



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Mestrado em Engenharia Informática

Unidade Curricular de Sensorização Ambiente

Ano Letivo de 2024/2025

Geo-vedações virtuais

Março, 2025

Data da Receção	
Responsável	
Avaliação	
Observações	

Geo-vedações virtuais

Março, 2025

Índice

1. Abstract	1
2. Geofencing	2
3. Exemplos prático de Geofencing	4
3.1. Monitorização de Acessos em Escolas	4
3.2. Conteúdo Personalizado em Museus com Geofencing	4
3.3. Sistema de Marcação de Presença com Base em GeoTagging Utilizando Google Maps API	6
3.4. Controlo dinâmico da Velocidade de Veículos	6
3.5. Realidade Virtual	7
4. Considerações na Implementação	8
4.1. Ludificação (Gamification)	8
4.2. Privacidade de Dados	8
4.3. Questões Éticas	9
4.4. Tendências Futuras da IA	10
5. Conclusão	11
Bibliografia	12

1. Abstract

O **geofencing** tem vindo a ganhar destaque como uma tecnologia versátil e inovadora, capaz de transformar a forma como interagimos com o espaço à nossa volta. Ao criar “barreiras virtuais” baseadas em localização, utilizando *GPS*, *Wi-Fi* ou *Bluetooth Low Energy* (BLE), esta tecnologia permite **desencadear ações automáticas** sempre que um dispositivo entra ou sai de uma determinada área. Na prática, isso significa que desde a segurança em escolas até à personalização de experiências em museus, o geofencing está a tornar-se uma peça fundamental na otimização de serviços e na criação de ambientes mais inteligentes.

No dia a dia, já encontramos aplicações concretas desta tecnologia. Escolas utilizam geofencing para alertar os pais quando os filhos chegam ou saem, reforçando a segurança sem necessidade de intervenção manual. Museus recorrem a esta abordagem para oferecer conteúdos personalizados aos visitantes, criando experiências mais imersivas e envolventes. E no setor dos transportes, já se desenvolvem soluções que ajustam automaticamente a velocidade dos veículos em zonas sensíveis, como escolas ou áreas de tráfego intenso, reduzindo o risco de acidentes.

Apesar das vantagens, o geofencing também levanta desafios, sobretudo no que diz respeito à privacidade dos utilizadores. A recolha constante de dados de localização exige medidas robustas para garantir que a informação sensível não é utilizada de forma abusiva. Métodos como o *Private Proximity Testing* (PPT) estão a ser desenvolvidos para permitir interações seguras sem comprometer a identidade ou a localização exata dos utilizadores. Além disso, a adoção de estratégias de gamificação tem demonstrado ser uma forma eficaz de tornar estas aplicações mais intuitivas e apelativas.

Este trabalho pretende explorar o impacto do geofencing, analisando as suas aplicações práticas, os benefícios e os desafios que apresenta. Ao longo do estudo, serão discutidas soluções inovadoras e tendências futuras, refletindo sobre o equilíbrio entre inovação tecnológica e a necessidade de salvaguardar a privacidade e a ética na utilização destes sistemas.

2. Geofencing

Geofencing é uma tecnologia que permite a **criação de barreiras virtuais** ao redor de locais físicos específicos, através da utilização de **serviços de localização** como o **Google Maps API**. Quando um dispositivo móvel entra ou sai dessa área, o sistema tem a capacidade de executar **ações automatizadas**, como o **envio de notificações**, o **registro de presença** ou a **ativação de serviços específicos**. Esta tecnologia tem sido amplamente utilizada em diversas áreas, desde marketing e turismo até segurança e monitorização de acessos.

No estudo realizado por Srisomboon [1], a **Google Maps API** foi o componente central no processo de desenvolvimento de uma aplicação móvel capaz de promover o ecoturismo na comunidade de Nakhon Pathom. A aplicação utilizou o geofencing para definir áreas específicas ao longo das rotas turísticas e, ao identificar a presença do utilizador nessas áreas, fornecia automaticamente informações detalhadas e sugestões personalizadas. Esta abordagem não só aprimorou a experiência do utilizador como também proporcionou a exploração das atrações locais, de uma forma muito mais informada e direcionada.

