estações de base para assegurar ligações sem fios de alta qualidade. Por isso, são utilizadas estações de base de pequenas células (*small cells*), instaladas em árvores, postes de iluminação ou edifícios, frequentemente separados por algumas centenas de metros de distância (CCRSAE, 2023a). Estas pequenas células são também cada vez mais utilizadas em redes privadas ou empresariais[4], sendo implantadas em grandes fábricas, pavilhões industriais, aeroportos, portos, campus universitários e outros ambientes de elevada conectividade.

A combinação de novas técnicas de transmissão, utilização de frequências mais elevadas e densificação simultânea da rede proporcionada pelo 5G, permite alcançar comunicações sem fios, com taxas de transferência de dados (muito) elevadas e latência (ultra)baixa, o que a torna um fator-chave para a digitalização do trabalho e muitas aplicações futuras. Contudo, prevê-se que o verdadeiro potencial destas inovações tecnológicas apenas seja plenamente concretizado com a próxima geração de redes móveis, a tecnologia 6G, com lançamento previsto para 2030. O projeto emblemático da UE Hexa-X[5] prevê mesmo que o 6G se torne uma tecnologia de aplicação geral (*general-purpose technology* - GPT), em vez de simplesmente uma tecnologia facilitadora, possibilitando a telepresença (totalmente imersiva), como o metaverso; geminação digital em larga escala [ou seja, painéis de controlo em tempo real e modelos virtuais de dispositivos e instalações (de produção)]; os serviços universais de saúde digital; os robôs colaborativos (concebidos para auxiliar os seres humanos nas suas tarefas); e a integração massiva da Internet das Coisas (IdC), suportada por uma enorme

[3] Consultar: https://www.emf-health-cluster.eu/
[4] As redes 5G privadas/empresariais não são acessíveis ao público e são muito seguras.
[5] Consultar: https://hexa-x-ii.eu/. A Comissão Europeia lançou várias iniciativas emblemáticas para abordar os principais desafios científicos e tecnológicos e impulsionar a inovação na UE: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/activities/flagships

quantidade de sensores distribuídos dentro e fora do corpo humano. Neste contexto, espera-se que o 6G venha a desempenhar um papel transformador nas mudanças sociais e industriais (Indústria 5.0). Para tal, o 6G recorrerá a faixas do espetro radioelétrico muito superiores às atualmente utilizadas ou previstas para o 5G (>100 GHz), o que não só permite velocidades de transmissão extremamente elevadas, mas também funcionalidades avançadas de localização e deteção com precisão centimétrica.

## Transição energética

A atual transição energética para fontes renováveis implica a expansão e modernização das redes elétricas (por exemplo, a instalação de linhas de alta tensão e estações inversoras e sistemas inteligentes de gestão de energia), paralelamente torna-se necessário uma monitorização mais eficiente do consumo energético em tempo real a nível individual (por exemplo, recorrendo a uma rede sem fios de sensores denominados contadores inteligentes). Os riscos de exposição aos campos eletromagnéticos para os trabalhadores envolvidos na construção, operação e manutenção destas infraestruturas (por exemplo, eletricistas, engenheiros de manutenção e técnicos de redes elétricas) são relativamente, bem conhecidos, sobretudo em contextos associados a correntes elétricas elevadas. Os trabalhadores das centrais elétricas demonstram, em geral, um bom conhecimento dos riscos existentes e das medidas de proteção adequadas (Stege et al., 2020). No entanto, os trabalhadores de empresas subcontratadas poderão nem sempre possuir o mesmo nível de sensibilização, tornando essencial o papel dos responsáveis pela segurança e saúde no trabalho na sua formação e acompanhamento. Relativamente aos contadores inteligentes, os estudos disponíveis indicam que a sua contribuição para a exposição total a campos eletromagnéticos de radiofrequências (CEM-RF), é reduzida, devido à baixa frequência das transmissões e às características específicas da sua instalação e funcionamento (Aerts et al., 2019). Por outro lado, as aplicações de aquecimento (industrial) estão a mudar cada vez mais dos combustíveis de hidrocarbonetos para a indução elétrica, o que leva a mais fontes de campos magnéticos de baixa frequência, que podem ser potencialmente de elevada intensidade. Ainda assim, quando devidamente concebidos e operados, estes sistemas podem manter os níveis de exposição significativamente abaixo dos valores-limite estabelecidos pela regulamentação aplicável (CE, 2015a, b).

