

AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DE SEGURANÇA E USABILIDADE DE DISPOSITIVOS WEARABLES EM AMBIENTE LOGÍSTICO: UM ESTUDO DE CASO INDUSTRIAL

EVALUATION OF SAFETY PERCEPTION AND USABILITY OF WEARABLE DEVICES IN A LOGISTICS ENVIRONMENT: AN INDUSTRIAL CASE STUDY

Artigo recebido em: 10/12/2025

Artigo aceito em: 09/03/2026

Bruno Pires Bastos*

*Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
bruno.bastos@sesisc.org.br

Guilherme Agnolin*

*Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
guilherme-agnolin@sesisc.org.br

Gabriela Machado Silva*

*Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
machadogabrielauf@gmail.com

Pedro Manerich Nicolau*

*Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
pedro.nicolau@sesisc.org.br

Antônio Renato Pereira Moro*

*Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
renato.moro@ufsc.br

The authors declare that there is no conflict of interest

Resumo

Este estudo analisa a implementação de sistemas de segurança baseados em dispositivos wearables (TAGs e âncoras) de prevenção de colisão em um Centro de Distribuição de uma indústria alimentícia. Por meio de uma abordagem qualitativa fundamentada na Análise de Conteúdo de Bardin, foram entrevistados 48 trabalhadores divididos em três turnos operacionais. Os resultados revelam uma percepção positiva quanto à contribuição para a segurança, apesar de desafios ergonômicos relacionados ao design da solução, à percepção de vibração e raio de alcance dos alertas. O estudo conclui que a tecnologia atua como uma barreira crítica contra acidentes, mas requer refinamentos na interface homem-máquina para otimização da performance.

Palavras-chave: Dispositivos Eletrônicos Vestíveis. Prevenção de Colisão. Saúde do Trabalhador. Tecnologias de Segurança.

Abstract

This study analyzes the implementation of collision-prevention safety systems based on wearable devices (TAGs and anchors) in a Distribution Center of a food industry. Using a qualitative approach grounded in Bardin's Content Analysis, 48 workers from three operational shifts were interviewed. The results indicate a positive perception regarding the contribution to safety, despite ergonomic challenges related to system design, vibration perception, and alert detection range. The study concludes that the technology functions as a critical barrier against accidents; however, refinements in the human-machine interface are required to optimize performance precision and conciseness.

Keywords: *Wearable Electronic Devices. Collision Prevention. Occupational Health. Safety Technologies.*



1 INTRODUÇÃO

A adoção de tecnologias vestíveis (wearables) com foco na segurança do trabalho em ambientes industriais ainda está longe de integrar a rotina operacional de forma ampla e consistente. Em operações logísticas internas, especialmente em centros de distribuição, a interação simultânea entre pedestres, empilhadeiras e transpaleteiras em corredores estreitos, cruzamentos e áreas com pontos cegos cria condições propícias a eventos de colisão, nos quais a prevenção depende não apenas de procedimentos e sinalização, mas também da eficácia de barreiras técnicas e de sua aderência ao trabalho real.

Embora sejam frequentes estudos voltados a tecnologias emergentes, frameworks, arquiteturas e revisões, ainda são limitadas as evidências empíricas que explorem, em condições reais de uso, como os trabalhadores percebem essas soluções, particularmente no que se refere à usabilidade, ao conforto, à clareza e confiabilidade dos alertas e ao valor agregado em relação a medidas legadas. Essa lacuna é relevante porque, para viabilizar a adoção em larga escala, não basta que a tecnologia seja funcional do ponto de vista técnico: é necessário que o dispositivo seja aceito, incorporado à rotina e interpretado pelos usuários como efetivamente útil e coerente com as exigências do ambiente operacional. Além disso, fabricantes e gestores precisam de avaliações independentes que apoiem decisões de implementação e refinamento de projeto, reduzindo incertezas e riscos associados à introdução de novas interfaces homem-máquina (Patel et al., 2022).

Nesse contexto, o Serviço Social da Indústria (SESI) atua no planejamento e execução de iniciativas voltadas à promoção do bem-estar e da segurança dos trabalhadores, incluindo estudos aplicados em ambientes industriais. Assim, este estudo tem como objetivo analisar a percepção dos trabalhadores sobre a implementação e o uso de um sistema de prevenção de colisões baseado em dispositivos wearables, voltado à mitigação de riscos envolvendo empilhadeiras em um ambiente industrial. Ao focalizar a experiência do usuário final, o trabalho busca contribuir com evidências para o aprimoramento ergonômico e para a tomada de decisão sobre a adoção responsável dessas tecnologias em operações logísticas.

2 SEGURANÇA DO TRABALHO

Os acidentes de trabalho constituem um problema relevante tanto para a saúde pública quanto para a gestão das organizações. Em 2023, foram registrados no Brasil 732.751 acidentes de trabalho. Desse total, 661 ocorreram no setor de fabricação de biscoitos e bolachas. A Região Sul respondeu por cerca de 23% dessas ocorrências, somando 156 casos. No mesmo período, o estado de Santa Catarina contabilizou 46 acidentes nesse setor, o que representa aproximadamente 7% do total nacional e 29,5% dos registros da Região Sul (Smartlab, 2023).

