

REFLEXÕES SOBRE GÊMEOS DIGITAIS (GD) NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

REFLECTIONS ON DIGITAL TWINS (DT) IN BUILT ENVIRONMENT

  Sarah Yasmin Pereira Marques
Universidade Federal de Goiás, Cidade de Goiás, Goiás, Brasil
sarahyasminmarques@gmail.com

  Pedro Henrique Gonçalves
Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil
pedrogoncalves@ufg.br

  Pedro Schaitl Souza
Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil
pedroschaitl16@hotmail.com

Resumo

O diálogo entre os avanços tecnológicos e a Arquitetura e o Urbanismo conduziu ao aprimoramento e à criação de novas ferramentas de difusão e aquisição de informações em diversas escalas. Estas informações passaram a agregar aos processos de projeto e às análises que auxiliam nas tomadas de decisões. O conceito de Gêmeos Digitais (GD) apresenta uma conexão entre os objetos físicos e suas representações virtuais, ganhando cada vez mais espaço em diferentes áreas. Com o cenário crescente de dispositivos conectados à internet, o paradigma da Internet das Coisas passou a ter grande relevância dentro deste conceito, alimentando os GD com dados gerados por dispositivos instalados nas edificações, o que permite o acompanhamento das alterações de modo quase simultâneo. O objetivo deste trabalho foi observar a perspectiva de uso dos Gêmeos Digitais com a Internet das Coisas no contexto do ambiente construído na busca da identificação do nível de maturidade da aplicação ao uso do conceito de maneira mais ampla na acelerada evolução tecnológica.

Keywords: Gêmeos Digitais. Internet das Coisas. construção civil.

Abstract

The dialogue between technological advances and Architecture and Urbanism led to the improvement and creation of new tools for the dissemination and the acquisition of information at different scales. This information started to be added to the design processes and to the analyses that help in decision making. The concept of Digital Twins (DT) presents a connection between physical objects and their virtual representations, gaining more space in different areas. With the growing scenario of devices connected to the Internet, the Internet of Things paradigm has become of great relevance within this concept, feeding the DTs with data generated by the devices installed on the that allow the monitoring of changes almost in real time. This is a work of propositional nature and experimental modality, whose objective is to build an experimental model based on digital twinning, focusing on its implementation aligned with the Internet of Things for construction engineering.

Keywords: Digital Twins. Internet of Things. construction.

Introdução

A quarta revolução industrial (Indústria 4.0) tem impulsionado a integração de diversas tecnologias à área da construção civil, influenciando na ampliação da transdisciplinaridade e no desenvolvimento de estratégias que impactam a maneira de pensar os espaços e as cidades. No decorrer da história, aos poucos a arquitetura e o urbanismo incorporaram ferramentas digitais em alinhamento com os métodos analógicos. Alguns dos sistemas computacionais mais conhecidos são os chamados *Computer Aided Design – CAD* e *Building Information Modeling – BIM*. A adoção dos mesmos gerou mudanças inclusive nos processos regulatórios de vários países (BRASIL, 2021). A modelagem digital, recebeu destaque nas etapas de projeção, estando presente também de maneira integrada, como no caso do *BIM*, associando o gerenciamento de informações às diversas fases da construção (BRASIL, 2021). As reconstruções virtuais baseadas em levantamentos indiretos (como a fotogrametria), tornaram possível a extração de um maior número de dados com uma enorme gama de detalhes, reduzindo significativamente o tempo in loco dos levantamentos.

Ao passo que caminha a construção de ambientes virtuais, são carregadas mudanças na dinâmica dos meios de interação, sendo facilitadas por recursos proporcionados pela adição de tecnologias de Realidade Estendida (XR), transportando para universos digitais (Realidade Virtual) e incrementando a realidade através de recursos digitais, como no caso da Realidade Aumentada (AR). A perspectiva é de que venham impulsos ainda maiores nos próximos anos para a produção desses ambientes, o aprimoramento de recursos e a união com outras tecnologias.

A confluência entre o físico e o virtual, alinhada aos processos de produção, guiou o surgimento do conceito de Gêmeos Digitais (GD) e possui relevância pela capacidade de reduzir custos, e de simular e aplicar informações capturadas do meio, com o objetivo de acompanhar o ciclo de vida do objeto, sem alterar seu estado físico (NATIVI; MAZZETTI; CRAGLIA, 2021). A Internet das Coisas (*IoT*) é parte

de destaque nesse processo por ser capaz de vincular captura e transmissão de dados físicos, que são acoplados aos GD.

