

INOVAÇÕES DIGITAIS EMERGENTES E QUALIDADE DO AR INTERIOR NOS AMBIENTES LABORAIS ADMINISTRATIVOS: UM DIREITO FUNDAMENTAL

EMERGING DIGITAL INNOVATIONS AND INDOOR AIR QUALITY IN ADMINISTRATIVE WORK ENVIRONMENTS: A FUNDAMENTAL RIGHT

INNOVACIONES DIGITALES EMERGENTES Y CALIDAD DEL AIRE INTERIOR EN LOS AMBIENTES LABORALES ADMINISTRATIVOS: UN DERECHO FUNDAMENTAL

 <https://doi.org/10.56238/arev7n11-217>

Data de submissão: 19/10/2025

Data de publicação: 19/11/2025

Gilvana de Souza

Mestranda em Propriedade Intelectual
Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFSE)
E-mail: Sougil.ok.moto@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-5270-4667>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7704466532840978>

Maria Suely Regis Souza

Graduada em Direito
Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFSE)
E-mail: judite@academico.ufs.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6906-705X>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1187751396703048>

Maria Emilia Camargo

Doutora em Engenharia de Produção
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
E-mail: mekamargo@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3800-2832>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7617091280907670>

RESUMO

A má qualidade do ar nos ambientes laborais administrativos interiores tem aumentado progressivamente nas grandes metrópoles, configurando um problema de saúde ocupacional que demanda estratégias tecnológicas avançadas. O presente estudo tem como objetivo compreender e analisar a interface das tecnologias digitais emergentes direcionadas à qualidade do ar interior (QAI) nos ambientes laborais, considerando sua importância, desafios e implicações no âmbito da segurança e saúde do trabalhador. A pesquisa adota abordagem qualitativa, de caráter descritivo-exploratório. As buscas foram realizadas na base Scopus, site de organizações e de órgãos governamentais. Os resultados revelaram um panorama inicial dos principais desafios, vantagens e limitações relacionados à implementação dessas tecnologias, bem como os impactos e importância da QAI para saúde, bem-estar, produtividade do trabalhador e sustentabilidade. O que permite concluir que a sinergia entre as tecnologias digitais emergentes e a gestão de riscos ambientais gera efeitos benéficos tanto para o trabalhador quanto para a organização e para a sociedade.

Palavras-chave: Inovações Digitais Emergentes. Segurança e Saúde Ocupacional. Ar Interior.

ABSTRACT

The poor quality of indoor air administrative work environments has been progressively increasing in large metropolitan areas, constituting a occupational health problem that demands advanced technological strategies. This study aims to understand and analyze the interface of emerging digital technologies directed at indoor air quality (IAQ) in work environments, considering their importance, challenges, and implications for worker safety and health. The research adopts a qualitative, descriptive-exploratory approach. Searches were carried out in the Scopus database, on organizational and governmental websites. The results revealed an initial overview of the main challenges, advantages, and limitations related to the implementation of these Technologies, as well as the impacts and importance of IAQ for health, well-being, worker productivity, and sustainability. This allows us to conclude that the synergy between emerging digital Technologies and environmental risk management generates beneficial effects for both the worker and the organization, as well as for society.

Keywords: Emerging Digital Innovations. Occupational Safety and Health. Indoor Air.

RESUMEN

La mala calidad del aire en los entornos laborales administrativos interiores ha aumentado progresivamente en las grandes metrópolis, configurándose como un problema de salud ocupacional que exige estrategias tecnológicas avanzadas. El presente estudio tiene como objetivo comprender y analizar la interfaz de las tecnologías digitales emergentes orientadas a la calidad del aire interior (CAI) en los ambientes laborales, considerando su importancia, desafíos e implicaciones en el ámbito de la seguridad y la salud del trabajador. La investigación adopta un enfoque cualitativo, de carácter descriptivo-exploratorio. Las búsquedas se realizaron en la base de datos Scopus, así como en sitios web de organizaciones y organismos gubernamentales. Los resultados revelaron un panorama inicial de los principales desafíos, ventajas y limitaciones relacionados con la implementación de estas tecnologías, así como los impactos y la importancia de la CAI para la salud, el bienestar, la productividad del trabajador y la sostenibilidad. Se concluye que la sinergia entre las tecnologías digitales emergentes y la gestión de riesgos ambientales genera efectos beneficiosos tanto para el trabajador como para la organización y la sociedad.

Palabras clave: Innovaciones Digitales Emergentes. Seguridad y Salud Ocupacional. Aire Interior.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por edifícios onde são desenvolvidas atividades administrativas, localizados em áreas com alta concentração de poluentes, colabora cada vez mais com o novo cenário dos centros urbanos, fazendo com que o ar nos interiores das edificações deixasse de ser um simples elemento de sobrevivência para se tornar uma situação desafiadora e complexa que engloba a saúde, bem-estar e produtividade. Impõe a necessidade de respostas estratégicas integradas às inovações tecnológicas (De Capua et al., 2023; Felgueiras, et al., 2022; Kaushik et al., 2022).

A qualidade do ambiente interior é um fator importante que abrange vários parâmetros ambientais, como conforto térmico, acústico, visual e o ar interno (Kaushik et al., 2022).

Quando essas condições não asseguram um ambiente laboral saudável, não se trata apenas de uma inconformidade técnica, mas de uma violação direta aos princípios e direitos fundamentais do trabalho (OIT, 2022).

Inúmeras fontes de poluição do ar presentes nos ambientes internos contribuem para presença de poluentes, como material particulado, monóxido de carbono, ozônio, dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre, responsáveis por causar doenças respiratórias e outras patologias (OMS, 2021, n.p). Os quais influenciam na qualidade de vida do trabalhador, como as patologias das vias respiratórias, alterações cognitivas e doenças cardiovasculares (Júnior, 2024).

Nessa perspectiva, o aumento no índice de complicações de saúde relacionadas à má qualidade do ar interior provocou nas pesquisas um avanço discreto sobre as tecnologias avançadas direcionadas à qualidade do ar interior (QAI). Isso estimulou a utilização progressiva das inovações tecnológicas, por exemplo, internet of Things (IoT), Digital Twin, Inteligência Artificial (IA), Big Data para detecção, monitoramento, controle e gerenciamento dos contaminantes no ar interior. (Kausar et al, 2023; Mohammadi; Rabiei; Dehghan, 2023).

Com base nas considerações apresentadas, torna-se evidente que o direito de respirar um ar de qualidade configura um problema de natureza socioeconômica e de saúde pública que atinge a maioria da população, cuja relevância ultrapassa o campo técnico, ao evidenciar a importância das tecnologias como protagonista no combate à má qualidade do ar interior.

Considerando o potencial transformador da inovação tecnológica na promoção QAI emerge o questionamento: Qual é o panorama dos impactos da má qualidade do ar interior sobre a saúde, bem-estar e produtividade dos trabalhadores?

