

Uso da realidade virtual na indústria da construção: avaliação de casos práticos

Use of virtual reality in the construction industry: evaluation of practical cases

Resumo

Após a evolução trazida pelo *Building Information Modeling* (BIM), as realidades estendidas surgem com potencial tecnológico para melhorar a integração e imersão dos projetos, embora ainda haja dados limitados sobre suas aplicações. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação da realidade virtual em modelos BIM, na forma de *tour* virtual. Um estudo de casos múltiplos foi realizado a partir de uma amostra definida por conveniência, composta por cinco projetos de uma empresa de engenharia consultiva. As informações foram coletadas através de reuniões e documentos e avaliadas segundo a técnica *Strengths, Weakness, Opportunities, Threads* (SWOT). Como resultado, destacou-se o uso do passeio virtual nas fases de engajamento do cliente e suporte à interface projeto/construção. Além disso, essa tecnologia demonstrou força pela flexibilidade de manuseio remoto e compatibilidade com diversos dispositivos, inovando a forma de visualização e facilitando o processo de tomadas de decisões. Fatores restritivos, como custos operacionais e limitação dos *softwares*, são pontos de atenção para melhorias. A aplicação da realidade virtual mostrou-se eficiente no apoio às diferentes fases de uma construção. Entretanto, sua implementação em larga escala, a padronização e a expansão do uso de hardware ainda são necessárias para consolidar um mercado mais difundido na área.

Palavras-chave: BIM. Projetos. Tour virtual. Análise SWOT.

Abstract

After the evolution brought by Building Information Modeling (BIM), extended realities emerge with the technological potential to improve project integration and immersion, although there is still limited data on their applications. Thus, this study aimed to evaluate the application of virtual reality in BIM models, in the form of a virtual tour. A multiple case study was carried out from a convenience sample, consisting of five projects from a consulting engineering company. The information was collected through meetings and documents and evaluated following the Strengths, Weakness, Opportunities, Threads (SWOT) technique. As a result, the use of virtual tours in the customer engagement and project/construction interface support phases stood out. In addition, this technology demonstrated strength due to its flexibility for remote handling and compatibility with various devices, innovating the form of visualization and facilitating the decision-making process. Restrictive factors, such as operating costs and software limitations, are points of attention for improvement. The application of virtual reality has proven to be efficient in supporting the different phases of construction. However, large-scale implementation, standardization, and expansion of hardware use are still necessary to consolidate a more widespread market in this area.

¹Sabrina Rayane Silva
Lucena 

¹Universidade de Pernambuco
Recife - PE - Brasil
srsl@poli.br

²Bianca Maria Vasconcelos 
²Universidade de Pernambuco
Recife - PE - Brasil
bianca.vasconcelos@upe.br

Recebido em 08/09/25
Revisado em 28/11/25
Aceito em 02/12/25

*autor correspondente

Keywords: BIM. Projects. Virtual tour. SWOT analysis.

1 Introdução

Os setores de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) formam uma indústria complexa e em constante evolução na concepção e construção de projetos, ampliando o número de partes envolvidas em cada empreendimento e, consequentemente, a demanda relacionada à produtividade, sustentabilidade e qualidade de entrega (Potseluyko *et al.*, 2022). Por ser uma indústria altamente competitiva, as empresas precisam se adaptar à concorrência, aplicando novas tecnologias que facilitem interações inteligentes e em tempo real. A revolução na forma de projetar, construir e monitorar traz consigo benefícios de tempo, custo, qualidade e segurança (Alizadehsalehi; Hadavi; Huang, 2020).

O *Building Information Modeling* (BIM) foi introduzido como uma metodologia que permite ampliar a colaboração entre todos os estágios de um projeto e a comunicação entre os participantes envolvidos (Um *et al.*, 2023). Com o intuito de melhorar a produtividade e o gerenciamento de informações, o uso do BIM passou a ser exigido por muitas organizações governamentais e públicas para a concepção de novos projetos. Os proprietários dos empreendimentos demonstraram interesse crescente em obter seus projetos em formato de modelos BIM completos, os quais podem ser úteis até a fase final da construção (Leygonie; Motamedi; Iordanova, 2022).

Mesmo com a evolução trazida pelo BIM, a sobrecarga de informações dificulta o acesso e utilização dos dados, afetando a transferência de informações do modelo. Como consequência, há impacto negativo na eficiência do desenvolvimento das tarefas durante a construção (Chu; Matthews; Love, 2018). Agarwala (2014) destaca a implementação gradual de modelos BIM e sua capacidade de armazenar volumes elevados de dados, o que resulta no aumento do esforço de projetistas e trabalhadores para recuperar informações dentro do complexo sistema de modelagem.

Além disso, as modificações nos projetos acarretam desafios consideráveis em termos de tempo e esforço, mesmo com o uso do BIM, gerando a necessidade de redesenho, desenvolvimento de novas soluções e manutenção da integridade e coerência no fluxo atualizado de modelagem das informações (Panya; Kim; Choo, 2023). O retrabalho ocasionado por essas alterações resulta em revisões do modelo BIM, contribuindo para estouros de custos e reforçando a necessidade de maior eficiência nesses processos (Simpheh *et al.*, 2015).

Diante disso, a Realidade Estendida (RE) surge como uma solução para esse problema, visto que representa tecnologias que integram a realidade ao mundo virtual, fornecendo experiências imersivas e interativas para os usuários. Em relação à sobrecarga de dados, é possível aprimorar o processo de extração de informações por meio de marcadores no ambiente virtual e da facilidade de visualização dos componentes do projeto (Chu; Matthews; Love, 2018). Para reduzir o retrabalho, também é possível realizar análises interativas e imersivas das alterações de projeto, disponibilizando mais mecanismos para uma tomada de decisão assertiva (Panya; Kim; Choo, 2023).

Na indústria AEC, a RE é composta principalmente por Realidade Aumentada (RA), Realidade Virtual (RV) e Realidade Mista (RM). Essas tecnologias possibilitam a análise de diversos aspectos ao longo do ciclo de vida do projeto, e seus benefícios apresentam crescente reconhecimento nos setores da construção. Pesquisas recentes também relatam resultados promissores de suas aplicações, embora a implementação da RE ainda seja limitada (Han; Leite, 2022).

Dentre essas experiências virtuais interativas, o *tour* em RV é um conceito capaz de representar o ambiente físico através de um mundo virtual 3D (Chang *et al.*, 2023), permitindo a exploração dos espaços no ritmo de cada usuário, proporcionando maior aprendizado sobre o projeto em que se está inserido (Shaker *et al.*, 2020).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação da realidade virtual em modelos BIM, na forma de *tour* virtual, a fim de fornecer subsídios que comprovem sua eficiência para a indústria AEC ao longo de todo o ciclo de vida dos projetos, fomentando também utilizações futuras.

2 Referencial teórico

2.1 Contextualização das realidades estendidas

O conceito de tecnologia imersiva surgiu há cerca de 50 anos, quando o primeiro protótipo imersivo de interação humano-computador foi construído, o “Sistema de Comunicação Gráfica Homem-Máquina”. A definição dessas tecnologias diverge dentre os estudiosos. Para alguns, trata-se de uma forma de fornecer aos usuários uma alta qualidade ou um grande volume de informações sensoriais. Para outros, caracteriza-se como

uma tecnologia que estabelece a conexão entre o mundo real e o virtual, criando uma sensação de imersão (Tang *et al.*, 2022).

As tecnologias imersivas englobam RV, RA e RM. A RV consiste em uma simulação tridimensional (3D) de cenários do mundo real, criada a partir de um computador, que permite aos usuários a percepção e interação com o ambiente simulado. A utilização da RV pode ocorrer por meio de *Head-Mounted Display* (HMD), conhecidos como óculos de realidade virtual, com múltiplas telas projetadas, ou, ainda, apenas com o uso de um monitor de desktop ou aparelho de celular, como em jogos online, por exemplo. O conteúdo produzido pode abranger um ambiente gerado por computador ou imagens digitais em 360 graus, que podem ser visualizadas pelos óculos de RV (Babalola *et al.*, 2023a).

A RA é definida como um ambiente misto que integra informações digitais ao espaço físico. Suas propriedades incluem a combinação de objetos reais e virtuais em um ambiente real, o alinhamento desses objetos entre si e a sua execução renderizada de forma interativa e em tempo real (Rodríguez-Abad *et al.*, 2021). Assim, ocorre a sobreposição de informações e imagens digitais ao ambiente físico, proporcionando uma visão aprimorada do espaço. Essa combinação permite ampliar a percepção contextual do espaço pelos usuários. Dessa forma, a RA se diferencia da RV, visto que esta última é composta unicamente por modelos e ambientes gerados por computador (Babalola *et al.*, 2023b).

A RM é considerada outro tipo de tecnologia de visualização imersiva que envolve a fusão entre o mundo real e o virtual. Diferentemente da RV baseada em HMD, que isola o usuário em um mundo virtual, no ambiente de RM um conteúdo visual é gerado por computador. Esse conteúdo visual é sobreposto e ancorado ao ambiente real por meio de um dispositivo (como o Microsoft HoloLens), com o objetivo de complementar a percepção do usuário sobre o espaço físico (Prabhakaran; Mahamadu; Mahdjoubi, 2022). O Quadro 1 explicita as características dos diferentes tipos de tecnologias imersivas.

De acordo com a finalidade e os mecanismos necessários, são utilizadas diferentes linguagens de programação para criar os cenários virtuais. Seu processo de desenvolvimento consiste na representação de objetos do mundo real por meio de um programa de modelagem 3D (como o Autodesk Revit e outros *softwares* BIM), resultando em um modelo virtual que, posteriormente, passa por um processo de texturização, no qual são adicionados formatos, cores, materiais e demais características visuais. A imersão proporcionada pela RV é resultado do uso de ferramentas que detectam e rastreiam a posição e o movimento dos usuários em um ambiente virtual, envolvendo um ou mais sentidos humanos (Babalola *et al.*, 2023a).

Para simular a sensação de presença e consciência, os hardwares atuam como ferramentas que replicam sentidos da vida real, como visão, audição, tato, olfato e paladar. Os *headsets* de RV, por exemplo, criam a ilusão de profundidade visual, enquanto sons estéreos ou especializados, como o barulho de passos, ampliam a experiência auditiva. As tecnologias que permitem essa melhoria utilizam controladores de hardware (como o Nintendo Wii ou o HTC Vive), possibilitando manipular, mover e soltar objetos, como no estudo de You *et al.* (2018), o que pode ser aplicado ao treinamento de trabalhadores (Babalola *et al.*, 2023b).

2.2 Utilização de tecnologias imersivas integradas ao BIM

Conforme apontado pela revisão realizada por Prabhakaran, Mahamadu e Mahdjoubi (2022), a maior parte dos desenvolvimentos que integram modelos BIM e tecnologias imersivas encontra-se em fase de protótipo ou teste. Assim, o tema carece de análises que abordem aplicações práticas no setor AEC. Esses autores apontam que, embora os ambientes virtuais imersivos sejam capazes de trazer inúmeros benefícios, seu domínio de aplicação permanece limitado.

Quadro 1 - Características das tecnologias imersivas

Características	Tipos de tecnologias imersivas		
	Realidade Virtual	Realidade Aumentada	Realidade Mista
Nível de conteúdo virtual	Alto	Baixo	Médio
Nível de conteúdo real	Baixo	Alto	Alto
Nível de interação	Baixo	Médio	Alto
Nível imersivo	Alto	Médio	Médio

Fonte: adaptado de Babalola *et al.* (2023a).

