TECNOLOGIAS DIGITAIS PARA OTIMIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO: REALIDADE AUMENTADA E ALGORITMOS EVOLUTIVOS

BOFF, Vitor[1] (boffvitor@gmail.com); EMMERICH, Ramiro[2] (ramiroemmerich@gmail.com); KERN, Andrea[3] (apkern@unisinos.br)

[1]Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Brasil
[2]Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Brasil
[3]Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Brasil

Palavras-chave: construção civil, otimização em canteiros de obras, realidade aumentada, algoritmos evolutivos

Resumo

O contexto atual é caracterizado pelo surgimento de diferentes tecnologias digitais que podem ser aplicadas para racionalizar a construção, em resposta ao histórico elevado índice de perdas e desperdícios. Esse artigo tem por objetivo investigar duas tecnologias aplicadas em canteiros de obras. A primeira se refere à realidade aumentada (RA) para facilitar o entendimento dos projetos e evitar execução de processos ou produtos não conformes, e a segunda à utilização de algoritmos evolutivos para otimizar layouts para canteiros de obra, evitando deslocamentos desnecessários. A realidade aumentada (RA) foi aplicada para entendimento do projeto de instalações hidrossanitárias durante a execução de três obras, avaliando-se a percepção da técnica por profissionais e mão-de obra. A técnica de algoritmos evolutivos foi aplicada através de simulações de layouts de um canteiro de obras do tipo amplo, considerando diferentes locais de instalação do almoxarifado, medindo os trajetos a serem percorridos pela mão de obra para execução dos blocos de apartamentos. Os resultados da RA mostraram a detecção de diferença entre projeto e execução em uma das obras, e na percepção dos entrevistados, visualizar o projeto em realidade aumentada é relativamente simples, e pode ser útil à conferência dos projetos, embora alguns entrevistados argumentaram que tiveram dificuldade de analisar as divergências entre o projeto e a execução, e no alinhamento do projeto com o terreno. Pelas simulações de layout, o algoritmo evolutivo foi capaz de reduzir 52,20% dos caminhos a percorrer quando comparado ao projeto de locação utilizado pela empresa.

1 INTRODUÇÃO

É comum que a indústria da construção civil seja relacionada a um setor resistente a inovações, com baixa produtividade e alto índice de desperdícios se comparado a outras indústrias. Há também um estigma de emprego de mão-de-obra com baixa formação, sendo que responsabilizar os operários pela ineficiência é um pensamento reducionista, pois a falta de planejamento, instruções adequadas, e condições de trabalhos impróprias são apontados como principais causas dos altos índices de perdas. (Saurin e Formoso, 2006).

Contudo, nos últimos anos o cenário da construção civil tem apresentado uma gama de aplicações de tecnologias digitais desenvolvidas com o objetivo de digitalizar o setor, facilitando e otimizando os processos de projeto e execução, contribuindo a uma solução para o histórico elevado índice de perdas e desperdícios.

Neste contexto, esse artigo apresenta resultados de dois trabalhos realizados com emprego de duas tecnologias digitais aplicadas para otimização da produção: realidade aumentada (RA) e algoritmos evolutivos e, buscando verificar a possibilidade de melhoria no entendimento de projetos de instalação e otimização de deslocamento da mão de obra no canteiro, respectivamente. Embora ambas tenham sido criadas por volta da década de 60 (Martino, 2015; Sutherland 1968), seus usos ainda podem ser considerados incipientes em grande parte dos canteiros de obras.

1.1 Realidade aumentada (RA)

A realidade virtual e a realidade aumentada surgem como uma forma de permitir a manipulação de objetos virtuais de forma semelhante com a manipulação de objetos reais. A realidade aumentada teve sua origem em 1956 quando o cinematográfico Morton Heilig iniciou a construção de uma máquina chamada Sensorama onde o usuário assistia a uma projeção de um passeio de motocicleta por Manhattan. Durante o trajeto, o usuário experimentava sensações sincronizadas com passeio, como os sons, aromas, vibrações e vento. Na década de 1980 a Força Área Americana desenvolveu o primeiro projeto de realidade aumentada, que consistia em um simulador de cockpit de avião, misturando elementos virtuais com o ambiente real do usuário. (Sutherland 1968).

Segundo Azuma (1997), a realidade aumentada é uma variação da Realidade Virtual. A realidade aumentada pode ser definida como a mistura simultânea da realidade real com a realidade virtual pois ela visa transportar o ambiente virtual para o ambiente do usuário através do auxílio de dispositivos móveis como celulares ou computadores (Aguiar 2012).