O objetivo deste trabalho foi observar a perspectiva de uso dos Gêmeos Digitais com a Internet das Coisas no contexto do ambiente construído na busca da identificação do nível de maturidade da aplicação ao uso do conceito de maneira mais ampla na acelerada evolução tecnológica.

Materiais de pesquisa

O método aplicado neste estudo foi uma revisão de trabalhos, buscando trazer uma a conceituação dos Gêmeos Digitais e a Internet das Coisas, na perspectiva de compreender seu impacto no ambiente construído.

A partir das leituras realizadas foi feito uma discussão conceitual e reflexiva entre as possibilidades de integração entre os conceitos de internet das coisas e os gêmeos digitais. Não houve a pretensão de apresentar o estado da arte destes, uma vez que extrapolam os limites deste artigo, mas sim obter um panorama adequado à reflexão.

Gêmeos Digitais

No ano de 2002, uma parte da apresentação realizada por Michael Grieves foi intitulada o Ideal Conceitual para o Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PML), e tornou-se a visão exata dos componentes de um Gêmeo Digital (GRIEVES; VICKERS, 2017). Segundo Grieves e Vickers (2017), o termo Gêmeo Digital, antes intitulado como Modelo de Espaços Espelhados (2003), foi incorporado aos trabalhos posteriores à publicação do livro *Virtually Perfect: Driving Innovative and Lean Products through Product Lifecycle Management* (2011). A proposta inicial deste modelo estava inclinada à aplicação na indústria e ligada ao ciclo de vida do produto, no qual um novo sistema seria agregado: o virtual (GRIEVES; VICKERS, 2017).

Um Gêmeo Digital é descrito como: uma representação/réplica/modelo digital de um ativo, sistema ou entidade física (KENETT; BORTMAN, 2021; ERASMO et al., 2022; LIU et al., 2021; HASAN et al., 2020; VAN DER AALST; HINZ; WEINHARDT, 2021). Essas definições corroboram a relação entre o físico e o virtual, e o condicionamento do GD à sua instância. Porém, sua forte ligação com a representação gráfica pode se assemelhar a outros dois conceitos: o Modelo Digital e a Sombra Digital, onde a maior diferença entre eles está contida na interação com os dados.

Modelo Digital, Sombra Digital e Gêmeo Digital

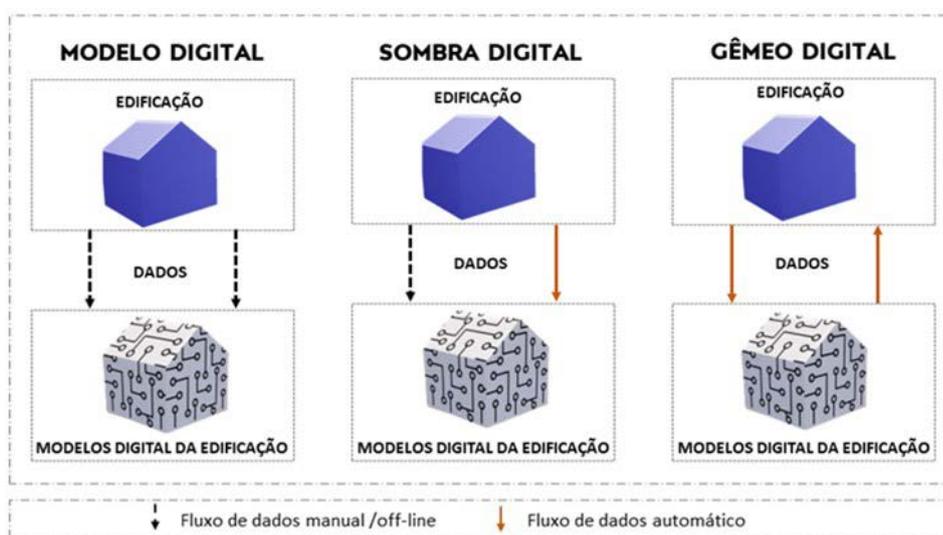
Um Modelo Digital é elaborado por meio de softwares, podendo representar algo físico ou afigurar o estado final de um projeto. Ele se desenvolve através de um fluxo de dados manuais (RAFSANJANI; NABIZADEHB, 2021), permanecendo em modo estático frente às transformações ocorridas no mundo físico (VAN DER AALST; HINZ; WEINHARDT, 2021).