Alguns estudos, como o de Shi *et al.* (2019), utilizaram ambientes virtuais na fase de design do projeto como ferramenta de aprendizagem no contexto da segurança na construção civil, propondo um espaço de realidade virtual com rastreamento de movimento a partir de um cenário de caminhada com risco de queda. Outras utilizações envolvem: a integração do BIM e RV para o aprimoramento da compreensão do projeto arquitetônico pelas partes interessadas, através de simulações imersivas (Baracho *et al.*, 2025); a análise de alternativas de projeto aerodinâmico através da integração entre BIM e realidade virtual, permitindo a visualização de detalhes importantes da edificação no ambiente imersivo, como a compreensão das dimensões espaciais e da performance aerodinâmica (Gan; Liu; Li, 2022); a construção de um ambiente de realidade virtual para avaliar os layouts de sinalização de um modelo BIM, auxiliando os ocupantes a navegarem com mais facilidade nos espaços internos da edificação (Li *et al.*, 2022); e o desenvolvimento de um ambiente imersivo de RV para visualizar e simular interações do usuário com o edifício, mapeando rotas dentro da projeção (Simeone; Kalay; Schaumann, 2013).

Paes, Arantes e Irizarry (2017) também verificaram que o ambiente imersivo pode beneficiar as práticas de design atuais, melhorando a compreensão dos profissionais sobre o arranjo espacial do modelo virtual e possibilitando que o usuário processe soluções de design de maneira mais rápida. Em relação à diminuição de retrabalhos em projetos, Panya, Kim e Choo (2023) apontam que a integração da metodologia BIM com a realidade virtual e aumentada, possibilita a otimização do fluxo de informações, além de aprimorar a colaboração e a comunicação entre as partes interessadas de um projeto de construção.

O estudo de Delgado *et al.* (2020) categoriza o uso existente da realidade virtual e aumentada em empresas da América do Norte, Europa e Austrália. O estudo define seis casos principais de uso dessas tecnologias, sendo elas: engajamento das partes interessadas; suporte ao projeto; suporte à construção; suporte às operações e ao gerenciamento; e treinamento. A partir de uma revisão da literatura, conclui que os esforços de pesquisa ainda são limitados, devido ao número reduzido de artigos encontrados, reforçando a necessidade de investigar casos de aplicação em outras regiões. Além disso, destacam a importância de identificar os requisitos e oportunidades que devem ser priorizados para implementar RA e RV de forma mais acessível na indústria AEC, uma vez que, embora os níveis de adoção ainda sejam baixos, as empresas demonstram interesse em investir nessas tecnologias.

Dessa forma, este estudo se destaca por investigar a aplicação da RV no contexto de uma empresa brasileira, gerando conhecimento sobre seus benefícios, desafios e oportunidades, contribuindo para a disseminação da implementação dessa tecnologia em outros projetos.

3 Método

Assim como em Revolti *et al.* (2023), este trabalho adota a abordagem de estudo de caso, conforme descrito por Brown e Hale (2014), Kothari (2004) e Zainal (2007) como método de pesquisa. Conforme apresentado por esses autores, a condução dos estudos segue três macro etapas: escolha dos projetos a serem avaliados, coleta dos dados e análise dos dados. Essa metodologia foi adotada devido à necessidade de compreender como a RV foi aplicada em projetos reais, analisando o contexto, as condições técnicas e os resultados observados. Esse tipo de investigação demanda uma abordagem que permita observar o fenômeno em seu próprio ambiente. Além disso, como os projetos analisados possuem características distintas, o estudo possibilita identificar padrões, comparar aplicações e extrair evidências práticas. Dessa forma, o trabalho investiga múltiplos casos de aplicação da realidade virtual, estruturando-se nas seguintes etapas: Definição da amostra; Mapeamento e caracterização dos projetos; Desenvolvimento do *tour* virtual; Coleta de dados; e Análise SWOT.

Os estudos de caso analisados focaram na aplicação de realidade virtual através de *tour* virtual, utilizando aparelhos móveis (celulares e tablets), desktops e notebooks com capacidade operacional para suportar a visualização do ambiente em 360°. Os *tours* virtuais foram desenvolvidos pela equipe técnica da empresa, da qual o autor faz parte.

A plataforma Kuula, utilizada para o desenvolvimento dos *tours*, é baseada em navegador e compatível com dispositivos que possuam suporte a WebGL e JavaScript, o que inclui praticamente todos os equipamentos produzidos a partir de 2015. Consequentemente, não há exigência de configurações específicas de hardware, sendo necessário apenas um dispositivo com conexão estável à internet e um navegador atualizado para garantir a renderização adequada do ambiente virtual. Essa abordagem apresenta vantagens significativas, especialmente em termos de facilidade de implementação e maior acessibilidade, pois permite o acesso remoto mesmo sem a utilização de óculos de realidade virtual, que ainda não são amplamente difundidos.

3.1 Definição da amostra

O objeto de estudo trata-se de uma empresa de engenharia consultiva com ampla atuação no setor AEC, situada na região nordeste do Brasil. A instituição desenvolve projetos em áreas como edificações, infraestrutura e saneamento, além de possuir histórico de utilização de tecnologias imersivas. Assim, dispõe de um conjunto de projetos que aplicaram realidade virtual por meio de *tours* 360°, apresentando o material necessário para a condução deste trabalho.

A empresa foi escolhida por conveniência, uma vez que possui vantagens em quesitos como: proximidade de localização; variedade de projetos disponíveis para análise; larga experiência no uso de BIM; profissionais capacitados e treinados; e processos bem definidos. Adicionalmente, a coleta de dados foi facilitada, visto que um dos autores integra o quadro técnico da empresa, o que permitiu acessar os documentos de forma mais direta durante o levantamento das informações.

Para evitar potenciais conflitos de interesse, o material utilizado correspondeu às informações oficiais fornecidas pelos setores responsáveis da empresa, sem interferir na produção ou no conteúdo dos documentos analisados. As interpretações foram conduzidas de forma descritiva e revisadas pelos demais autores, assegurando transparência e isenção no tratamento dos dados.

Dos projetos com aplicação de tour virtual, seis casos estavam citados no catálogo de soluções digitais da empresa, quatro casos estavam presentes em seu portal online e outros cinco casos foram apresentados em programa de capacitação e disseminação de conhecimento interno da empresa. A amostra selecionada correspondeu a esses cinco últimos casos, devido ao nível de detalhamento apresentado e à ampla divulgação interna, o que facilitou os processos posteriores de coleta de dados.

3.2 Mapeamento e caracterização dos projetos

Nesta etapa, foi realizado o levantamento dos projetos da empresa que utilizaram realidade virtual e que apresentavam um desenvolvimento capaz de ser mapeado, contribuindo com dados comprovados de seu uso e possíveis melhorias. Além disso, os casos apresentados foram caracterizados de forma a contemplar informações como área construída, tipo de empreendimento, disciplinas e indicação das etapas nas quais foram aplicadas tecnologias imersivas.

Assim, a aplicação da realidade virtual foi avaliada em cinco projetos: Hospital Regional, Teatro do Parque, Complexo Prisional, Centro de Convenções e Binário. O objetivo dos *tours* era criar um ambiente que proporcionasse uma tecnologia de interface entre o usuário e o sistema operacional, trazendo a sensação de presença através de uma imersão em um ambiente virtual.

3.3 Desenvolvimento do *tour* virtual

Para o desenvolvimento dos *tours* virtuais, a empresa utilizou uma sequência fotografias interligadas, capturadas em 360°, permitindo a inclusão de ícones informativos e setas de deslocamento entre as imagens, de forma a simular o percurso de navegação do usuário no ambiente virtual.

As aplicações do Tour são variadas e incluem:

- (a) engajamento das partes interessadas (permite que o cliente acompanhe a obra virtualmente, visualize o resultado final do projeto e participe mais ativamente durante a entrega do produto);
- (b) suporte à fase de projeto (navegação em um modelo desenvolvido no *software* Autodesk Revit ou em outro *software* BIM, além de levantamentos cadastrais para auxiliar a modelagem);
- (c) revisão de projeto (auxílio à compatibilização); suporte à fase de construção (compartilhamento da obra com o gerente, coordenador e/ou consultor);
- (d) operação e manutenção de ativos (levantamento de informações da construção); e
- (e) treinamentos.

Estas aplicações corroboram com a utilização de Realidade Virtual apresentada por Alizadehsalehi, Hadavi e Huang (2020).

As etapas para seu desenvolvimento, envolveram, de forma geral, três fases: planejamento e captura das imagens, elaboração e visualização do ambiente concluído. Primeiro foi realizada a modelagem tridimensional dos projetos, seguida da compatibilização das disciplinas modeladas e, posteriormente, do

georreferenciamento dessas disciplinas, assegurando que tivessem o mesmo ponto base. Somente após essa etapa os projetos foram transferidos para a interface de RV.

Durante o desenvolvimento do *tour*, foi fundamental que os projetistas considerassem a forma de interligação das imagens, evitando pontos cegos de visualização e baseando-se no percurso que seria realizado. Por exemplo, fotografias de corredores em que as entradas dos ambientes vizinhos estivessem visíveis. A ausência de planejamento pode exigir o retorno da equipe ao local da obra para obtenção de novas imagens. Ademais, a iluminação do ambiente foi considerada como determinante para a qualidade das fotografias.

Os *tours* virtuais aqui apresentados foram desenvolvidos na plataforma Kuula (plano *Business*), visto que possui uma interface intuitiva e de fácil utilização pelos colaboradores. Os passeios podem ser compostos inteiramente por fotos panorâmicas 360°, fotos convencionais ou uma combinação de ambas, representando um espaço físico ou modelado tridimensionalmente.

Para obtenção dessas imagens, a empresa utilizou uma câmera 360° (Figura 1), modelo Ricoh Theta SC2, equipada com lentes de 180° em cada lado e resolução de 12 MP. Essa câmera pode ser utilizada acoplada a capacetes (forma mais ágil, pois permite deslocamento durante a captura das imagens) ou posicionada em tripés em campo. A câmera possui conexão Wi-Fi, que permite sua integração a dispositivos móveis por meio do aplicativo da Rico Theta. Assim, as duas câmeras são sincronizadas, possibilitando visualizar em tempo real o enquadramento da câmera 360°, capturar imagens do ambiente diretamente do aparelho móvel utilizado e, em seguida, realizando o *upload* das fotografias para a galeria.

Na fase de elaboração, inicialmente cria-se um nome e uma introdução personalizados para o *tour*, realizando o carregamento das fotografias que serão utilizadas (Figura 2). Em razão disso, é recomendável agrupar as imagens em uma pasta única e nomear adequadamente os arquivos, facilitando a identificação de cada ambiente durante o processo de postagem na plataforma Kuula, visto que o nome dos arquivos é armazenado na descrição. Também é possível ajustar a qualidade e o nível de compressão das imagens. Nas configurações do passeio (Figura 3), pode-se selecionar um tipo de transição animada, proporcionando a sensação de caminhada (*Walk-in*), além de habilitar o modo de navegação ou adicionar trilhas sonoras de fundo.

