

Arquitetura de Sistemas para Detecção de Perigos com IoT e Exibição de Alertas em Realidade Aumentada

Matheus S. Murta, Rone Ilídio da Silva

¹Campus Alto paraopeba - Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ)
Rodovia MG 443, km 7, CEP: 36420-000, Ouro Branco - MG - Brasil

matheussmurta@aluno.ufsj.edu.br, rone@ufsj.edu.br

Abstract. *Several studies in the literature describe the use of Augmented Reality (AR) and the Internet of Things (IoT) to enhance worker safety in industrial environments. However, the applications described in these studies are designed for predefined areas with predefined alerts. This work proposes a system architecture for displaying hazard alerts in AR devices. These alerts are detected by strategically placed sensors within the industries. The main innovation of this architecture is the ability to add new sensors and create new regions where workers will receive safety alerts without the need to develop entirely new applications. Experiments have demonstrated the system's reliability and low latency in alert delivery.*

Resumo. *Diversos trabalhos na literatura descrevem a utilização de Realidade Aumentada (RA) e Internet das Coisas (IoT) para melhorar a segurança de trabalhadores na indústria. Entretanto, as aplicações descritas por esses trabalhos são feitas para áreas e alertas preestabelecidos. Este trabalho propõe uma arquitetura de sistemas para a exibição em RA de alerta de perigos. Tais alertas são detectados por sensores espalhados nas indústrias. A principal inovação é a possibilidade de inserção de novos sensores e a criação de novas regiões onde os trabalhadores receberão alertas de segurança, sem a necessidade de se criar outras aplicações. Experimentos mostraram a confiabilidade do sistema e baixa latência no envio de alertas.*

1. Introdução

A Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, é a manifestação da revolução digital no setor da indústria. Ela oferece uma experiência de tomada de decisão em tempo real, o que aumenta a produtividade, flexibilidade e agilidade dos meios produtivos. A integração de novas tecnologias, como Realidade Aumentada, Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Simulações de Processos, Integração de Sistemas, Cibersegurança, Computação em Nuvem, Manufatura Aditiva e Big Data está sendo implementada nas instalações de produção e ao longo das operações industriais. Daremos ênfase a duas, Realidade Aumentada (RA) e a Internet das Coisas (IoT). RA é a tecnologia de interface com o usuário que engloba conteúdos virtuais em situações reais através de câmeras de dispositivos como óculos especiais (chamados *headsets*) e smartphones. Dessa forma, é possível realizar mais atividades, dando à realidade uma perspectiva diferente, criando assim uma camada digital sobre qualquer situação real, o que amplifica o que é captado por um dispositivo digital [Vieira et al. 2023]. A Internet das Coisas (IoT)

é uma rede abrangente de dispositivos interconectados, incluindo sensores, atuadores, e outros objetos inteligentes, que coletam, trocam e processam dados de forma colaborativa para proporcionar serviços avançados e eficientes em diversos setores, integrando o mundo físico com sistemas baseados na Internet para criar um ambiente inteligente e responsivo [Madakam et al. 2015]. A IoT permite a criação de dispositivos autônomos capazes de se auto-configurar para continuar a realizar suas atividades da melhor forma possível. [Alfonso et al. 2021]

A união de RA com IoT possibilita a criação de ferramentas para melhorar a segurança do trabalhador em ambientes hostis. RA auxilia no treinamento e simulação de situações perigosas, permitindo que os funcionários ganhem experiência em ambientes virtuais antes de enfrentarem os desafios reais [Rocha. and Delabrida. 2021]. Além disso, oferece orientações, avisos e alertas de segurança em tempo real. IoT pode ser utilizada para a criação de dispositivos inteligentes capazes de coletar informações do ambiente, analisá-las e prever situações de perigo [Chakal et al. 2023]. Há uma série de estudos que têm como objetivo aprimorar a segurança na indústria com o uso RA e IoT. [Lotsaris et al. 2021] descreve uma aplicação de RA que tem como objetivo melhorar a interação entre os operadores e robôs móveis em ambientes industriais interativos. O aplicativo oferece recursos que permitem que os usuários deem instruções a robôs e recebam informações sobre o seu status. Além disso, ela exibe possíveis áreas de risco para os operadores no local de trabalho. [Rosales et al. 2021] apresenta um sistema de gestão de riscos de acidentes de trabalho, redução de erros e prevenção de lesões por meio da exibição de instruções (como listas de verificação) em RA sobre o local de trabalho. [Vasilis et al. 2022] elaborou uma aplicação em AR com o objetivo de fornecer suporte remoto e alertas em tempo real para aprimorar a segurança em situações de risco. No entanto, esse estudo e os demais aqui, mencionados apresentam áreas de trabalho fixas e previamente determinadas, sem a possibilidade de flexibilização. Em tais estudos, a criação de alertas de segurança em novas áreas de trabalho requer a criação de uma nova aplicação ou a atualização da aplicação instalada no dispositivo utilizado pelo usuário.