A utilização da Google Maps API para geofencing proporciona vantagens significativas, das quais podemos salientar a facilidade de integração com outras funcionalidades de mapas, a alta precisão na delimitação das áreas virtuais e a flexibilidade para personalizar as ações desencadeadas. No contexto do trabalho proposto, esta tecnologia pode ser adaptada para monitorizar acessos em escolas, enviar notificações personalizadas em museus ou até mesmo garantir a segurança de crianças em ambientes educativos, o que claramente revela a versatilidade, bem como a eficiência do geofencing em aplicações práticas.

Além disso, o geofencing permite a recolha e análise de dados em tempo real, o que possibilita a criação de relatórios detalhados sobre o comportamento dos utilizadores. Esta funcionalidade é, especialmente, útil em situações onde a gestão da ocupação de espaços e a análise de padrões de movimento são cruciais, como em eventos de grande escala, centros comerciais e instituições de ensino. No entanto, a recolha constante de dados de localização pode comprometer a privacidade dos utilizadores. Assim, e de modo a mitigar este problema, os **Testes de Proximidade Privada (PPT)**, como os propostos por *Stergiopoulos* [2], permitem que dispositivos interajam com sensores e sistemas de monitorização sem revelar a identidade ou localização exata do utilizador. Ou seja, em vez de enviar coordenadas GPS a um servidor central, o dispositivo apenas confirma a sua presença dentro de uma geofence através de um protocolo encriptado baseado em fatoração RSA. Isto significa que, sensores de ocupação, temperatura ou qualidade do ar podem ajustar um determinado ambiente conforme a presença dos utilizadores, sem armazenar dados sensíveis, e ainda assegurando a privacidade e eficiência no uso da informação sensorizada.

Em relação à incorporação de **Machine Learning**, estudos recentes demonstram que a integração de geofencing com técnicas de ML, métricas de Wi-Fi e campo magnético pode, eventualmente, levar à **otimização da monitorização** em ambientes fechados, como por exemplo locais de trabalho e instituições de ensino. A abordagem proposta no seguinte paper [3] permite criar assinaturas digitais únicas para cada geofence, e deste modo melhorar a precisão da detecção, assim como, minimizar custos relacionados com as infraestruturas.

Esta tecnologia também desempenha um papel crucial na monitorização de comunidades vulneráveis em regiões remotas, onde as infraestruturas de comunicação tradicional são limitadas. Conforme demonstrado pelo paper[4], a utilização de redes *LoRaWAN* (*Long Range Wide Area Network*), aliada a protocolos de comunicação otimizados, permite a detecção eficiente de movimentações e eventos críticos em tempo real, sem que se revele necessário depender da conectividade dos dispositivos móveis. Esta abordagem não só melhora a escalabilidade e eficiência energética dos sistemas de monitorização, como também amplia a acessibilidade a soluções inteligentes para o rastreamento de ativos, o acompanhamento de pacientes e a segurança ambiental.

O geofencing também surge como uma solução inovadora para o controlo dinâmico da velocidade de veículos, contribuindo para a segurança rodoviária e a eficiência do tráfego urbano. Conforme demonstrado pelo seguinte survey [5], a integração de geofencing com sensores de velocidade e GPS permite que os veículos sejam capazes de ajustar automaticamente a sua velocidade ao entrar em zonas específicas, como áreas escolares ou de alto risco, o que permite a drástica redução do número de acidentes. Além disso, a abordagem proposta por Lu et al. [6] utiliza *Deep Reinforcement Learning* (DRL) para criar geofences dinâmicos em redes urbanas, através da otimização dos limites de velocidade, em tempo real, com base nas condições do trânsito. Este modelo melhora o fluxo veicular, reduz emissões de poluentes e minimiza o consumo de combustível, demonstrando o potencial do geofencing na construção de cidades mais inteligentes e sustentáveis.