Sendo assim, este estudo tem como objetivo compreender e analisar a interface das tecnologias digitais emergentes direcionadas à QAI, considerando sua importância, desafios e implicações no âmbito da segurança e saúde do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A QUALIDADE DO AR INTERIOR COMO FATOR AMBIENTAL DETERMINANTE NO AMBIENTE LABORAL ADMINISTRATIVO

Os ambientes interiores laborais administrativos são espaços onde as pessoas permanecem a maior parte das horas de trabalho desenvolvendo uma série de atividades de apoio à organização (Maslan; Anis; Islam, 2024). Embora pareça inofensivo, os ambientes administrativos interiores podem camuflar fontes de riscos capazes influenciar no bem-estar, causar efeitos adversos à saúde do trabalhador e atingir níveis possíveis de levar ao absenteísmo e até mesmo à aposentadoria por invalidez (Haapakangas; Hallman; Bergsten, 2023).

De acordo com Pekdoýan (2024), a boa qualidade do ambiente interior está articulada aos fatores ambientais presentes desde projetos bem-sucedidos de construções, que além de visarem fatores operacionais e econômicos, também, contemplam a interação entre as variáveis de conforto, como a QAI.

De acordo com Mistry (2023), a QAI é considerada um determinante crítico e de forte impacto no bem-estar e saúde dos ocupantes dos ambientes internos. Na concepção de Rathore e Singh (2024), a QAI é a capacidade que os elementos presentes no ar, em um determinado ambiente interno, têm de atingir o usuário positivamente ou negativamente.

Além dos fatores de riscos descritos anteriormente, a produção acadêmica sinaliza outros riscos psicológicos, como estresse, ansiedade, depressão, síndrome de burnout e os riscos combinados denominados de efeitos sinérgicos de múltiplas exposições, como fatores de riscos que também contribui para índice de adoecimento no ambiente laboral (Lamattina; Morais, 2024).

Os aspectos acima só evidenciam o que os estudos revelam sobre os riscos oriundos da má qualidade do ar interior à saúde humana. Uma pesquisa conduzida por Ge et al. (2023), abordou os hidrocarbonetos aromáticos liberados por móveis de compensados revestido com policloreto de vinila (PVC), como fator de impacto para redução QAI e para surgimento de irritação nos olhos, nariz e garganta as complicações em órgãos vitais, como rins, fígado e o sistema nervoso central.

De maneira semelhante, Felgueiras et al. (2022) realizaram uma revisão sistemática para analisar a qualidade e os níveis de partículas suspensas no ar em relação ao sistema de ventilação em escritórios urbano a nível global, utilizando as avaliações das concentrações de dióxido de carbono (CO₂) e níveis de material particulado no ar interior (PM 2,5 e PM 10). Os achados apontaram que as concentrações de partículas quase sempre ultrapassam os limites recomendados, embora sofram influência das variações geográficas e sazonais consideráveis.

Não se pode esquecer que a utilização da QAI como parâmetro é uma estratégia metodológica importante para monitorar a qualidade nos interiores das edificações. Para isso, Mohammadi e Calautit (2022), enfatizam as tecnologias como uma importante ferramenta de modelagem e a necessidade de tecnologias mais avançadas.

Isso acontece porque a QAI pode ser utilizada como medida para limitar os níveis de risco, evitando que adquiram potencial para provocar danos à saúde das pessoas, dessa forma as novas tecnologias podem ser úteis para fornecer informações em tempo real, de modo a facilitar na escolha de ações mais eficazes e o momento certo aplicá-las. (Kumar; Kanish, 2024).

De acordo com Filho (2021), de 15% a 30% das pessoas que executam atividades em ambientes fechados desenvolvem algum tipo de patologia, que na maioria das vezes é causada por agentes químicos físico e biológicos, causadores de problemas dermatológico, ocular, respiratórios, cognitivos. De tal maneira que facilita o surgimento da Síndrome do Edifício Doente (SED). É um problema propenso a crescer visto que a população passa a maior parte do tempo em locais onde 30% das edificações estão com a QAI comprometida (Rathore; Singh, 2024).

Nesse cenário, as tecnologias, como os sensores, OIT e a IA possibilitam que os edifícios percebam, analisem e ajam em tempo real, tornando ambiente responsivos, adaptativo às necessidades dos usuários (Di Fiore et al., 2023; EPA, 2025; Salonen et al., (2024)).

2.2 SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAL NO CONTEXTO DA QUALIDADE DO AR AMBIENTE LABORAL INTERIOR

A segurança e saúde ocupacional é considerada uma área de estudo multidisciplinar que tem como objetivo o bem-estar dos trabalhadores em sua totalidade. (Sowbarniga; Lokesh; Mridula, 2023). Nesse universo, a gestão de riscos ocupacionais constitui um elemento-chave na identificação, avaliação, controle, monitoramento e revisão dos agentes riscos ambientais tratados no âmbito internacional pela Organização Internacional do trabalho (OIT), e nacionalmente pelas Normas Regulamentadoras (NR) (Lamattina; Morais, 2024).

Os riscos ambientais são classificados em quatro categorias principais, sendo físicos, que abrangem o calor, ruído, pressão, umidade; os ergonômicos, relacionados a postura, movimentos repetitivos, entre outras condições similares; os riscos mecânicos, correspondentes a acidentes, os riscos biológicos, que englobam os microrganismos geneticamente modificados ou não, culturas de células, parasitas, toxinas e os príons (Brasil, 2021).

Apesar da importância de dados oficiais sobre as patologias ocupacionais, foram necessários vinte e quatro anos para que a Portaria GM/MS nº 1.999, de 27 de novembro de 2023, promovesse a

atualização da lista de doenças relacionadas ao trabalho, incluindo cento e sessenta e cinco novas patologias. Entre elas, bronquite crônica, asma ocupacional, rinite alérgica ocupacional, pneumonite hipersensibilidade, enfermidades recorrentes na literatura científica e também identificadas na lista oficial de doenças ocupacionais do Ministério da saúde (MS) (Brasil, 2023).

2.2.1 Aspectos legais e normativos sobre o ar interior em ambientes laborais administrativos

Em razão do contínuo processo de degradação global do ar, a OMS atualizou em 2021 novas Diretrizes Globais de Qualidade do Ar (AQG), tanto para o ar externo como interno, recomendando níveis mais baixos de valores-guia para proteção da saúde da população contra o principal fator da carga global de doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs), levando os países a buscarem alternativas tecnológicas para se adequar às novas regras (OMS, 2021).

No Brasil, em 2021, para garantir o direito fundamental a um ar de qualidade em ambientes internos externos, foi entregue às autoridades, o Plano Nacional de Qualidade do Ar Interno (PNQAI), para que fosse apresentado ao plenário do Senado Federal e inserido na pauta e no oportuno atualizar a Constituição Federal. Essa ação resultou na Proposta da Emenda à Constituição nº 7, de 2021 (Brasil, 2021).