Este trabalho apresenta um sistema com o objetivo de aumentar a segurança para operadores de máquinas industriais. Ele utilizar dispositivos IoT para coleta e identificação de perigos e RA para a exibir alertas de segurança em tempo real. A principal inovação aqui descrita é a arquitetura do sistema, a qual possibilita a inserção de novos sensores (os quais detectarão perigo) e de novas regiões a serem monitoradas, sem a necessidade de desenvolvimento de uma nova aplicação. Com o sistema aqui descrito, várias **áreas de monitoramento** podem ser cadastradas em tempo de execução. Para cada área, podem ser cadastrados diversos sensores (como temperatura, presença, qualidade de ar, entre outros) os quais terão a função de identificar perigos e enviar alertas a todos os operadores que estiverem na mesma região. Experimentos mostraram a eficiência na exibição de alertas em tempo real, com garantia na entrega de mensagens.

Na próxima seção apresentamos alguns trabalhos que utilizam dispositivos IoT e/ou RA para aumentar a segurança de trabalhadores em indústrias. A Seção 3 descreve o funcionamento do sistema. A Seção 4 descreve a arquitetura proposta. A Seção 5 descreve os experimentos e testes realizados com o sistema implementado a partir da proposta de arquitetura. Finalizando, a Seção 6 analisa a proposta e passa diretrizes para novas pesquisas na área.

2. Trabalhos Relacionados

A utilização de Iot em conjunto de com RA foi o tema de estudo do livro [Morris and Yeboah 2023]. Nesse trabalho, os autores afirmam que RA é uma boa ferramenta para apresentar informações complexas, como aquelas coletadas por diversos dispositivos IoT em rede. Foram analisados diversos trabalhos que integram as duas tecnologias e apresentados desafios e perspectivas futuras. A busca por trabalhos relevantes ao tema foi realizada utilizando a ferramenta Google Scholar. A estratégia de busca empregou uma combinação de palavras-chave, incluindo “IoT”, “Internet of Things”, “Augmented Reality”, “Safety in the Industry”, “AR Application”, “Increased Security”, e “Operator Safety”. Os trabalhos brevemente descritos a seguir apresentam estudos que abordam a intersecção entre IoT e a AR, bem como suas aplicações para melhorar a segurança no ambiente industrial.

Os trabalhos realizados por [Chakal et al. 2023] utilizam dispositivos de IoT para aumentar a cibersegurança de um campus universitário inteligente. Tais dispositivos são capazes de detectar possíveis invasores e emitir alertas. A RA é utilizada para apresentar de forma simples informações coletadas por uma série de sensores, de diversos tipos diferentes, para pessoas com pouco conhecimento em computação. [Kaiser et al. 2023] apresentam o protótipo de um novo sensor de baixo custo e baixo consumo de energia, para ser acoplado a óculos de RA com o intuito de coletar informações do ambiente e emitir possíveis alertas de segurança.