Por último, integração de **Realidade Virtual** traz vantagens ao geofencing segundo o paper [7], com a liderança de *Min Lu*, desenvolveram uma *framework* que iremos denominar por **AR Nav** que é um sistema de navegação em ambientes fechados que combina geofencing com rastreamento de imagem e odometria visual-inercial (VIO), permitindo uma localização precisa sem necessidade de infraestrutura adicional, como *Beacons Bluetooth* ou *RFID*. Através da detecção de marcadores visuais e da calibração periódica, o sistema corrige erros acumulados no posicionamento, garantindo uma navegação contínua e fiável. Além disso, o AR Nav utiliza setas 3D sobrepostas à visão do utilizador e orientação por áudio em pontos estratégicos, melhorando a interação e reduzindo a ambiguidade na navegação. A integração com geofencing possibilita a ativação dinâmica de conteúdos contextuais e a adaptação da experiência em tempo real, tornando-se particularmente útil em museus, centros comerciais e edifícios universitários. Esta abordagem representa um avanço significativo na precisão e usabilidade dos serviços baseados em localização indoor, oferecendo uma solução escalável e eficiente para orientação em espaços complexos.

3. Exemplos prático de Geofencing

3.1. Monitorização de Acessos em Escolas

O **geofencing** é profusamente utilizado para **melhorar a segurança** e o **controlo de acessos** em diversos contextos. Uma aplicação prática desta tecnologia é apresentada no estudo de Adam et al. [8], onde é desenvolvida uma aplicação móvel para a **monitorização de crianças** na Universitas Klabat. O sistema utiliza a **Google Maps API** para criar barreiras virtuais ao redor da escola e, sempre que o dispositivo móvel do estudante entra ou sai da área definida, os pais recebem **notificações automáticas** via WhatsApp.

A aplicação foi projetada para **aumentar a segurança** dos alunos e **proporcionar tranquilidade** aos pais, permitindo o acompanhamento em tempo real da localização dos seus filhos. Quando o estudante cruza uma das **geofences**, o sistema envia uma mensagem com a data e hora, ajudando os pais a verificar se o aluno chegou a tempo ou se saiu durante o horário escolar. Esta funcionalidade não só reforça a disciplina académica, mas também facilita uma resposta rápida em situações de emergência, já que os pais podem contactar o estudante diretamente se for detetada uma saída inesperada da escola.

Além disso, a integração com o **WhatsApp API** permite que as notificações sejam enviadas de forma **prática e acessível**, utilizando uma plataforma amplamente adotada pelos utilizadores. Esta solução destaca-se pela **simplicidade de implementação** e pela eficácia em garantir que os estudantes permanecem seguros e focados nas atividades académicas, reforçando o valor do **geofencing** como **ferramenta de monitorização e segurança**.

3.2. Conteúdo Personalizado em Museus com Geofencing

A integração de geofencing contextual, AI e microserviços tem demonstrado ser uma abordagem inovadora para transformar a experiência dos visitantes em museus. O sistema mencionado previamente, **ExhibitXplorer**, foi concebido com o objetivo de entregar conteúdos personalizados com base na localização dos utilizadores e no seu perfil, utilizando um **modelo distribuído** baseado em **microserviços** para garantir escalabilidade, flexibilidade e eficiência no processamento das informações.

A tecnologia utilizada no sistema é baseada na criação de **geofences** ao **redor das exposições**, permitindo a deteção da presença dos visitantes em diferentes áreas do museu. Em espaços fechados, a localização é realizada através de *Beacons Bluetooth Low Energy* (BLE), enquanto em museus ao ar livre utiliza-se GPS para monitorizar o

posicionamento dos utilizadores. O serviço de geofencing é gerido por uma base de dados **MongoDB**, que armazena as geofences em formato GeoJSON e permite a realização de consultas geoespaciais em tempo real, identificando quais visitantes estão dentro de determinadas áreas de interesse.

Quando um visitante entra numa área delimitada, o sistema comunica com um microserviço de notificações *push*, implementado em Node.js, que utiliza a plataforma *OneSignal* para o envio de alertas ao dispositivo móvel do utilizador. Estes alertas informam o visitante sobre a exposição em questão e oferecem a opção de aceder a conteúdos adicionais. O serviço de localização é otimizado para **reduzir o consumo energético** dos dispositivos móveis, sendo ativado apenas quando o *Human Activity Recognition* (HAR) do sistema operacional indica que o utilizador está em movimento, evitando verificações desnecessárias quando o visitante está parado.