Ainda, segundo Azuma (1997) a realidade aumentada possui três características principais: combinar o virtual com o real, a interação em tempo real e possibilitar a junção dos objetos tridimensionais virtuais com os objetos tridimensionais reais, conforme a figura 7. Sendo assim, a realidade aumentada pode ser descrita como uma complementação do mundo real com os objetos e informações virtuais, como imagens, sons e sensações (Kirner 2011).

A realidade aumentada baseia-se então no uso de imagens obtidas por câmeras e processadas por softwares em computadores. O software em execução usa a visão computacional e tecnologia de processamento de imagens para misturar as cenas do ambiente real, capturadas pela webcam, com objetos gerados no computador em um ambiente virtual. O software também é responsável pelo posicionamento, oclusão e interação dos objetos virtuais, fazendo com que o ambiente pareça único na percepção do usuário. (Kirner e Zorza, 2005) O Software que é normalmente utilizado para isso é o ARToolKit, que é um software livre de aplicações em realidade aumentada.

No final da década de 90, Azuma (1997) afirmou que a tecnologia de realidade aumentada estaria muito atrás da tecnologia de realidades virtuais. Atualmente, com o avanço da tecnologia para dispositivos móveis, já é possível enviar os projetos modelados do computador para o celular de maneira simples e intuitiva (plataforma BIM – building information modeling). Cuperschmid e Freitas (2013) conduziram um estudo sobre o uso de aplicativos de realidade aumentada na área da construção civil. Os aplicativos estudados foram: Layar, Junaio, Wikitude, AR Media e Augment, sendo este último já tendo sido utilizado pelo autor. Neste trabalho, é investigado um aplicativo brasileiro voltado exclusivamente para a área da construção civil, chamado Augin.

1.2 Algoritmos generativos

As primeiras ideias sobre sistemas generativos datam da década de 1960. impulsionadas pelo avanço tecnológico que a segunda guerra mundial trouxe à humanidade, sendo paralelamente desenvolvidos com a ciência da computação, inteligência artificial e a pesquisa operacional, e fizeram parte de uma estratégia para a solução de problemas (Martino, 2015). Mudaram significativamente a cultura do design, inspirando ideias e abordagens alternativas para projetar. Usam conceitos de evolução, criação, fertilização cruzada e adaptação para abordar e solucionar problemas, ou seja, sistemas generativos estimulam alternativas para o mesmo projeto e têm potencial para mudar inclusive a cultura da equipe. (Kotaira, 2020). Flores (2021) define o design generativo como uma abordagem do design que permite a geração de formas por meio de algoritmos, que, devido à natureza algorítmica, é possível resolver problemas repetitivos e demorados, colaborando com projetistas no sentido de minimizar erros, economizar tempo e esforço durante o processo.

O presente trabalho investiga o uso de algoritmos evolutivos para planejar o layout de canteiro de obras, buscando identificar a melhor localização do almoxarifado em termos de otimizar deslocamentos de operários, considerando que movimentação e transporte são dois tipos de perdas conceituadas pela filosofía da Construção Enxuta.

Para o emprego dos algoritmos evolutivos, é criado um paralelo dos os itens de uma cidade com os de um canteiro de obras, por exemplo o caminho da residência ao serviço pode ser interpretado da porta da obra até o posto de trabalho, o restaurante do bairro é o refeitório do canteiro, o comercio local sendo o almoxarifado etc. Neste contexto, o Desenvolvimento orientado pelo transporte (DOT) é um modelo de desenvolvimento urbano baseado em princípios mensuráveis, logo, programáveis, sob a perspectiva da mobilidade urbana e de uso do solo, como: acessibilidade ao transporte, caminhabilidade, diversidade e compacidade (Lima, 2017). Os modelos computacionais aliados aos parâmetros de desenvolvimento urbano criam ferramentas que possibilitam um novo tipo de pensamento referente às cidades aliando processos generativos à otimização urbanística, permitindo encontrar, por exemplo, a menor distância entre dois pontos (em uma análise uni critério), ou entre múltiplos pontos, chamada de análise multi-critério. (Lima, 2017).

2 MÉTODO DE PEQUISA

A pesquisa foi realizada em dois ciclos, que ocorreram em paralelo. O primeira diz respeito à investigação do uso de realidade aumentada, através de um aplicativo instalado em smartphones, e o segundo se refere à investigação de algoritmos generativos.

2.1 Ciclo 1: Realidade aumentada para projetos complementares

A investigação do uso de realidade aumentada como ferramenta de visualização de projetos de instalações hidrossanitárias foi realizada através de três etapas: contextualização, experimentação e avaliação.