[Lotsaris et al. 2021] aborda o desenvolvimento de uma ferramenta de AR destinada a auxiliar operadores humanos em um ambiente de manufatura. O estudo propõe um sistema que disponibiliza ao operador informações sobre as tarefas a serem executadas, quaisquer exceções ou emergências do sistema, assim como o melhor modo de solucioná-las. [Vasilis et al. 2022] discutem o desenvolvimento de um framework com interface em RA para a visualização de dados provenientes de dispositivos IoT em um ambiente fabril. O framework proposto tem como meta principal auxiliar a supervisão de processos em um ambiente de fábrica inteligente, utilizando componentes de IoT para captar informações dinâmicas sobre o status de sensores e outros recursos distribuídos pelo chão de fábrica. A aplicação disponibiliza dados de manipulação de eventos e erros que são apresentados ao operador para monitorar a produção e gerenciar incompatibilidades. As notificações são exibidas sobre os componentes de visualização, bem como em um painel de notificações. Diversos métodos de exibição de informações foram desenvolvidos, incluindo gráficos de pizza, gráficos de contorno, tabelas de dados, entre outros. A solução foi validada em um caso de supervisão de processo de termoformagem de um sistema de produção. O principal objetivo era utilizar o framework AR para apoiar os operadores durante a fase de design dos parâmetros do processo e a supervisão dinâmica do ambiente do chão de fábrica.

[Rosales et al. 2021] discutem a aplicação de RA e IoT para coleta e visualização de dados em fábricas. Os dados de máquinas selecionadas em uma planta de montagem de veículos foram obtidos dispositivos IoT e exibidos ao usuário em tempo real por meio de um *headset* RA. Tal aplicação reduziu significativamente o tempo dedicado ao processo de configuração das máquinas, passando de várias horas (ou até dias) para apenas alguns minutos. Para validar os dados visualizados em tempo real na experiência de RA, foi medida a latência entre a coleta e a exibição dos valores coletados. Os resultados



Figura 1. Exemplo de área de monitoramento (ponto de trabalho) - uma máquina a ser operada por um colaborador, o QRCode com a identificação da posição e dois sensores de presença (um de cada lado) para detectar perigos.

obtidos demonstraram uma redução significativa no tempo total do processo de solução de problemas e evidenciam o potencial impacto positivo da integração entre RA, IoT e automação de processos na otimização das operações industriais.

Os trabalhos aqui apresentados descrevem aplicações para, dentre outras coisas, aumentar a segurança em indústrias. Entretanto, tais aplicações são imutáveis. Elas não preveem a inclusão de novos sensores e novos pontos de verificação de segurança (como locais onde os colaboradores operam máquinas). Para isso, seria necessária a atualização da aplicação em todos os dispositivos que executam tais aplicações. O trabalho aqui apresentado descreve um sistema que pode receber novos operadores, cadastrar novos locais onde os operadores receberão alertas de segurança e cadastrar novos sensores, sem a necessidade de atualização da aplicação que exibe conteúdo em RA.

3. Funcionamento do Sistema

Esta seção apresenta o funcionamento de um sistema criado a partir da arquitetura proposta. Partimos do pressuposto de que um colaborador de uma determinada planta industrial utiliza *headset* RA para visualizar alertas de segurança. Tais óculos também podem ser utilizados para outros fins, como exibição de listas de tarefas a serem cumpridas, apresentação de peças para serem usinadas, etc. Entretanto, esses outros fins fogem do escopo deste trabalho.

O sistema possui o que denominamos de **áreas de monitoramento**, que são locais de trabalho onde o colaborador deve receber alertas de segurança, como ilustrado pela Figura 1. Cada área de monitoramento é cadastrada no sistema com um número identificador. O identificador é colocado em um QRCode que é posicionado em um local de trabalho. Quando o óculos de RA de um colaborador lê o QRCode, ele começa a receber alertas dos sensores associados àquela área de monitoramento. Se o colaborador se deslocar para outra posição, ele deverá pedir para o óculos de RA ler o outro QRCode para receber alertas dos sensores dessa nova área.

Conseqüentemente, quando cada um dos sensores detecta um perigo, ele emite

uma mensagem para que os óculos de todos os colaboradores que estiverem na mesma área de monitoramento exibam um alerta de segurança. O uso de RA nessa situação oferece as seguintes vantagens:

- Direção: a mensagem é exibida do lado de onde está o perigo.
- Certeza de visualização: uma vez utilizando óculos, a mensagem será visualizada, independentemente da direção para onde está voltada a cabeça do operador.
- Não atrapalha o campo de visão do operador: o alerta pode ser posicionado ao lado, permitindo que a parte central da visão do operador permaneça livre.
- Incorporação do sistema de segurança a outros sistemas que podem ser utilizados pelos trabalhadores.