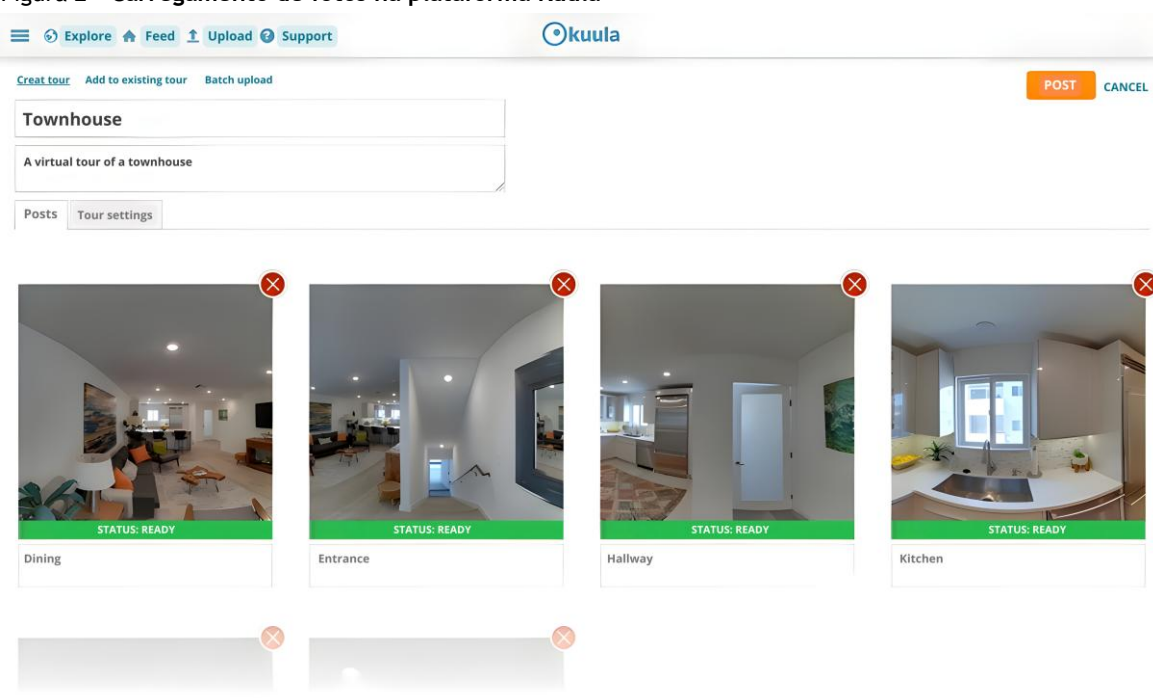
A criação do *tour* consiste em agrupar as imagens e conectá-las através de pontos interativos e personalizados (*hotspots*), que permitirão a movimentação entre os ambientes inseridos, assim como a adição de textos, ícones de setas ou informações sobre a fotografia visualizada, como mostrado na Figura 4. Assim, cria-se a sensação de deslocamento contínuo, com *links* e *backlinks* entre os pontos do ambiente virtual.

Figura 1 - Câmera 360°, modelo Ricoh Theta SC2



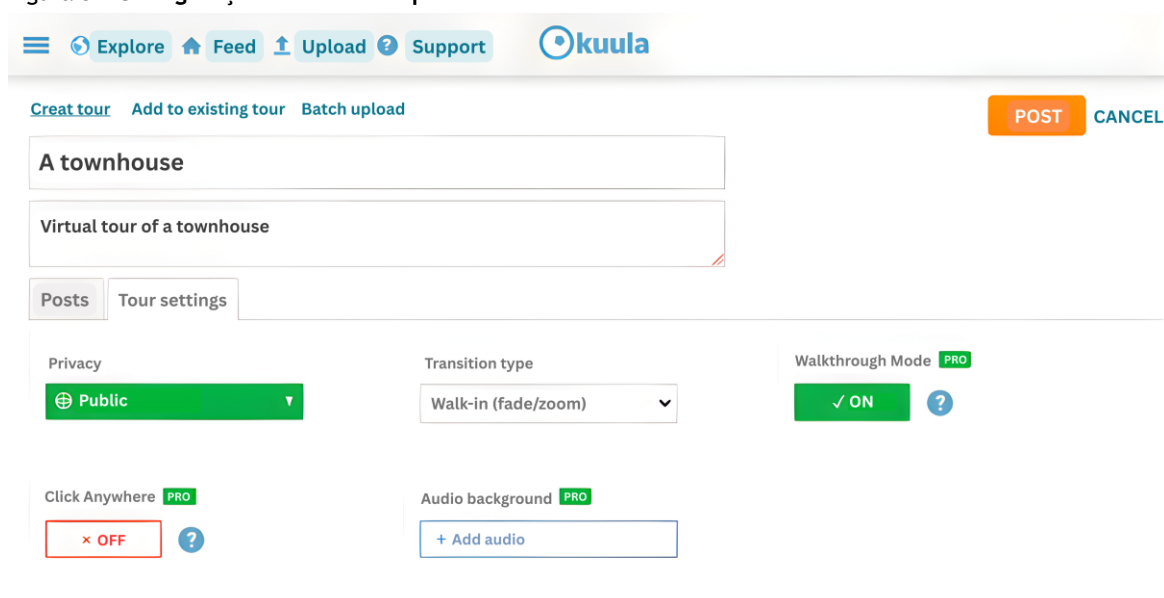
Fonte: empresa estudada.

Figura 2 - Carregamento de fotos na plataforma Kuula



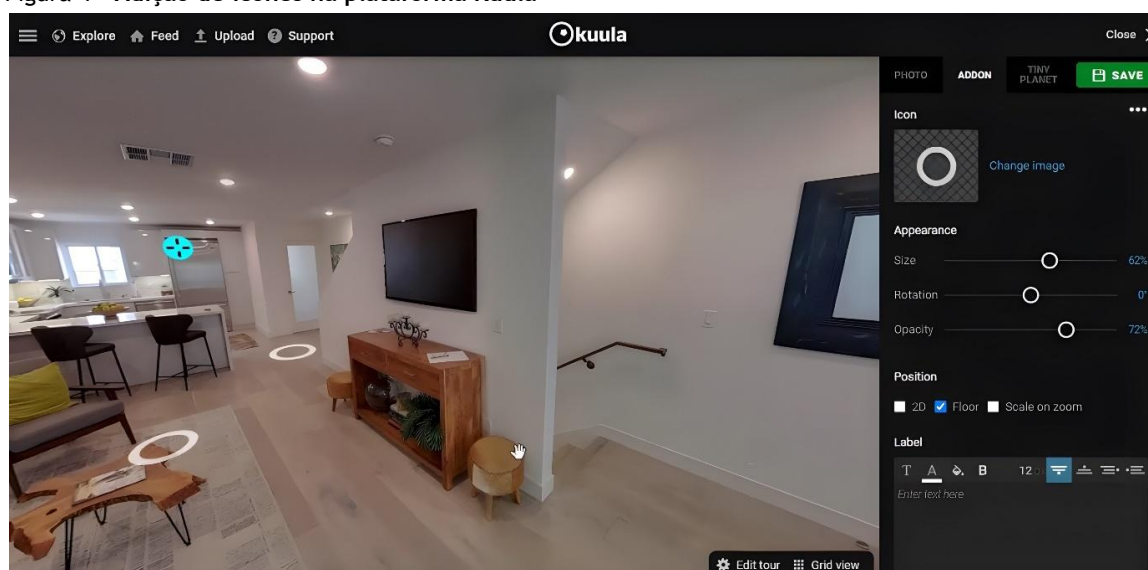
Fonte: adaptado de Kuula (2016).

Figura 3 - Configurações do Tour na plataforma Kuula



Fonte: adaptado de Kuula (2016).

Figura 4 - Adição de ícones na plataforma Kuula



Fonte: Kuula (2016).

Para facilitar a navegação, principalmente em projetos de grande porte, a plataforma também permite a navegação a partir de uma planta baixa, através de ícones clicáveis posicionados nos ambientes. Para isso, a planta baixa deve ser inserida no Kuula em formato JPG ou PNG. Na Figura 5 é apresentado um exemplo de planta baixa com *hotspots* personalizados em formato circular e na cor amarela.

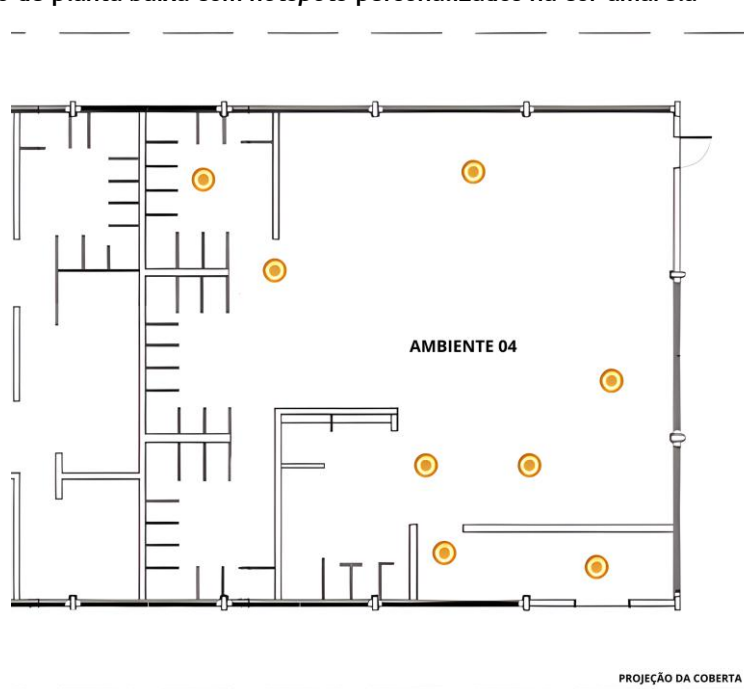
Após a edição do *tour*, este pode ser compartilhado através de um *link* exclusivo, no qual é possível inserir a logomarca do cliente ou da empresa. Outra funcionalidade disponível no Kuula consiste na adição de geolocalização das imagens, que pode ser ativada conectando a câmera 360° ao celular e habilitando a função de captura de GPS do dispositivo móvel.

Por último, os resultados do *tour* puderam ser visualizados pelas partes interessadas (cliente, gerente e coordenador de projeto, e projetistas responsáveis pelo desenvolvimento do empreendimento) tanto por meio de óculos de realidade virtual (sendo utilizado o modelo Oculus Quest 2 pela empresa, com resolução de 1832 x 1920 por olho) quanto pela tela de um aparelho de celular ou computador. Mais detalhes sobre o desenvolvimento de um *tour virtual* podem ser obtidos através do tutorial oferecido pela plataforma Kuula (2016).

3.4 Coleta de dados

Os dados analisados neste estudo foram coletados através de reuniões e documentos trocados com os gerentes dos projetos e demais profissionais envolvidos no seu desenvolvimento. As reuniões citadas tiveram caráter técnico/operacional, com o objetivo de esclarecer dúvidas e repassar documentos. Além disso, a empresa conta com um portal de domínio interno, restrito aos colaboradores, que permite o acesso a arquivos e links que detalham os projetos desenvolvidos e suas aplicações tecnológicas. Todas as informações utilizadas foram obtidas a partir de relatórios técnicos, apresentações em PowerPoint, *feedbacks* formalizados pelos clientes e materiais informativos consolidados pela própria organização. Esses documentos apresentavam uma visão geral do procedimento de implementação da RV nos projetos, incluindo, quando possível, métricas de eficiência, tempo, benefícios observados e limitações encontradas.

Os dados foram coletados tendo como critérios a identificação de: quais as características e dimensões do projeto, no caso de edificações; como foi desenvolvida a aplicação do *tour virtual* no projeto; qual o tipo de uso observado (engajamento do cliente, suporte ao projeto, suporte à construção, auxílio à manutenção, entre outros); e quais os benefícios e limitações reportados em cada caso.

Figura 5 - Exemplo de planta baixa com *hotspots* personalizados na cor amarela

Fonte: empresa estudada.