2.1.1 *Contextualização*

Através de entrevista informal com 10 profissionais de mão-de-obra de construção foram identificados principais problemas ocasionados na execução por erros de interpretação de projetos de instalações (em 2D – autocad). O teor das perguntas feitas aos profissionais foi: Você consegue

ler uma prancha de modo que não gere dúvida? Quais os principais problemas em obra? Como poderiam ser solucionados estes problemas de leitura?

2.1.2 *Experimentação*

Consistiu na utilização do aplicativo de realidade aumentada durante a construção de quatro obras residenciais, de características similares. Porém, devido à falta de projetos de instalações em plataforma BIM, foi necessário realizá-los no contexto da pesquisa, utilizando-se o software REVIT. Também foi necessário um treinamento para a utilização da RA para os envolvidos, que utilizaram seus próprios smartphones. Participaram desta etapa 4 arquitetos, 3 estagiários de arquitetura, 1 instalador hidráulico, 1 instalador elétrico e um Mestre de obras.
O aplicativo foi utilizado por todos, buscando a visualização dos projetos de instalação hidráulica e elétrica em 5 canteiro de obras de casas residenciais, durante etapas iniciais de execução, denominadas Obra A, B, C, D e E.

2.1.3 *Avaliação*

A avaliação do uso de RA foi realizada com base em entrevista com os profissionais envueltos quanto à percepção de facilidade no uso e utilidade do aplicativo.

2.2 Ciclo 2: Algoritmos evolutivos para otimizar deslocamentos em canteiro

Para a utilização dos algoritmos evolutivos foi selecionado um canteiro de obras do tipo amplo, de um empreendimento que estava sendo realizado no âmbito do Programa Minha Casa Minha Vida. O conjunto tem 9 edifícios de 5 pav. em parede de concreto, executados com ritmo de 2 apartamentos por día. A área total do canteiro é de 11.049,63 m², com toda as instalações das áreas de vivência e administrativa no térreo. No canteiro não há gruas para abastecimento de materiais e elevador cremalheira.

2.2.1 *Coleta de dados*

De início a coleta de dados foi através de informações presentes nos projetos existentes, como plantas baixa e de implantação do residencial, e também através de visita ao canteiro para conferir as posições e dimensões das instalações do canteiro.

2.2.2 *Modelagem em softwares de algoritmo evolutivo*

A partir dos dados coletados foi feita a modelagem com os softwares *Rhinoceros 3D* e o *Grasshopper*. Como parámetros fixos ficaram estabelecidos os limites do terreno e das edificações. Como variáveis o posicionamento das instalações do canteiro e o parcelamento do terreno a partir de uma malha definida pelo autor. A representação dos parâmetros, tanto fixos, quanto variáveis no processo estudado foi criada usando uma série de linhas conectadas, dando forma ao canteiro. A posição das instalações do canteiro é representada por um ponto com coordenadas X e Y ajustáveis através de dois controles deslizantes que facilitam a mudança de local. No algoritmo, este ponto é ligado à superfície do terreno criado, impossibilitando que ele esteja fora do canteiro. Além disso, o centro geométrico de cada edificação é ligado por uma linha até o ponto que representa as áreas de vivência e administrativas, estas linhas são chamadas de caminhos desejados. A finalidade da malha é criar restrições de movimento tornando os caminhos a percorrer mais naturais dentro do terreno, ou seja, o percurso nunca será em linha reta. A Figura 1 mostra o

algoritmo de parametrização e otimização, a criação da malha e a posição e ligações do *plugin* Galapagos dentro do algoritmo.

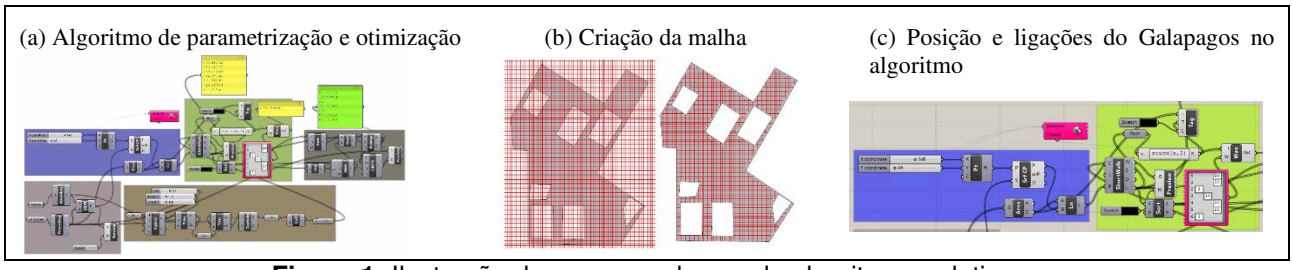


Figura 1: Ilustração do processo de uso de algoritmo evolutivo.