5

Já uma condição, semiautomática (RAFSANJANI; NABIZADEHB, 2021) de dados associados a um modelo digital é chamada de Sombra Digital. A Sombra Digital é uma representação gráfica, com fluxo de dados unidirecionais (SEPASGOZAR, 2021), contendo uma parte das informações adicionadas manualmente, e a outra automatizada durante a transferência de dados do físico para o digital (NATIVI; MAZZETTI; CRAGLIA, 2021).

O Gêmeo Digital, por sua vez, conduz a troca de informações de modo bidirecional (SEPASGOZAR, 2021), possuindo uma transferência de dados automatizada do físico ao digital, e seu inverso (NATIVI; MAZZETTI; CRAGLIA, 2021). Partindo deste ponto de vista e retornando à definição, um GD é um paradigma cuja representação gráfica relacionada a sua contrapartida física vale-se de sistemas ciber físicos guiados por dados, na realização de simulações e de operações (LIU et al., 2021; BOJE et al., 2020).

A figura 1 ilustra a dinâmica do fluxo de dados do Modelo Digital, da Sombra Digital e do Gêmeo Digital, descrita anteriormente.

Figura 1 - fluxo de dados do Modelo Digital, Sombra Digital e Gêmeo Digital.

Fonte: Adaptado de FULLER e colaboradores (2020 apud RAFSANJANI; NABIZADEHB, 2021) e de VAN DER AALST e colaboradores (2021a apud VAN DER AALST et al., 2021b).

Em suma, segundo Grieves (2022), três elementos são primordiais ao modelo conceitual dos GD: o físico contido no ambiente real ou que virá a existir no mundo real; o virtual contido no ambiente virtual; e a ligação dos dados/informações, criando o elo entre o virtual e o tangível.

Aplicações

A gama de aplicações para Gêmeos Digitais abrange as mais variadas áreas. Na indústria, Grieves (2014) ilustra o uso dos GD no contexto de fábricas, onde seria possível ter uma ampla visão do que acontece no chão de fábrica, com seus processos de produção e dinâmicas em “tempo real”. Kenett e Bortman (2021) falam sobre os GD na Indústria 4.0, trazendo um estudo de caso focado em vibrações e folgas de engrenagens de uma máquina rotativa, onde os modelos dinâmicos através de simulações podem ser usados em tarefas de diagnóstico. Além disso, o GD é capaz de ser aplicado na simulação de ambientes de treinamentos educativos (KENETT; BORTMAN, 2021). Enquanto na saúde, os GD auxiliam na tomada de decisões, guiadas por dados, sendo trabalhados em “diferentes entidades, desde dispositivos médicos e processos hospitalares até órgãos humanos ou pessoas” (RICCI; CROATTI; MONTAGNA, 2021, p. 1, tradução nossa).

Glaessgen e Stargel (2012) tratam da possibilidade de exploração dos GD no contexto dos veículos aeroespaciais da NASA. Para esses sistemas complexos há desafios ocasionados pelas condições imprevistas e o GD pode auxiliar a “mitigar danos ou degradação ativando mecanismos de autocura ou recomendando mudanças no perfil da missão para diminuir as cargas, aumentando assim a vida útil e a probabilidade de sucesso da missão” (GLAESSGEN; STARGEL, 2012, p. 7-8, tradução nossa).

A expansão dessas abordagens conduz estudos voltados para Gêmeos Digitais da Terra. O Gêmeo do Planeta é “[...] a réplica digital de um componente, estrutura, processo ou fenômeno do sistema terrestre obtido pela fusão de modelagem digital e mundo real com continuidade observacional - ou seja, fluxos de dados remotos, in-situ e sintéticos” (NATIVI; MAZZETTI; CRAGLIA, 2021, p. 5, tradução nossa), e está presente em documentos na Europa, frente ao auxílio na mitigação de mudanças climáticas (NATIVI; MAZZETTI; CRAGLIA, 2021; MOTTUS et al., 2021).