Em Santa Catarina, a taxa de incidência no setor de fabricação de biscoitos e bolachas é de 10,63%. Ressalta-se que acidentes de trabalho não acontecem ao acaso: no país, a média é de 70 acidentes por hora e sete mortes por dia, muitas vezes associadas à negligência de quem deveria assegurar equipamentos adequados, orientações efetivas e condições seguras, mas não cumpre essa responsabilidade (Brasil, 2023). Anualmente, esses eventos geram perdas financeiras estimadas em R\$ 13 bilhões, valor que inclui benefícios pagos pelo Instituto Nacional do Seguro Social (INSS) relacionados a acidentes. Além disso, mais de 46 mil dias de trabalho são perdidos, considerando os afastamentos decorrentes desses agravos (Brasil, 2023).

No recorte de 2012 a 2022, os acidentes envolvendo empilhadeiras somaram 27.572 ocorrências no Brasil, o equivalente a 0,52% do total registrado no período. Em relação a lesões graves, como amputações e/ou enucleações, as empilhadeiras figuram na 30ª posição entre os agentes causadores, correspondendo a 0,68% dos casos, isto é, 365 registros (Smartlab, 2023). Estima-se que acidentes com empilhadeiras resultem, anualmente, em cerca de 85 mortes e 34.900 lesões graves. Também se aponta que aproximadamente 20% a 25% desses eventos podem ser atribuídos, ao menos parcialmente, a treinamento insuficiente dos operadores (OSHA, 2023).

2.1 Dispositivos wearables industriais

A Internet das Coisas (IoT) e, em particular, a Internet Industrial das Coisas (IIoT) constituem pilares tecnológicos da Indústria 4.0, ao viabilizarem a instrumentação de processos produtivos, a conectividade entre ativos e a tomada de decisão baseada em dados. Nesse contexto, a incorporação de sensores, conectividade e inteligência analítica

amplia a digitalização e a automação da manufatura, sendo frequentemente apontada como um dos principais motores da quarta revolução industrial (Lampropoulos; Siakas; Anastasiadis, 2019).

Dentro desse ecossistema, dispositivos wearables industriais (por exemplo, relógios e pulseiras inteligentes, coletes e cintos com sensores, capacetes “smart”, exoesqueletos e óculos de realidade assistida) se destacam por aproximarem a coleta e o uso de dados do trabalhador e de sua interação com o sistema sociotécnico. Em ergonomia e segurança, esses dispositivos permitem monitorar variáveis fisiológicas e biomecânicas, assim como condições ambientais e comportamentos de risco, favorecendo intervenções em tempo real e ações preventivas.

Apesar do avanço tecnológico e do crescimento de aplicações, a literatura ainda aponta a necessidade de sistematizações e revisões abrangentes que organizem funções, métricas e lacunas de pesquisa relacionadas ao uso de wearables na segurança do trabalho (Svertoka et al., 2021). Nessa direção, Svertoka et al. (2021) propõem uma classificação funcional amplamente utilizada, agrupando as funções dos wearables industriais em quatro eixos: monitoramento, suporte, treinamento e rastreamento.

- a) Monitoramento: captura contínua (ou periódica) de sinais relacionados ao estado do trabalhador e do ambiente (p.ex., fadiga, postura, esforço, exposição).
- b) Suporte: provisão de informações “just-in-time” e assistência à decisão/execução (p.ex., alertas, instruções operacionais, orientação contextual).
- c) Treinamento: apoio ao desenvolvimento de habilidades e à aprendizagem no posto, inclusive com feedback imediato sobre execução e segurança.
- d) Rastreamento: localização e proximidade (p.ex., geofencing, prevenção de colisão, controle de acesso e zonas de risco).

Evidências recentes reforçam o potencial dos wearables para redução de riscos ergonômicos e melhoria de segurança por meio de feedback em tempo real, especialmente em aplicações com sensores inerciais (IMU), eletromiografia (EMG) e sensores de pressão, ao mesmo tempo em que destacam desafios relevantes como escalabilidade, conforto, aceitabilidade e privacidade de dados (Alenjareghi et al., 2026). Adicionalmente, estudos sobre implementação em manufatura apontam que a hesitação/resistência pode emergir de fatores organizacionais e humanos por exemplo: confiança, percepção de vigilância, autonomia), o que torna indispensável considerar a gestão da mudança e a participação dos trabalhadores no desenho da solução (Stradderman et al.,

2025).

Do ponto de vista de gestão de SST, a adoção de wearables tende a ser mais consistente quando integrada a sistemas formais de gestão, em alinhamento com princípios de melhoria contínua e prevenção de riscos contemplados por referências normativas como a ISO 45001 (ISO, 2025). Assim, para além do desempenho técnico do dispositivo, recomenda-se que a implementação seja avaliada como uma intervenção sociotécnica, considerando usabilidade, carga de trabalho, confiabilidade percebida, impactos na organização do trabalho e governança de dados.