Ao conectar os dados gerados o aplicativo *ShortestWalk* encontra qual é a menor distância para chegar até o ponto. Para tornar mais coerente com a realidade do dia a dia da obra, o nó "Wav" (*weighted average*) foi adicionado, ele realiza a média ponderada de toda as distâncias.
Entendeu-se que era necessária uma ponderação nas distâncias entre as edificações e as instalações do canteiro pois elas possuem tamanhos diferentes, ou seja, o fluxo de funcionários será maior para os prédios que possuem 5 pavimentos (de apartamentos) do que para os prédios de 1 pavimento (portaria e salão de festas). Logo, para o canteiro estar de fato otimizado, cada edifício precisa possuir um "peso".
Foram consideradas duas hipóteses para o uso da ponderação, na primeira ela foi incorporada ao algoritmo, ou seja, o *Galapagos* buscou minimizar a média das distâncias a percorrer provenientes do nó *Wav*. Na segunda hipótese, todos os edifícios possuíam "peso" 1 e a ponderação foi realizada pelo autor. A intenção foi entender a diferença entre resultados e saber se o algoritmo pode ser simplificado.
Para a realização da otimização foi utilizado o *plugin Galapagos* para *Grasshopper*, que funciona com o dado de entrada chamado "genoma" e a função a ser maximizada ou minimizada chamada "*fitness*".

2.2.3 Análise dos resultados

A análise dos resultados foi realizada com base nas distâncias entre as edificações e os diferentes locais das instalações do canteiro, considerando impactos na produção da obra, dificuldades encontradas na utilização na realização do modelo e identificação de possíveis melhorias. Foi também realizada uma análise quanto à facilidade/dificuldade de uso da ferramenta por parte do autor, que possui formação em engenharia civil.

3 RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos na realização dos dois ciclos de pesquisa:

3.1 A utilização de Realidade Aumentada em projetos de instalações

3.1.1 Contextualização – problemas de dissociação entre projetos de instalação e execução

Nas entrevistas realizadas com arquitetos, os profissionais relataram que nem sempre o projeto, tradicionalmente realizado em 2D, em planta baixa e cortes supre toda as necessidades para realizar a execução. Costumam ter problemas em relação à altura de pontos, tanto elétricos quanto hidráulicos, pois, muitas vezes, os profissionais que executam as instalações não lêem as legendas com as alturas corretas dos pontos, ocasionando diversos erros nas obras. Outro ponto lembrado foi a compatibilização entre projeto hidrossanitário com o projeto estrutural, pois às vezes os tubos de esgoto (100 mm) acabam por perfurar algumas vigas e quando não há espera na forma na hora da concretagem, o furo é difícil de ser executado depois.

3.1.2 Experimentação – uso de realidade aumentada

Nas primeiras visitas às cinco obras estudadas, o autor disponibilizou o smarthphone para visualizar os projetos de instalação hidrossanitárias em realidade aumentada e verificar também se os mesmos necessitariam de ajuste. Na sequência, o aplicativo foi explicado aos participantes do estudo para a visualização a experimentação durante a execução das obras. A Figura 2 mostra uma foto do projeto em 2D, em 3D, a estagiária da obra utilizando o aplicativo de RA, a visualização do projeto em RA na escala 1:50 e por último na escala 1:1.

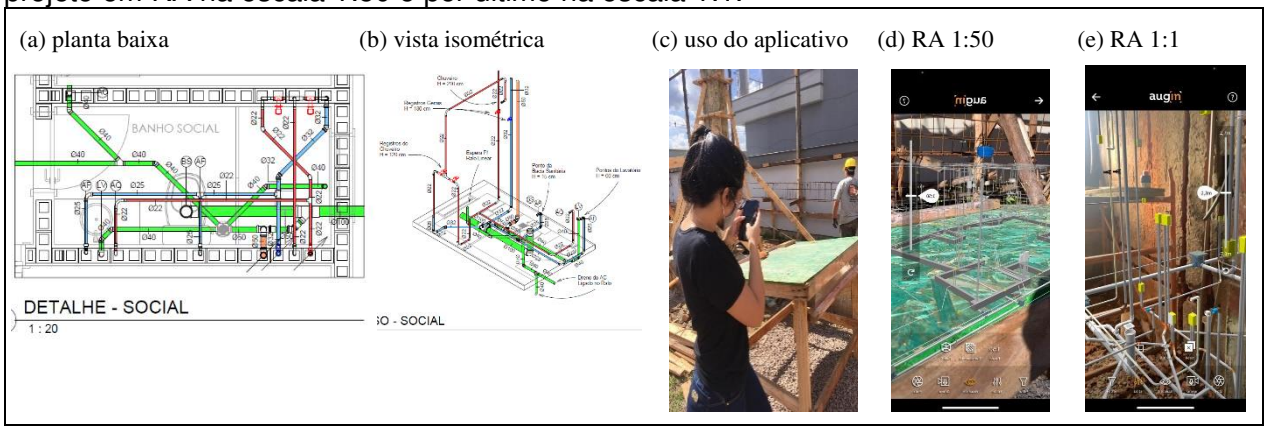


Figura 2: Posicionamento do projeto sobre uma superfície.