Pekdoýan (2024), destaca que as exigências legais ainda são insuficientes para alcançar um ambiente interior salutar e seguro. Embora exista uma tendência em padronizar a aplicação dos valores-limite para poluentes no ar interior das edificações. Entretanto, a maioria dos países não possuem uma legislação regulatória específica, nem autoridade nacional independente responsável pela QAI. Em linhas gerais, as divergências e o fato de que diferentes regiões e instituições adotarem lista de poluentes e valores de referência distintos e demais razões comentadas acima dificultam gerar um conjunto de regras consistentes, uniformes e padronizadas para QAI.

2.3 A SINERGIA DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS EMERGENTES NO CENÁRIO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR NOS AMBIENTES LABORAIS ADMINISTRATIVOS

Os ambientes interiores vêm passando por transformações relevantes, tornando-se cada vez mais inovadores tecnologicamente, sustentáveis e flexíveis de modo a influenciar na estrutura organizacional, seja no espaço físico, na maneira de exercer as tarefas, nos conceitos sobre qualidade ambiental, sustentabilidade e no comportamento do usuário (Accioli; Ornstein, 2022).

Destacam-se, nesse contexto, as inovações tecnológicas digitais voltadas ao monitoramento, diagnóstico e solução de problemas em tempo real, melhorando as condições ambientais no local de trabalho. (Mata et al., 2022). Elas facilitam nas decisões rápidas e melhoram o cumprimento de

exigências legais, protegendo a saúde e segurança dos trabalhadores (Adorno Júnior; Sebastião, 2023). Nessa perspectiva, a adoção de inovações como inteligência artificial, Big Data, Internet das Coisas, robótica e realidade virtual têm transformado radicalmente os métodos de trabalho, criando ambientes mais saudáveis e seguros (Malomane; Musonda; Okoro, 2022).

No entanto, para adaptar-se às inovações digitais da era moderna, é preciso estar sempre à frente e seguir uma abordagem estratégica que comtemple os elementos-chave, como físicos, cognitivos e culturais, afinal as tecnologias digitais estão presentes diariamente nas atividades das pessoas e na qualidade de vida das cidades inteligentes (Kumar; Sangtani, 2023).

Em regiões metropolitanas, das grandes economias, com alto índice de poluição veicular e industrial, 58% dos escritórios estão se adaptando às novas tecnologias. Essa demanda por inovações gera uma expectativa de crescimento nesse tipo de mercado de 7,12% entre o ano de 2025 a 2033 (Global Growth Insights, 2025).

Por outro lado, alguns estudos apontam para o surgimento de novos desafios ocupacionais associados às novas tecnologias digitais (TDs) no ambiente laboral. A incerteza da segurança e privacidade, além da deficiência causada pela ausência simultânea de desenvolvimento tecnológico e a falta de capacidade dos trabalhadores em lidar com o novo. (Jiang et al., 2024; Liu, 2025. Conforme é possível perceber no estudo de Juliana (2023), a multifaceta do desenvolvimento tecnológico pode atingir a harmonia no ambiente de trabalho dependendo de como as tecnologias são gerenciadas.

A implementação das TDs demanda vultosos investimentos, a exemplo da aquisição de hardware, software, profissionais especializados, desenvolvimento de infraestrutura e manutenção. Enquanto as grandes empresas enfrentam dificuldade em ampliar o uso das tecnologias em grande escala, as menores sofrem pela falta de recurso financeiro (Tajuddin, 2025).

Para Mohammadi, Rabiei e Dehghan (2023), apesar da imprecisão e incertezas geradas pelas tecnologias emergentes, no contexto segurança e saúde ocupacional (SSO), elas são inovações radicais que carrega no bojo um conjunto de combinações que inclui celeridade, coerência, forte impacto. Oferecendo técnicas inovadoras para o desenvolvimento contínuo direcionados às diferentes fases de gestão sobre os riscos ambientais na área de SSO. Contudo, para que os benefícios sejam duradouros, é preciso considerar e prevenir o perigo intrínseco de cada uma.

Por outro lado, as tecnologias digitais emergentes direcionadas à QAI são ferramentas multifuncionais, imprescindíveis a quase todas áreas e profissões. Elas estão presentes em praticamente todas as atividades executadas pelo ser humano (Resende; Lourenço, 2025). É vasto o número das tecnologias digitais emergentes destinadas à QAI descritas pela literatura científica, algumas já

consolidadas, outras ainda são carentes de revisão científica, mas com capacidade promissora (Saini; Dutta; Marques, 2024).

As tecnologias digitais emergentes vêm apresentando várias vantagens no que tange velocidade e capacidade de resposta na gestão de riscos ambientais, melhor obtenção de dados específicos e detalhados, amostra com alta resolução temporal de dados. Além disso, o feedback em tempo real possibilita que os trabalhadores efetuem a autoproteção através de mudanças comportamentais, revisando conduta ou os procedimentos realizados por eles. (Fanti et al., 2022).

O avanço no material de sensores, líder absoluto no cenário da produção acadêmica, cada vez mais contribui para inovações em vários setores em razão da multifuncionalidade por transformar estímulos físicos, químicos ou biológicos em sinais quantificáveis, mostrando ser extremamente importante para qualidade do ar. Apesar da versatilidade, os sensores enfrentam o desafio da carência de estudos sobre materiais mais eficientes e versátil, mas isso não o impede evoluir e nem perder a essencialidade para o futuro da humanidade (Hossain et al. (2024)).

No universo tecnológico direcionado ao ar interior, os sensores são componentes onipresentes em quase todas as tecnologias digitais emergentes, desempenhando papel imprescindível na coleta de dados vitais para controle, monitoramento e tomada de decisões (Hossain et al., 2024). Além disso, envia informações responsáveis por fornecerem alertas e feedback para prevenção de acidentes e proteção à saúde do trabalhador, impulsionando o desenvolvimento de uma geração de tecnologias interligadas à comunicação sem fio (Javaid et al., 2021; Flor-Unda et al., 2023).

Partindo desse princípio, Tamura, Kato e Ehirayama (2025) conduziram quatro experimentos empíricos em ambientes de escritórios onde existiam robôs móveis de medição Mobile Measuring Robot (MMR). Os resultados foram precisos, tanto para notificação de voz como para previsão de CO₂, demonstrando ser uma solução eficaz para aprimoramento da QAI em edifícios de escritórios, devido à capacidade de direcionar as operações do MMR.

É fato que a tecnologia IOT, também tem destaque no cenário da produção científica, por promover interações entre pessoas e dispositivos, bem como máquinas com máquinas (Lara et al., 2021). Da mesma forma é inegável a integração da IOT com a segurança do trabalho, acompanhada por uma rigorosa gestão de riscos. Essa relação pode ser benéfica para saúde do trabalhador e eficaz para produção, em razão da interligação de sistemas, a exemplo do aprendizado de máquina e o controle remoto (Sorlini; Maxia; Patrucco, 2023; Uddin; Tarigan; Mannan, 2022)

O experimento de El-Leathey et al., (2024), sobre a implantação de um novo sistema IoT, baseado na placa de desenvolvimento Arduino e diversos sensores, juntamente com a interface de programação de aplicativos para monitorar os edifícios de escritórios. Os dados obtidos indicaram que

o sistema apresentado foi capaz de monitorar vários fatores de conforto e saúde em tempo real em um ambiente administrativo como um escritório, fornecendo informações em tempo real sobre as áreas de riscos que necessitam de intervenção.