2.2 Ambiente industrial / logístico

Ambientes industriais e logísticos são marcados por alta variabilidade operacional, coexistência de fluxos de pessoas, veículos e materiais, além de restrições físicas (corredores estreitos, cruzamentos, docas e áreas de estocagem) que aumentam a complexidade do trabalho real. Nessas condições, a segurança tende a ser desafiada por pressões de tempo, metas de produtividade e mudanças frequentes no layout e no mix de produtos. A literatura aponta que, historicamente, a segurança do trabalho foi muitas vezes tratada como prioridade secundária frente ao desempenho produtivo, o que contribui para a manutenção de cenários de risco em operações industriais (Svertoka et al., 2021).

No contexto específico de movimentação interna de materiais, as empilhadeiras apresentam características operacionais que elevam a criticidade do controle de risco: massa elevada, centro de gravidade variável conforme a carga, limitações de visibilidade e necessidade de manobras frequentes em áreas compartilhadas. Em operações de carga e descarga internas e externas, fatores como ambiente dinâmico, carga variável e condutas operacionais (ex.: velocidade excessiva e manobras com raio de giro inadequado podem comprometer a estabilidade, favorecendo eventos como capotamento e colisão (He; Xiao, 2015). Assim, a estabilidade dinâmica e a segurança operacional tornam-se requisitos de projeto e de gestão: dependem do desempenho do veículo, mas também de controles organizacionais (segregação de fluxos, sinalização, limites de velocidade, padronização de rotas e capacitação).

Com a Indústria 4.0, cresce o uso de sistemas de localização, rastreamento e navegação para dar visibilidade ao “chão de fábrica” e ao armazém, sustentando decisões

orientadas por dados. Revisões sobre tecnologias habilitadoras mostram a centralidade da localização em redes (indoor e outdoor), cobrindo métodos e arquiteturas que viabilizam posicionamento mais robusto e contínuo em ambientes complexos (Laoudias et al., 2018). Em armazéns de grande porte, essa capacidade é particularmente relevante para gestão de ativos e veículos, pois permite mapear rotas, reduzir ociosidade, identificar gargalos e monitorar a conformidade operacional. Soluções aplicadas ao contexto de alta rotatividade, como o I-READ 4.0, exemplificam a integração de infraestrutura (ex.: RFID) para gestão eficiente de ativos e apoio à operação em larga escala (Nepa et al., 2019).

Do ponto de vista econômico-operacional, o desempenho do armazém é fortemente influenciado por decisões de movimentação e coleta. Abordagens baseadas em algoritmos inteligentes para gestão de armazéns reforçam que a otimização de rotas e sequências de coleta é um dos principais determinantes de custo e tempo de ciclo (Bottani et al., 2015). Nesse sentido, a localização contínua de empilhadeiras e outros veículos pode atuar como infraestrutura de dados para otimização do fluxo e, simultaneamente, para segurança, ao permitir identificar zonas de conflito, comportamentos de risco e condições que precedem incidentes.

Além disso, a localização precisa é frequentemente tratada como pré-requisito para níveis mais avançados de automação, incluindo sistemas de apoio ao operador e a evolução para veículos autônomos e frotas coordenadas. Em warehousing inteligente, propostas que combinam tecnologias (por exemplo, RFID e UWB) indicam caminhos para maior confiabilidade no rastreamento e na gestão operacional (Zhao et al., 2020). Já no domínio de automação, modelos de controle descentralizado para múltiplos AGVs mostram a importância de coordenação e tomada de decisão distribuída para viabilizar operações autônomas em armazéns (Draganjac et al., 2016).

2.3 Usabilidade

No âmbito da ergonomia, a usabilidade envolve atributos como conforto, ajuste antropométrico, peso, liberdade de movimento, compatibilidade com EPIs, intuitividade da interface e clareza dos feedbacks fornecidos pelo dispositivo. Estudos apontam que wearables mal ajustados, intrusivos ou que demandem atenção excessiva podem gerar rejeição, uso inadequado ou até introduzir novos riscos, contrariando o objetivo

preventivo da tecnologia (Svertoka et al., 2021; Alenjareghi et al., 2026).

Além dos aspectos físicos, a usabilidade cognitiva assume papel central. Dispositivos industriais devem operar com feedbacks simples, imediatos e contextualizados, reduzindo a necessidade de interpretação complexa durante a execução das tarefas. Alertas excessivos, ambigualmente configurados ou não alinhados à dinâmica do trabalho podem provocar fadiga de alarmes e perda de confiança no sistema. Nesse sentido, a literatura recomenda que o desenho da interação considere princípios de design centrado no usuário, com envolvimento dos trabalhadores desde as fases iniciais de concepção e testes em condições reais de uso.