Entretanto, os óculos podem ser substituídos por outros dispositivos, desde que eles possuam conexão Wifi e sejam capazes de receber e enviar as mensagens definidas pela arquitetura. Por exemplo, um microcontrolador conectado à rede do ambiente de trabalho poderia emitir alertas com luzes e sirenes. Apesar de usual, esse dispositivo não teria as vantagens dos óculos mencionadas acima.

4. Arquitetura do Sistema

Nesta seção, serão detalhados todos os aspectos da arquitetura proposta para detecção de perigos e exibição de alertas de segurança em RA. A arquitetura é composta por um QR-Code e quatro componentes de hardware/software que se comunicam entre si para exibir alertas. O QRCode deve ser posicionado em um ponto de trabalho de forma a identificar uma área de monitoramento. A Figura 2 ilustra cada componente e a comunicação entre eles para uma única área de monitoramento. Tais componentes são: Conjunto de Sensor, Agregador, Servidor Central e Óculos de RA.

O primeiro componente é o **Sensor**, o qual é responsável em detectar um perigo em potencial. Todos os sensores devem ser ligados a um **Agregador**, o qual deve ser um microcontrolador que recebe informações dos sensores e as interpreta para definir se deve gerar um alerta ou não. Em caso positivo, o agregador deve enviar uma mensagem para o **Servidor Central**. Esse componente é um computador responsável em receber tais mensagens e as encaminhar para os óculos que estiverem na mesma área de monitoramento que o Agregador que enviou a mensagem. Os **Óculos de RA**, ao receberem mensagens do Servidor Central, exibem um alerta de acordo com o tipo de mensagem que recebem.

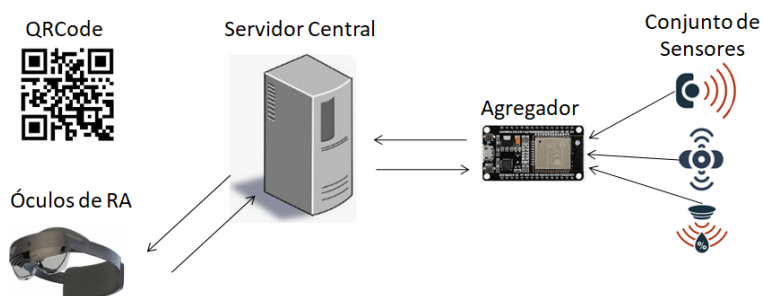


Figura 2. Arquitetura do sistema - quatro componentes e o QRCode para identificar uma área de monitoramento.

4.1. Cadastro de Áreas de Monitoramento, Agregadores, Sensores e Óculos

A principal característica da arquitetura proposta é a possibilidade de cadastrar novos óculos, novos sensores e novas áreas de monitoramento durante o funcionamento do sistema. Tais cadastros são realizados no banco de dados do Servidor Central. A primeira coisa a ser cadastrada é a área de monitoramento. Para isso, a aplicação executada nesse dispositivo possui uma interface gráfica própria. Quando ocorre esse cadastro, é gerado um identificador, o qual deve ser colocado em um QRCode a ser posicionado fisicamente em uma localização dentro do ambiente fabril. O Agregador deve ser programado de forma que, ao ser iniciado, envia uma mensagem de cadastro para o Servidor Central contendo todas as informações relacionadas aos sensores instalados nele e a área de monitoramento onde será instalado.

O cadastro de óculos de RA ocorre após o mesmo fazer a leitura do QRCode que contém o identificador de uma área de monitoramento. Os óculos enviam para o Servidor Central uma mensagem de cadastro contendo suas informações, juntamente com o identificador obtido no QRCode. Dessa forma, é possível obter no banco de dados do Servidor Central quais agregadores e quais óculos estão cadastrados em cada área de monitoramento. Ou seja, quando um agregador obtém de um sensor uma leitura que indica perigo, ele envia uma mensagem para o Servidor Central que, após consultar seu banco de dados, envia mensagens de alertas para os óculos da mesma área de monitoramento.

4.2. Mecanismo de Tolerância a Falhas

A troca de mensagens entre os componentes da arquitetura proposta é realizada pelo protocolo UDP. Experimentos mostraram que a utilização de TCP leva a um atraso muito grande no envio de mensagens e que o UDP reduz drasticamente esse atraso. Entretanto, o UDP não possui garantias de entrega. Por isso, a arquitetura aqui proposta prevê o envio de mensagens de confirmação para cada mensagem trocada entre os componentes do sistema.