## Transferência de energia sem fios

A transferência de energia sem fios (*Wireless Power Transfer* - WPT) surgiu como a principal tecnologia para o carregamento de dispositivos pessoais (por exemplo, telemóveis inteligentes e computadores portáteis, mas também ferramentas elétricas). Esta tecnologia, está também a ser desenvolvida, testada ou implementada para dispositivos médicos (como por exemplo, estimuladores cardíacos - pacemakers), veículos elétricos, drones e outros veículos ou robôs autónomos utilizados em contexto industrial. A transferência de energia sem fios (WPT) recorre a CEM de radiofrequência focalizados (feixes) ou utiliza tecnologias indutivas ou ressonantes, que emitem CEM a frequências entre 10 kHz e 50 MHz (ETSI, 2019). No primeiro caso, a energia transmitida pelo ar permite o funcionamento ininterrupto de dispositivos e máquinas, robôs e drones (sem necessidade de ligação física por cabo). Em contexto profissional, as aplicações de WPT ocorrem principalmente nos setores da manutenção e reparação, na indústria transformadora, no setor dos transportes e da logística, bem como em atividades e em setores que utilizam a robótica (móvel). O carregamento sem fios de veículos também será implementado em maior escala através da integração na infraestrutura (rodoviária). Por exemplo, diversos veículos, como automóveis, autocarros e camiões, já estão a ser carregados através de circuitos[6] em parques de estacionamento e paragens de autocarro. Além disso, no futuro (próximo), os circuitos de carregamento serão integrados nas estradas para carregar continuamente veículos em movimento. Há estudos recentes — ainda que não realizados em contextos profissionais — que indicam que a exposição próxima a sistemas de carregamento sem fios WPT permanece abaixo dos limites de exposição atualmente estabelecidos (Stam, 2022). Contudo, o aumento previsto da potência destes sistemas, por exemplo, para o carregamento de veículos elétricos de grande dimensão, poderá conduzir a níveis de exposição mais elevados, especialmente em ambientes profissionais.

[6] Os circuitos de carregamento transferem energia sem fios através de indução eletromagnética. Este método também é amplamente aplicado em eletrodomésticos, como escovas de dentes elétricas e bases de carregamento sem fios para telemóveis inteligentes.

### Cuidados de saúde

No setor dos cuidados de saúde, as aplicações dos CEM tendem a evoluir para métodos mais precisos e cada vez mais potentes, frequentemente utilizando frequências mais elevadas, feixes focalizados e/ou níveis de potência localizados mais intensos. Esta evolução tecnológica tem ampliado as possibilidades de diagnóstico e tratamento, mas também pode aumentar a exposição dos profissionais de saúde aos CEM. Esta evolução tecnológica tem ampliado as possibilidades em matéria de ferramentas de diagnóstico, que incluem a imagiologia de partículas magnéticas (5 a 50 kHz) (Billings *et al*., 2021), que pode aumentar significativamente a exposição dos profissionais de saúde, o radar para imagiologia superficial (1 a 60 GHz) (de Waard-Schalkx *et al*., 2015) e monitorização de sinais vitais (até 120 GHz) (Cardillo e Caddemi, 2020) e frequências de terahertz para imagiologia, espectroscopia e tratamento (Amini *et al*., 2021). Também, os tratamentos estéticos e cosméticos que utilizam CEM de baixa frequência pulsados (15 Hz) ou de radiofrequência (27 MHz a 5,8 GHz) podendo igualmente representar potenciais riscos de exposição para os profissionais envolvidos na sua utilização (Stam, 2022).

### Segurança

As frequências de terahertz e as ondas milimétricas são também utilizadas em aplicações de segurança e de inspeção, como os *scanners* corporais nos aeroportos, sistemas de rastreio de correio e encomendas e técnicas de ensaios não destrutivos. Estas aplicações podem diferir significativamente em termos de intensidade: enquanto os níveis dos CEM utilizados nos *scanners* de segurança são limitados a intensidades abaixo dos limites de exposição devido à exposição da população em geral, em contrapartida, algumas aplicações médicas e industriais podem recorrer a intensidades mais elevadas e devem ser operadas exclusivamente por trabalhadores devidamente qualificados e com formação específica, de modo a assegurar a utilização segura das tecnologias e minimizar os riscos de exposição profissional aos campos eletromagnéticos.

## Implicações dos CEM para a segurança e saúde no trabalho

### Efeitos adversos para a saúde e regulamentação da exposição a CEM

A investigação sobre os potenciais impactos dos CEM na saúde tem sido extensa. No entanto, as orientações em matéria de exposição centram-se principalmente nos efeitos agudos e de curto prazo. Estes efeitos dependem da frequência dos CEM, da sua intensidade e da duração da exposição. Por exemplo, os efeitos da exposição a CEM de baixa frequência, para além dos limites de exposição da SST, incluem a perceção da carga elétrica superficial, a estimulação direta do tecido nervoso e muscular e a indução de fosfenos retinianos (ou seja, falsos *flashes* de luz). As frequências mais elevadas (100 kHz a 300 GHz, Figura 1), os efeitos da estimulação nervosa e as alterações da permeabilidade das membranas celulares (em níveis de exposição muito elevados) diminuem, podendo ocorrer aumentos da temperatura local e geral do corpo, induzindo os chamados efeitos térmicos. Além disso, sabe-se que os CEM também podem produzir efeitos indiretos que podem causar riscos para a segurança, tais como correntes de contacto, descargas elétricas por faíscas, interferência eletromagnética e aquecimento de implantes médicos.