Outro aspecto crítico refere-se à aceitabilidade e à confiança dos usuários. Pesquisas recentes evidenciam que a hesitação em relação ao uso de wearables industriais está frequentemente associada a preocupações com privacidade, monitoramento excessivo, uso punitivo dos dados e perda de autonomia no trabalho (Stradderman et al., 2025). Assim, a usabilidade não se limita ao artefato físico ou à interface, mas abrange também dimensões organizacionais e éticas, exigindo transparência sobre a finalidade da coleta de dados, governança clara e alinhamento com práticas de gestão participativa.

No contexto de segurança e saúde no trabalho, a integração de wearables deve estar alinhada a sistemas formais de gestão, como os preconizados pela ISO 45001, que enfatiza a identificação de perigos, avaliação de riscos e implementação de controles considerando fatores humanos e organizacionais. A adoção de dispositivos wearables, confiáveis e bem aceitos tende a potencializar a eficácia das medidas preventivas, ao passo que falhas de usabilidade podem comprometer tanto a adesão quanto os resultados esperados.

Dessa forma, a usabilidade de dispositivos wearables industriais deve ser tratada como um requisito estratégico, e não apenas técnico. Avaliações sistemáticas em campo, testes iterativos com usuários finais são importantes para assegurar que essas tecnologias contribuem, de fato, para a redução de riscos, a melhoria da segurança e a eficiência operacional nos ambientes industriais e logísticos.

3 METODOLOGIA

3.1 Delineamento do estudo

Este estudo caracteriza-se como pesquisa qualitativa, de natureza exploratória, adequada para compreender percepções, significados e interpretações atribuídas pelos trabalhadores a uma intervenção tecnológica em seu contexto real de trabalho. A abordagem qualitativa permite acessar dimensões simbólicas e subjetivas da experiência social, oferecendo suporte para interpretar valores, atitudes e sentidos construídos no cotidiano das operações (Gerhardt; Silveira, 2009; Minayo, 2017).

Trata-se de um estudo de campo, conduzido em ambiente industrial, com foco na percepção de trabalhadores sobre a implementação de tecnologias de prevenção de colisões em operações com empilhadeiras, considerando as implicações para a segurança do trabalho. Para que os trabalhadores pudessem familiarizar-se com a tecnologia foram instalados, a partir de um fornecedor de mercado, 10 dispositivos Âncora em empilhadeiras e transpaleteiras e disponibilizados 30 dispositivos do tipo TAG, que são utilizados pelos trabalhadores, pedestres e motoristas. A Âncora analisa a distância dela para com as demais âncoras e para com os TAG por meio de tecnologia UWB (*Ultra Wideband*), que se trata de um protocolo de comunicação para rastreamento preciso em tempo real. Quando um TAG ou outra máquina com a Âncora entra no perímetro de 6,5 metros acende-se uma luz LED amarela na máquina. Quando essa distância se reduz para 3,5 metros acende uma luz LED vermelha na máquina e o TAG passa a vibrar, alertando a pessoa.

O estudo foi conduzido em uma indústria alimentícia parceira, na área do Centro de Distribuição (CD) logístico, nos meses de setembro e outubro e realizado nos 3 turnos da operação: A (6:15 às 15h15), B (15h15 às 23h45) e C (23h45 às 6h15).

Com base na delimitação População–Conceito–Contexto (PCC), definiu-se: população = operações com empilhadeiras e transpaleteiras; conceito = implementação de tecnologias para prevenção de colisões; contexto = ambiente industrial/logístico. Assim, a questão norteadora do estudo foi:

Qual é a percepção dos trabalhadores sobre a implementação de tecnologias de prevenção de colisões em operações com empilhadeiras, quanto à redução de acidentes e à promoção de um ambiente de trabalho seguro e eficiente?

3.2 Procedimento de coleta de dados

Participaram do estudo 48 trabalhadores ($n = 48$) envolvidos direta ou indiretamente em áreas com circulação de empilhadeiras e/ou interação com a tecnologia de prevenção de colisões. A amostragem foi não probabilística, do tipo intencional por conveniência, considerando a acessibilidade no período de coleta e a vivência dos participantes com o processo de implementação/uso da tecnologia.

Os dados foram coletados, entre os dias 28 a 30 de outubro, por meio de questionário semiestruturado, aplicado individualmente aos participantes, contendo três perguntas abertas, direcionadas à percepção sobre: (i) experiência com o sistema, (ii) impacto no trabalho, e (iii) contribuição para a segurança do trabalho. Além disso, os trabalhadores foram estimulados a contribuir com sugestões ou considerações e darem uma nota de 0 a 10.

A aplicação ocorreu no próprio local de trabalho, em momento acordado com a gestão para não comprometer a operação, e teve duração aproximada de X minutos por participante (inserir no texto). As respostas foram registradas em dispositivos de gravação digital, transcritas e organizadas para análise.

3.3 Tratamento e análise dos dados

Os dados textuais foram analisados por Análise de Conteúdo, na modalidade temática, conforme Bardin (2016). O procedimento seguiu três etapas principais, em alinhamento com Campos (2004):

Pré-análise: organização do corpus, leitura flutuante e definição de unidades de registro e contexto.

Exploração do material: codificação das respostas, agrupamento por similaridade semântica e construção de categorias e subcategorias.