A tecnologia IA é uma ferramenta de transformação digital de alcance global e multisetorial, que promove agilidade, eficiência, transparência e bem-estar social. Essa inovação pode ser integrada na segurança e saúde ocupacional para facilitar vários aspectos do processo de trabalho. Para isso, utiliza métodos computacionais que analisam e processam os dados, sejam estruturados ou não. Entretanto existe a possibilidade de os riscos no trabalho serem mal interpretados devido à pluralidade da linguística e dos inúmeros fatores de risco. Além disso, há uma lacuna nos estudos em relação à sumarização de forma estruturada e abrangente sobre o tema (Shah; Mishra, 2024).

Para ratificar esses argumentos Eremić e Borjanović, (2024), propõem a utilização de um aplicativo denominado de View Plus Radon Detector, desenvolvido pela Airthings, em conjunto com o aplicativo Air Quality- AI mitigation advisor e AI, com o objetivo de monitorar de forma totalmente automatizado e a baixo custo diversos agentes de riscos ambientais relacionados à QAI, entre eles o radônio, utilizando a inteligência artificial ChatGPT. Essa integração tecnológica constitui um elo entre as análises complexas de dados, os algoritmos de aprendizado de máquina e pessoas. O processo gerou uma lista de sugestões para solucionar desde a detecção, prevenção e redução dos parâmetros.

Para Agarwa e Kumar (2024), o monitoramento, controle e redução da poluição do ar interno pode ser realizado utilizando uma infinidade de estratégias sofisticadas e inteligentes. Segundo Kraakman et al. (2021), somente uma tecnologia não soluciona o problema da purificação do ar interior de forma satisfatória e eficiente.

Apesar dos desafios impostos por essas tecnologias, ainda assim, elas podem ser ferramentas de contribuição para gerar informações valiosas para o monitoramento do ambiente de trabalho, visando o bem-estar do trabalhador, como referência pode ser citado as tecnologias de informação e de comunicação - TIC (Obasi; Benson, 2025).

Em se tratando da influência das tecnologias digitais emergentes na saúde laboral em relação às condições de trabalho e agentes de riscos, observa-se uma influência profunda na transformação da natureza e na estrutura do trabalho e em qualquer papel que o trabalhador venha desempenhar (Obasi; Benson, 2025).

Paralelamente a essas perspectivas, observa-se uma interação entre a melhoria do ar interior com a sustentabilidade. Um trecho do trabalho de Agarwa e Kumar (2024), “Current Strategies for Monitoring and Control of IAQ”, resume as discussões anteriores em que ele ratifica a importância

dos sistemas inteligentes para promover espaços de vida mais saudáveis e confortáveis, ao mesmo tempo que reduzem o consumo de energia e o impacto ambiental.

No geral, as tecnologias digitais emergentes têm papel essencial quando aplicadas à gestão de edifícios, como estratégia de prevenção e de controle dos fatores de riscos, facilitação e dos ajustes conforme a preferência dos ocupantes (Felgueiras et al., 2023). Esse processo facilita o envolvimento do trabalhador com as inovações tecnológicas.

Além disso, esse conjunto de materiais avançados adotado no âmbito da segurança e saúde ocupacional possibilita uma gestão sustentável e eficaz. Estrategicamente, favorece o equilíbrio entre a qualidade de vida do trabalhador e o consumo energético nos ambientes laborais interiores (Agarwal; Kumar, 2024).

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida sob a abordagem qualitativa e caráter descritivo-exploratório por buscar compreender, interpretar e contextualizar os fenômenos. O presente trabalho foi desenvolvido em quatro etapas: (1) levantamento bibliográfico, (2) seleção e leitura do material coletado (3) categorização da temática (4) análise interpretativa das informações.

Para alcançar o objetivo de compreender e analisar interface das tecnologias digitais emergentes e a qualidade do ar interior nos ambientes laborais, a pesquisa foi fundamentada em publicações científicas, relatórios institucionais. Para isso, foram realizadas buscas entre 02 de maio a 29 de agosto, nas bases de dados, Scopus, Web of Science, além de sites oficiais de organizações e órgãos governamentais, priorizando as publicações entre o período de 2020 a 2025. As buscas resultaram em 319 registros, que após triagem por relevância e coerência temática, utilizando o próprio filtro das bases, 71 deles foram selecionados para análise de conteúdo.

4 DISCUSSÃO

A investigação mostrou que o impacto da má qualidade do ar interior impacta na saúde dos trabalhadores e isso colaborou para o desenvolvimento de tecnologias avançadas direcionadas QAI. Fazendo um comparativo com as tecnologias tradicionais com as emergentes, Bao et al. (2025), aponta que a adoção de tecnologias recentes para promover a melhoria do ar interior é muito mais viável do que as tecnologias convencionais. Isso ocorre porque os métodos tradicionais de monitoramento são mais lentos no processo de coleta, amostragem, análise de dados não respondem em tempo real aos eventos causados pela poluição. (Трус; Березовський; Прокопенко, 2024).

Geograficamente, o reflexo desse avanço nas publicações corresponde 19% para os Estados Unidos na América do Norte, 14% na Dinamarca na Europa e 8% na China e em Cingapura na Ásia (Torriani et al, 2024). Realizando uma comparação com potencial tecnológico, nos últimos três anos, os países como China, Estados Unidos, Japão, República da Coreia e Alemanha se destacam (OMPI, 2023).

Estima-se que a média de contaminação do ar externo para ambiente interior atinge uma média aproximadamente de 50%. Harvard T.H. Chan School of Public Health, 2025). Um estudo realizado por Rios et al. (2009), em uma edificação selada e outra aberta, revelou que alguns sintomas prevalecem nos ambientes fechados, como olhos secos 33,3% e 27,1%; coriza 37,3% e 31,3%; garganta seca 42% e 36%; e letargia 58,5% e 50,5%, respectivamente, reforçando o que já é apontado pela literatura científica.

Entre os riscos ambientais identificados durante a pesquisa, os químicos foram os mais citados pelos autores como fator de risco para saúde do trabalhador. Corroborando com as ideias de Lamattina e Morais (2024), os quais apontam os poluentes químicos como um dos principais responsáveis por desencadear as chamadas patologias relacionadas ao ambiente moderno, denominadas de doenças respiratórias provocadas, particularmente pela inalação partículas de poeiras, gases, vapores e fumos nocivos.

Atualmente, cerca de 52% dos projetos de edifícios inteligentes já incorporam o planejamento da qualidade da QAI para atender às exigências de 43% dos usuários. Além de ser um segmento promissor, a preocupação com a QAI aumenta cada vez mais entre a população de modo que 61% dos consumidores considerarem o ar interior mais poluído do que o ar exterior e 55% deles sinalizaram progresso na sintomatologia (Global Growth Insights, 2025).