Em situações onde uma mensagem não é recebida pelo Servidor Central, o Agregador é responsável por reenviá-la até que uma confirmação seja recebida. O sistema conta com um módulo de segurança que envia uma mesma mensagem até cinco vezes quando a confirmação não é recebida. A confirmação é esperada tanto para mensagens de cadastro quanto para mensagens de alerta. Entretanto, ao se esgotarem todas as tentativas de envio de mensagens de alerta, um alarme sonoro é acionado nesse agregador, indicando uma falha no Servidor Central e garantindo que os operadores estejam cientes da anormalidade que ocorreu. A retransmissão de mensagens também ocorre entre o Servidor Central e cada um dos óculos que receberão mensagens a partir da mensagem vinda de um dado Agregador. Após esgotadas as cinco tentativas de comunicação, o Servidor Central interpretará que os óculos não estão operando dentro da rede (ou foram desligados) e os removerá da relação estabelecida anteriormente, até que um novo cadastro seja efetuado.

Conforme mencionado na etapa anterior, uma mensagem de confirmação é enviada pelo dispositivo e recebida pelo Servidor Central, encerrando assim o ciclo de comunicação do alerta inicialmente detectado pelo sensor. Dessa forma, o operador fica protegido contra quaisquer riscos provenientes de sua estação de trabalho, dos quais possa não ter conhecimento.

5. Avaliação

A arquitetura aqui proposta foi implementada para a avaliação de tempo de resposta e da inclusão em tempo de execução de novos sensores, óculos e áreas de monitoramento. O ambiente de teste é composto por uma rede Wifi onde todos os dispositivos se conectam. O Servidor Central foi implementado em Java e três agregadores foram implementados em três ESP32 [Silva and Oliveira 2022], respectivamente. Um dos agregadores possui um sensor de presença e um botão. Este botão, quando acionado, simulará o gatilho de uma situação de perigo. O segundo agregador possui um sensor de luminosidade. O terceiro e último agregador possui um potenciômetro, o qual será utilizado para simular o limite de um determinado evento que pode configurar uma situação de perigo.

Implementamos a aplicação para o óculos, porém ela foi executada em smartphones. Atualmente, óculos de RA são dispositivos de custo muito elevado, de forma que não foi possível a aquisição de nenhum deles. Entretanto, o desenvolvimento para os óculos e para smartphones ocorre em motores de jogos, como o Unity3D [Garcia and Santos 2023]. Ou seja, a aplicação criada para um pode ser instalada no outro com pequenas alterações. A partir deste ponto, os smartphones serão chamados de *óculos*. Não avaliamos se houve aumento da segurança dos usuários porque tal estudo já foi realizado em estudos como [Tatic and Tesic 2017].

5.1. Teste de Latência

No primeiro experimento, nosso objetivo foi avaliar a latência do sistema, um aspecto crítico para garantir a detecção e notificação eficiente de eventos. O Servidor Central foi inicializado e foi realizado o cadastro de um agregador e de um óculos, o qual realizou a leitura do QRCode relacionado a uma área de monitoramento (a mesma do agregador). O procedimento de medida da latência foi feito a partir do sensor de presença e a cronometragem manual do tempo decorrido até a exibição da notificação pelo óculos. Optamos pela medida manual pois nela está embutido o tempo de resposta do usuário, fator relevante para a exibição de perigos.

Foram conduzidas cinquenta medições para determinar o tempo de latência médio do sistema. Após os procedimentos descritos, a média resultante do tempo médio entre a detecção dos sensores e a notificação exibida foi de 1,32 segundos, com intervalo de confiança amostral para média populacional de 0.2984 e confiança de 95%. Embora o resultado tenha apresentado uma latência superior a 1 segundo, é importante considerar que o teste foi realizado em uma rede Wi-Fi compartilhada com outros dispositivos. Além disso, considerando o contexto do ambiente fabril, o tempo de 1,32 segundos possui pequena interferência na segurança do operador que utilizará a aplicação.