7

Adentrando o campo da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), há diversos atores envolvidos na elaboração dos espaços durante todo o ciclo de vida das edificações, nas fases de projeto, execução e pós-ocupação (YITMEN et al., 2021). Os GD podem agregar ao acompanhamento do ciclo de vida “[...] na coleta automática de dados, desenvolvimento conceitual, análise dinâmica, diagnóstico de problemas e otimização para design inteligente, operação, controle e manutenção.” (PAN; ZHANG, 2021, p. 3, tradução nossa).

Camposano, Smolander e Ruippo (2021) realizaram entrevistas semiestruturadas para compreender como representantes Finlandeses da indústria da construção entendem os GD. Nesta pesquisa, foi possível observar o uso frequente de metáforas na descrição do GD e sete atributos em comuns que, pelas análises, diferenciavam um GD de outros sistemas (ex. *BIM e CAD*), sendo: o intervalo de tempo e o escopo; o objetivo ou o propósito primário; o nível de abstração e a precisão; a direcionalidade e a sincronização; os componentes de tecnologia; a interdependência do ator; e a proposta de valor (CAMPOSANO; SMOLANDER; RUIPPPO, 2021).

Em Kalantari *et al.* (2022), a prototipação mista é empregada em um estudo para projeto arquitetônico, espelhando as modificações do protótipo físico em um ambiente virtual. A avaliação foi realizada por profissionais do *design* e pessoas que não atuam na área, observando vídeos de demonstração. O uso do sistema foi bem sucedido (hardware e software), os autores apontaram avaliações positivas (sendo as mais altas de pessoas que não atuam diretamente na área) e tendo o potencial de ser melhor aplicado durante o estágio inicial de aprendizagem, no ensino do design (KALANTARI *et al.*, 2022).

Hasan *et al.* (2020) exploram o uso da Realidade Aumentada e dos GD através da criação de um modelo físico (protótipo) e cibernético de um guindaste de torre (usado em canteiros de obra). Nesta pesquisa, ocorreram limitações no uso de alguns dados, que não foram incorporadas ao GD. Os autores finalizam com sugestões a serem empregadas em estudos futuros (latência, conexões dedicadas).

8

A visão associada dos GD na AEC manifesta-se na literatura também com adição de recursos de Inteligência Artificial (AI) ou subáreas (Aprendizado de Máquina - ML, Aprendizagem Profundo - DL etc.) para lidar com o grande volume de dados da Internet das Coisas (IoT) e para estágios avançados de simulações (BOJE *et al.*, 2020). Sobre essa relação, há uma preocupação em mencionar que o uso seja mais direcionado aos humanos e menos centrado nas máquinas (RAFSANJANI; NABIZADEH, 2021). Van Der Aalst, Hinz e Weinhardt (2021) tratam do GD resiliente, onde as inteligências artificial e humana são complementares.

O estudo de Bojea *et al.* (2020) possui foco em *BIM* e GD na construção civil. Os autores apresentam algumas habilidades observadas no Gêmeo Digital de Construção e um modelo de evolução composto de três estágios, sendo: o primeiro direcionado a plataformas de monitoramento (coleta de dados, gerando alguns relatórios ou análises); o segundo para plataformas semânticas inteligentes (*IoT* com algoritmos pré-configurados de *AI*); e o último são plataformas sociotécnicas

orientadas por agentes (GD auto-suficientes, com diversos recursos de sub-áreas da AI) (BOJEA et al., 2020).

Outras abordagens que mencionam o *BIM* e GD podem ser vistas também em Daniotti et al. (2022), que consideram que o *BIM*, a *IoT* e a *AI* são componentes principais do GD; e em Pan e Zhang (2021), que trazem a ideia de um modelo de GD com *BIM*, *IoT* e Mineração de Dados para análises de dados levantados junto a estudo de caso físico já construído.

GD Cognitivos alinhados ao gerenciamento do ciclo de vida da construção são trazidos no estudo de Yitmen *et al.* (2021). De acordo com os autores, o *Cognitive Digital Twin for Building Lifecycle Management (CDTs BLM)* seria a evolução do Gêmeo Digital, contendo uma arquitetura dividida em quatro camadas: gerenciamento de modelo, gerenciamento de serviço, interação com usuário, e gerenciamento cognitivo. Algumas das vantagens do *CDTs BLM* se fazem pelo gerenciamento (resposta a eventos imprevistos), otimização, facilidade na tomada de decisões e busca por melhoria dos métodos atuais.