A pesquisa permitiu expor a prática da empresa Daimler, localizada em Pequim. A empresa realizou o procedimento de filtragem e monitoramento utilizando sensoriamento IOT, que possibilitou a remoção de 90% dos poluentes presentes nos ambientes. O impacto gerou um aumento na satisfação dos ocupantes de 65% e reduziu o absenteísmo em 12% (IQAIR, 2023).

Outro exemplo prático da utilização tecnologias digitais emergentes ocorreu na Ford Land, em Michigan. Foi realizado um teste piloto para eliminar o problema com mofo em um dos seus escritórios. Para isso, utilizou um sistema inteligente baseado em algoritmo de IA, após respostas positivas resolveu implementar o sistema no restante dos escritórios. Os resultados foram impressionantes na redução na taxa de vários poluentes, sendo os valores mais significantes para os materiais particulados, incluindo PM10 (-86%), TVOC (-84%), PM 5 (- 77%) e (-60%) para PM2,5 (AtmosAir, 2020).

Essa mesma tecnologia foi aplicada em prédios do Forte Belvoir, em Virginia. Após o período de 30 dias, ocorreu uma redução acima de 95% para os esporos de mofo *Cladosporium*, esporos de mofo *Penicillium* e esporos de mofo *Aspergillus*. Quanto aos poluentes PM10 e PM2,5 diminuíram mais de 70%, além disso o consumo energético reduziu aproximadamente em 16% (AtmosAir, 2020).

Apesar da busca exaustiva nas principais bases e documentos públicos, não foi possível identificar registros das instalações tecnológicas digitais emergentes por empresas ou instituições brasileiras. Somente foram encontrados documentação de acesso aberto com alguns relatos qualitativos e protocolos certificações de qualidade direcionados à qualidade do ar externo.

Os Achados também revelaram situações de cunho econômico sobre a contribuição das tecnologias digitais emergentes para os investimentos na produção de produtos e serviços, de modo a criar um mercado emergente em inovações tecnológicas e surgimento de parceria entre gigantes da tecnologia (Big Techs). Por outro lado, são inúmeros os desafios a superar no mercado econômico, um deles é o alto custo no investimento. As empresas grandes por sentir dificuldades em ampliar o uso das tecnologias em grande escala, enquanto as menores sofrem pela falta de recurso financeiro (Galetsi; Katsaliaki; Kumar, 2024; Yildiz; Bigeon-Bienvenu, 2025).

Alguns fatores, como a ausência de padrões regulatórios uniformes em nível global se torna um desafio para as empresas. Essa falta de alinhamento universal na métrica de desempenho é identificada por 44% das stakeholders do setor, apesar disso a ausência da padronização insiste em deixar uma lacuna que desafia as empresas a se expandirem e conseguir um padrão das inovações tecnológicas relacionadas à QAI (Global Growth Insights (2025).

Chada e Firababadza (2024) afirmam que os prédios administrativos, como escritórios, estão entre os setores que mais se beneficiam com a revolução tecnológica por meio de dispositivos inteligentes conectados à internet, colaborando para um ambiente laboral inteligente e para a otimização do consumo energético sustentável. Affonso et al. (2024) destacam que as edificações inteligentes, smart buildings, podem oferecer ambientes adequados ao ser humano, contemplando desde as necessidades básicas até soluções mais complexas voltadas aos problemas climáticos, sustentabilidade e socioeconômico.

A pesquisa revelou uma informação interessante, evidenciando a interação entre as tecnologias digitais e as tecnologias verdes. De acordo com (Manzoor; Antwi-Afari; Alotaibi, 2025), existem inúmeros estudos sobre tecnologias verdes e as digitais, entretanto, as pesquisas direcionadas à integração de edifícios verdes com tecnologias digitais (integração GBs-DTs) sob uma mesma estrutura conceitual ainda são pontuais.

Através da coleta de dados, foi possível constatar que as tecnologias digitais emergentes direcionadas à qualidade do ar nos ambientes laborais administrativos é algo que não pode ser suprimido. As aplicações das inovações digitais na gestão dos riscos ambientais podem surtir efeitos positivos quando aplicadas corretamente as técnicas inovadoras.

Com base nas discussões anteriores, fica evidente que a presença da inovação tecnológica faz parte do curso natural da humanidade, sendo essencial a adoção das tecnologias digitais emergentes para prevenção da identificação, avaliação, e controle dos riscos ambientais no local de trabalho, de modo a viabilizar o melhoramento do ambiente laboral dentro da legalidade. Dado que as pessoas passam de 80-90% do seu tempo em ambientes fechados, dos quais 40% é dedicado ao local de trabalho (Fissore et al., 2023; БЕЛКОВ et al. 2023).

Cabe mencionar que este estudo apresenta algumas limitações, devido à indisponibilidade de banco de dados oficiais para estratificar os índices de patologias, mortalidade e socioeconômico relacionado à QAI nos interiores laborais administrativos. É uma lacuna presente tanto nos estudos internacionais e nacionais.

Considerando as limitações identificadas, torna-se pertinente propor pesquisas que explorem quantitativamente os índices de saúde e socioeconômico e aprofundem os estudos sobre a sinergia das tecnologias digitais emergentes com outras ferramentas inovadoras, como as tecnologias verdes e sustentáveis, ampliando a compreensão do papel das tecnologias digitais emergentes em prol da QAI.

5 CONCLUSÃO

O trabalho revelou um breve panorama da interface das inovações tecnológicas digitais emergentes o ambiente interior, tendo como ferramenta as tecnologias digitais emergentes, no combate à poluição do ar interior e a salvaguarda da qualidade de vida e produtividade dos trabalhadores nos ambientes laborais administrativos, evidenciando a má qualidade do ar interior como um problema de saúde pública, socioeconômico e de sustentabilidade.

É evidente que a mudança de paradigma na área da construção civil vem impulsionando as demandas ambientais tecnológicas, os Smart buildings representam essa transição. Esse tipo de edificação une a inovação, sustentabilidade e gestão eficiente de recursos, o que o faz uma referência para o futuro de edificações com espaços laborais.

A adoção das tecnologias digitais emergentes aplicadas no âmbito da segurança e saúde ocupacional, não somente, influência na saúde, bem-estar, mas também na produtividade do trabalhador, socioeconômico e sustentabilidade. Quando aplicadas utilizando a metodologia correta, possibilitam maiores oportunidades e benefícios do que ameaças e fraquezas.

Um dos aspectos mais transformadores das tecnologias digitais emergentes é que elas não se limitam apenas em representar inovação, mas também possibilitam que o trabalhador assuma um papel ativo na proteção da própria saúde e na promoção de sua qualidade de vida laboral. Assim, este estudo oferece uma base para futuras pesquisas que ampliem tal discussão.