5.2. Teste de Confiabilidade

Nesses testes foram realizadas avaliações para verificar a capacidade do sistema em integrar novos dispositivos e sensores mantendo a precisão das notificações. A Figura 3 ilustra uma captura de tela da aplicação do óculos, no momento da ativação do sensor de movimento. Tal figura é um exemplo de sucesso, na qual o perigo foi detectado e o alerta exibido. Inicialmente realizamos a configuração do Servidor Central, um Agregador, um sensor de presença e um óculos. Em seguida, acionamos mais dois agregadores, com um sensor cada, e mais dois óculos. Durante o período de inserção, o primeiro sensor de

presença foi acionado uma vez a cada dois segundos. Repetimos essas operações vinte vezes e todos os alertas de segurança foram exibidos. Posteriormente, ativamos todos os sensores simultaneamente. Esse experimento também foi realizado vinte vezes e em todas elas todos os alertas obtiveram sucesso.

Por fim, exploramos a capacidade do sistema de lidar com interferências. Distribuímos três agregadores em áreas distintas, algumas compartilhando sensores comuns para simular interferências. Importante destacar que um sensor pode estar associado a mais de uma área de monitoramento. Ou seja, a detecção de um perigo por esse tipo de sensor leva à exibição de alertas em todos os óculos que estiverem associados a todas as áreas de monitoramento desse sensor. Após a inicialização do sistema geral e o cadastro de cinco óculos, alguns compartilhando áreas iguais, ativamos os sensores acionados em momentos diferentes e em conjunto. Nesses experimentos, nenhuma mensagem de alerta foi perdida, todas foram exibidas com latências equivalentes às apresentadas nos experimentos anteriores.



Figura 3. Alerta de movimento - visão do usuário com ativação do sensor de movimento do lado esquerdo.

5.3. Teste de pane

Por fim, no quinto teste, simulamos uma falha no sistema para avaliar sua capacidade de resposta em situações adversas. Pausamos o Servidor Central propositalmente vinte vezes e avaliamos o funcionamento adequado do aviso de segurança (luzes e sirenes nos agregadores) em caso de mau funcionamento do servidor. A aplicação foi configurada para realizar 5 tentativas de reenvio, caso não obtenha sucesso em nenhuma delas, o aviso de segurança é acionado. O objetivo desse teste foi verificar a confiabilidade do sistema em manter a segurança do ambiente monitorado mesmo em condições de falha. Em todas as tentativas, o sistema proposto notificou conforme o esperado. Após as tentativas sem sucesso de envio de mensagens de alerta, a aplicação emitiu um aviso de pane, proporcionando ao operador ciência do problema ocorrido. Após a condução dos testes, obtivemos um tempo médio para o alerta de segurança de 3,15 segundos, com um desvio padrão de 0,11 segundos e nível de confiança de 95%. Com um tempo médio de 3,15 segundos para conclusão do alerta, o sistema é capaz de fornecer uma resposta rápida e eficaz a situações críticas, ao mesmo tempo em que mantém a integridade e a segurança do operador.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho descreve um sistema com uma arquitetura inovadora que exhibe em RA alertas de segurança para colaboradores em plantas industriais, assumindo-se que tal colaborador utiliza óculos de RA. A principal inovação da arquitetura proposta é a possibilidade de cadastro de novos sensores (dispositivos que detectam perigo), novos óculos para visualização de alertas e de novas áreas de monitoramento, tudo isso durante a execução do sistema. A literatura apresenta diversos trabalhos onde RA é utilizada para aumentar a segurança do trabalhador. Porém, tais aplicações são feitas para uma única situação, com um número fixo de sensores para detecção de perigo associados a uma única região onde o trabalhador se encontra. A inclusão de novos sensores e de novas áreas de monitoramento requerem a atualização da aplicação em todos os dispositivos ou a criação de novas aplicações.

O sistema proposto foi testado em todas as suas principais funcionalidades, como detecção de perigo, exibição de alertas em caso de falha de rede, cadastros de novos óculos e inclusão de novos sensores. O intuito foi avaliar sua confiabilidade, uma vez que as trocas de mensagens ocorrem por UDP (transporte não confiável). Entretanto, como os elementos que compõem o sistema retransmitem mensagens se não receberem a confirmação de entrega, todos os alertas e cadastros ocorreram sem erros. Avaliou-se também o tempo entre a detecção de um evento e a exibição do alerta. Os resultados foram satisfatórios, com latências muito próximas a um segundo.