Tratamento e interpretação: síntese dos achados, inferências e interpretação à luz da literatura de segurança e ergonomia (incluindo aspectos de interação humano-tecnologia, organização do trabalho e percepção de risco).

3.4 Aspectos éticos

O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), registrado na Plataforma Brasil sob Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) nº 85488624.7.0000.0121 e aprovado sob nº de parecer 7.403.496. A pesquisa seguiu as diretrizes éticas das Resoluções nº 466/2012 e nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde, assegurando o cumprimento das normas éticas e regulatórias para pesquisas envolvendo seres humanos e o uso de informações identificáveis (Brasil, 2016; Brasil, 2012).

Todos os participantes foram informados sobre os objetivos do estudo, voluntariedade, possibilidade de desistência e confidencialidade, mediante Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Para garantir a privacidade dos participantes, todas as informações coletadas serão registradas de forma a impedir sua identificação. Cada participante foi associado a uma letra e a um número sequencial de identificação, que serviu para o controle da amostra pelos pesquisadores. Por exemplo, o primeiro participante foi identificado como "ID 1", o segundo como "ID 2", e assim sucessivamente (ex.: ID 3, ID 4, ...), seguindo a ordem das entrevistas.

A pesquisa também seguiu os princípios da Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que regulamenta a coleta, armazenamento e uso de dados pessoais, visando proteger a privacidade e os direitos fundamentais dos indivíduos no tratamento de seus dados pessoais, sendo todos os dados foram armazenados de forma restrita à equipe de pesquisa (Brasil, 2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nas entrevistas, categorizados com base na Análise de Conteúdo de Bardin (2016), onde foram divididos em: Experiência, ergonomia e usabilidade; Percepção de segurança e impacto operacional e Oportunidades de melhoria técnica.

Além disso, são discutidas as limitações do estudo e possíveis direções para pesquisas futuras. É fundamental que tanto os resultados quanto a discussão sejam fundamentados em evidências sólidas e que contribuam significativamente para o avanço do conhecimento sobre o tema abordado.

4.1 Categoria 1: experiência, ergonomia e usabilidade

Nesta categoria, analisou-se a interação física com os dispositivos (TAG e âncora). Os Pedestres relataram uma experiência ambivalente, enquanto que os operadores das máquinas, 72% (n=18), relataram uma experiência positiva com o uso da solução. Embora a tecnologia seja bem-vista, o uso na cintura gerou desconforto e falhas na percepção tátil.

"Minha experiência ao utilizar foi um pouco difícil no começo [...] na cintura não dá para perceber a vibração." (ID 33) "Senti desconforto, eu sou separador, às vezes para abaixar e levantar ele incomoda um pouco." (ID 55)

Já os Operadores, embora também tenham citado o incômodo inicial na cintura, demonstraram maior adaptabilidade ao reposicionar o TAG na gola da camiseta. A vibração do equipamento, contudo, foi apontada como um fator de mascaramento da vibração do dispositivo.

"Achei desconfortável no cós da calça [...] passei a utilizar na gola da camisa, trabalhei tranquilo." (ID 42) "Para nós que somos operador de empilhadeira [...] a máquina vibra bastante, então não tem como sentir [o TAG]." (ID 17)

4.2 Categoria 2: percepção de segurança e impacto operacional

Ambos os grupos convergiram na percepção de que o sistema é um aliado na prevenção de acidentes, uma ferramenta auxiliar, com a função de ampliar a percepção dos trabalhadores, especialmente em pontos cegos e cruzamentos. Para os pedestres, o sistema aumentou a consciência situacional ("estado de alerta").

"Contribui muito, aumentou minha percepção do risco, a gente fica mais consciente." (ID 58) "Sim, ele previne acidente [...] às vezes a gente não olha direito na rua e com esse a gente fica avisado." (ID 60) "[...] Ajuda a perceber quando tem uma outra empilhadeira ou alguém que está passando com aquele dispositivo perto. Muitas vezes a empilhadeira não tem uma visão geral de quem está passando e o dispositivo já te alerta pra você ficar mais focado." (ID 01).

Para os operadores, a eficácia do sistema reside na redundância visual (LEDs amarelo/vermelho), que auxilia na detecção de pedestres ou outras máquinas em corredores onde a visão é obstruída por estruturas de porta-paletes.

"Na hora que ia virar em uma rua, tinha ponto cego e com as luzes eu percebi que tinha uma empilhadeira do outro lado." (ID 37) "A gente sai da rua e tem um pessoal saindo da outra, a gente não consegue ver [...] o sinal luminoso ajuda bastante." (ID 42)

4.3 Categoria 3: oportunidades de melhoria técnica

A Análise de Conteúdo revelou uma saturação de dados em relação às sugestões dos trabalhadores, que podem ser sintetizadas em quatro eixos:

- a) Sinalização Sonora: Proposta de adição de bipes ou buzinas para complementar a vibração (mencionada por ID 35, 55, 6);
- b) Ajuste de Alcance: Necessidade de aumentar o raio de detecção para permitir um tempo de reação maior (mencionada por ID 33, 39, 16);
- c) Intensidade de Vibração: Relatos de que a vibração atual é "suave demais" para o ambiente industrial barulhento;
- d) Localização do Dispositivo: Sugestão unânime de migração do uso da cintura para o braço ou pulso, visando maior conforto e percepção tátil (ID 45, 52, 24, 15).