Todos estes efeitos estão relativamente bem compreendidos e constituem a base das atuais orientações em matéria de exposição estabelecidas por organismos internacionais, como a Comissão Internacional para a Proteção contra as Radiações Não Ionizantes (ICNIRP), que compilou as evidências científicas relativas aos efeitos adversos para a saúde resultantes da exposição a CEM em três publicações: uma sobre os campos magnéticos estáticos (ICNIRP, 2009), outra sobre a gama de baixas frequências (ou seja, de 1 Hz a 10 MHz) (ICNIRP, 2010), na qual os campos magnéticos e elétricos devem ser tratados separadamente, uma vez que não estão acoplados num único campo eletromagnético, como acontece no campo distante, já que os trabalhadores operam fontes de CEM que, na sua maioria, ainda não se encontram no campo distante, e uma terceira para a gama entre 100 kHz e 300 GHz (ICNIRP, 2020). A partir destas evidências científicas, a ICNIRP estabeleceu limites de exposição conhecidos como restrições básicas e níveis de referência. Os níveis de referência são derivados das restrições básicas e oferecem níveis de proteção equivalentes, mas são muito mais fáceis de avaliar nos locais de trabalho. Note-se que os limites de exposição são definidos por frequência (banda), e a ICNIRP define um método de ponderação para a exposição simultânea a

múltiplas fontes num determinado local, na mesma banda de frequência ou em bandas de frequência diferentes. A fim de ter em conta a incerteza científica (incluindo a variabilidade da fisiologia térmica na população, nos níveis de atividade física e nas condições ambientais), foram aplicados, em primeiro lugar, fatores de redução adicionais às restrições básicas, que são (cinco vezes) menores para a exposição profissional do que para a população em geral, uma vez que esta última é considerada mais variável em termos de idade e estado de saúde e desconhece ou não consegue controlar os riscos potenciais (ICNIRP, 2020). O cumprimento dos níveis de referência e/ou restrições básicas da ICNIRP é considerado suficiente para proteger contra os efeitos adversos para a saúde já estabelecidos.

Além disso, as orientações e a legislação da UE sobre a exposição aos CEM baseiam-se nas orientações da ICNIRP e consistem na Recomendação 1999/519/CE do Conselho Europeu de 1999 relativa à exposição da população em geral aos CEM e na Diretiva 2013/35/UE de 2013 relativa à exposição profissional, que é aplicada em todos os Estados-Membros desde 2017, com algumas variações e adaptações nacionais.

Foram publicados diversos estudos (por exemplo, Rijs e Stam, 2019) que exploraram possíveis ligações entre a exposição prolongada a CEM e vários problemas de saúde, incluindo cancro, problemas reprodutivos, atrasos no desenvolvimento e distúrbios neurodegenerativos. Contudo, apesar da extensa investigação, as evidências científicas permanecem inconclusivas, com alguns estudos a indicar uma associação, mas sem relações causais comprovadas cientificamente, como respostas dose-efeito, enquanto outros não encontram qualquer ligação significativa (ICNIRP, 2020).

## Exposição a CEM no local de trabalho

A Comissão Europeia (CE) disponibilizou informação abrangente para apoiar os empregadores na compreensão das medidas necessárias para cumprir a Diretiva 2013/35/EU, através de três guias práticos não vinculativos (CE, 2015a; 2015b; 2015c), centrados em ambientes de trabalho com exposição potencial a campos eletromagnéticos (CEM) de elevada intensidade. Adicionalmente, existem diversas matrizes de exposição por fonte e por profissão, utilizadas como material de referência (Vila *et al*., 2017; Migault *et al*., 2019). Contudo, os novos desenvolvimentos nas aplicações de CEM descritos acima podem conduzir a uma exposição adicional, aumentada ou alterada aos CEM em contexto profissional, conforme se detalha a seguir.

- A densificação das redes de telecomunicações móveis (ou seja, mais antenas de estações de base por área de superfície) está a conduzir a uma maior proximidade entre os trabalhadores e as antenas de telecomunicações, em especial com a instalação generalizada de estações de base de pequenas células (*smalls cells*). Esta tendência é observável de forma transversal (por exemplo, afetando trabalhadores de montagem de coberturas e eletricistas), e, torna-se ainda mais relevante em locais de trabalho que dispõem das suas próprias redes sem fios (ou seja, redes privadas/empresariais de telemóveis, Wi-Fi e/ou de sensores), especialmente quando a quantidade de dispositivos e sensores sem fios (pessoais) está a aumentar nesses locais de trabalho. Os sensores corporais (por exemplo, para monitorização da saúde ou da exposição), em particular, podem aumentar a exposição do trabalhador aos CEM, de forma localizada (ou seja, restringido à zona do corpo onde o sensor é aplicado). É expectável que estas inovações tecnológicas sejam de utilização generalizada e não estejam ligadas a um setor específico.
- A crescente implementação de sistemas WPT (em larga escala) pode aumentar a exposição aos CEM em gamas de frequências dependentes da tecnologia (ver secção 3) particularmente nos setores dos transportes e da logística (por exemplo, na operação de autocarros e camiões). Esta situação aplica-se igualmente a locais de trabalho onde ferramentas portáteis e robôs ou drones são carregados sem fios em plataformas de maior dimensão do que as utilizadas para dispositivos móveis, substituindo o carregamento convencional por contacto elétrico (com pinos).
- A eletrificação pode conduzir a um aumento da exposição a campos magnéticos de baixa frequência (associados a linhas elétricas de alta tensão, inversores e processos de aquecimento industrial, como o aquecimento por indução) (SCHEER, 2023b).
- À medida que o número de aplicações de CEM no setor da saúde aumenta, um maior número de profissionais de saúde (incluindo pessoal não técnico) pode estar expostos a CEM numa vasta gama de frequências (Stam e Yamaguchi-Sekino, 2017; Turuban, 2023).