Como trabalhos futuros pretende-se utilizar óculos de RA, uma vez que devido ao alto custo destes dispositivos, os testes foram feitos com smartphones nas funções dos óculos. Pretende-se também criar um aplicativo capaz de configurar automaticamente a rede dos agregadores. Neste trabalho, para teste dos conceitos propostos, essas configurações foram realizadas diretamente no ESP32. Tal aplicativo facilitará a configuração inicial e a escalabilidade do sistema. Além da utilização de óculos RA, planeja-se conduzir testes práticos com usuários para avaliar as oportunidades de melhoria do sistema, confirmar sua usabilidade e reiterar sua eficácia no aumento da segurança dos operadores em um ambiente industrial.

Também como parte dos trabalhos futuros, almeja-se realizar testes de comunicação em redes com um elevado fluxo de dados. O objetivo é determinar com maior precisão o número ideal de mensagens que devem ser retransmitidas em caso de falha, visando assegurar a máxima confiabilidade do aplicativo. Esta abordagem permitirá identificar os parâmetros ótimos de operação, assegurando que a aplicação mantenha um desempenho robusto e consistente mesmo sob condições adversas de rede.

Por fim, pretende-se avaliar as melhores formas de exibição de mensagens de alerta para os usuários, para que tais mensagens obtenham o melhor desempenho possível na redução de riscos para o trabalhador das indústrias.

Referências

- Alfonso, I., Garcés, K., Castro, H., et al. (2021). Self-adaptive architectures in iot systems: a systematic literature review. *Journal of Internet Services and Applications*, 12(1):14.
- Chakal, K., Korkiakoski, M., Mehmood, H., Anagnostopoulos, T., Alavesa, P., and Kostakos, P. (2023). Augmented reality integration for real-time security and maintenance in

- iot-enabled smart campuses. In *2023 IEEE 31st International Conference on Network Protocols (ICNP)*, pages 1–6.
- Garcia, L. and Santos, M. (2023). Unity 3d: A comprehensive guide for game development. *Game Development Journal*, 15(2):78–92.
- Kaiser, K., Patil, D., and Beigne, E. (2023). A prototype 5nm custom sensor soc for augmented reality/virtual reality targeting smartglasses with embedded computer vision, audio, security and ml. In *2023 IEEE Symposium on VLSI Technology and Circuits (VLSI Technology and Circuits)*, pages 1–2.
- Lotsaris, K., Fousekis, N., Koukas, S., Aivaliotis, S., Kousi, N., Michalos, G., and Makris, S. (2021). Augmented reality (ar) based framework for supporting human workers in flexible manufacturing. *Procedia CIRP*, 96:301–306. 8th CIRP Global Web Conference – Flexible Mass Customisation (CIRPe 2020).
- Madakam, S., Ramaswamy, R., and Tripathi, S. (2015). Internet of things (iot): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(5):164–173.
- Morris, A. and Yeboah, G. (2023). *Convergence of IoT and Augmented Reality*, pages 831–851. Springer International Publishing, Cham.
- Rocha., V. M. and Delabrida., S. (2021). Augmented reality applied to reducing risks in work safety in electric substations. In *Proceedings of the 23rd International Conference on Enterprise Information Systems - Volume 2: ICEIS*, pages 533–540. INSTICC, SciTePress.
- Rosales, J., Deshpande, S., and Anand, S. (2021). Iiot based augmented reality for factory data collection and visualization. *Procedia Manufacturing*, 53:618–627. 49th SME North American Manufacturing Research Conference (NAMRC 49, 2021).
- Silva, J. and Oliveira, R. (2022). Esp32: A versatile microcontroller for iot applications. *Journal of Embedded Systems*, 10(3):123–136.
- Tatic, D. and Tesic, B. (2017). The application of augmented reality technologies for the improvement of occupational safety in an industrial environment. *Computers in Industry*, 85:1–10.
- Vasilis, S., Nikos, N., and Kosmas, A. (2022). An augmented reality framework for visualization of internet of things data for process supervision in factory shop-floor. *Procedia CIRP*, 107:1162–1167. Leading manufacturing systems transformation – Proceedings of the 55th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2022.
- Vieira, V., Paiva, R., and Silva, R. (2023). Ferramenta para criação de tutoriais em realidade aumentada para a indústria 4.0. In *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva*, pages 71–80, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.