Hosamo *et al.* (2022) realizaram uma revisão sobre trabalhos de GD na área de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) e Gerenciamento de Instalações (FM) - AEC-FM, utilizando três bancos de dados (Scopus, Web of Science e Google Scholar), e apontaram a inexistência de trabalhos antes de 2016. Foram identificados 77 trabalhos, a maior parte deles publicada no ano de 2021 (mais de 40 publicações). De acordo com os autores, há lacunas de pesquisa dos GD nas áreas e análises de: manutenção preditiva; interoperabilidade; sistemas de informação; utilização de energia; ontologia; gerenciamento de ativos e do ciclo de vida; engenharia de segurança; semântica, padrões de fusão de dados, dados vinculados; ênfase nos usuários e no conhecimento humano baseado em GD (HOSAMO et al., 2022).

Os GD na AEC encontram-se em estágio embrionário. Há muitas questões em aberto que ainda serão exploradas, por exemplo, divergências entre as colocações dos diversos autores sobre a relação do BIM com os GD. Douglas, Kelly e Kassem

(2021) falam sobre essa confusão aparente, conduzida sobre três visões, sendo: GD como continuação do *BIM*; *BIM* e GD como conceitos distintos; e *BIM* e GD sendo complementares (DOUGLAS; KELLY; KASSEM, 2021).

Como exposto, as proporções de aplicações podem esmiuçar de pequenos objetos/ produtos a estruturas bastante complexas. Considerando os três elementos básicos no modelo dos GD descritos no tópico anterior (físico, virtual e dados), com um foco nas possibilidades dos dados, os GD podem se valer de um outro ponto chave: a Internet das Coisas (RAFSANJANI; NABIZADEH, 2021, p. 1).

Internet das Coisas

A Internet é uma “rede de computadores através da qual é possível conectar e interligar computadores ao redor do mundo” (DICIO). De acordo com Khodadadi, Dastjerdi e Buyya (2016), após o vislumbre de oportunidades devido ao surgimento e ao espraiamento da Internet a nível global, “[...] o foco mudou para uma integração perfeita de pessoas e dispositivos para convergir o reino físico com ambientes virtuais feitos por humanos, criando a chamada utopia da Internet das Coisas (*IoT*)” (KHODADADI; DASTJERDI; BUYYA, 2016, p. 1, tradução nossa).

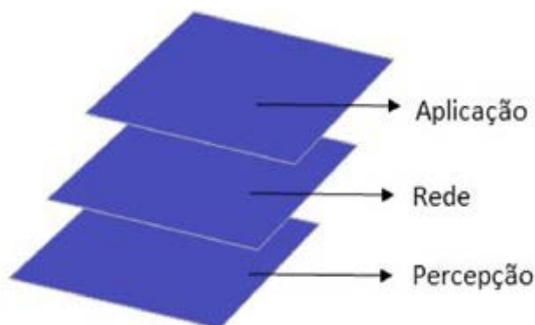
Em 1980, partindo de uma situação cotidiana na Carnegie Mellon University, David Nichols, Mike Kazan, Ivor Durham e John Zsarnay já exploravam o potencial da ethernet (rede cabeada) associada a uma máquina de refrigerante (WALKUP; LITTLE, 2022, p. 188). O termo Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*) só foi apresentado pela primeira vez em 1999 por Kevin Ashton (ASHTON, 2009).

Aproximadamente dez anos depois, em *That 'Internet of Things' Thing*, Ashton (2009) fala um pouco sobre a ideia que havia trazida com a *IoT*, na qual os computadores iriam compreender mais sobre as coisas e os dados do meio físico não seriam mais coletados manualmente pelos humanos, gerando alguns benefícios (tempo, recursos...). A radiofrequência e os sensores receberiam esta função e as pessoas poderiam se concentrar em outras atividades. Por fim, Ashton (2009) conclui que:

“A Internet das Coisas tem o potencial de mudar o mundo, assim como a Internet fez. Talvez ainda mais.” (ASHTON, 2009, p. 1, tradução nossa).