- A utilização de frequências cada vez mais elevadas (não só em redes móveis, mas também em aplicações de imagiologia médica e de segurança) poderá resultar em exposições localizadas, embora superficiais, cada vez mais frequentes, cujos potenciais riscos ainda não estão totalmente esclarecidos.

## Prevenção dos riscos de SST relacionados com os CEM

De acordo com a Diretiva 2013/35/UE da União Europeia, os empregadores são obrigados a avaliar todos os riscos decorrentes da exposição a campos eletromagnéticos (CEM) no local de trabalho e a implementar medidas de prevenção adequadas. Em particular, devem assegurar o cumprimento dos valores-limite de exposição estabelecidos na diretiva. Esta avaliação deve basear-se, numa fase inicial, em informação facilmente acessível, como especificações fornecidas pelos fabricantes (por exemplo, se a aplicação específica cumpre os requisitos da legislação da UE aplicável sobre produtos que podem estabelecer níveis de segurança mais rigorosos do que os previstos na Diretiva 2013/35/UE), matrizes de exposição por fonte e/ou local de trabalho (Vila *et al*., 2017; Migault *et al*., 2019), estudos de revisão e/ou guias práticos publicados pela UE, instituições nacionais e organismos de normalização. Por exemplo, os documentos (CE, 2015a; 2015b) contêm listas de equipamentos e locais de trabalho que podem exigir **avaliações dos riscos específicas**. Os referidos documentos também fornecem orientações sobre a necessidade de avaliação dos riscos de CEM no caso dos trabalhadores particularmente expostos, como aqueles que utilizam dispositivos médicos ativos, incluindo estimuladores cardíacos (*pacemakers*) (Modenese e Gobba, 2021). No entanto, estas informações podem ainda não ser suficientes para avaliar se será cumprida a conformidade com os valores-limite de exposição para as novas aplicações emergentes de CEM e dos respetivos riscos profissionais associados. Neste caso, devem ser realizados medições *in situ* ou cálculos dosimétricos, de forma a comparar os resultados com os limites legais aplicáveis, tendo em consideração as incertezas inerentes a esses cálculos e medições.

Se os valores-limite de exposição forem excedidos, devem ser tomadas medidas de proteção e de prevenção adequados [ver exemplos em (CE, 2015a; 2015b)]. Dado que a intensidade dos CEM diminui rapidamente com o aumento da distância em relação à fonte, a medida mais eficaz para reduzir a exposição consiste em aumentar essa distância entre a fonte emissora e o trabalhador. Este objetivo pode ser alcançado através de medidas técnicas e organizacionais, tais como a utilização de barreiras físicas, sinalização adequada e instruções específicas de trabalho. Além disso, a blindagem constitui uma medida eficaz para a maioria das gamas de CEM, com exceção dos campos magnéticos de baixa frequência. As orientações da CE (CE, 2015a), também fornecem recomendações adicionais para a redução da exposição a CEM, incluindo medidas relacionadas com a conceção de postos de trabalho, bem como com a configuração dos equipamentos e dos métodos de trabalho. Por exemplo, bobinas, transformadores e plataformas de carregamento sem fios devem ser concebidos de forma a garantir condições seguras quando operados a uma determinada distância dos postos de trabalho. De igual modo, deve ser evitada a permanência de trabalhadores diretamente em frente de antenas de transmissão.

# Lacunas, necessidades, prioridades e recomendações relativas aos CEM e à SST

## Investigação científica

Existe uma falta generalizada de estudos sobre os efeitos na saúde e os níveis de exposição associados aos CEM em:

1. Frequências utilizadas em tecnologias emergentes para comunicações móveis (ou seja, entre 6 GHz e 300 GHz).
2. Frequências intermédias utilizadas em sistemas de transferência de energia sem fios.
3. Frequências na gama dos (sub-)terahertz THz utilizadas em novas tecnologias de imagiologia e digitalização (bem como nas futuras aplicações prevista para o 6G).
4. As principais lacunas de investigação dizem respeito a:
    a. Os níveis de exposição, especialmente em profissões que utilizam equipamentos geradores de campos magnéticos, elétricos ou eletromagnéticos potencialmente intensos (Turuban, 2023);

b. Os potenciais efeitos na saúde e os possíveis mecanismos de interação biológica subjacentes (Jeschke, 2022);

c. Os efeitos da exposição cumulativa de longo prazo aos CEM em contextos profissionais (Hansson Mild, 2023);

d. A identificação da métrica de exposição mais relevante para a avaliação dos riscos associados (Turuban, 2023).