Quanto a divergencias entre projeto de instalação hidrossanitária e execução em obra nas obras estudadas, nas Obras A e D não foram constatadas diferenças entre projetos e execução.
Na Obra B foi possível constatar que os instaladores haviam cortado a parede na horizontal, sendo que em projeto as tubulações de água quente e água fria chegavam pelo piso. Os profissionais da execução entenderam, pela planta baixa (tendo também vista isométrica em 3D), que os registros ficariam logo acima da pia do banheiro, sendo assim, a água fria e água quente viria por cima e derivaria na horizontal para os pontos de água do banheiro.
Nas Obras C e E foram constatadas diferenças na altura dos registros, que foram executados em pontos diferentes aos projetados. Na Obra C, o registro da cozinha foi projetado com altura de 1,80m do chão, e foi instalado a 0,50cm, e na Obra E, um registro previsto em projeto com altura de 0,30m

foi executado com 1,80m. A Figura 3 mostra as divergencias entre projeto e execução constatadas com auxílio da Realidade Aumentada (RA).

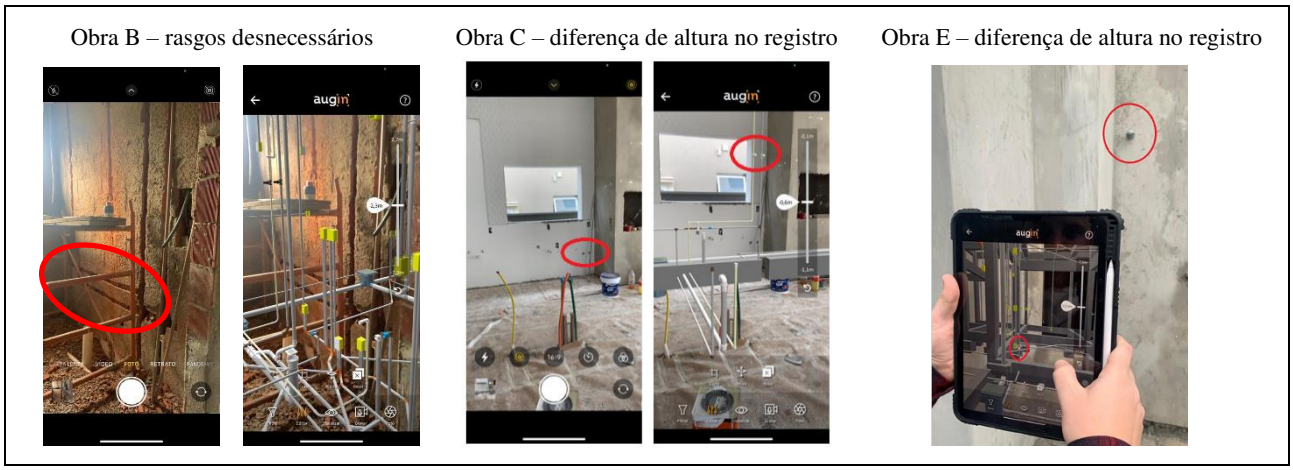


Figura 3: Divergências entre projetos e execução e a visualização por Realidade Aumentada

3.1.3 *Avaliação do uso de RA pelos profissionais envolvidos no estudo*

A avaliação por parte dos profissionais entrevistados quanto à facilidade no uso do aplicativo de RA indicou que as atividades de inicializar o aplicativo, visualizar o projeto em realidade virtual (RV) e importar o projeto para a RA em escala de maquete (1:50) foram realizadas com facilidade. Já para a realização das atividades referentes ao uso da RA em si, como alinhar o projeto com o terreno, colocar o projeto em escala 1:1, sobrepor o projeto virtual com a RA e analisar divergencias entre projeto e execução foram realizadas com dificuldades. Cabe comentar que os profissionais da Obra B relataram que a RA foi muito útil para entenderem os projetos.

Tabela 1: Média das notas atribuídas pelos participantes (escala de 1 a 5).