De acordo com Evans (2011), a exploração nesse período (entre 2008-2009), foi estimada como o surgimento efetivo da IoT. Em um mapeamento de trabalhos sobre a temática, Wang *et al.* (2021) expõem um crescimento acelerado de publicações na área a partir de 2009. Atualmente, uma série de dispositivos são utilizados nas mais diversas escalas de projetos IoT e, segundo Nikoui *et al.* (2020), há inúmeras arquiteturas para esses sistemas, sendo o modelo básico dividido em três camadas: percepção, rede e aplicação (Figura 2).

Figura 2 - Modelo básico da arquitetura IoT, descrito em NIKOUI e colaboradores (2020).



Fonte: Elaborado pelas autores.

De acordo com os autores, na camada de percepção, os sensores e atuadores estão em contato com o ambiente; os sensores realizam o processo de coleta de dados e os atuadores permitem alterações de controle (ex. ativação/desativação) (NIKOUÍ et al., 2020; TAIVALSAARI; MIKKONEN, 2015). A camada de rede envolve a conexão com a Internet, transferindo dados para a camada de aplicação, sendo considerada a de maior relevância (NIKOUÍ et al., 2020). E a camada de aplicação cria a interface de interação com as informações obtidas das camadas anteriores (ALLAM et al., 2022).

Nos últimos anos, a difusão da tecnologia 5G em vários países tem trazido ainda mais recursos para sustentar o desenvolvimento de projetos IoT. A rede 5G é apoiada sobre serviços de “banda larga móvel aprimorada (eMBB), comunicações

massivas do tipo máquina (mMTC) e ultra-comunicações confiáveis e de baixa latência (URLLC) [...]” (ITU-R, 2017 apud POPOVSKY et al., 2018, p. 1, tradução nossa).

[...] eMBB suporta conexões estáveis com taxas de dados de pico muito altas, bem como taxas moderadas para usuários de borda; (b) o mMTC suporta um grande número de dispositivos da Internet das Coisas (IoT), que são ativos apenas esporadicamente e enviam pequenas cargas de dados; (c) URLLC suporta transmissões de baixa latência de pequenas cargas com confiabilidade muito alta de um conjunto limitado de terminais, que são ativos de acordo com padrões normalmente especificados por eventos externos, como alarmes. (POPOVSKY et al., 2018, p. 1, tradução nossa)

No Brasil, o 5G começou a ser implantado em Brasília a partir do dia 06 de julho de 2022 (BRASIL, 2022) e, aos poucos, tem avançado para outras capitais do país. Portanto, existem novas oportunidades para avaliar o impacto destas mudanças em casos de uso da IoT e na criação de novos projetos.

Aplicações da IoT

A abrangência de aplicações da IoT é numerosa nas mais diversas áreas: desde a indústria, cidades inteligentes, agricultura, gestão de resíduos, até saúde e transporte (NIŽETIĆ et al., 2020). A visão de impacto da IoT é crescente, e levou vários países a proporem o desenvolvimento de estratégias para sua implantação (WANG et al., 2021).

Nas edificações, a IoT passou a marcar presença gradativamente no cotidiano de diversas pessoas. Hu (2021) traz a diferença entre edificações: automatizadas (1980s–2000), inteligentes (2000–2015) e cognitivas (2015–?). De acordo com o autor, na época, os edifícios automatizados conduziram a automatização de sistemas e serviços de rotina pré-configurados, buscando a economia de energia e aprimoramento do desempenho. Por outro lado, os inteligentes se caracterizam pela conectividade do sistema, que possui capacidade de gerenciar os dados adquiridos em tempo real, que são empregados em modificações, melhorando as experiências dos usuários no local. No que diz respeito aos cognitivos, estes se diferenciam pelo algoritmo de controle que é ajustável, sendo capazes de prever e

se adaptar às condições, a partir dos dados obtidos. Hu (2021) ainda cita o uso da *IoT* em edifícios cognitivos:

No futuro, os edifícios cognitivos terão características duplas: uma definida por ativos físicos e outra definida por ativos digitais. Com a introdução da Internet das Coisas (IoT) no sistema de gestão de edifícios, a inteligência do edifício ficará fortemente interligada com a infraestrutura digital do edifício. A infraestrutura digital se tornará o “cérebro” dos edifícios. A partir dessa perspectiva, a “estrutura de construção inteligente consiste nos ativos físicos dentro do edifício..., os ativos digitais que criam uma malha em todo o espaço conectado e, finalmente, os casos de uso... que são habilitados pelo casamento de ativos físicos e ativos digitais” (DELOITTE INSIGHTS).” (HU, 2021, p. 79, tradução nossa).