Neste estudo, o processo de implementação da tecnologia foi inicialmente apresentado de forma unificada na metodologia, com o propósito de descrever as etapas gerais, os procedimentos e os critérios adotados de maneira comum a todos os projetos analisados. Em seguida, cada caso foi caracterizado individualmente, destacando-se as particularidades técnicas para a aplicação da RV, as condições específicas de execução e os resultados observados em cada contexto.

Ressalta-se que a coleta teve um caráter teórico e analítico, e o artigo se baseia em informações já consolidadas em documentos, sem percepções individuais dos projetistas, não expondo riscos éticos aos seres humanos. Todas as imagens utilizadas foram previamente autorizadas pela instituição responsável, mediante concordância formal para fins acadêmicos. Além disso, foram adotadas medidas para preservar a confidencialidade das informações, como a exclusão de dados sensíveis, a omissão de logotipos e a apresentação dos conteúdos de forma agregada e anônima, sem exposição de informações pessoais de colaboradores da empresa.

3.5 Análise SWOT

A metodologia SWOT (*Strengths, Weakness, Opportunities, Threads*) é utilizada como uma ferramenta de apoio ao planejamento estratégico, permitindo avaliar os pontos fortes, fracos, as oportunidades e as ameaças que estão relacionados a um projeto. Primeiro, são coletados os dados que servirão de base para a estrutura da análise. Em seguida, essas informações são classificadas em fatores que podem ser controlados (internos) e fatores que não podem ser controlados (externos). Ao final, tem-se um quadro resumo com os rótulos determinados após a análise. Os pontos fortes e as oportunidades levantadas nessa análise são fatores que contribuem para o sucesso, enquanto as fraquezas e ameaças representam elementos que podem impedir esse resultado (Bayraktar; Yuksel, 2023).

Assim, visando realizar uma análise aprofundada dos estudos de caso apresentados, é desenvolvida uma análise SWOT dos dados coletados dos projetos, com a finalidade de incentivar a adoção de aplicações futuras de RV em empresas, direcionando para um planejamento e uma tomada de decisão mais eficazes. Para isso, as informações documentais relevantes foram compiladas com base em questões tecnológicas, técnicas, limitações, versatilidade e custos que marcaram a implementação do *tour* virtual nesses projetos. Em seguida, esses dados foram classificados em forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, resultando, ao final, em um quadro resumo com os elementos categorizados.

A taxonomia adotada baseia-se em Bayraktar e Yuksel (2023), que evidenciam que os pontos fortes representam vantagens internas que potencializam a eficácia da solução, como recursos tecnológicos disponíveis. As fraquezas correspondem a limitações internas relacionadas a habilidades, recursos ou processos. As oportunidades são fatores externos favoráveis que podem ser aproveitados para melhorar o desempenho, como a crescente demanda por imersão digital, enquanto as ameaças incluem riscos externos que podem comprometer os resultados, como a competição tecnológica.

4 Estudos de caso

4.1 Hospital Regional

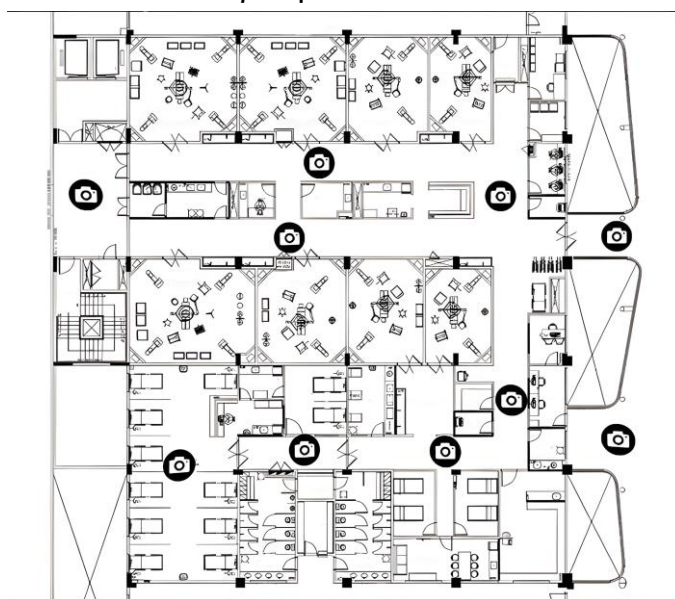
Para esse empreendimento, as disciplinas recebidas em formato CAD 2D foram modeladas em BIM e posteriormente renderizadas em 360°. A montagem e concepção do protótipo demandaram cerca de 60 dias, reunindo sete profissionais habilitados: três de arquitetura; dois técnicos de instalações complementares (que estavam alocados em diversos projetos); e dois pessoas de suporte técnico.

O protótipo de modelagem teve como objetivo compatibilizar e modelar em 3D dois setores do Hospital, servindo como ferramenta de auxílio à equipe de manutenção. As duas áreas utilizadas fazem parte do pavimento superior do 2º pavimento, consistindo, respectivamente, no centro cirúrgico, com 1053,33 m², e na Unidade de Terapia Intensiva (UTI) adulto 2, com 759,83 m².

O *tour* focou no suporte ao projeto e utilizou de fotos 360° tanto da obra concluída quanto do projeto modelado. Ao todo, conta com 708 imagens 360° integradas e duas plantas baixas, totalizando 710 imagens. As fotos iniciais foram registradas durante uma semana, porém foi necessária a captura de imagens adicionais até a finalização da obra. A planta baixa do setor 1, com *hotspots* personalizados, pode ser vista na Figura 6.

Para desenvolvimento do *tour* virtual, antes da escolha da plataforma Kuula, foram realizados testes em duas outras plataformas: Dalux e Holobuilder. No Dalux, era possível criar chamadas de manutenção, isto é, registros ou solicitações inseridas diretamente no ambiente virtual que indicam pontos do ambiente onde havia necessidade de inspeção, correção ou acompanhamento. Essa funcionalidade facilitava a identificação do local e/ou instalação a serem verificados. Além disso, era possível seccionar os ambientes, estimar medições por meio de um sistema integrado ao modelo BIM e comparar a imagem real com o modelo. Já o Holobuilder também permitia realizar medições estimadas e comparações entre a obra, o projeto e o produto finalizado. Entretanto, embora o Kuula não apresentasse a função como dimensionamento, medição de distâncias e seccionamento das imagens 360°, tratava-se de um aplicativo para o qual a empresa já possuía licença, e que apresentava menor custo em comparação às outras duas plataformas citadas. Assim, atendia às necessidades naquele momento e demonstrava facilidade de uso, principalmente para movimentação entre os links.

Figura 6 - Planta baixa do setor 1 com *hotspots* personalizados em formato de câmera



Fonte: empresa estudada.

Na entrada do centro cirúrgico, por exemplo, foram inseridas informações sobre o setor através de pontos interativos (*hotspots* de texto), além da possibilidade de alternar entre o ambiente real e o projeto modelado. Alguns locais também apresentavam fichas de verificação, com detalhes sobre área, revestimentos, acabamentos, esquadrias etc. O *tour* disponibilizava, ainda, a opção de visualizar as instalações do ambiente durante o percurso e através de uma vista superior (Figura 7).

A partir de reuniões de *feedback* realizadas pela empresa, nas quais foram aplicados formulários de satisfação, constatou-se que o *tour* 360° proporcionou maior engajamento do cliente. Esse fato foi evidenciado à medida o passeio virtual permitiu a visualização tridimensional do empreendimento de forma interativa, com acesso às instalações e a informações relevantes. Conforme coletado dos clientes, o passeio virtual evitou seu deslocamento até a obra, facilitando o acompanhamento remoto da execução, especialmente considerando que a obra estava localizada no interior. Os projetistas também foram beneficiados por esse acompanhamento remoto. Assim, o *tour* possibilitou a elaboração do relatório final da obra e a apresentação do empreendimento para aqueles que não haviam participado do projeto.

O processo inicial apresentou dificuldades relacionadas ao tempo de adaptação para transformar o modelo do Hospital para RV, já que os projetos originais estavam em 2D. Foi necessário que os projetistas criassem o modelo *as built*, inexistente à época, transformando os projetos em BIM, integrando as disciplinas e realizando a compatibilização. Outra dificuldade consistiu em adaptar o modelo para permitir a visualização das instalações. Esse procedimento preliminar levou cerca de 30 dias adicionais para a criação do protótipo.

As limitações apresentadas pelos profissionais da empresa estavam relacionadas às restrições das funções oferecidas pelo Kuula, que não disponibilizava a ferramenta de realizar medições e seccionar imagens 360°.

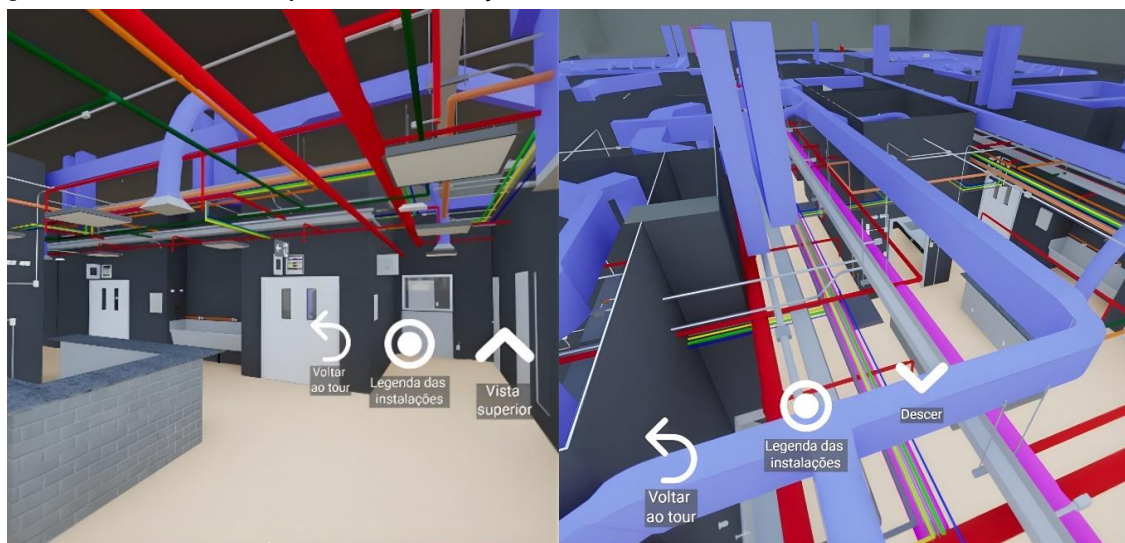
4.2 Teatro do Parque

O Teatro do Parque possui uma área construída de cerca de 2.700 m², com capacidade para comportar mais de 1.000 pessoas. O objetivo da obra foi o restauro, a reforma e a ampliação da edificação, preservando suas características originais datadas de 1929, que haviam sido camufladas após sucessivas reformas. Esse foi o primeiro projeto da empresa no qual se desenvolveu um *tour* virtual.

Inicialmente, foram realizados testes com o uso de um drone com voo panorâmico para registrar as fotos que seriam transformadas em imagens 360°. Entretanto, a tentativa com o drone não foi satisfatória, devido à dificuldade de capturar imagens com qualidade adequada. Consequentemente, optou-se por desenvolver o passeio virtual da edificação utilizando uma câmera 360°.