Etapas	Descrição das atividades	Nota	Etapas	Descrição das atividades	Nota
Inicialização	Abrir o aplicativo	5	Realidade Aumentada	Alinhar projeto e terreno	2,6
	Fazer login em sua conta	4,7		Colocar o projeto em escala 1:1	3
	Navegar na biblioteca de projetos	4,6		Sobrepor projeto virtual com real	1,9
Maquete Virtual	Visualizar o projeto em RV	4	Resultados	Alinhar o projeto com o Terreno Colocar o projeto em escala 1:1	2,3
	Importar o projeto para RA escala de maquete 1:50	4,3			

1: Não conseguiu realizar; 2: Realizou com dificuldade; 3: Realizou a tarefa; 4: Realizou com certa facilidade; 5: Realizou sem dúvidas

3.2 A utilização de algoritmos evolutivos no planejamento de canteiros

Ao todo, 2.480 simulações de trajetos no canteiro foram realizadas, sendo que os melhores resultados apresentaram reduções de 52,5%, 50,34%, 48,92% e 47,24% rem relação às distâncias percorridas considerando a localização das instalações do canteiro existente na obra.

A Figura 4 mostra a situação real das instalações de canteiro, e os 4 melhores resultados (Situação 1 a 4) que apresentaram melhores resultados de trajetos com alteração da localização das instalações de canteiro. O terreno do empreendimento está representado em cinza, o ponto vermelho indica a localização das instalações do canteiro e os prédios de apartamentos e de uso

do condomínio estão em escala de azul, sendo os mais claros os que representam os menores trajetos até as instalações do canteiro.

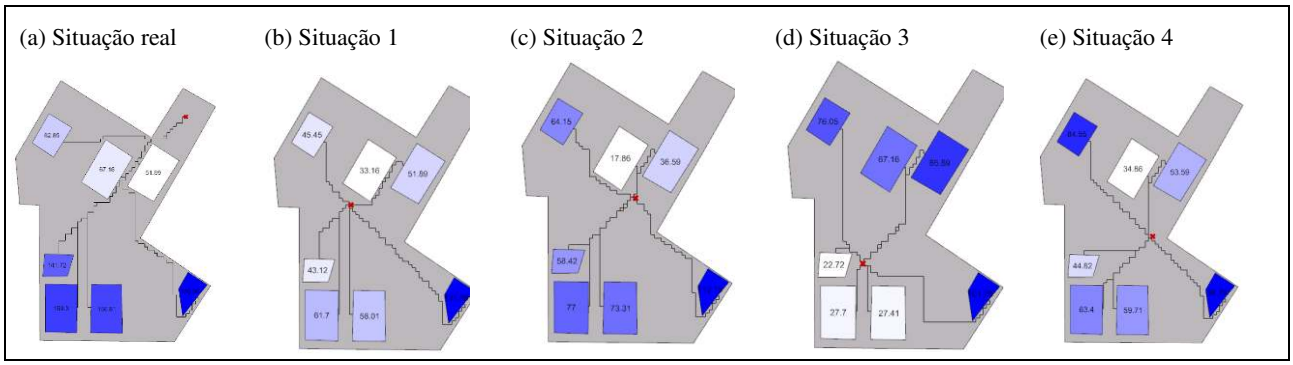


Figura 4: Situação real da localização das instalações de canteiro e situações propostas pelo algoritmo

O gráfico da Figura 5 mostra as distâncias percorridas, em metros, entre os prédios e as instalações de canteiro e a média ponderada de cada situação. Também mostra a implantação do condomínio e a Situação 3, considerada como melhor opção, por ser a de menor interferência na execução dos blocos de apartamentos.