Além disso, os efeitos sensoriais e os impactos na saúde decorrentes da exposição aos CEM podem variar significativamente entre os trabalhadores. A exposição individual aos CEM é influenciada por diversos fatores pessoais e ambientais, incluindo:

- Características pessoais: anatomia, características físicas, incluindo a presença de implantes médicos ou pírcingues ou a utilização de medicamentos,
- Postura de trabalho: a posição e o movimento do corpo durante a realização das tarefas,
- Ambiente de trabalho:
  - Materiais de construção: determinados materiais podem influenciar a propagação dos CEM. Por exemplo, o betão pode atenuar ou bloquear parcialmente os CEM-RF devido às malhas metálicas incorporadas, enquanto outros materiais, como a madeira, proporcionam menor capacidade de blindagem,
  - Utilização de ferramentas: o manuseamento e a utilização de ferramentas e equipamentos podem influenciar os níveis de exposição aos CEM (Jeschke, 2023).

Esta variabilidade, tanto entre trabalhadores como ao nível individual, causa uma incerteza substancial nos atuais estudos de avaliação de exposição e nas matrizes de exposição baseadas nesses dados (Turuban, 2023).

Consequentemente, são necessários estudos que utilizem cenários realistas de exposição em contexto de trabalho (por exemplo, picos de exposição elevada seguidas de períodos sem exposição (Hansson Mild, 2023) ou exposições próximas dos valores-limite por períodos de oito horas ou mais (Jeschke, 2022). Estes estudos deverão igualmente recolher dados detalhados e descritivos sobre:

(a) Os fatores profissionais típicos, como a anatomia do trabalhador, posições e posturas de trabalho, níveis de atividade física, ambientes adversos e o manuseamento de ferramentas, em especial as que emitem CEM (Jeschke, 2022),

(b) As características de emissão dos CEM (por exemplo, frequência e modulação de fontes profissionais (Jeschke, 2022),

(c) As potenciais exposições cumulativas ao longo da vida profissional dos trabalhadores (Hansson Mild, 2023),

(d) As consequências para a saúde para além das já conhecidas (por exemplo, devido aos efeitos térmicos dos CEM-RF) (Jeschke, 2022).

Estes tipos de estudos permitiam melhorar significativamente a compreensão científica dos níveis e da duração da exposição aos CEM em diferentes contextos profissionais e poderiam ser utilizados como um ponto de partida mais preciso para estudos epidemiológicos sobre os efeitos na saúde decorrentes da exposição aos CEM, uma vez que a investigação atualmente disponível raramente considera de forma detalhada a exposição em contexto profissional. Porém, o que se revela realmente necessário são dados individuais de longo prazo sobre os níveis de exposição profissional, integrados com informação relativa a outras exposições ambientais e profissionais relevantes. Tal poderá ser alcançado, por exemplo, através de redes de sensores associadas à Internet das Coisas (IdC), para procurar fatores de confusão ou determinantes (Stam e Rijs, 2019; Hansson Mild *et al*., 2023). Infelizmente, ainda não estão (frequentemente) disponíveis dispositivos de medição fiáveis e de baixo custo que permitam recolher estes dados e esses dispositivos terão de ser desenvolvidos e distribuídos especialmente entre as pessoas (altamente) expostas.

## Política da UE

Uma vez que o ICNIRP publicou novas orientações em 2020, as quais já fazem referência a diversas normas técnicas (por exemplo, IEC 62232:2023 e IEC TR 63377:2022), e a Diretiva 2013/35/UE ainda

se baseia nas orientações de 1998, 2009 e 2010, o enquadramento jurídico tornou-se mais complexo. Neste contexto, o Comité Científico sobre Saúde, Ambiente e Riscos Emergentes (CCRSAE) emitiu recentemente um parecer favorável sobre a necessidade de uma revisão técnica dos anexos da Recomendação 1999/519/CE do Conselho e da Diretiva 2013/35/UE no que diz respeito aos CEM de radiofrequência (100 kHz a 300 GHz) (CCRSAE, 2023a). Com efeito, em comparação com as orientações de 1998, as orientações publicadas pela ICNIRP em 2020 incluem adaptações relevantes para a exposição a fontes emergentes de CEM, como as telecomunicações 5G, com base em exposições breves e localizadas a frequências mais elevadas (até 300 GHz). É evidente que a introdução de novas tecnologias de CEM está a aumentar a complexidade da avaliação da exposição a CEM em contexto de trabalho, exigindo conhecimentos cada vez mais especializados sobre os métodos de medição e modelização por parte dos profissionais responsáveis pela segurança e saúde no trabalho (Jeschke, 2022; Stam, 2022).