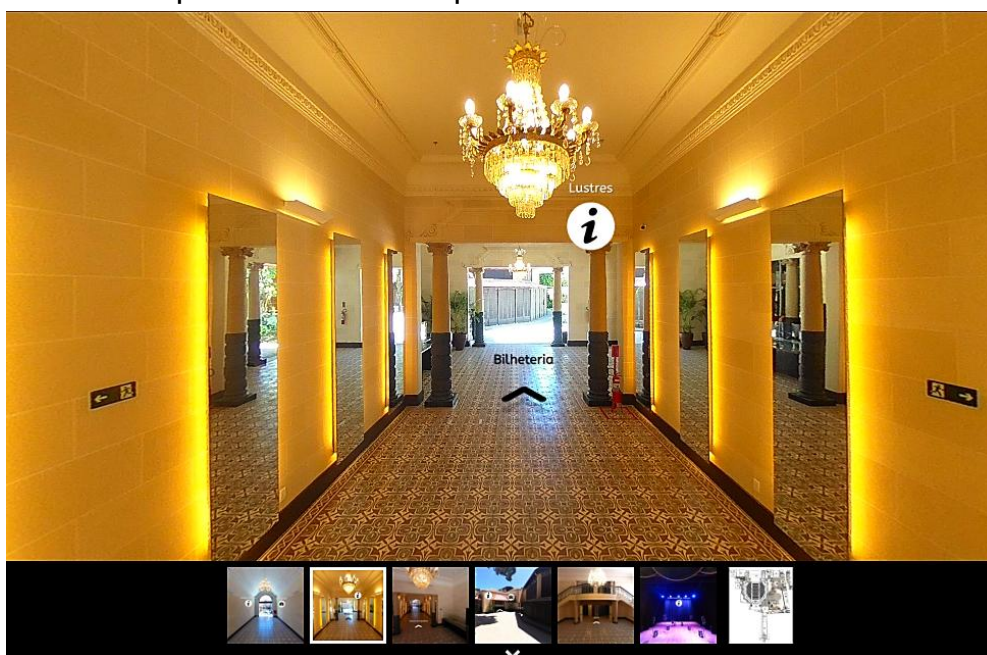
O *tour* é constituído por seis imagens com câmera 360°, uma planta baixa, trilha sonora, informações históricas, curiosidades sobre a estrutura e a restauração, além de fotos comparativas do ambiente antes da reforma (Figura 8) e elementos de decoração, como os lustres da galeria de espelhos (Figura 9), permitindo visualizar desde a fachada até o palco.

Figura 7 - Vista frontal e superior das instalações



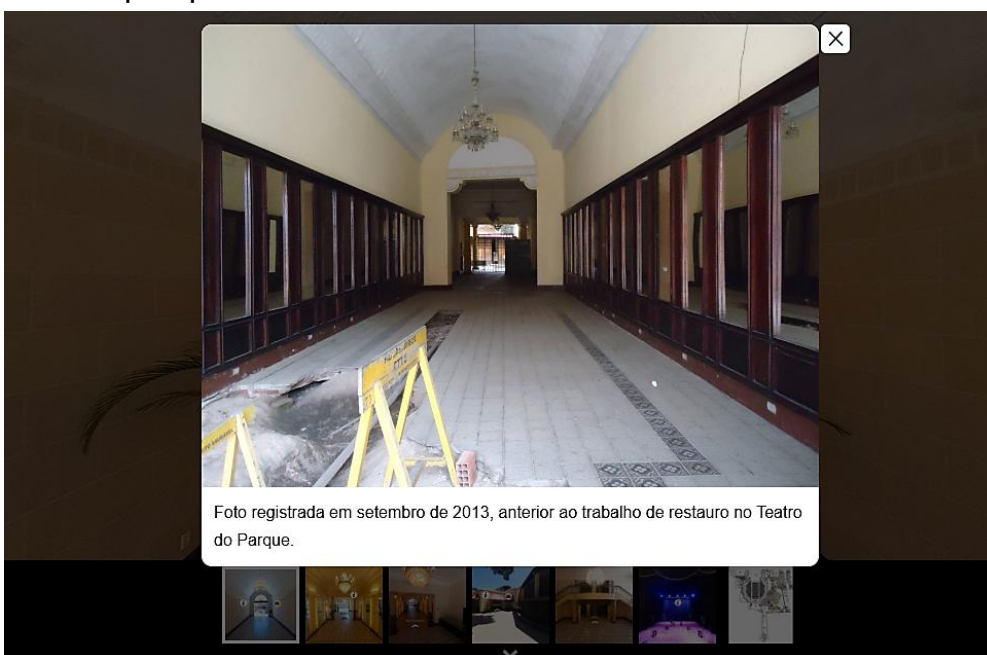
Fonte: empresa estudada.

Figura 8 - Galeria de espelhos do Teatro do Parque



Fonte: empresa estudada.

Figura 9 - Entrada principal antes da reforma



Fonte: empresa estudada.

Foram realizados diversos *tours* ao longo da obra, oferecendo suporte à fase de construção do projeto de reforma e registrando um histórico do seu avanço/acompanhamento. Como a reforma foi finalizada durante a pandemia do COVID-19, o acesso e o deslocamento até a obra eram dificultados. Assim, o *tour* possibilitou que todos que desejassem conhecer o Teatro restaurado pudessem visitar o ambiente virtualmente. Houve, ainda, a aproximação dos clientes com os colaboradores de forma imersiva, sem a necessidade de deslocamento até o local da construção.

O engajamento do cliente também foi beneficiado pelo uso de *hotspots*, que acrescentaram detalhes adicionais sobre a história dos ambientes presentes no passeio virtual. Dessa forma, além da camada informativa sobre o espaço em si, foram incluídos detalhes sobre elementos como tipos de pintura ou objetos utilizados. O *tour* encontra-se disponível de forma pública pela Prefeitura do Recife, no site oficial do Teatro do Parque, e pode ser visualizado em Recife (2020).

4.3 Complexo Prisional

O Complexo Prisional analisado conta com uma área de construção de 6.249,33 m², sendo formado por sete unidades prisionais, das quais cinco são destinadas aos reeducandos masculinos e duas às reeducandas femininas. Inicialmente, foi realizada a modelagem em BIM dos projetos, visando à compatibilização das disciplinas. Também foi utilizado um *software* específico de planejamento 4D para acompanhar o comparativo entre o real e o atual da obra.

O desenvolvimento do *tour* foi realizado igualmente para suporte à construção, a partir de levantamento por drone para gerar as imagens 360° da construção real. Capturas do projeto tridimensional também foram efetuadas, permitindo a visualização das imagens em campo juntamente com o modelo BIM desenvolvido. Assim, com o uso do BIM, foi possível realizar medições diretamente no *tour* (Figura 10).

4.4 Centro de Convenções

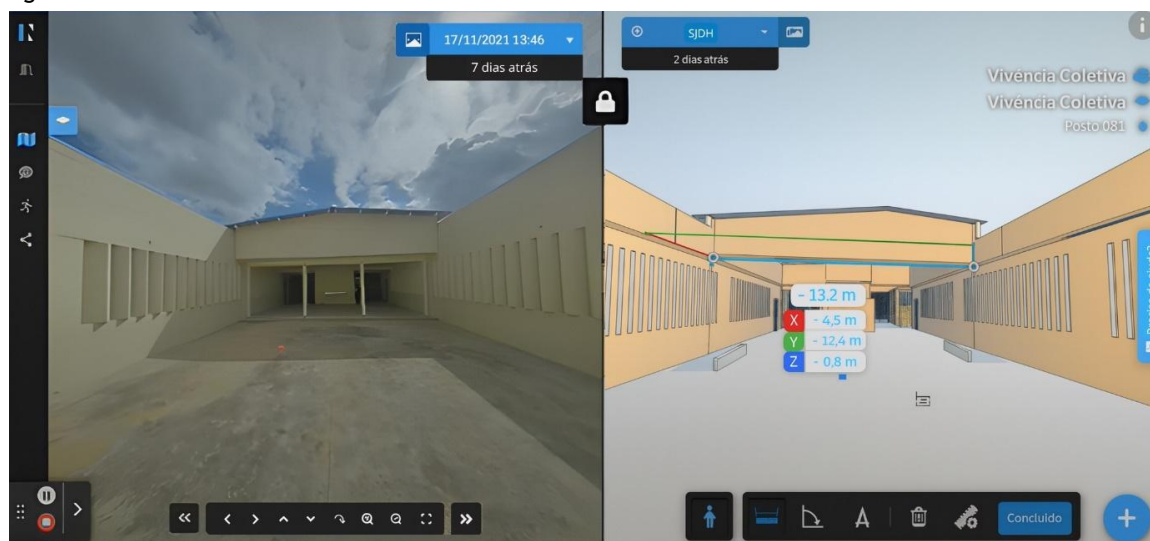
O projeto do Centro de Convenções englobou o prédio principal, com 10.334,92 m², e um pavilhão de eventos com seus blocos anexos, totalizando 7.898,40 m², além de um estacionamento com mais de quinze mil metros quadrados. O *tour* virtual do Centro de Convenções funcionou de forma similar ao do Teatro do Parque, servindo de suporte à fase de construção para o acompanhamento remoto da obra de reforma e revitalização. Ao todo, o *tour* conta com 47 imagens, incluindo-se a planta baixa geral, mostrada na Figura 11, e o bloco de eventos (Figura 12).

4.5 Binário

O *tour* virtual do Binário (Figura 13) serviu de base para o levantamento cadastral, visando ao suporte à fase de projeto, permitindo a análise do entorno urbano e das edificações existentes. A aplicação teve como principal objetivo registrar as características construtivas do local, de modo a subsidiar as decisões de projeto.

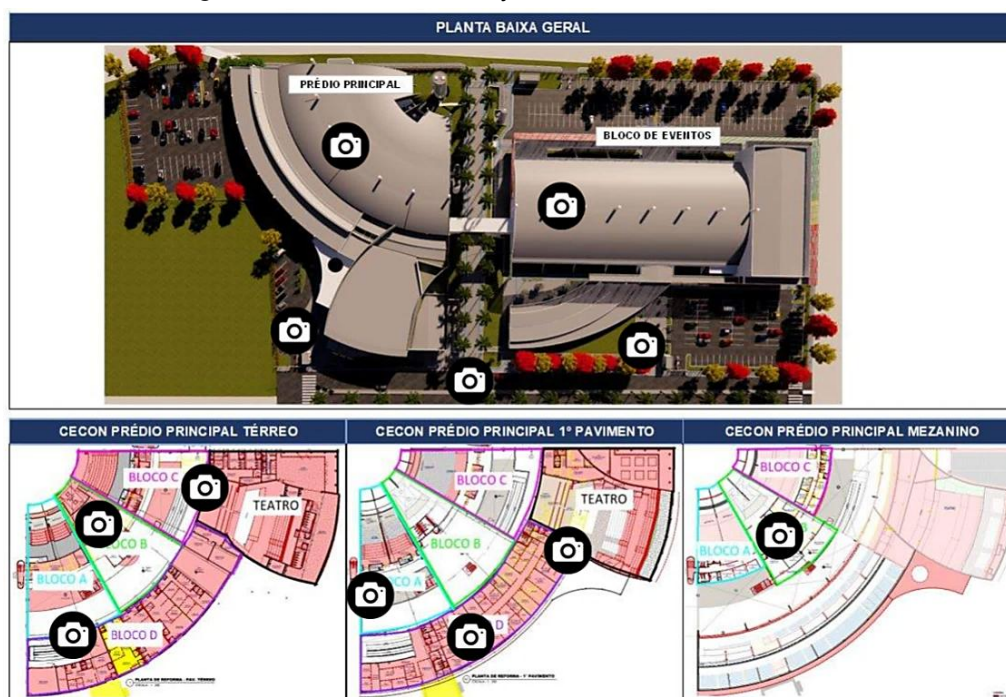
Assim, foi possível obter informações sobre o tipo de material das calçadas e das fachadas das edificações. Inicialmente, as informações foram levantadas em campo. Porém, a realidade virtual facilitou a revisão dos dados, reduzindo a necessidade de realizar novas visitas para esclarecer dúvidas, visto que o ambiente já estava registrado no *tour* virtual.