A grande inovação do ExhibitXplorer reside na personalização dinâmica dos conteúdos apresentados ao visitante. O sistema categoriza os utilizadores em diferentes segmentos (pesquisadores, estudantes, visitantes casuais e crianças) e, com base nesse perfil, utiliza GPT-4 para gerar descrições ajustadas a cada indivíduo. Essa categorização dos visitantes pode ser feita de forma explícita, por meio de pequenos questionários preenchidos na aplicação móvel, ou implícita, **analisando o comportamento do visitante dentro do museu**, como o tempo despendido em cada exposição e o tipo de conteúdos previamente acedidos.

O sistema de personalização foi implementado através de um microserviço chatbot, desenvolvido em Python utilizando FastAPI para comunicação eficiente. O chatbot integra-se com a API do GPT-4 para gerar conteúdos em tempo real.

A infraestrutura do ExhibitXplorer é composta pelos seguinte componentes do sistema:

- **Microserviço de Visitantes:** Gere a segmentação dos utilizadores e regista as suas interações. Implementado em Node.js com base de dados MongoDB.
- **Microserviço de Geofencing:** Responsável pelo armazenamento e processamento das zonas delimitadas. Utiliza MongoDB com suporte a consultas geoespaciais.
- **Microserviço de Notificações:** Gerencia o envio de notificações push via OneSignal.
- **Microserviço de Conteúdo e Chatbot:** Processa e gera conteúdos personalizados via GPT-4, utilizando Python e FastAPI.
- **Microserviço de Gestão de Exposições:** Permite que os curadores dos museus registrem e editem informações sobre os artefatos, armazenando textos em MongoDB e multimédia em IPFS (InterPlanetary File System) para uma gestão eficiente de ficheiros distribuídos.

O sistema foi validado num museu etnográfico ao ar livre, onde foram criadas **36 geofences** para diferentes exposições. A aplicação foi desenvolvida para **Android**, permitindo a receção de conteúdos personalizados ao longo da visita. Os testes demonstraram um elevado nível de satisfação, com **55%** dos participantes classificando a experiência como **satisfatória** e **45%** como **muito satisfatória**. Além disso, registou-se um aumento no tempo médio de permanência nas exposições, indicando um **maior envolvimento dos visitantes** devido à disponibilização de conteúdos adaptados aos seus interesses.

3.3. Sistema de Marcação de Presença com Base em GeoTagging Utilizando Google Maps API

O sistema de marcação de presença com base em *GeoTagging* recorre à **API do Google Maps** para efetuar o acompanhamento da presença de colaboradores em cenários de **trabalho remoto** ou **distribuído**. Esta metodologia foi desenvolvida para superar os desafios inerentes às abordagens tradicionais de monitorização, especialmente em situações onde os **profissionais** necessitam de se **deslocar** entre **diversas localizações** ao longo do seu horário laboral, como é o caso de vendedores externos, técnicos de assistência e investigadores de campo.

Com o auxílio do geofencing, o sistema permite que os trabalhadores **registem a sua presença** sempre que entram ou saem de uma zona geograficamente definida, tipicamente num raio de até **3 km** em torno da **sede** ou de uma **parte da organização**. O cálculo da distância é realizado em tempo real, utilizando a fórmula de Haversine, que determina a **distância entre dois pontos** na superfície terrestre com base nas coordenadas de **latitude e longitude**.

Entre os principais benefícios desta solução destaca-se a **eliminação** da necessidade de **presença física** para o **registo** de ponto, o **aumento da precisão nos registos** e a **automação da geração de relatórios** em formato Excel. Para as empresas, esta solução representa uma evolução significativa na gestão da força de trabalho, sobretudo em setores onde a mobilidade é um requisito essencial.

A abordagem baseada em *GeoTagging* utilizando a API do Google Maps comprova-se como uma **solução prática e eficiente** para a **gestão de equipas** remotas. A adaptação e implementação desta tecnologia abre portas a novas oportunidades de automação e eficiência na monitorização de atividades e na ocupação de espaços, contribuindo para o **desenvolvimento de cidades inteligentes** e a **criação de ambientes de trabalho mais otimizados**.

3.4. Controlo dinâmico da Velocidade de Veículos

O Geofencing tem vindo a afirmar-se como uma das inovações mais engenhosas no universo da segurança rodoviária devido à proliferação de sensores inteligentes. Já não se trata apenas de impor limites de velocidade, mas sim de criar uma rede de decisão automatizada que molda a condução em tempo real. Esta tecnologia permite que veículos ajustem a sua velocidade de forma autónoma ao atravessar zonas críticas, como áreas escolares, bairros e estradas com elevado risco de acidentes.