Por conseguinte, as considerações práticas pertinentes para a avaliação da exposição aos CEM no local de trabalho, no que diz respeito à duração da exposição durante as horas de trabalho ao longo de períodos prolongados, potencialmente de décadas, são essenciais para uma prática fiável de avaliação dos riscos de SST (Jeschke *et al*., 2022). Estas considerações ainda carecem de desenvolvimento, em conjunto com a disponibilização de dispositivos de medição adequados, e poderiam ser abordadas em versões atualizadas da literatura da Comissão Europeia (CE, 2015a; 2015b; 2015c) ou refletidas em normas técnicas relevantes.

Por último, é importante referir que, embora a ICNIRP (2020) sublinhe a importância da «capacidade sensorial e comportamental» dos trabalhadores para «estarem conscientes dos potenciais riscos dos CEM-RF e aplicarem medidas adequadas de mitigação dos danos», Jeschke *et al*. (2022) destacam, de forma pertinente, que a Diretiva-Quadro da UE de 1989 (89/391/CEE) «dá prioridade às medidas de proteção coletivas, de natureza técnicas e organizacionais em detrimento das medidas de proteção individuais». No entanto, no âmbito da SST, a realização de avaliações dos riscos individualizadas para os trabalhadores particularmente expostos permanece obrigatória. Por conseguinte, são necessárias orientações adequadas e sistematizadas, que poderiam ser facilmente alargadas a todos os trabalhadores.

## Empregadores, trabalhadores e peritos em SST

Apesar da disponibilidade de matrizes de exposição e de guias práticos sobre a exposição a CEM em contextos profissionais, incluindo medidas de redução da exposição, o conhecimento dos trabalhadores sobre as fontes e níveis de exposição a CEM no local de trabalho é «tipicamente baixo» (Turuban, 2023). Além disso, os trabalhadores podem não percecionar estes riscos como perigosos, o que pode conduzir a uma menor atenção às medidas de prevenção, possivelmente até considerando as medidas de prevenção como inconvenientes (Stege, 2022). A fim de informar de forma mais eficaz os empregadores, os trabalhadores e os peritos em SST, poderá ser considerada a disponibilização de sensores de medição da exposição a CEM (Bhatt *et al*., 2022) para serem usados pelos trabalhadores ou instalados em ambientes com níveis potencialmente elevados de exposição a CEM. Esses dispositivos vestíveis poderiam fornecer alertas em tempo real, bem como gerar dados relevantes para estudos científicos sobre as exposições a CEM em contextos profissionais e os seus potenciais efeitos na saúde. Os grupos-alvo prioritários para a monitorização através de dispositivos vestíveis incluem os trabalhadores que utilizam diretamente fontes de CEM (por exemplo, terapeutas físicos e pessoal de segurança) ou aqueles que trabalham perto delas, como os eletricistas. Mais importante ainda, inclui trabalhadores que podem, inadvertidamente, aproximar-se de fontes ativas de CEM, sem conhecimento dos potenciais riscos, como enfermeiros ou trabalhadores de manutenção e limpeza. Este último grupo assume particular importância no contexto da crescente implementação das redes 5G privadas e de sistemas de transferência de energia sem fios (WPT).

Embora as medições *in situ* sejam amplamente utilizadas na avaliação da exposição a CEM no âmbito da SST, se houver motivos para supor que os valores-limite foram excedidos, torna-se necessário recorrer a simulações e a métodos de cálculo numérico para verificar a conformidade com os limites de exposição, o que se revelou muito desafiante para os profissionais de SST devido aos custos associados e aos conhecimentos especializados necessários (Jeschke, 2022). Por este motivo, existe uma procura por regras gerais que permitam um cálculo rápido para assegurar a conformidade com os limites de exposição. Diversos países já desenvolveram orientações nesse sentido, como exemplificado por, Bolte e Pruppers (2006).

# Observações finais

Este documento apresenta uma visão geral abrangente das implicações das aplicações emergentes dos campos eletromagnéticos (CEM) para a segurança e saúde no trabalho (SST), destacando a sua omnipresença nos ambientes de trabalho modernos devido aos avanços tecnológicos que os tornam motores essenciais da digitalização do trabalho e da Indústria 5.0 (incluindo automação avançada, robótica, virtualização, trabalho à distância, salas de controlo, etc.).

A avaliação dos riscos de exposição aos CEM é particularmente complexa devido à diversidade de fontes existentes, em termos de frequência, intensidade e modo de utilização, especialmente em contextos profissionais, bem como à multiplicidade de potenciais efeitos adversos para a saúde. Embora os efeitos agudos da exposição a níveis elevados de CEM nas gamas de frequência atualmente utilizadas sejam bem compreendidos, subsistem controvérsias e lacunas de conhecimento no que respeita aos efeitos a longo prazo de exposições prolongadas a níveis baixos, bem como às potenciais consequências da utilização futura de frequências cada vez mais elevadas. Por conseguinte, as normas regulamentares e as orientações (práticas) que visam proteger os trabalhadores necessitam de ser continuamente atualizadas, com base em evidência científica recente. Para tal, recomenda-se a monitorização de longo prazo dos níveis de exposição aos CEM no local de trabalho, nas bandas de frequências relevantes, utilizando sensores fixos e dispositivos vestíveis, em combinação com a recolha de parâmetros de saúde dos trabalhadores.