No contexto das cidades brasileiras, a quarta fase do ‘Estudo de Internet das Coisas’ (BNDES, 2018) expõe exemplos de uso da *IoT* em 12 cidades, concentradas em 3 regiões do país (Nordeste, Sudeste e Sul), sendo predominantes no estado de São Paulo. Os usos variam da criação de bairros inteligentes, mobilidade urbana (GPS em ônibus, compartilhamento de carros elétricos, sensores de estacionamento em vias, veículos elétricos), segurança (câmeras inteligentes, sensores de ruído), iluminação inteligente (status das lâmpadas; operações, intensidade de luz, variações de tensão), lixeiras inteligentes, monitoramento da qualidade do ar, monitoramento e gerenciamento de bueiros etc. Entre alguns dos benefícios observados estão: a redução do consumo de energia, a redução de custos e a eficiência do serviço de coleta de resíduos, a melhoria na velocidade de conexão com a internet e a segurança.

Em 2018, a *IoT* marcava presença no documento “Estratégia Brasileira para a Transformação Digital - E-Digital” (BRASIL, 2018), com seu uso sendo associado a cidades inteligentes, indústria, saúde etc. Em 2019, o decreto nº 9.854, de 25 de junho, instituiu o plano nacional de aplicação da Internet das Coisas, contendo 5 objetivos, sendo um destes “melhorar a qualidade de vida das pessoas e promover ganhos de eficiência nos serviços” (BRASIL, 2019, p.1). O foco das ações do plano abrange pelo menos “os ambientes de saúde, de cidades, de indústrias e rural” (BRASIL, 2019,

p.1). Com isso, é nítido observar um movimento crescente na intenção de estimular iniciativas para a aplicação da Internet das Coisas no país.

Internet das Coisas

Ao falar sobre Gêmeos Digitais, a Internet das Coisas aparece frequentemente como a principal solução para a aquisição de dados, empregue na realização de simulações, análises e operações (BOJE *et al.* 2020; DANIOTTI *et al.* 2022; PAN *et al.*, 2021). Minerva, Lee e Crespi *et al.* (2020) expõem que há uma forte relação entre o GD e a *IoT*; e apresentam alguns possíveis cenários de aplicação para sensores virtuais, pacientes (saúde), cidades inteligentes e patrimônio cultural.

A título de exemplo, o estudo exposto em Allam *et al.* (2022) está voltado à ideia de aprimoramento do conceito “Cidade de 15 minutos”, com a possibilidade de que, através das tecnologias, seja um “[...] subproduto, ou uma evolução, da narrativa de cidade inteligente e, no futuro, pode se tornar ainda mais proeminente e amplamente adotado dentro dos modelos de cidades inteligentes” (ALLAM *et al.*, 2022, p. 14, tradução nossa). Nesta perspectiva, a figura do GD ganha destaque juntamente com a *IoT* e a rede 6G (em fase de desenvolvimento) para implementar, personalizar (de acordo com a localização) e acelerar a expansão do conceito de Cidade de 15 minutos (ALLAM *et al.*, 2022).

Na preservação do patrimônio histórico, o uso da *IoT* está presente nos sistemas de monitoramento das edificações/ ambientes internos, obras (NI *et al.*, 2021; MANFRIANI *et al.*, 2021); estruturas (ANGELIS *et al.*, 2020; UVA *et al.*, 2019; SCURO *et al.* 2021), somando se a outros esforços de conservação (HBIM, levantamentos indiretos), pois auxilia no processo de coleta de dados para as análises preventivas, mapeando os parâmetros que podem afetar os bens ao longo do tempo (MORA, *et al.*, 2021). Os GD, estão sendo trazidos com a possibilidade de se obter um acompanhamento frequente e praticamente simultâneo de dados, de acordo com Ni *et al.* 2022, o uso de GD seria adequado a este contexto. Neste estudo os autores realizaram uma aplicação prática no Teatro da Cidade (Norrköping,

Suécia), indicando os benefícios dessas informações na melhoria das condições de conservação e conforto do ambiente.