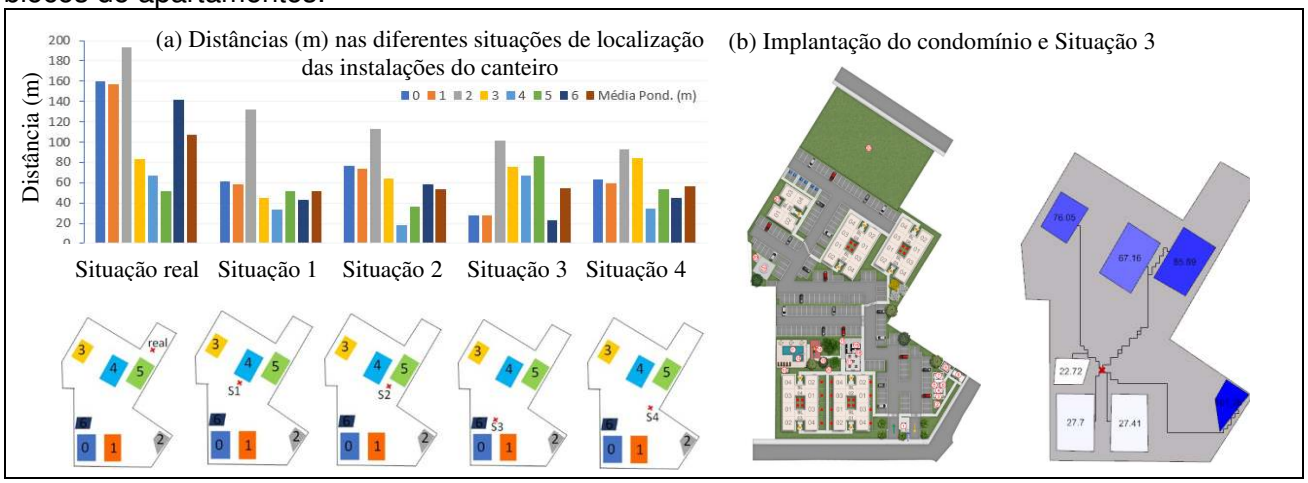


Figura 5: Distâncias percorridas (m), implantação do condomínio e situação mais indicada

O primeiro desafio encontrado na elaboração deste trabalho foi o entendimento para saber, dentro das diversas subdivisões da inteligência artificial, o que se encaixava no objetivo do trabalho, que eram os algoritmos evolutivos. Dificuldade essa causada pela multidisciplinaridade da tarefa, pois envolve as áreas da computação, biologia e engenharia, e que no Brasil ainda são pouco explorados de maneira prática dentro do ramo de arquitetura, engenharia e construção - AEC.
Definindo o tipo de algoritmo, foi necessário entender a lógica, utilizando conceitos da origem das espécies de Charles Darwin dentro do *software* de programação com o objetivo de otimizar um canteiro de obras.

Ao iniciar o uso no *software Rhinoceros 3D* e sua extensão de programação visual *Grasshopper*, foi percebido que em comparação com engenheiros civis, os arquitetos exploram mais o programa, devido, também, à natureza paramétrica da ferramenta, inclusive, a maior parte das referências citadas provém de arquitetos. Foi encontrado apenas um estudo específico sobre otimização de canteiros de obra, em contrapartida, existe maior literatura sobre bairros planejados e diminuição dos caminhos a percorrer dentro de cidades, logo, foi incorporado ao trabalho lógicas e conceitos do urbanismo.

Apresentações de trabalhos acadêmicos, tutoriais tanto em inglês quanto português no *YouTube* e fóruns da própria fabricante serviram de treinamento para utilização da linguagem de programação e execução do estudo.

O Grasshopper é uma ferramenta que entrega grande variedade de possibilidades para a criação de formas e formatos, é um ponto positivo para usuários experientes, porém, dificulta o aprendizado pois há diversas maneiras de criar um algoritmo para atingir os mesmos resultados.

Para aprender a linguagem e a lógica de programação do *Grasshopper* foram necessárias em torno de 18 turnos de 4 horas cada, utilizando o programa nos laboratórios da universidade. O custo do *Rhinoceros 3D* para estudantes é de US$ 195,00 (R$ 958,00 na cotação do dia 07/06/2023) e sua versão comercial é de US$ 995,00 (R$ 4.888,00 na cotação do dia 07/06/2023), em ambas as versões, o produto é adquirido uma única vez, sem a modalidade de assinatura. Os demais *plugins* utilizados no trabalho são gratuitos.

Como descrito brevemente no item 3.3 da metodologia, houve dificuldades em relação à escala correta do desenho dentro do *Rhinoceros 3D*, que por limitações do *software* ou falta de costume do operador com o programa ficou próxima, mas não exata. Para contornar este problema foram analisados os resultados a partir da porcentagem de melhoria, pois assim os valores se tornam independentes da escala.

A utilidade da ferramenta consiste na possibilidade de otimização dos caminhos a percorrer dentro de um canteiro de obras, sabendo, quantitativamente, a porcentagem de diminuição comparado ao *layout* original.

Porém, entende-se que, em paralelo a esta variável, é interessante ampliar informações para a tomada de decisão, como considerar rotinas que existem na obra, por exemplo, quantas vezes em média cada operário vai até o almoxarifado em busca de ferramentas, até os sanitários e refeitório. Ao juntar estes dois estudos, é possível descobrir, com mais clareza qual a economia de tempo e produtividade alcançada com a otimização.

Ainda, conforme discutido ao longo do trabalho, as edificações possuem 5 pavimentos, com ausência de elevadores e gruas. Uma possível melhoria para o algoritmo é considerar, também, a distância de descolamento vertical dentro dos prédios, que pode afetar os resultados.

A inserção da média ponderada integrada ao algoritmo, no terreno estudado e com os parâmetros utilizados, se mostrou insignificante do ponto de vista quantitativo e qualitativo. Porém, entende-se que tal hipótese não deve ser totalmente descartada e sim analisada em outros canteiros e situações. Por exemplo, como citado acima, ao inserir no algoritmo as distâncias verticais de cada edificação, há possibilidade da média ponderada se tornar relevante para o resultado.