Figura 10 - Tour virtual da obra e do modelo BIM



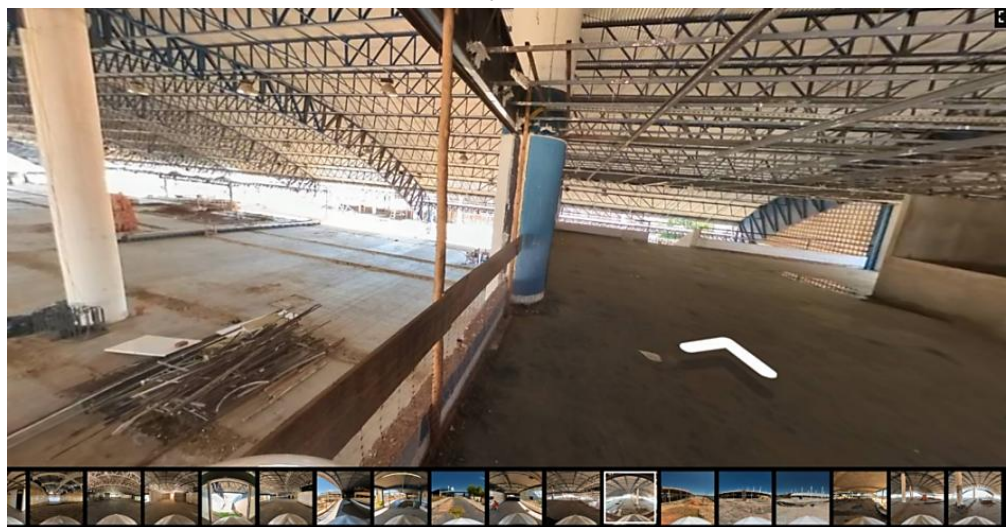
Fonte: empresa estudada.

Figura 11 - Planta baixa geral do Centro de Convenções



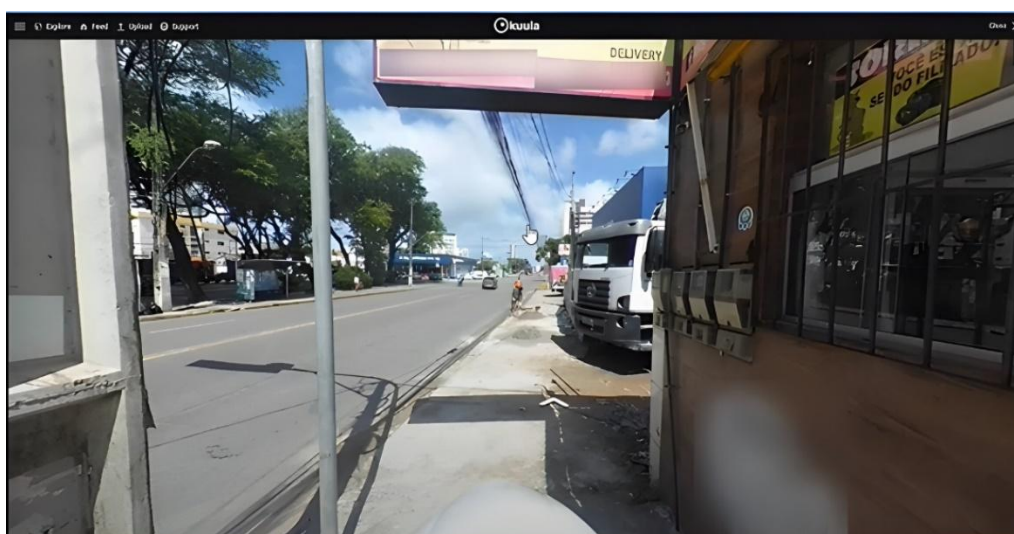
Fonte: empresa estudada.

Figura 12 - Bloco de eventos do Centro de Convenções



Fonte: empresa estudada.

Figura 13 - Tour virtual do Binário



Fonte: empresa estudada.

5 Resultados e discussões

Ao todo, foram reunidos cinco casos práticos de aplicação de realidade virtual. Estes foram organizados de acordo com os objetivos de sua adoção e apresentados na Figura 14. Os projetos analisados utilizaram o *tour* virtual para diferentes casos de uso, sendo eles: engajamento do cliente; suporte ao projeto; suporte à construção; e auxílio à manutenção. Na maioria dos projetos, o *tour* abrangia mais de um tipo de aplicação.

5.1 Engajamento do cliente

A aplicação da RV para engajamento do cliente foi observada nos projetos do Teatro do Parque e do Hospital Regional. Em ambos os casos, a tecnologia funcionou como uma interface de comunicação visual entre a empresa e as partes interessadas, permitindo uma compreensão mais intuitiva do projeto.

No Teatro do Parque, o *tour* virtual proporcionou uma visita imersiva ao edifício restaurado, permitindo que o público conhecesse o espaço mesmo durante o período de pandemia. Essa aplicação reforçou o papel da RV como meio de divulgação e valorização patrimonial, envolvendo o âmbito técnico e alcançando também a dimensão social e cultural do projeto. A experiência coletada do cliente foi positiva, destacando-se a sensação de “presença virtual” e de exploração autônoma do espaço, aspectos também discutidos por Wu e Lai (2021) como determinantes para o fortalecimento da percepção de valor do público.

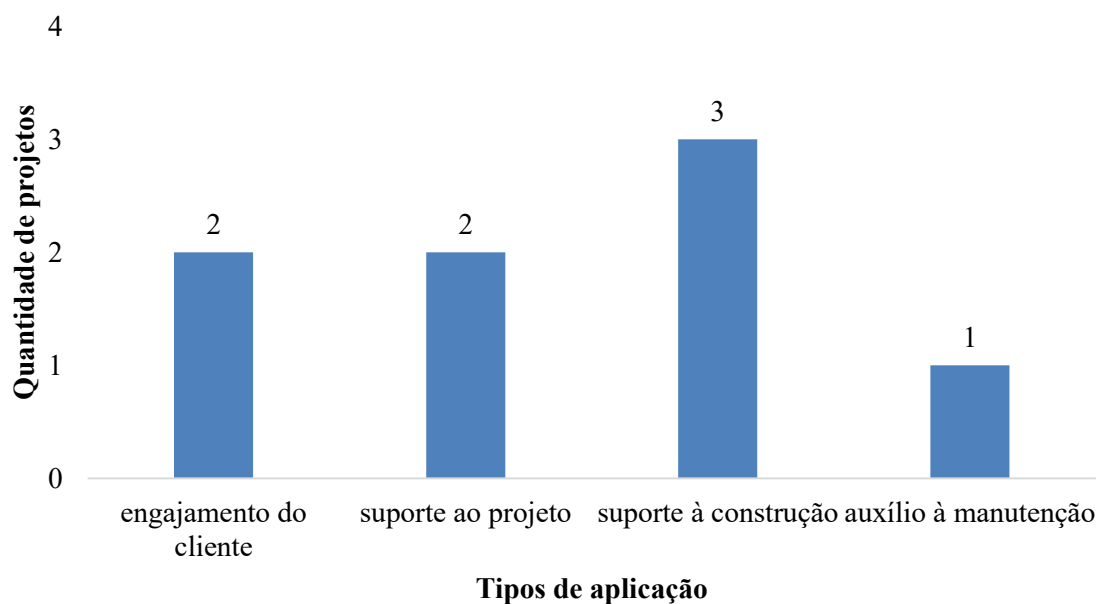
No Hospital Regional, a RV foi empregada de forma mais técnica: os clientes puderam acompanhar remotamente o andamento do projeto e compreender melhor as soluções de modelagem. O *tour* 360° facilitou a comunicação entre projetistas e contratante, reduzindo discrepâncias na interpretação das disciplinas e das instalações. Esses resultados são coerentes com os achados de Spielmann e Mantonakis (2018), que evidenciam que *tours* interativos fortalecem o vínculo entre usuários e produto, criando engajamento cognitivo.

De modo geral, o uso da RV nessa categoria ampliou a transparência das etapas de desenvolvimento do projeto e favoreceu uma relação mais colaborativa entre cliente e equipe técnica. Além disso, reforçou o valor institucional da empresa, que passou a apresentar seus empreendimentos com maior grau de inovação e acessibilidade.

5.2 Suporte ao projeto

O suporte ao projeto foi identificado principalmente nos casos do Hospital Regional e do Binário, demonstrando o potencial da RV como ferramenta complementar ao processo de modelagem e compatibilização em BIM.

Figura 14 - Casos de aplicação do Tour Virtual



No Hospital Regional, a integração entre o modelo BIM e o ambiente virtual possibilitou a revisão tridimensional dos elementos e a identificação de interferências antes da execução. A visualização imersiva otimizou o processo de compatibilização entre disciplinas e reduziu a necessidade de retrabalhos. Esse achado está alinhado com o estudo de Paes, Arantes e Irizarry (2017), que destaca a melhoria na percepção espacial pelos profissionais e a maior agilidade na análise de alternativas de projeto quando há suporte de ambientes virtuais interativos.

No Binário, o *tour* foi utilizado para levantamento cadastral e verificação de informações de campo. A reprodução digital do espaço físico eliminou a necessidade de visitas adicionais, tornando a revisão dos dados mais rápida e precisa. Essa abordagem demonstra a viabilidade prática da RV como ferramenta de diagnóstico visual em ambientes urbanos complexos, sobretudo quando integrada a modelos georreferenciados.

Apesar das vantagens, foram observadas limitações técnicas no uso do *software* Kuula, que não dispõe de funções de medição nem de seccionamento de imagem, restringindo análises mais detalhadas no projeto.

A aplicação da RV nesta fase contribuiu para otimizar a etapa de concepção e coordenação de projetos, oferecendo uma alternativa eficiente para validação visual dos detalhes construtivos.

5.3 Suporte à construção

O suporte à construção foi o tipo de aplicação mais recorrente, abrangendo três dos cinco projetos: Teatro do Parque, Complexo Prisional e Centro de Convenções. Nesses casos, a RV foi utilizada como ferramenta de acompanhamento remoto da construção, registro das etapas executivas e comunicação entre equipes.

No Teatro do Parque, o *tour* documentou o processo de restauro e permitiu o acompanhamento virtual do avanço das obras. Já no Complexo Prisional, o *tour* foi desenvolvido a partir de imagens aéreas e do modelo BIM, o que possibilitou comparações diretas entre o projeto e execução real. Gan, Liu e Li (2022) também demonstram esse potencial integração BIM-RV para simulações interativas e análise de desempenho de edificações.

O Centro de Convenções apresentou uso semelhante, permitindo o monitoramento do progresso físico por gestores e coordenadores externos. O acesso remoto foi apontado como benefício relevante, principalmente para obras de grande porte ou localizadas fora dos centros urbanos.

Os diferentes tipos de *tours* empregados, desde modelos baseados em imagens 360° até combinações com modelagem BIM, demonstram que o nível de imersão pode ser ajustado conforme o objetivo de cada obra. Essa flexibilidade foi percebida positivamente pelos participantes, que destacaram a facilidade de uso em dispositivos móveis e a clareza visual das informações.

5.4 Auxílio à manutenção

O uso da RV como ferramenta de auxílio à manutenção foi verificado apenas no Hospital Regional, sendo um dos resultados mais promissores para aplicações futuras. O tour desenvolvido incluiu todas as instalações prediais e permitiu a visualização das redes e sistemas antes da execução de serviços, facilitando o planejamento de intervenções.