4.4 Inferências e interpretação

Os resultados demonstram que, apesar de barreiras ergonômicas iniciais (posicionamento do TAG e intensidade da vibração), a tecnologia possui alta validade percebida pelos trabalhadores.

A diferença entre a aceitação de pedestres e operadores reside na natureza da tarefa: enquanto o pedestre depende exclusivamente da vibração e do alerta visual da máquina, o operador valoriza os sinais luminosos no painel como ferramenta de auxílio à navegação em áreas críticas. A nota média superior a 8,0 em ambos os grupos ratifica o potencial de implementação do sistema, desde que realizados os ajustes sugeridos quanto à ergonomia e aos alertas sonoros.

Os achados desta pesquisa dialogam com uma lacuna recorrente na literatura sobre dispositivos vestíveis (wearables) para prevenção de colisões: a maior parte dos estudos concentra-se em validar a arquitetura técnica (sensores, algoritmos, comunicação e lógica de alerta), mas dedica atenção limitada à adoção, usabilidade e efetividade em ambientes reais de trabalho, especialmente em contextos industriais. Em consequência, muitos

trabalhos permanecem no nível de protótipos, sem evoluir para soluções prontas para uso contínuo, conforme preconiza o presente projeto.

Conforme corrobora o estudo de WANG, Zexue et al. (2020) no qual os autores desenvolveram um dispositivo vestível inteligente para proteger ativamente pedestres contra atropelamentos. Este dispositivo consiste em diversos módulos, incluindo sensor de radar, módulo de transmissão, módulo de alarme e módulo de programação de segurança inteligente. No módulo de programação principal, propõe-se um algoritmo de segurança inteligente baseado em avaliação abrangente difusa e rede neural. Do ponto de vista do pedestre, os dados de movimento captados pelo radar, combinados com múltiplos fatores como o ambiente local, pessoas e veículos, condições da via e do transporte, clima, situação fisiológica e psicológica do pedestre, são utilizados como fonte de dados para o algoritmo. Com base no peso do índice determinado pela rede neural BP, utilizamos a avaliação abrangente difusa para calcular o índice de risco do veículo. Um sistema de alerta precoce pode ser construído incorporando o modelo e o algoritmo a um dispositivo vestível inteligente, permitindo que o pedestre receba um sinal de pré-alerta e se afaste do perigo de impacto.

Já no estudo de SHARMA, Kapil; CLAUDEL, Christian, (2016) Propõem uma rede de óculos inteligentes, smartwatches e smartphones trocando posição e trajetória em alta taxa para detectar risco de colisão entre todos os usuários (pedestres, ciclistas, motoristas). Entretanto, a solução não foi validada em um ambiente real ou industrial como é o caso do projeto.

Do ponto de vista de melhoria de segurança, os resultados sugerem que intervenções devem priorizar abordagens multimodais e contextuais, combinando sinalização, organização do fluxo e tecnologias de alerta compatíveis com a realidade operacional. Embora o estudo de Certad et al. (2025) tenha sido conduzido em ambiente externo e com dinâmica distinta do ambiente intra logístico, sua contribuição é relevante ao evidenciar uma limitação estrutural: alertas sonoros podem não ser percebidos de maneira confiável em cenários ruidosos ou quando há barreiras auditivas (como fones). Para o contexto do CD, isso aponta para a avaliação de recursos adicionais (por exemplo, alertas visuais em infraestrutura, dispositivos vestíveis/hápticos ou soluções V2P em áreas críticas), sempre considerando viabilidade, aceitação e risco de alarmes excessivos. O artigo avalia a eficácia de um sistema de alerta de colisão baseado em Vehicle-to-Pedestrian (V2P) em comparação com alertas auditivos tradicionais emitidos por

veículos, com foco especial em pedestres distraídos pelo uso de smartphones. O estudo parte do contexto de crescimento dos acidentes envolvendo Usuários Vulneráveis da Via (VRUs), destacando que a distração, como uso de celular para jogos, mensagens ou música, reduz significativamente a percepção situacional e a eficácia de avisos sonoros convencionais.

Dessa forma, o projeto propõe um estudo pioneiro no cenário brasileiro e também internacional ao aliar o uso da tecnologia aplicada em ambientes industriais e analisar a sua contribuição para promoção de ambientes seguros. A falta de evidências sobre os dispositivos wearables utilizados em diversos contextos também foi evidenciada no estudo de OMETOV, Aleksandr et al. 2021. Há uma oportunidade empírica de evidências científicas nessa área principalmente com estudos aplicados no contexto da segurança do trabalho na indústria.