Outra melhoria no algoritmo refere-se à malha e possíveis restrições dentro do terreno. Conforme o andamento da obra, prováveis desvios serão criados dentro do canteiro e novas simulações devem ser realizadas, além disso, conceitos como caminhos seguros podem ser adicionados ao algoritmo.

CONCLUSÕES

Os resultados do trabalho indicam que ambas ferramentas investigadas possuem potencial uso na construção. O uso de realidade aumentada como apoio ao entendimento do projeto de instalação hidrossanitária por parte dos operários mostrou ser útil, tendo em vista as divergencias encontradas nas obra estudadas, que consistem em rasgos em paredes desnecessários e diferenças de localização de pontos hidráulicos. Já o uso dos algoritmos evolutivos para planejar canteiros de obras indicou utilidade no quesito otimização de distâncias a serem percorridas, otimizando movimentação de operários e transporte de materiais.

Portanto, ambas colaboram com a diminuição de perdas ocorridas na etapa de execução, através de racionalização e otimização de recursos materiais e movimentação de operários, tipos de perdas comumente encontradas nas obras e ampliamente discutidas pela literatura.

Foi percebido que visualizar o projeto em realidade virtual e visualizar a maquete virtual em realidade aumentada são tarefas relativamente simples, além de úteis para a conferência dos projetos. Contudo, alinhar o virtual com o ambiente real em escala 1:1 é algo complexo, necessitando reajustes no projeto, pois quando o usuário se move através do ambiente, o projeto tende a perder o alinhamento ou seja, o projeto em RA se movimenta de modo diferente do movimento na realidade. Chama atenção que as obras não possuem projeto em BIM, o que dificulta o uso da RA.

Como resultado do uso dos algoritmos evolutivos, foram obtidas milhares de soluções proporcionando, para o engenheiro da obra, diversos cenários e combinações possíveis, baseados em dados. A definição do layout do canteiro deixa de ser empírica e passa a ser estabelecida através de métricas e parâmetros que podem ser analisados.

É importante destacar o papel do profissional na tomada da decisão final, pois a otimização tem como objetivo ser uma ferramenta para que o agente humano seja potencializado e vislumbre novas combinações e não para o substituir.

Uma ideia para novas pesquisas é aproveitar o potencial da parametrização e otimização do terreno da obra, não ficando restrito apenas à localização das instalações do canteiro, mas sim, otimizar a implantação como um todo, ou seja, disposição das edificações, áreas comuns, posição e largura das vias etc.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, M. O. (2012). Realidade Aumentada: Aplicação em Projetos de Arquitetura e Urbanismo. Florianópolis: UFSC, 2012. 183p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

Azuma, R. T. A. (1997). Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, v .6, n.4.

CUPERSCHMID, A. R. M.; FREITAS, M. R. (2013) Possibilidades de uso de Realidade Aumentada Móvel para aec. iii simpósio brasileiro de qualidade do projeto no ambiente construído: vi encontro brasileiro de tecnologia de informação e comunicação na construção, Porto Alegre, p. 1-12, 2013.

Flores, D. A. N. (2021) BIM evolucionário [recurso eletrônico]: aplicabilidade de inteligência artificial no desenvolvimento de projetos de edificações. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

Kirner, C.; Zorzal, E. R. (2005). Aplicações Educacionais em Ambientes Colaborativos com Realidade Aumentada. In: XVI Simpósio Brasileiro sobre Informática na Educação, Juiz de Fora - MG. Anais ...Educação. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação.

Kotaira, K. (2020). Generative design em projetos de edifícios: o paradoxo da escolha. Innovation & Technological Development, 1(2).

Lima, F. (2017). Métricas Urbanas: Sistema (para)métrico para análise e otimização de configurações urbanas de acordo com métricas de avaliação de desempenho. ProBooks.

Martino, J. A. (2015) Algoritmos evolutivos como método para desenvolvimento de projetos de arquitetura. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

Saurin, T.A.; Formoso, C.T. (2006). Planejamento de Canteiros de Obras e Gestão de Projetos (Recomendações Técnicas HABITARE). Vol III, Porto Alegre: ANTAC.

Sutherland, I.E. (1963) Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System, PhD Thesis, MIT. Technical Report No. 574, University of Cambridge, UCAM-CL-TR-574.

Tori, R., Kirner, C. (2006). “Fundamentos de Realidade Virtual.” In: VIII Simpósio de Realidade Virtual, Livro do Pré-Simpósio: Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada, ISBN 857669068-3.