Em síntese, é necessária uma abordagem multidisciplinar para a avaliação da exposição aos CEM e para a prevenção de riscos associados, envolvendo investigação específica para cada profissão, adaptação contínua das políticas e comunicação eficaz entre as partes interessadas da SST, a fim de assegurar a segurança e a saúde dos trabalhadores num ambiente de trabalho cada vez mais conectado e dependente de tecnologias baseadas em redes sem fios.

# Agradecimentos

Agradecemos a Rianne Stam (Instituto Nacional da Saúde Pública e do Ambiente dos Países Baixos — RIVM), Stefania Marassi (Direito, THUAS) e Emanuelle Brun e Annick Starren (EU-OSHA) pela revisão crítica e pelas discussões proveitosas.

# Referências

Amini, T., Jahangiri, F., Ameri, Z., e Hemmatian, M. A. (2021). «A review of feasible applications of THz waves in medical diagnostics and treatments». *Journal of Lasers in Medical Sciences*, *12*, e92.

Bhatt CR, Henderson S, Brzozek C, Benke G. (2022) «Instruments to measure environmental and personal radiofrequency-electromagnetic field exposures: An update». *Physical and Engineering Sciences in Medicine*, 45(3), 687-704. https://link.springer.com/article/10.1007/s13246-022-01146-y

Bolte, J.F.B. e Pruppers, M.J.M., 2006. «Electromagnetic fields in the working environment» (junho de 2006). *SZW-report RIVM-nr 610015001*, Ministério dos Assuntos Sociais e do Emprego (SZW) / Instituto Nacional da Saúde Pública e do Ambiente (RIVM). https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/610015001.pdf

Billings, C., Langley, M., Warrington, G., Mashali, F. e Johnson, J. A. (2021). «Magnetic particle imaging: Current and future applications, magnetic nanoparticle synthesis methods and safety measures». *International Journal of Molecular Sciences, 22*.

Cardillo, E., e Caddemi, A. (2020). «A review on biomedical MIMO radars for vital sign detection and human localization». *Electronics, 9(9)*, Artigo 9.

Comissão Europeia (CE). (2021). *Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões intitulada Quadro estratégico da UE para a saúde e segurança no trabalho 2021-2027 — Saúde e segurança no trabalho num mundo do trabalho em evolução.* COM(2021) 323 final. Extraído de https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0323

Comissão Europeia (CE), Direção-Geral do Emprego, dos Assuntos Sociais e da Inclusão. (2015a). *Guia não vinculativo de boas práticas para a aplicação da Diretiva 2013/35/UE «Campos eletromagnéticos». Volume 1, Guia prático.* Bruxelas, Bélgica. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c6440d35-8775-11e5-b8b7-01aa75ed71a1/language-pt

Comissão Europeia (CE), Direção-Geral do Emprego, dos Assuntos Sociais e da Inclusão. (2015b). *Guia não vinculativo de boas práticas para a aplicação da Diretiva 2013/35/UE «Campos eletromagnéticos». Volume 2, Estudos de casos.* Bruxelas, Bélgica. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e71e8b3f-8775-11e5-b8b7-01aa75ed71a1/language-pt

Comissão Europeia (CE), Direção-Geral do Emprego, dos Assuntos Sociais e da Inclusão. (2015c). *Guia de boas práticas não vinculativo para a aplicação da Diretiva 2013/35/UE Campos eletromagnéticos. Volume 3, Guia para as PME.* Bruxelas, Bélgica. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c5fb1d53-8775-11e5-b8b7-01aa75ed71a1/language-pt

Comissão Europeia (CE) (2022). *Industry 5.0: a transformative vision for Europe* — ESIR, síntese informativa n.º 3. Serviço das Publicações da União Europeia, ISBN 978-92-76-43352-1.

Comité Científico dos Riscos para a Saúde, Ambientais e Emergentes (CCRSAE). (2023a). *Opinion on the need of a revision of the annexes in the Council Recommendation 1999/519/EC and Directive 2013/35/EU, in view of the latest scientific evidence available with regard to radiofrequency (100kHz - 300GHz)*.

Comité Científico dos Riscos para a Saúde, Ambientais e Emergentes (CCRSAE). (2023b). *Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF): 14 Update with regard to frequencies between 1Hz and 100 kHz.*

De Waard-Schalkx, I., Stam, R., van der Schaaf, M. e Bijwaard, H. (2015). «Recent developments in medical techniques involving ionising or non-ionising radiation: Update 2014». *RIVM Report 2014-0070*, Bilthoven, Instituto Nacional da Saúde Pública e do Ambiente.

EU-OSHA — Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (2023). *Síntese informativa: Os sistemas de monitorização digital inteligentes para a segurança e saúde no trabalho: oportunidades e desafios* https://osha.europa.eu/en/publications/smart-digital-monitoring-systems-occupational-safety-and-health-opportunities-and-challenges.