REFERÊNCIAS

ACCIOLI, Marta Elisa Riekstin; ORNSTEIN, Sheila Walbe. Avaliação pós-ocupação (APO) aplicada em um ambiente administrativo no interior de parque fabril automobilístico. Projeto e Percepção do Ambiente, v. 7, n. 3, p. 182–195, set. 2022. Acesso em: 10 Jul. 2025.

ADORNO JÚNIOR, Hélcio Luiz; SEBASTIÃO, Anderson José. O uso da tecnologia para a gestão da saúde e da segurança do trabalho: um estudo sobre as medidas de proteção à saúde dos trabalhadores. Universitas: Revista Científica da Faculdade Santa Lúcia, v. 17, n. 33, p. 81–101, jul./dez. 2023. Acesso em: 5 Jun. 2025.

AFFONSO, Estefany O. T. et al. The main barriers limiting the development of smart buildings. Buildings, v. 14, p. 1-15, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings14061726>. Acesso em: 5 Ago. 2025.

AGARWAL, Renu; KUMAR, Ravi. Current strategies for monitoring and control of IAQ. Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology, Meerut, v. 3, n. 3, p. 22–26, jun. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.55544/jrasb.3.3.5>. Acesso em: 10 Ago. 2025.

ATMOSAIR SOLUTIONS. Indoor air purification systems: case studies. [S. l.]: ProMedUSA Pte. Ltd., 2020. 41 p. Disponível em: https://www.work214.com/wp-content/uploads/2020/10/atmosair_case_studies_email_brochure_v3.0.pdf. Acesso em: 10 jul. 2025.

BAO, J et al. Intelligent Air Quality Detection Device Based on Edge Computing. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, v. 74, p. 2507010, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TIM.2025.3541666>. Acesso em: 10 Jun. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Ministério da Saúde atualiza lista de doenças relacionadas ao trabalho após 24 anos. Brasília, 29 nov. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2023/novembro/ministerio-da-saude-atualiza-lista-de-doencas-relacionadas-ao-trabalho-apos-24-anos>. Acesso em ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-09: Avaliação e controle das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos. Atualizada em 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-09-atualizada-2021.pdf>. Acesso em: 28 Mai. 2025.

BRASIL. Senado Federal. Proposta de Emenda à Constituição n.º 7, de 2021: inclui, na Constituição Federal, o direito à qualidade do ar entre os direitos e garantias fundamentais. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <http://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/148029>. Acesso em: 15 Mai. 2025.

CHADA, Tendai; MAFIRABADZA, Chrispen. Leveraging the integration of IoT devices for energy optimization in office blocks. International Journal of Innovative Science and Research Technology, v. 9, n. 6, p. 2928–2935, 2024. ISSN 2456-2165. Disponível em: <https://doi.org/10.38124/ijisrt/IJISRT24JUN2014>. Acesso em: 8 Jul. 2025.

DE CAPUA, C. et al. An improvement strategy for indoor air quality monitoring systems. *Sensors*, Basel, v. 23, n. 8, p. 3999, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23083999>. Acesso em: 10 jul. 2025.

DI FIORE, Cristina et al. The presence of aromatic substances in incense: determining indoor air quality and its impact on human health. *Applied Sciences*, [S.l.], v. 13, n. 12, p. 7344, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13127344>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/12/7344>. Acesso em: 4 Jun. 2025.

EL-LEATHEY, A. et al. Real-Time IoT System for Monitoring of Indoor Comfort and Health in Office Buildings. In: IEEE. Proceedings of the 2024 9th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), [S.l.], jun. 2024. p. 494–499.

IEEE, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1109/EEAE60309.2024.10600614>. Acesso em: 3 Jul. 2025.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality. U.S. Environmental Protection Agency, atualizado em 14 jul. 2025. Disponível em: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/inside-story-guide-indoor-air-quality#tab-1>. Acesso em: 27 Ago. 2025.

EREMIĆ, Željko; BORJANOVIĆ, Iris. AI-Supported Solution for Proposal to Improve Indoor Air Quality Using Web Application and Airthings Radon Detector. In: Sinteza 2024 – International Scientific Conference on Information Technology, Computer Science, and Data Science, Computer Science and Artificial Intelligence Session, Čačak, Sérvia, mar. 2024. p. 25–30. DOI: 10.15308/Sinteza-2024-25-30. Acesso em: 28 Ago. 2025.

FANTI, G. et al. Evolution and applications of recent sensing technology for occupational risk assessment: a rapid review of the literature. *Sensors*, Basel, v. 22, n. 13, art. 4841, jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s22134841>. Acesso em: 15 jul. 2024.

FELGUEIRAS, F et al. Characterizing indoor environmental quality in Portuguese office buildings for designing an intervention program. *Building and Environment*, [S.l.], v. 254, p. 111393, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111393>. Acesso em: 6 Jun. 2025.

FELGUEIRAS, F. et al. A systematic review of ventilation conditions and airborne particulate matter levels in urban office. *Indoor Air*, [S.l.], v. 32, e13148, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ina.13148>. Acesso em: 14 Jul. 2025.

FILHO, A. O. Cidades inteligentes com edifícios doentes. Plano Nacional de Qualidade do Ar Interno – PNQAI, 2021. Disponível em: <https://www.pnqai.com.br/post/cidades-inteligentes-com-edif%C3%ADcios-doentes>. Acesso em: 21 Jul. 2025

FISSORE, V. I. et al. Indoor environmental quality and comfort in offices: a review. *Buildings*, [S.l.], v. 13, n. 10, Art. 2490, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings13102490>. Acesso em: 30 Ago. 2023.

FLOR-UNDA, O. et al. Innovative Technologies for Occupational Health and Safety: a scoping review. *Safety*, Basel, v. 9, n. 2, p. 35, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/safety9020035>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/safety9020035>. Acesso em: 23 Jul. 2025.

GALETSI, Panagiota; KATSALIAKI, Korina; KUMAR, Sameer. Realizing Resilient Global Market Opportunities and Societal Benefits Through Innovative Digital Technologies in the Post COVID-19 Era: A Conceptual Framework and Critical Literature Review. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v.71, ago 2024. Disponível em: DOI: 10.1109/TEM.2023.3303080. Acesso em: 27 Jul. 2025.

GE, M. et al. Effects of air exchange rate on VOCs and odor emission from PVC veneered plywood used in indoor built environment. *Coatings*, Basel, v. 13, n. 9, p. 1608, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings13091608>. Acesso em 14 Mai. 2025.

GLOBAL GROWTH INSIGHTS. Indoor Air Quality Market Size, Share, Growth, and Industry Analysis, By Types (Service, Equipment), By Applications (Commercial, Residential, Industrial), Regional Insights and Forecast to 2033. Pune: Global Growth Insights, 2025. 106 p. Disponível em: <https://www.globalgrowthinsights.com/market-reports/indoor-air-quality-market-110817>. Acesso em: 24 Ago. 2025.