Foram identificadas oportunidades de melhoria ergonômica, com sugestões para alterar o uso dos dispositivos da cintura para o braço (estilo bracelete) ou gola, devido à dificuldade de sentir a vibração em certos contextos. Outra oportunidade levantada seria a intensificação do sinal de vibração e até mesmo uma configuração para que o raio de atuação seja antecipado, permitindo maior tempo de ação por parte dos trabalhadores, sejam eles motoristas ou pedestres.

O sinal luminoso foi identificado pela maioria dos trabalhadores como a forma mais eficiente de aviso, principalmente nas áreas onde se tem pouca visibilidade e nos cruzamentos de ruas.

Apesar de ter sido citado por algumas pessoas, acredita-se que sinais sonoros, conforme já apontado pela literatura e devido ao ruído operacional na área da logística, não devem ter uma melhoria significativa para a segurança do trabalho. Ressalta-se que as máquinas já possuem dispositivos sonoros tipo buzina que devem ser acionados em momentos de conversões para aviso aos demais. Incluir outro sinal pode levar a confusão e fadiga de alarme, assim como o caso do Red Zones, que pode causar confusão quando instalado junto com sistemas de previsão de colisão.

Esses pontos de melhoria refletiram da experiência do uso da tecnologia por parte de alguns trabalhadores. Cabe aos pesquisadores ouvirem esses ricos relatos qualitativos para melhor calibrar as soluções, pois cada indivíduo tem uma percepção e isso afeta o modo como ele irá se relacionar com a tecnologia no seu ambiente laboral.

Como principais pontos fortes observados na pesquisa com esta tecnologia podemos citar o auxílio em pontos cegos, alertas em ambientes ruidosos e segurança em áreas de pouco movimento. Quando se trata do assunto segurança toda e qualquer melhoria é bem-vinda, pois um único acidente evitado pode compensar todo um arcabouço tecnológico e de pessoas. Esse tipo de iniciativa é fundamental para as pessoas e as indústrias terem contato com este tipo de experiência. Projetos em menor escala ajudam a compreender o ambiente e as pessoas, assim novas alçadas de escala podem ser conduzidas com efetividade.

5 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo indicam percepção majoritariamente positiva quanto ao potencial do sistema de prevenção de colisões baseado em wearables para apoiar a segurança operacional em ambiente logístico, sobretudo em situações críticas como pontos cegos e cruzamentos. Os participantes atribuíram notas elevadas ao sistema e relataram aumento da consciência situacional, além de reconhecerem utilidade dos alertas visuais no equipamento como recurso de apoio à tomada de decisão durante a operação. Do ponto de vista ergonômico e de usabilidade, emergiram limitações relevantes que podem comprometer adesão e efetividade prática, especialmente relacionadas ao posicionamento do TAG no corpo, à percepção tátil da vibração em contexto industrial (incluindo mascaramento por vibração do equipamento) e à adequação dos limiares/alcance do alerta ao tempo de reação exigido nas rotinas do CD.

As sugestões dos trabalhadores convergiram para melhorias no desenho do wearable (migração do uso da cintura para braço/pulso ou alternativas compatíveis com movimento e EPIs) e ajustes na arquitetura de alertas, favorecendo abordagens multimodais e contextuais, sem intensificar indevidamente o risco de fadiga de alarmes. Este estudo, por seu delineamento de estudo de caso e amostragem por conveniência, não permite inferir causalidade nem quantificar redução objetiva de acidentes. Assim, seus achados devem ser interpretados como evidências sobre percepção, aceitabilidade e usabilidade em contexto real.

Como agenda futura, recomenda-se a realização de avaliações longitudinais e quase-experimentais (por exemplo, comparações antes–depois e/ou por áreas), incorporando métricas objetivas (eventos de quase-acidente, incidentes, telemetria de

alertas, exposição por turno/área e dados de produção), bem como ciclos iterativos de redesign centrado no usuário para otimizar a interface homem-máquina e maximizar os benefícios da solução.

AGRADECIMENTOS

A pesquisa contou com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação - FAPESC - por meio da contratação de bolsistas que contribuíram com o desenvolvimento do projeto. Ademais, o projeto contou com o apoio financeiro do Edital de Estudos e Pesquisas em Saúde e Segurança na Indústria - Saúde Ocupacional SESI (Serviço Social da Indústria) do ano de 2024. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ALENJAREGHI, Morteza Jalali et al. Wearable sensors in Industry 4.0: Preventing work-related musculoskeletal disorders. **Sensors International**, v. 7, p. 100343, 2026.

BRASIL. Ministério da Previdência Social. **Consulta de dados de acidentes de trabalho - Sistema DATAPREV**. 2023. Disponível em: <https://www3.dataprev.gov.br/scripts10/dardoweb.cgi>. Acesso em: 20 jan. 2026.