O estudo realizado no paper [5] explora um sistema de controlo de velocidade que recorre a GPS e Geofencing para rastrear a posição dos veículos e definir a velocidade adequada conforme os limites estipulados para cada zona. O cerne deste sistema assenta numa arquitetura modular composta por um recetor GPS de alta precisão que atualiza as coordenadas do veículo em tempo real, sensores de velocidade que captam variações instantâneas e um microcontrolador capaz de processar essas informações a uma cadência impressionante. Quando ocorre uma infração aos limites estabelecidos, a unidade de controlo desencadeia respostas imediatas, que podem ir desde alertas auditivos até intervenções diretas na

aceleração do veículo, assegurando que o condutor retoma a velocidade adequada sem margem para hesitações.

Os benefícios deste modelo são evidentes. Resultados apontam para uma redução acentuada de acidentes em zonas de tráfego intenso e uma melhoria na fluidez da circulação, uma vez que os limites podem ser adaptados dinamicamente em função das condições do trânsito. Além disso, ao garantir que os veículos operam de forma eficiente, há um impacto positivo na economia de combustível e na mitigação das emissões de gases poluentes, alinhando esta solução com as metas de sustentabilidade das cidades inteligentes.

Apesar das suas vantagens, a implementação destes sistemas não está isenta de desafios. A recolha contínua de dados de geolocalização levanta preocupações sobre privacidade, exigindo protocolos robustos de encriptação e armazenamento seguro. Por outro lado, a diversidade de marcas e modelos de veículos impõe a necessidade de um ecossistema padronizado para garantir compatibilidade e adoção em larga escala. Para além disso, a aceitação pelos condutores continua a ser um fator determinante, uma vez que a perceção de perda de controlo sobre o veículo pode gerar resistência à adoção desta tecnologia, tornando essencial a sensibilização para os benefícios e segurança proporcionados pelo sistema.

3.5. Realidade Virtual

A integração entre **Realidade Virtual** (RV) e Geofencing possibilita a criação de sistemas de navegação interativos e adaptáveis em ambientes fechados. Museus, centros comerciais e espaços educacionais utilizam essa abordagem para oferecer direções precisas e ativação de conteúdos dinâmicos conforme a posição do utilizador.

A framework desenvolvida e demonstrada no paper [7], combina Geofencing com **rastreamento de imagem** e **odometria visual inercial** (VIO), permitindo um posicionamento preciso sem depender de infraestrutura adicional, como *Beacons Bluetooth* ou *RFID*. Esse modelo mitiga erros acumulados ao longo da navegação, garantindo maior confiabilidade e continuidade na orientação dos utilizadores.

Na prática, o sistema utiliza geofences para ativar guias audiovisuais, setas tridimensionais sobrepostas à realidade e notificações contextuais. Essa interação em tempo real melhora a experiência do utilizador, permitindo uma personalização eficaz do percurso e do conteúdo exibido. É possível melhorar a experiência introduzindo desafios, recompensas ou missões associadas à exploração do espaço.

A calibração periódica da posição, baseada em reconhecimento de marcadores visuais, é essencial para manter a precisão. De acordo com estudos feitos pelos investigadores deste paper em questão, apotam que existe uma redução de erros abaixo de um metro, viabilizando a sua aplicação em locais onde a precisão é crítica, como navegação assistida para utilizadores com deficiência visual.

Entretanto, desafios como a necessidade de manutenção dos marcadores visuais, variações nas condições de iluminação e limitações na escalabilidade do sistema ainda precisam ser abordados. A evolução da tecnologia pode permitir novas soluções que aprimorem a robustez e acessibilidade desses sistemas.

4. Considerações na Implementação

A implementação de sistemas baseados em geofencing vai muito além da simples delimitação de áreas virtuais. Para que essas soluções sejam eficazes, é essencial garantir que a tecnologia seja integrada de forma intuitiva e ética no cotidiano dos utilizadores. Questões como a ludificação, a privacidade de dados, os dilemas éticos e as tendências futuras precisam de ser analisadas cuidadosamente, pois impactam diretamente a aceitação e a segurança destas soluções.