HAAPAKANGAS, Annu; HALLMAN, David M.; BERGSTEN, Elin L. Office design and occupational health – has research been left behind? *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, Helsinki, v. 49, n. 1, p. 1–4, jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.5271/sjweh.4073>. Disponível em: <https://www.sjweh.fi/article/4073>. Acesso em: 18 Ago. 2025.

HARVARD T.H. CHAN SCHOOL OF PUBLIC HEALTH. The business of healthy buildings. Healthy Buildings – Indoor Air Quality. Cambridge, MA, 2025. Disponível em: <https://healthybuildings.hspf.harvard.edu/research/indoor-air-quality/business-case/?utm>. Acesso em: 21 Ago. 2025.

HOSSAIN, Nayem. et al. Prospects and challenges of sensor materials: a comprehensive review. e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, v. 7, art. 100496, mar. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100496>. Acesso em: 3 Jul. 2025.

IQAIR. Daimler associa-se à IQAir para melhorar a qualidade do ar nos escritórios. IQAir Newsroom, 31 ago. 2023. Disponível em: <https://www.iqair.com/br/newsroom/daimler-iqair-collaboration>. Acesso em: 02 Ago. 2025

JAVAID, Mohd et al. Significance of sensors for industry 4.0: Roles, capabilities, and applications. *Sensors International*, [S. l.], v. 2, p. 100110, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100110>. Acesso em: 29 Ago. 2025.

JIANG, Luping; ZHANG, Jingdong; WONG, Yiik Diew. Digital technology in occupational health of manufacturing industries: a systematic literature review. *Discover Applied Sciences*, [S. l.], v. 6, n. 12, art. 631, dez. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06349-4>. Acesso em: 01 Jul. 2025.

JULIANA, Jefrine Juliana. Technological advancement and its impact on workers. *International Journal for Multidisciplinary Research*, [S.l.], v. 5, n. 6, p. 1–11, nov./dez. 2023. E-ISSN 2582-2160. Disponível em: <https://www.ijfmr.com/>. Acesso em: 20 jul. 2025.

JÚNIOR, J. et al. Qualidade do ar interno e efeitos na saúde humana. Brasindoor (São Paulo, online), v. 6, n. 1, p. 80-92, 2024. Publicação contínua. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.29327/2410885.6.1-7>. Acesso em: 19 Jul. 2025.

KAUSAR, A. et al. Exigency for the control and upgradation of indoor air quality — forefront advancements using nanomaterials. Pollutants, Basel: MDPI, v. 3, p. 123-149, 2023. DOI: 10.3390/pollutants3010011 . Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/pollutants>. Acesso em Mai. 2025.

KAUSHIK, A. K. et al. Effect of Indoor Environment on Occupant Air Comfort and Productivity in Office Buildings: a Response Surface Analysis Approach. Sustainability, Basel, v. 14, n. 23, art. 15719, nov. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su142315719>. Acesso em: 27 Jul. 2025.

KRAAKMAN, N. J .R. et al. Recent advances in biological systems for improving indoor air quality. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, [S. l.], v. 20, p. 363–387, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11157-021-09569-x>. Acesso em: 1 Jun. 2025

KUMAR, P. et al. Critical review on emerging health effects associated with the indoor air quality and its sustainable management. Ciência do Meio Ambiente Total, [S.l.], v. 872, p. 162163, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162163>. Acesso em: 4 Jul. 2025.

KUMAR, Rima Manish; SANGTANI, Rita. Digital innovation and transformation. Journal of Artificial Intelligence, Machine Learning and Neural Network, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 25–38, dez. 2022–jan. 2023. Disponível em: <http://journal.hmjournals.com/index.php/JAIMALNN>. DOI: <https://doi.org/10.55529/jaimlnn.31.25.38>. Acesso em: 24 Jul. 2025.

KUMAR, S, H; Kanish, T, C. A review on indoor air quality monitoring system:a mechatronics approach. Aerobiologia, v. 13, p. 100487, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10453-024-09835-9>. Acesso em: 09 Ago. 2025.

LAMANTINA, Daniela et al. Impact of different indoor air quality levels on the productivity of office workers: a systematic review. Building and Environment, v. 245, p. 110955, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110955>. Acesso em: 27 Jul. 2025.

LARA, J. E. et al. Admirável mundo novo na perspectiva da tríade: Internet das Coisas, pessoas e mercados. Perspectivas em Ciência da Informação, Belo Horizonte, v. 26, n. 2, p. 124-150, jun. 2021. DOI: 10.1590/1981-5344/3825. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-5344/3825>. Acesso em: 16 Jun. 2025.

LIU, Weiquan. Analytical framework of facilitating pathways: overcoming barriers to the adoption of smart technologies in interior design. Pacific International Journal, Hohhot: Faculty of Arts and Sciences of Honder, v. 8, n. 3, p. 1–11, 2025. DOI: 10.55014/pij.v8i3.816Disponível em: <https://rclass.com/index.php/pij>. Acesso em: 27 Jul. 2025.

MALOMANE, Reneiloe; MUSONDA, Innocent; OKORO, Chioma Sylvia. The opportunities and challenges associated with the implementation of Fourth Industrial Revolution technologies to manage health and safety. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 19, n. 846, p. 1–22, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19020846>. Acesso em 2 mai. 2025.

MANZOOR, Bilal; ANTWI-AFARI, Maxwell Fordjour; ALOTAIBI, Khalid Saqer. Green buildings and digital technologies: a pathway toward sustainable development. *Green Technologies and Sustainability*, [s.l.], v. 3, p. 100243, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.grets.2025.100243>. Acesso em Jul. 2025.

MASLAN, Nurul Masturina; ANIS, Azilah; ISLAM, Rafikul. Optimising Administrative Employees' Productivity in XYZ District of Sarawak: The Role of Physical Workspace Environments. *Gestão da Informação e Revisão de Negócios*, v. 16, n. 2, p. 153–166, 2024. ISSN 2220-3796. Acesso em: 21 Jul. 2025.

MATA, T. M. et al. Indoor air quality: a review of cleaning technologies. *Environments*, [S. l.], v. 9, n. 9, p. 1–28, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/environments9090118>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3298/9/9/118>. Acesso em: 14 Jul. 2025.

MISTRY, Vrushank. Impacto da automação predial na qualidade do ar interior e no desempenho do sistema HVAC. *Journal of Artificial Intelligence & Cloud Computing*, v. 2, n. 4, p. 1-4, 2023. DOI: 10.47363/JAICC/2023(2)204. Disponível em: <https://www.jsmcentral.org/journals/jaicc>. Acesso em: 9 Mai. 2025.

MOHAMMADI, Hamzeh; RABIEI, Hadiseh; DEHGHAN, Somayeh Farhang. Editorial: Emerging technologies in occupational health and safety. *Frontiers in Public Health*, [S. l.], v. 11, p. 1–3, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1117396>. Acesso em: 14 Ago. 2025.