Essa prática representa um passo inicial para integração entre RV e gestão de ativos (*facility management*), conforme discutido por Leygonie, Motamedi e Iordanova (2022). A imersão no ambiente digital facilita a identificação de elementos críticos e pode reduzir erros em inspeções ou atividades de manutenção corretiva.

Mesmo que a plataforma utilizada não permitisse realizar anotações, foram inseridas fichas de verificação preenchidas dentro dos ambientes do projeto. O caso analisado demonstra que a RV pode desempenhar papel relevante na documentação e otimização de processos de manutenção preventiva, sobretudo em empreendimentos complexos como hospitais.

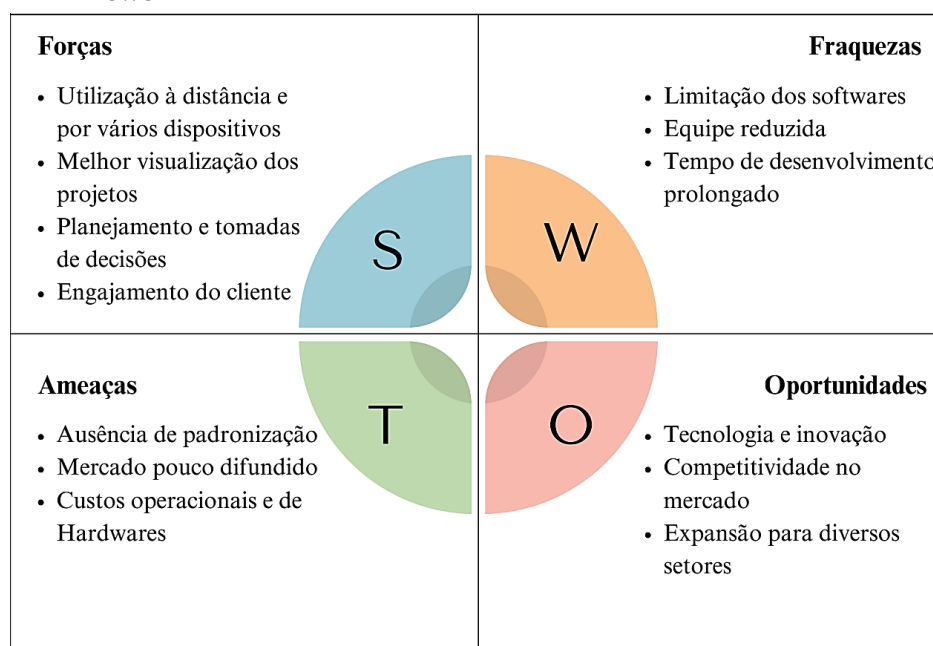
5.5 Análise SWOT

Os dados levantados das aplicações de realidade virtual foram organizados por meio de uma análise SWOT (forças, fraquezas, oportunidades e ameaças), como mostrado na Figura 15. O uso da RV se destacou positivamente por poder ser empregada em diversos aparelhos, sejam eles móveis (como celulares e tablets) ou fixos (como desktops), permitindo o acesso à sua interface em qualquer local. Lu *et al.* (2021) afirmam que o público em geral pode desfrutar de uma experiência de turismo virtual imersiva usando um aplicativo online ou vídeo por meio de qualquer dispositivo, contribuindo para a sustentabilidade, à medida que ajuda a minimizar as emissões de gases de efeito estufa geradas pelo transporte.

A possibilidade de utilização à distância permitiu que, durante a pandemia, o cliente acompanhasse a obra de forma virtual, sem necessidade de deslocamento, como ocorreu no projeto do Teatro do Parque. Já no levantamento cadastral do Binário, o *tour* evitou o retorno à obra para a visualização das informações de projeto.

Essa tecnologia demonstra força por transformar a forma como os projetos são visualizados, proporcionando uma experiência imersiva em ambiente virtual e gerando uma interface entre o modelo BIM e o ambiente real (como observado no Complexo Prisional e no Hospital Regional) ou entre o ambiente real em construção para apoio a reformas (Centro de Convenções e Teatro do Parque).

Figura 15 - Análise SWOT



Spielmann e Mantonakis (2018) apontam que os passeios virtuais se destacam de outros formatos de mídia por três razões principais:

- (a) oferecem controle e navegação personalizados pelo usuário;
- (b) possibilitam uma visão interna, sem riscos ou investimento físico/financeiro por parte do consumidor; e
- (c) proporcionam uma experiência imersiva de telepresença.

Em especial, o *feedback* coletado dos clientes foi fator comprovador do maior engajamento gerado nos projetos, corroborando com o trabalho de Wu e Lai (2021), que afirmam que a RV oferece oportunidades inovadoras de interação com os clientes, promovendo maior qualidade na experiência do usuário e um relacionamento interativo com os objetos do ambiente, de forma a melhorar a avaliação da marca e a confiança.

No caso particular do Hospital Regional, por terem sido incluídas as instalações no *tour* virtual, agregou-se o suporte à operação e manutenção, uma vez que é possível detectar as instalações presentes em todos os ambientes antes de realizar qualquer intervenção, proporcionando melhor planejamento dessa fase do empreendimento. A visualização tridimensional de dados reais ou modelados e sua capacidade de interação são cruciais para enriquecer a interpretação das informações e subsidiar tomadas de decisões (Slater; Sanchez-Vives, 2016).

Como fraqueza, destaca-se principalmente a limitação dos *softwares*, cujas versões mais difundidas no mercado ainda possuem ferramentas básicas. O *software* utilizado na empresa, o Kuula, não oferece opções para realizar medições, abrir relatórios de manutenção ou seccionar os ambientes. Esses fatores dificultam a aplicação da RV para a fase de operação da construção. Outra limitação refere-se ao tempo de pós-processamento das imagens em projetos de grande porte. Ainda assim, os resultados demonstram que plataformas acessíveis, como o Kuula, podem proporcionar benefícios concretos para gestão e acompanhamento de obras. De acordo com Chang *et al.* (2023), a maioria dos *tours* virtuais opera de maneira unidirecional, fornecendo aos usuários informações exclusivamente através de imagens ou vídeos do ambiente virtual. Essa abordagem limita a possibilidade de uma comunicação mais dinâmica entre as pessoas envolvidas, pois não há ambiente de diálogo dentro da plataforma.

A presença de uma equipe reduzida está atrelada à carência de profissionais capacitados em *softwares* de realidade virtual. Devido à reduzida disseminação dessa tecnologia no mercado de trabalho, um número restrito de trabalhadores é designado e treinado para realização dos projetos virtuais. Bakhoun *et al.* (2023) expõem que as principais razões para não se usar a RV estão associadas à falta de necessidade, decorrente da ausência de solicitação do proprietário, e à escassez de indivíduos qualificados para implementá-la de forma eficiente.

A criação de soluções personalizadas de RV tende a ser demorada, visto que frequentemente envolve fases extensivas de design e testes iterativos, o que pode ampliar consideravelmente o prazo de implementação. A necessidade de refinamento contínuo prolonga o desenvolvimento, especialmente em projetos que exigem funcionalidades especializadas.

De acordo com Nadkarni e Prugl (2021), para obter uma transformação digital eficaz, é essencial promover mudanças em diversos níveis da organização. Isso inclui ajustar o núcleo do negócio, substituir recursos e capacidades, reconfigurar processos e estruturas, adaptar a liderança e estabelecer uma cultura digital dinâmica.

O que ameaça a sua utilização é que essa tecnologia ainda está em processo de evolução e necessita de maior desenvolvimento e padronização técnica para abranger um número mais amplo de usuários. O mercado ainda pouco difundido limita o montante de potenciais clientes e dificulta a sustentação desse campo nas empresas.

A RV requer avanços técnicos e padronização antes de ser amplamente aplicável a todos os usos potenciais. Atualmente, a sua padronização e forma de apresentação ainda são limitadas, uma vez que cada desenvolvedor pode adotar especificações próprias, o que dificulta a compatibilidade entre dispositivos, a usabilidade e o recebimento de suporte adequado (Hamad; Jia, 2022).

Ainda, os custos operacionais e de hardware envolvidos podem ser elevados, como exposto neste trabalho ao descrever o processo de escolha do *software* para o *tour* virtual. Muitas vezes, as empresas optam por aplicativos mais acessíveis, mas que ainda atendem às necessidades do projeto. Os hardwares também são fundamentais para proporcionar melhor experiência nas plataformas, já que são responsáveis por trazer uma experiência de qualidade aos usuários. Entretanto, quanto maior o poder de processamento e a capacidade desses dispositivos, maior o custo de aquisição. Em razão disso, os *headsets* de realidade virtual ainda não são amplamente utilizados.

Yang *et al.* (2024) abordam que o custo de criação e manutenção dos ambientes virtuais traz dificuldades de implementação em locais de trabalho e ambientes educacionais. Além disso, há desafios contínuos, como a necessidade de atualizações frequentes de *softwares*, manutenção do hardware e altos requisitos técnicos para criar conteúdo realista. Apesar das vantagens, ainda há falta de conhecimento acerca dessas tecnologias, além de baixa usabilidade, elevado tempo de implementação e dificuldade de aceitação (Delgado *et al.*, 2020).

De toda forma, a realidade virtual representa uma oportunidade de promover inovação por meio da inserção de novas formas de manipular os projetos. Assim, agrega maior valor e destaque para a empresa, proporcionando vantagem competitiva na obtenção de novos contratos e aumento da credibilidade aos clientes, que demonstram maior interesse em soluções inovadoras e na possibilidade de obter maior visibilidade com o uso dessa tecnologia. Esse fato pode ser observado no caso do Teatro do Parque, no qual o *tour* virtual é disponibilizado pela prefeitura para visitação a qualquer momento.

Além disso, o uso da RV promove a integração e a modelagem multidisciplinar, suportando de maneira eficaz os objetivos estratégicos de negócios e a gestão de projetos, facilitando a transformação e o progresso dentro da organização, conforme afirma Bakhoun *et al.* (2023). A realidade virtual se desenvolveu a um nível em que pode ser implementada em vários campos e indústrias, ultrapassando as fronteiras dos jogos e do entretenimento (Hamad; Jia, 2022).

A expansão para diversos setores é um fator essencial que facilita a adoção por empresas AEC de vários nichos, seja para engajamento, suporte a operação, manutenção, projeto ou construção, como evidenciado pela variedade dos casos apresentados. Panya, Kim e Choo (2023) afirmam que, ao longo dos anos, o uso de RV evoluiu em aplicativos e desenvolvimento tecnológico, porém ainda necessita de atualização na literatura, contexto de aplicação e no conteúdo relacionado.

6 Conclusões

Este trabalho avaliou cinco casos práticos de realidade virtual na forma de *tour* virtual. O processo de implantação na empresa foi verificado, juntamente com o objetivo de utilização nos projetos e seu resultado. A partir dos dados coletados, foi desenvolvida uma análise SWOT para identificar as principais forças, fraquezas, oportunidades e ameaças associadas a essa tecnologia.

A metodologia apresentada neste estudo propõe um modelo analítico para avaliar tecnologias imersivas, combinando a análise documental com um *framework* estratégico já consolidado. Essa integração torna o processo mais consistente e, ao mesmo tempo, passível de ser replicado em outros contextos, permitindo identificar pontos fortes e oportunidades a serem exploradas, assim como fragilidades e riscos que precisam ser controlados.

A aplicação da análise SWOT teve como objetivo examinar os casos levantados, buscando reconhecer padrões que possam estimular o uso futuro da realidade virtual em ambientes empresariais. As informações obtidas permitem não apenas avaliar os casos específicos, mas também extrair *insights* valiosos para o planejamento estratégico e tomada de decisão em implementações futuras.