4.1. Ludificação (Gamification)

A ludificação é uma ferramenta poderosa para tornar aplicações mais atrativas e interativas. Ao integrar elementos de jogo, como desafios, recompensas e rankings, os sistemas de geofencing podem transformar experiências cotidianas em algo mais envolvente e estimulante.

Um exemplo concreto dessa abordagem pode ser encontrado no turismo, onde as aplicações podem premiar utilizadores que exploram determinados pontos de interesse. Por exemplo, num parque natural, os visitantes poderiam acumular pontos ao visitar diferentes áreas protegidas e aprender sobre a biodiversidade local através de conteúdos interativos.

No setor educativo, escolas e universidades podem utilizar geofencing para incentivar a presença em aulas e eventos. Um sistema que registre automaticamente a entrada dos alunos em determinadas salas de aula pode atribuir-lhes pontuações que reflitam o seu nível de assiduidade, incentivando assim uma maior participação. Nos museus, experiências personalizadas podem ser criadas com base na localização dos visitantes, oferecendo desafios interativos e desbloqueando conteúdos exclusivos à medida que percorrem as exposições.

A grande vantagem da ludificação no geofencing é que, ao tornar a experiência mais dinâmica e recompensadora, promove um maior envolvimento dos utilizadores, incentivando a adoção da tecnologia e maximizando os benefícios da sua aplicação.

4.2. Privacidade de Dados

A privacidade de dados no geofencing continua a ser uma questão central, sobretudo pela dependência da recolha contínua de informações de localização. A tese de Zickau [9] enfatiza que, para garantir uma implementação ética e segura desta tecnologia, é necessário adotar métodos avançados de preservação da privacidade, evitando a exposição desnecessária de dados dos utilizadores.

Um dos principais desafios do geofencing tradicional é a necessidade de partilhar a posição exata do utilizador com servidores externos para validar a sua presença dentro de uma área geográfica. Esta abordagem pode comprometer seriamente a privacidade, pois permite que prestadores de serviços acumulem históricos detalhados de movimentação, criando um risco significativo de rastreamento e vigilância.

Para mitigar esses problemas, Zickau propõe o uso de esquemas criptográficos avançados, como provas de conhecimento nulo (Zero-Knowledge Proofs) e encriptação homomórfica. Estas técnicas permitem que um utilizador prove que se encontra dentro de uma geofence sem revelar a sua localização exata, garantindo um equilíbrio entre funcionalidade e privacidade. Além disso, métodos como computação multipartidária segura e interseção privada de conjuntos (Private Set Intersection) possibilitam a verificação descentralizada da localização, eliminando a necessidade de terceiros confiáveis.

Outro aspeto relevante é a implementação de políticas de minimização de dados. Em vez de armazenar localizações precisas e permanentes, sistemas de geofencing podem operar com níveis de granularidade ajustáveis, permitindo que apenas a pertença a uma zona seja registada, sem precisar de detalhes específicos. Esta abordagem reduz significativamente o risco de abuso dos dados por empresas ou entidades externas.

A transparência no uso da informação também se destaca como um fator essencial. De acordo com a tese de Zickau, os utilizadores devem ter controlo sobre os seus dados e serem informados de forma clara sobre como a sua localização é utilizada. Mecanismos de consentimento explícito (opt-in) e a possibilidade de exclusão voluntária (opt-out) devem ser implementados, garantindo que a adesão ao geofencing seja uma escolha informada e não uma imposição.

Por fim, a privacidade no geofencing não deve ser encarada apenas como um requisito técnico ou regulatório, mas como um princípio fundamental para garantir a confiança dos utilizadores e a aceitação generalizada desta tecnologia. A adoção de soluções baseadas em criptografia avançada e a promoção de práticas de transparência e controlo do utilizador são essenciais para tornar o geofencing uma ferramenta eficaz e eticamente responsável.

4.3. Questões Éticas

A ética na utilização do geofencing levanta diversas questões, sobretudo no que toca à privacidade, transparência e impacto social. A implementação de barreiras virtuais que monitorizam a localização de indivíduos deve equilibrar os benefícios tecnológicos com a proteção dos direitos dos utilizadores.