MOHAMMADI, Murtaza; CALAUTIT, John. Quantifying the transmission of outdoor pollutants into the indoor environment and vice versa- review of influencing factors, methods, challenges and future direction. *Sustainability*, [S. l.], v. 14, n. 17, p. 1–27, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su141710880>. Acesso em: 23 Ago. 2025.

OBASI, Izuchukwu Chukwuma; BENSON, Chizubem. The impact of digitalization and information and communication technology on the nature and organization of work and the emerging challenges for occupational safety and health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, [S. l.], v. 22, n. 362, p. 1–28, 28 fev. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph22030362>. Acesso em: 19 Ago. 2025.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. A safe and healthy working environment: a fundamental principle and right at work. Genebra: OIT, 2022. Disponível em: <https://www.ilo.org/topics-and-sectors/safety-and-health-work/safe-and-healthy-working-environment-fundamental-principle-and-right-work>. Acesso em: 12 Jul. 2025.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA PROPRIEDADE INTELECTUAL (OMPI). Relatório sobre Indicadores Mundiais de Propriedade Intelectual: Recorde no número de pedidos de patentes depositados em todo o mundo em 2022. Genebra, 6 nov. 2023. Disponível em: https://www.wipo.int/pressroom/pt/articles/2023/article_0013.html. Acesso em 4 Ago. 2025.

ORGANIZAÇÃO PAN AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). Novas Diretrizes Globais de Qualidade do Ar da OMS visam salvar milhões de vidas da poluição atmosférica. OPAS, 22 set. 2021. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/22-9-2021-novas-diretrizes-globais-qualidade-do-ar-da-oms-visam-salvar-milhoes-vidas-da>. Acesso em: 16 jul. 2025.

PEKDOĞAN, T.; ÖZMEN, A.; ALBAYRAK, E. Evaluating the impact of building materials on indoor air quality: a critical analysis. *Sakarya University Journal of Science*, Sakarya, v. 28, n. 4, p. 824–843, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.1457545>. Acesso em: 27 Ago. 2025.

RATHORE, Hemu; SINGH, Suman. Indoor Air Quality. In: *Habitats: Holistic Approaches to Building, Interiors and Technical Systems*. [S.l.], 2024. p. 237-255. DOI: <https://doi.org/10.52458/9788196897444.nsp2024eb.ch-14>. Acesso em: 8 jun. 2025.

RESENDE, Liliane Chaves de; LOURENÇO, Cíntia de Azevedo. Tecnologias emergentes e biblioteconomia: conexões necessárias. *Revista Aracê*, São José dos Pinhais, v. 7, n. 4, p. 19777–19801, 2025. DOI: 10.56238/arev7n4-239. Acesso em: 29 Ago. 2025.

RIOS, J. L. M. et al. Symptoms prevalence among office workers of a sealed versus a non-sealed building: associations to indoor air quality. *Environment International*, v. 35, n. 8, p. 1136-1141, Nov. 2009. DOI: 10.1016/j.envint.2009.07.005. Acesso em Ago. 2025.

SÁ, J. P. et al. Application of the low-cost sensing technology for indoor air quality monitoring: a review. *Environmental Technology & Innovation*, v. 28, p. 102551, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102551>. Acesso em 10 Ago. 2025.

SAINI, Jitendra; DUTTA, Manish; MARQUES, Gonçalo. Robot-assisted indoor air quality monitoring and assessment: a systematic review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, [S. l.], v. 22, p. 1921–1936, 1 jul. 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-024-05845-9>. DOI: 10.1007/s13762-024-05845-9. Acesso em: 24 Jul. 2025.

SALONEN, H. et al. Cleaning products: their chemistry, effects on indoor air quality, and implications for human health. *Environment International*, [S.l.], v. 190, p. 108836, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108836>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412024002544>. Acesso em: 5 Jul. 2025.

SHAH, Immad A.; MISHRA, SukhDev. Artificial intelligence in advancing occupational health and safety: an encapsulation of developments. *Journal of Occupational Health*, Oxford, v. 66, n. 1, p. uiad017, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1093/JOCCUH/uiad017>. Disponível em: <https://academic.oup.com/joh/article/66/1/uiad017/7505756>. Acesso em: 23 Jul. 2025.

SORLINI, Achille; MAXIA, Lorenzo; PATRUCCO, Mario; PIRA, Enrico. Occupational Safety and Health Improvements through Innovative Technologies in Underground Construction Sites: Main Trends and Some Case Histories. *Infraestruturas*, Basel, v. 8, n. 6, p. 104, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures8060104>. Acesso em: 10 Jun. 2025.

SOWBARNIGA, B.; LOKESH, K.; MRIDULA, G. Occupational health and safety in workplace: a theoretical approach. *International Journal for Multidisciplinary Research*, v. 5, n. 3, p. 2023, 2023. Acesso Mai. 2025.

TAJUDDIN, Imran. Challenges of new technology adoption in improving company growth and competitiveness. *Advances in Economics & Financial Studies*, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 56– 70, 2025. DOI: <https://doi.org/10.60079/aefs.v3i1.458>. Acesso em: 2 Ago. 2025.

TAMURA, Shuichi.; KATO, Ouki.; SHIRAYAMA, Susumu. Development of indoor CO₂ monitoring system with an integrated fixed sensor and a mobile measuring robot. *Journal of Cleaner Production*, v. 291, p. 125780, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125780>. Acesso em: 21 Jul. 2025.

TORRIANI, G. et al. Perceived air quality (PAQ) assessment methods in office buildings: a systematic review towards an indoor smellscape approach. *Building and Environment*, [S.l.], v. 258, p. 111645, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111645>. Acesso em: 9 Jul. 2025.

UDDIN, Nur; TARIGAN, Surya Gunanta; MANNAN, Khalid Abdul. A low-cost IoT system for monitoring air quality in indoor workplaces. *Proceedings of the 6th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE 2022)*, South Tangerang: IEEE, 2022. p. 781-786. DOI: 10.1109/ICITISEE56855.2022.10029162. Acesso em 2 Mai. 2025.

YILDIZ, Melike; BIGEON-BIENVENU, Stéphanie. Innovation leading to improved safety, health, and productivity is enabled by close collaboration between construction companies and technology start-ups. *American Journal of Industrial Medicine*, Hoboken, v. 68, supl. S12–S14, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajim.23702>. Acesso: 15 Jul. 2025.

Трус, О.М; Березовський, А.П; Прокопенко, Е.В. Inovatsionnye podkhody k obespecheniu bezopasnosti i okhrany truda na proizvodstve: vyzovy i vozmozhnosti. *Kommunal'noe khoziaistvo gorodov*, Uman, v. 3, n. 184, p. 245–249, 2024. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-3-184-245-249>. Acesso: 15 Jul. 2025.

БЄЛІКОВ, А. С. et al. До питання комплексного впливу негативних та шкідливих факторів на виникнення професійних захворювань. *Український журнал будівництва та архітектури*, № 6 (018), р. 7-15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.261223.7.1001>. ISSN 2710-0375. Acesso em: 10 Jul. 2025