Assim, foi possível constatar que, embora a literatura evidencie o potencial da RV para uso ao longo de todo o ciclo de vida de um ativo construído, nos casos analisados ela foi empregada apenas nas fases de engajamento do cliente, suporte ao projeto, auxílio à manutenção e suporte à construção, sendo esta última a mais desenvolvida, principalmente em projetos de reforma e em atividades de apoio à compreensão do projeto em campo. Esse fato releva que ainda há baixa adoção da tecnologia na indústria AEC, sobretudo no que se refere às etapas de operação e treinamento.

A aplicação de realidade virtual mostrou-se forte nos seguintes quesitos: utilização à distância e em diversos dispositivos; melhoria na visualização dos projetos; auxílio no planejamento e nas tomadas de decisões; e engajamento do cliente. Por outro lado, os fatores internos restritivos identificados incluem a limitação dos *softwares*, a reduzida presença de equipes capacitadas, e o tempo prolongado necessário para o desenvolvimento e implementação.

Outros fatores externos, como tecnologia e inovação, o aumento da competitividade no mercado e a possibilidade de expansão para diversos fatores, beneficiam aqueles que aplicam essa tecnologia. Apesar disso, por ainda estar em evolução, o uso da realidade virtual apresenta ausência de padronização, baixa difusão no mercado e custos operacionais e de hardwares que podem ameaçar a sustentação dessa tecnologia nas empresas.

Sendo assim, a utilização da realidade virtual junto a projetos modelados em BIM mostrou-se eficiente no apoio às diferentes fases de uma construção, principalmente por revolucionar a forma de visualização e interação, tendendo a avançar cada vez mais na indústria AEC. Entretanto, a implementação em larga escala, a padronização técnica e a expansão do uso de hardwares, como os óculos de RV, ainda se fazem necessárias para que o mercado se torne mais difundido na área.

Devido ao exposto, ainda é necessário expandir o uso das tecnologias imersivas para outras fases dos projetos, como:

- (a) auxílio de atividades internas;
- (b) logística de execução;
- (c) fiscalização de obras;
- (d) medições;
- (e) operação;
- (f) atualização de cronogramas físico-financeiros; e
- (g) treinamentos.

Sugere-se também a aplicação e comparação de plataformas de RV integradas ao BIM, com foco em suas funcionalidades técnicas, e avaliação do custo-benefício e estratégias de implementação gradual da RV em outras empresas, considerando as barreiras econômicas e organizacionais identificadas.

Os próximos passos sugeridos incluem, por exemplo, o uso de aparelhos de laser scanner, que possibilitam a geração de nuvens de pontos georreferenciados, permitindo extrair medidas (ângulos, distâncias e áreas) do modelo, além de obter imagens 360° para aprimoramento do passeio virtual.

Adicionalmente, a aplicação de RV em conjunto com inteligência artificial pode representar o passo necessário para identificação de anomalias e patologias em rodovias, adaptando a câmera 360° acoplada ao capô do veículo para captura de imagens. Por fim, a aquisição de equipamentos e *softwares* mais evoluídos e a exploração do uso de gêmeos digitais também configuram pontos futuros para análise.

Referências

- AGARWALA, C. Technology and knowledge worker productivity. **International Journal of Computer Applications**, v. 102, n. 1, set. 2014.
- ALIZADEHSALEHI, S.; HADAVI, A.; HUANG, J. C. From BIM to extended reality in AEC industry. **Automation in Construction**, v. 116, ago. 2020.
- BABALOLA, A. *et al.* A systematic review of the application of immersive technologies for safety and health management in the construction sector. **Journal of Safety Research**, v. 85, p. 66-85, jun. 2023b.
- BABALOLA, A. *et al.* Applications of immersive technologies for occupational safety and health training and education: A systematic review. **Safety Science**, v. 166, out. 2023a.
- BAKHOUM, E. S. *et al.* Impact assessment of implementing virtual reality in the Egyptian construction industry. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 14, n. 6, jun. 2023.
- BARACHO, R. M. A. *et al.* Virtual reality and building information modeling in architecture. **Procedia Computer Science**, v. 256, p. 673-680, 2025.
- BAYRAKTAR, M.; YUKSEL, O. Analysis of the nuclear energy systems as an alternative propulsion system option on commercial marine vessels by utilizing the SWOT-AHP method. **Nuclear Engineering and Design**, v. 407, jun. 2023.
- BROWN, M.; HALE, K. Applied research methods in public and nonprofit organizations. 2014. Disponível em: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Applied+Research+Methods+in+Public+and+Nonprofit+Organizations&author=Brown,+M.&author=Hale,+K.&publication_year=2014. Acesso em: 10 jul. 2023.
- CHANG, M. *et al.* The influence of virtual tour on urban visitor using a network approach. **Advanced Engineering Informatics**, v. 56, abr. 2023.

- CHU, M.; MATTHEWS, J.; LOVE, P. E. D. Integrating mobile Building Information Modelling and Augmented Reality systems: an experimental study. **Automation in Construction**, v. 85, p. 305-316, jan. 2018.
- DELGADO, J. M. D. *et al.* A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction. **Advanced Engineering Informatics**, v. 45, ago. 2020.
- GAN, V. J. L.; LIU, T.; LI, K. Integrated BIM and VR for interactive aerodynamic design and wind comfort analysis of modular buildings. **Buildings**, v. 12, n. 3, mar. 2022.
- HAMAD, A.; JIA, B. How virtual reality technology has changed our lives: an overview of the current and potential applications and limitations. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 18, set. 2022.
- HAN, B.; LEITE, F. Generic extended reality and integrated development for visualization applications in architecture, engineering, and construction. **Automation in Construction**, v. 140, ago. 2022.
- KOTHARI, C. R. **Research methodology: methods and techniques**. New Age International, 2004. Disponível em: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Research%20Methodology%3A%20Methods%20and%20Techniques&publication_year=2004&author=Ramesh%20C.%20Kothari. Acesso em: 10 jul. 2023.
- KUULA. **Virtual Tour Tutorial**. Kuula, 2016-2022. Disponível em: <https://kuula.co/help/virtual-tours>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- LEYGONIE, R.; MOTAMEDI, A.; IORDANOVA, I. Development of quality improvement procedures and tools for facility management BIM. **Developments in the Built Environment**, v. 11, set. 2022.
- LI, Y. *et al.* BIM-based determination of indoor navigation sign layout using hybrid simulation and optimization. **Automation in Construction**, v. 139, jul. 2022.
- LU, J. *et al.* The potential of virtual tourism in the recovery of tourism industry during the COVID-19 pandemic. **Current Issues in Tourism**, v. 25, n. 3, p. 441-457, jul. 2021.
- NADKARNI, S.; PRUGL, R. Digital transformation: a review, synthesis and opportunities for future research. **Management Review Quarterly**, v. 71, p. 233-341, abr. 2021.
- PAES, D.; ARANTES, E.; IRIZARRY, J. Immersive environment for improving the understanding of architectural 3D models: Comparing user spatial perception between immersive and traditional virtual reality systems. **Automation in Construction**, v. 84, p. 292-303, dez. 2017.
- PANYA, D. S.; KIM, T.; CHOO, S. An interactive design change methodology using a BIM-based Virtual Reality and Augmented Reality. **Journal of Building Engineering**, v. 68, jun. 2023.
- POTSELUYKO, L. *et al.* Game-like interactive environment using BIM-based virtual reality for the timber frame self-build housing sector. **Automation in Construction**, v. 142, out. 2022.
- PRABHAKARAN, A.; MAHAMADU, A.M.; MAHDJOUBI, L. Understanding the challenges of immersive technology use in the architecture and construction industry: a systematic review. **Automation in Construction**, v. 137, may 2022.
- RECIFE. Prefeitura do Teatro do Parque. **O Parque na sua Casa**. Recife, dez. 2020. Disponível em: <https://teatrodoparque.recife.pe.gov.br/o-parque-na-sua-casa>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- REVOLTI, A. *et al.* Augmented Reality to support the maintenance of urban-line infrastructures: a case study. **Procedia Computer Science**, v. 217, p. 746-755, 2023.
- RODRÍGUEZ-ABAD, C. *et al.* A systematic review of augmented reality in health sciences: a guide to decision-making in higher education. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 8, abr. 2021.
- SHAKER, A. *et al.* Design of a virtual reality tour system for people with intellectual and developmental disabilities: a case study. **Computing in Science & Engineering**, v. 22, n. 3, p. 7-17, may 2020.
- SHI, Y. *et al.* Impact assessment of reinforced learning methods on construction workers' fall risk behavior using virtual reality. **Automation in Construction**, v. 104, p. 197-214, ago. 2019.

SIMEONE, D.; KALAY, Y. E.; SCHAUMANN, D. Using game-like narrative to simulate human behaviour in built environments open systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER-AIDED ARCHITECTURAL DESIGN RESEARCH IN ASIA, 18., Hong Kong, 2013. **Proceedings [...]** Hong Kong, 2013.

SIMPEH, E. K. *et al.* A rework probability model: a quantitative assessment of rework occurrence in construction projects. **International Journal of Construction Management**, v. 15, n. 2, p. 109-116, maio 2015.

SLATER, M.; SANCHEZ-VIVES, M. V. Enhancing our lives with immersive virtual reality. **Frontiers in Robotics and AI**, v. 3, dez. 2016.

SPIELMANN, N.; MANTONAKIS, A. In virtuo: how user-driven interactivity in virtual tours leads to attitude change. **Journal of Business Research**, v. 88, p. 255-264, jul. 2018.

TANG, Y. M. *et al.* A systematic review of immersive technology applications for medical practice and education - Trends, application areas, recipients, teaching contents, evaluation methods, and performance. **Educational Research Review**, v. 35, fev. 2022.

UM, J. *et al.* Low-cost mobile augmented reality service for Building information modeling. **Automation in Construction**, v. 146, fev. 2023.

WU, X.; LAI, I. K. W. Identifying the response factors in the formation of a sense of presence and a destination image from a 360-degree virtual tour. **Journal of Destination Marketing & Management**, v. 21, set. 2021.

YANG, M. *et al.* The implementation of virtual reality in organizational learning: attitudes, challenges, side effects, and affordances. **TechTrends**, v. 68, p. 111-135, jan. 2024.

YOU, S. *et al.* Enhancing perceived safety in human-robot collaborative construction using immersive virtual environments. **Automation in Construction**, v. 96, p. 161-170, dez. 2018.

ZAINAL, Z. Case study as a research method. **Jurnal Kemanusiaan**, v. 5, n. 1, jun. 2007.

Declaração sobre IA Generativa e Tecnologias Assistidas por IA no Processo de Escrita

Durante a preparação deste trabalho, o(s) autor(es) utilizou(aram) o ChatGPT para verificar problemas gramaticais e melhorar a legibilidade. Após a utilização desta ferramenta/serviço, o(s) autor(es) revisou(aram) e editou(aram) o conteúdo conforme necessário e assume(m) total responsabilidade pelo conteúdo da publicação.

Suporte Financeiro

Não houve.

Declaração de Disponibilidade de Dados

Dados de pesquisa somente disponíveis mediante solicitação ao autor correspondente.

Conflito de Interesses

Não há conflito de interesse.

Contribuição dos Autores

Sabrina R. S. Lucena: Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Administração do projeto, Disponibilização de ferramentas, Desenvolvimento, implementação e teste de software, Supervisão, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.
Bianca M. Vasconcelos: Administração do projeto, Supervisão, Validação de dados e experimentos.

Editor-chefe: **Enedir Ghisi**

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.