Segundo o estudo [10] que abordou única e exclusivamente a parte ética do geofencing, evidencia que, embora a maioria dos utilizadores não percecionem impactos negativos na sua produtividade devido ao geofencing, um número significativo expressa preocupações com a privacidade. A recolha contínua de dados de localização, especialmente sem consentimento explícito, pode ser interpretada como uma violação dos direitos individuais.

Além disso, as organizações que implementam geofencing devem seguir regulamentações e boas práticas para garantir que o seu uso seja ético. Normas como o Regulamento Geral de Proteção de Dados (RGPD) da União Europeia estabelecem diretrizes sobre a recolha, armazenamento e processamento de dados de localização.

Outro aspecto crítico é a transparência. As empresas e instituições devem informar os utilizadores sobre como os seus dados serão utilizados, garantindo que haja opções de opt-in e opt-out para quem não desejar ser monitorizado. A falta de clareza pode resultar numa perda de confiança dos utilizadores e em potenciais conflitos legais.

Além disso, existe uma preocupação crescente com o potencial uso indevido da tecnologia por entidades governamentais ou privadas para vigilância em massa. A monitorização sem supervisão adequada pode abrir caminho para discriminação, manipulação de comportamento e até violações de direitos fundamentais. Por isso, é essencial que a implementação de sistemas de geofencing seja acompanhada de auditorias regulares e mecanismos de responsabilização.

A ética no geofencing não se resume apenas à conformidade legal, mas também ao compromisso das organizações com a proteção dos utilizadores. A adoção de políticas claras e a implementação de tecnologias que garantam a privacidade, como o Private Proximity Testing (PPT) e assinaturas digitais para geofencing, são estratégias que podem minimizar os riscos associados. Dessa forma, é possível aproveitar os benefícios desta tecnologia sem comprometer os direitos individuais e a confiança dos utilizadores.

4.4. Tendências Futuras da IA

O futuro do geofencing passa, inevitavelmente, pela integração com Inteligência Artificial (IA), que pode tornar os sistemas mais inteligentes e adaptáveis. Uma das grandes tendências é o uso de algoritmos de Machine Learning para prever padrões de movimento dos utilizadores e otimizar a delimitação de áreas geográficas virtuais.

No setor da mobilidade urbana, por exemplo, a IA pode ser utilizada para criar geofences dinâmicos que ajustam os limites de velocidade de acordo com as condições do tráfego em tempo real. Essa abordagem tem o potencial de reduzir congestionamentos e melhorar a segurança rodoviária, ao mesmo tempo que minimiza o consumo de combustível e as emissões de poluentes.

Outro campo promissor é a personalização de experiências culturais e educativas. Com o uso de IA, sistemas de geofencing podem adaptar conteúdos e interações de acordo com o perfil e o comportamento do utilizador. Num museu, por exemplo, um visitante interessado em arte renascentista pode receber automaticamente recomendações de obras e informações complementares enquanto percorre as salas de exposições.

A evolução das redes 5G e da Internet das Coisas (IoT) também abrirá novas possibilidades para o geofencing. Sensores mais avançados e tempos de resposta ultrarrápidos permitirão que os sistemas sejam mais precisos e eficientes, tornando-se ainda mais integrados ao quotidiano.

No entanto, com estas inovações, surgem novos desafios, especialmente no que diz respeito à regulamentação e ao uso responsável da tecnologia. Será necessário desenvolver normativas que garantam que o geofencing seja utilizado de forma ética e transparente, protegendo os direitos dos utilizadores e prevenindo abusos.

5. Conclusão

O geofencing revelou-se uma tecnologia com um enorme potencial para transformar a forma como interagimos com o espaço ao nosso redor. Desde a monitorização de acessos até à personalização de experiências e otimização da segurança rodoviária, os exemplos práticos mostram como esta abordagem pode trazer benefícios concretos para diversas áreas. A capacidade de automatizar ações com base na localização não só melhora a eficiência operacional, como também cria soluções mais intuitivas e dinâmicas para os utilizadores.

No entanto, como qualquer tecnologia que lida com dados de localização, o geofencing traz consigo desafios significativos, especialmente no que diz respeito à privacidade e segurança da informação. O equilíbrio entre inovação e proteção dos dados pessoais deve ser uma prioridade, e abordagens como o Private Proximity Testing (PPT) demonstram que é possível recolher e utilizar estas informações de forma responsável. Da mesma forma, a adoção de estratégias de gamificação pode ajudar a tornar o geofencing mais acessível e envolvente, incentivando a sua utilização em contextos educativos, culturais e comerciais.