Hansson Mild K, Mattsson MO, Jeschke P, Israel M, Ivanova M, e Shalamanova T. (2023). Occupational exposure to electromagnetic fields–Different from general public exposure and laboratory studies. International Journal of Environmental Research and Public Health. 20(16), 6552.

Instituto Europeu de Normalização das Telecomunicações (ETSI). (2019). ETSI TR 103 493 V1.1.1.: System Reference document (SRdoc); Wireless Power Transmission (WPT) systems operating below 30 MHz. Sophia Antipolis Cedex, França.

Jeschke, P., Alteköster, C., Hansson Mild, K., Israel, M., Ivanova, M., Schiessl, K., Shalamanova, T., Soyka, F., Stam, R., e Wilén, J. (2022). Protection of workers exposed to radiofrequency electromagnetic fields: A perspective on open questions in the context of the new ICNIRP 2020 guidelines. *Frontiers in Public Health*, 10.

Migault, L., Bowman, J. D., Kromhout, H., Figuerola, J., Baldi, I., Bouvier, G., Turner, M. C., Cardis, E., e Vila, J. (2019). Development of a job-exposure matrix for assessment of occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields (3 kHz–300 GHz). *Annals of Work Exposures and Health*, 63(9), 1013–1028.

Modenese, A., e Gobba, F. (2021). Occupational exposure to electromagnetic fields and health surveillance according to the European Directive 2013/35/EU. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1730.

Rijs KJ e Stam R. (2019). *Onderzoek naar mogelijke langetermijneffecten van elektromagnetische velden op de gezondheid van werknemers* [Investigação sobre os possíveis efeitos a longo prazo dos campos eletromagnéticos na saúde dos trabalhadores — atualização de 2019]. *RIVM Report* 2019-0010. Bilthoven: RIVM.

Stam, R., e Yamaguchi-Sekino, S. (2018). Occupational exposure to electromagnetic fields from medical sources. *Industrial Health*, *56*(2), 96–105. https://doi.org/10/g8hwgs

Stam, R. (2021). Occupational exposure to radiofrequency electromagnetic fields. *Industrial Health*, *60*(3), 201–215.

Stam, R. (2022) *Bronnen van blootstelling van werknemers aan elektromagnetische velden: Nieuwe ontwikkelingen* [Fontes de exposição dos trabalhadores a campos eletromagnéticos: novos desenvolvimentos]. *RIVM-briefrapport 2022-0109*. Bilthoven: RIVM.

Stege, T. A. M., Bolte, J. F. B., Claassen, L., e Timmermans, D. R. M. (2020). Electromagnetic field exposure in power plants: A qualitative assessment of work safety perceptions among employees. *Journal of Risk Research, 23*(12), 1650–1660.

Stege, T. A. M. (2022). *Development of risk communication tools for occupational exposures.* (Tese de doutoramento) Universidade Livre de Amesterdão (VU) e Instituto Nacional da Saúde Pública e do Ambiente dos Países Baixos (RIVM), Países Baixos, consultores D.R.M. Timmermans, L. Claassen, J.F.B. Bolte, ISBN 978-94-6421-796-4. Extraído de: https://research.vu.nl/en/publications/development-of-risk-communication-tools-for-occupational-exposure

Turuban, M., Kromhout, H., Vila, J., Vallbona-Vistós, M., Baldi, I., e Turner, M. C. (2023). Personal exposure to radiofrequency electromagnetic fields in various occupations in Spain and France. *Environment International, 180*, 108156.

União Internacional das Telecomunicações (UIT); (2020). *Radio Regulations Articles: Edition of 2020.*

União Internacional das Telecomunicações (UIT); (2021). *Executive report ITU regional assessment for Europe on EMF exposure limits and risk communication challenges.*

Vila, J., Bowman, J. D., Figuerola, J., Moriña, D., Kincl, L., Richardson, L., e Cardis, E. (2017). Development of a source-exposure matrix for occupational exposure assessment of electromagnetic fields in the INTEROCC study. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology, 27*(4), 398–408.

---

**Autores**: Sam Aerts, John Bolte.

Grupo de investigação em sistemas de sensores inteligentes, Faculdade de Tecnologia, Inovação e Sociedade, Universidade de Ciências Aplicadas da Haia (THUAS), Países Baixos.

**Gestão do projeto:** Annick Starren, Emmanuelle Brun, Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (EU-OSHA).

O presente relatório foi encomendado pela EU-OSHA. O seu conteúdo, incluindo quaisquer opiniões e/ou conclusões expressas, é da responsabilidade exclusiva do(s) seu(s) autor(es) e não reflete necessariamente os pontos de vista da EU-OSHA.

Nem a EU-OSHA nem qualquer pessoa que aja em nome da Agência assumem responsabilidade pela utilização que possa ser dada às informações que se seguem.

© Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho, 2026

Reprodução autorizada mediante indicação da fonte.

A utilização ou reprodução de fotografias ou de outros materiais não protegidos por direitos de autor da Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho deve ser autorizada diretamente pelos titulares dos direitos de autor.