BRASIL. Presidência da República. Secretaria-Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília: DF, 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/113709.htm. Acesso em: 20 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. **Resolução 510**, de 07 de abril de 2016. Normas aplicáveis a pesquisas em Ciências Humanas e Sociais. Brasília: DF, 2016. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2016/res0510_07_04_2016.html. Acesso em: 20 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. **Resolução 466**, de 12 de dezembro de 2012. Diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisa envolvendo seres humanos. Brasília: DF, 2012. Disponível em: <http://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2012/Reso466.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2026.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016. 141 p. Tradução de: Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. Disponível em: <https://madmunifacs.files.wordpress.com/2016/08/anc3a1lise-de-contec3bado-laurence-bardin.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2024.

BOTTANI, E.; MONTANARI, R.; RINALDI, M.; VIGNALI, G. Intelligent Algorithms for Warehouse Management. In: KAHRAMAN, C.; ÇEVİK ONAR, S. (Ed.). **Intelligent Techniques in Engineering Management: Theory and Applications**. Cham: Springer, 2015. p. 645–667. DOI: 10.1007/978-3-319-17906-3_25.

DRAGANJAC, I.; MIKLIĆ, D.; KOVAČIĆ, Z.; VASILJEVIĆ, G.; BOGDAN, S. Decentralized Control of Multi-AGV Systems in Autonomous Warehousing Applications. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 13, p. 1433–1447, 2016. DOI: 10.1109/TASE.2016.2603781.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (org.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

LAMPROPOULOS, Georgios; SIAKAS, Konstantinos; ANASTASIADIS, Themistoklis. Internet of Things in the Context of Industry 4.0: An Overview. **International Journal of Entrepreneurial Knowledge**, v. 7, n. 1, p. 4-19, 2019. DOI: 10.2478/ijek-2019-0001.

HE, Yan; XIAO, Benxian. Research of the forklift power-assisted steering system based on safety steering speed control. **International Journal On Smart Sensing and Intelligent Systems**, v. 8, n. 1, p. 749, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 45001:2018 — Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use**. Geneva: ISO, 2018.

LAOUDIAS, C.; MOREIRA, A.; KIM, S.; LEE, S.; WIROLA, L.; FISCHIONE, C. A Survey of Enabling Technologies for Network Localization, Tracking, and Navigation. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 20, p. 3607–3644, 2018. DOI: 10.1109/COMST.2018.2855063

MINAYO, Maria Cecília de Souza. Amostragem e saturação em pesquisa qualitativa: consensos e controvérsias. **Revista Pesquisa Qualitativa**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 7, p. 1-12, 14 set. 2017.

NEPA, P.; MOTRONI, A.; CONGI, A.; FERRO, E. M.; PESI, M.; GIORGI, G.; BUFFI, A.; LAZZAROTTI, M.; BELLUCCI, J.; GALIGANI, S.; et al. I-READ 4.0: Internet-of-READers for an efficient asset management in large warehouses with high stock rotation index. In: **2019 IEEE 5th International Forum on Research and Technology for Society and Industry (RTSI)**, Firenze, 2019. p. 67–72.

PATEL, V.; CHESMORE, A.; LEGNER, C. M.; PANDEY, S. Trends in Workplace Wearable Technologies and Connected-Worker Solutions for Next-Generation

Occupational Safety, Health, and Productivity. **Advanced Intelligent Systems**, [S. l.], v. 4, art. 2100099, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/aisy.202100099>.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION (OSHA). 2023. Disponível em: <https://www.osha.gov/data/commonstats>. Acesso em: 20 jan. 2026.

OMETOV, Aleksandr et al. A survey on wearable technology: History, state-of-the-art and current challenges. **Computer Networks**, v. 193, p. 108074, 2021.

SMARTLAB. **Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho**: promoção do meio ambiente do trabalho guiado por dados. 2022. Disponível em: <https://smartlabbr.org/sst/localidade/0?dimensao=prioritarias>. Acesso em: 21 jun. 2026.

SVERTOKA, Ekaterina; SAAFI, Salwa; RUSU-CASANDRA, Alexandru; BURGET, Radim; MARGHESCU, Ion; HOSEK, Jiri; OMETOV, Aleksandr. Wearables for industrial work safety: a survey. **Sensors**, Basel, v. 21, n. 11, p. 3844, 2021. DOI: 10.3390/s21113844.

ZHAO, K.; ZHU, M.; XIAO, B.; YANG, X.; GONG, C.; WU, J. Joint RFID and UWB Technologies in Intelligent Warehousing Management System. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 7, p. 11640–11655, 2020.

Contribuição dos autores

Todos os autores contribuíram igualmente para o desenvolvimento deste artigo.

Disponibilidade dos dados

Todos os conjuntos de dados relevantes para as conclusões deste estudo estão totalmente disponíveis no artigo.

Como citar este artigo (APA)

Bastos, B. P., Agnolin, G., Silva, G. M., Nicolau, P. M., & Moro, A. R. P. (2026). AVALIAÇÃO DA PERCEÇÃO DE SEGURANÇA E USABILIDADE DE DISPOSITIVOS WEARABLES EM AMBIENTE LOGÍSTICO: UM ESTUDO DE CASO INDUSTRIAL. *Veredas Do Direito*, 23(6), e234998. <https://doi.org/10.18623/rvd.v23.4998>