Olhando para o futuro, a tendência aponta para uma integração cada vez maior do geofencing com inteligência artificial e machine learning, permitindo a adaptação dinâmica de zonas geográficas em tempo real. Essa evolução poderá abrir portas para cidades mais inteligentes, transportes mais eficientes e experiências digitais ainda mais imersivas. No entanto, será essencial continuar a debater as implicações éticas e regulatórias associadas a esta tecnologia, garantindo que a inovação caminha lado a lado com a responsabilidade.

Desta forma, o geofencing não é apenas uma ferramenta tecnológica, mas um reflexo do nosso avanço para um mundo mais conectado, automatizado e interativo. A sua adoção consciente e estratégica permitirá explorar todo o seu potencial, garantindo benefícios tanto para indivíduos como para organizações, sem comprometer a privacidade e a segurança dos utilizadores.

Bibliografia

- [1] P. Srisomboon, «Design and Development of a Gamified Mobile Application for Nakhon Pathom Community Ecotourism», วารสาร วิชาการ การ จัดการ เทคโนโลยี มหาวิทยาลัย, vol. 0, n.º , p. , jan. 2024, [Online]. Disponível em: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/itm-journal/article/view/254206>
- [2] G. Stergiopoulos, P. Kotzanikolaou, K. Adamos, e L. Mitrou, «Scaling private proximity testing protocols for geofenced information exchange: A metropolitan-wide case study», *Computer Networks*, vol. 245, p. 110381, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2024.110381>.
- [3] A. M. Abd El-Haleem, N. E.-D. M. Mohamed, M. M. Abdelhakam, e M. M. Elmesalawy, «A Machine Learning Approach for Movement Monitoring in Clustered Workplaces to Control COVID-19 Based on Geofencing and Fusion of Wi-Fi and Magnetic Field Metrics», *Sensors*, vol. 22, n.º 15, 2022, doi: [10.3390/s22155643](https://doi.org/10.3390/s22155643).
- [4] S. T. Ahmed, A. A. Ahmed, A. Annamalai, e M. F. Chouikha, «A Scalable and Energy-Efficient LoRaWAN-Based Geofencing System for Remote Monitoring of Vulnerable Communities», *IEEE Access*, vol. 12, n.º , pp. 48540–48554, 2024, doi: [10.1109/ACCESS.2024.3383778](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3383778).
- [5] M. Upendra, V. Reddy, e S. M., «Smart GPS Based Vehicle Speed Limit Controller on zone identification using Geo-Fencing Algorithm», em *2024 3rd International Conference for Innovation in Technology (INOCON)*, 2024, pp. 1–6. doi: [10.1109/INOCON60754.2024.10511421](https://doi.org/10.1109/INOCON60754.2024.10511421).
- [6] W. Lu, Z. Yi, G. Gidofalvi, M. D. Simoni, Y. Rui, e B. Ran, «Urban network geofencing with dynamic speed limit policy via deep reinforcement learning», *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 183, p. 104067, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.104067>.
- [7] M. Lu *et al.*, «Indoor AR Navigation Framework Based on Geofencing and Image-Tracking with Accumulated Error Correction», *Applied Sciences*, vol. 14, n.º 10, 2024, doi: [10.3390/app14104262](https://doi.org/10.3390/app14104262).
- [8] S. I. Adam, O. H. Lengkong, S. R. Kollabathula, e S. R. Pungus, «Geofencing Application for Parents Tracking Children using Push Notification in Universitas Klabat based on mobile», *2022 4th International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (ICORIS)*, vol. 0, n.º , p. , 2022, doi: [10.1109/ICORIS56080.2022.10031487](https://doi.org/10.1109/ICORIS56080.2022.10031487).
- [9] S. Zickau, «Privacy-preserving Geofencing», 2023. [Online]. Disponível em: <https://depositonce.tu-berlin.de/items/8fe73b99-52d0-497a-a357-07ba927d504d>
- [10] A. C. Ijeh, A. J. Brimicombe, D. S. Preston, e C. O. Imafidon, «Evaluating Ethical and Productivity Issues in Geofencing», 2009.