Na AEC, ao trazer uma definição de GD em sua pesquisa, Rafsanjani e Nabizadeh (2021) citam a Internet das Coisas como um facilitador na conexão de dados. Segundo os autores, a “[...] *IoT* constrói a base do gêmeo digital” (RAFSANJANI; NABIZADEH, p. 3, 2021, tradução nossa), onde, a partir dessas informações, se produz a replicação digital do sistema em tempo real. Os mesmos ainda expõem que concatenar dados em tempo real, entre o físico e virtual, é um desafio.

Os progressos tecnológicos direcionados às redes, como no caso do 5G (citado em uma das seções anteriores), com melhorias de recursos na velocidade, ampla conexão, segurança e baixa latência (tempo de resposta), podem alargar ainda mais os espaços de exploração na conjugação entre os sistemas físicos e virtuais, para as próximas décadas. “É difícil prever o futuro do conceito GD; no entanto, é um conceito que já está tendo um impacto significativo na indústria da manufatura e na *IoT*, e tem a possibilidade de ter um impacto muito grande na vida de muitas pessoas no futuro.” (MINERVA; LEE; CRESPI, 2020, p. 1818, tradução nossa).

Conclusões

Os Gêmeos Digitais estão recebendo cada vez mais espaço em diversas áreas, possibilitando simulações, tomada de decisões, análises etc. A definição de GD, traz em sua composição a relação de três elementos primordiais: a entidade física, o modelo digital e os dados (GRIEVES, 2022), além de uma comunicação bidirecional (SEPASGOZAR, 2021) se diferenciando de outros conceitos, pelo modo com que se relaciona com os dados.

Os GD, não necessariamente precisam estar associados à produção de uma representação digital da entidade física como um todo e nem inicialmente de sua efetiva construção no mundo físico, que pode ser realizada posteriormente contanto que seja executada, o que traz reduções no custo (GRIVES, 2022), mas

pode compor apenas uma parte da mesma abrangendo as mais diversas escalas de projeto.

A ideia de evolução do conceito de GD já é vislumbrada (YITMEN *et al.* 2021). Assim, também como a sua interação com demais conceitos (ex. *BIM*), além de sua aplicação ligada com outras tecnologias como a Inteligência Artificial, onde tem se demonstrado, de certo modo, uma preocupação com o uso no cotidiano dos espaços frequentados e habitados.

A internet das coisas já faz parte do dia a dia de diversas pessoas, e de suas rotinas nos espaços. Os movimentos de emprego da IoT com recursos digitais, podem ser vistos em diversos estudos, um destes exemplos, é sua utilização relacionada a realidade aumentada (JO; KIM, 2019; BLANCO-NÓVOA *et al.*, 2020). A IoT tem o potencial de dar suporte a um dos tripés dos GD (dados), coletando as informações do local, possibilitando realizar ações, e estando inclusive associada à ideia de futuro dos espaços (cidades e edifícios).

Apesar de GD ser um conceito cuja origem remonta à primeira década dos anos 2000, a aplicação na área da Arquitetura, Engenharia e Construção vem se fortalecendo apenas nos últimos anos, e, portanto, existem várias questões a serem exploradas. A implantação do 5G no Brasil pode dar suporte a impulsos de produção de mais projetos com foco na integração físico-virtual, porém, uma compreensão mais precisa do real impacto desse conceito e de sua adoção no ambiente construído só será melhor ampliada nas próximas décadas.

Referências

ALLAM, Zaheer; BIBRI, Simon Elias; JONES, David S.; CHABAUD, Didier; MORENO, Carlos. Unpacking the '15-Minute City' via 6G, IoT, and Digital Twins: Towards a New Narrative for Increasing Urban Efficiency, Resilience, and Sustainability. **Sensors**, [s.l.], v.22 n.4, p. 1-17, fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22041369>

ANGELIS, Alessio De; SANTONI, Francesco; CARBONE, Paolo; CECCONI, Manuela; VECCHIETTI, Alessia; LORENZO, Francesco Di. Development of an IoT Structural Monitoring System Applied to a Hypogeal Site. **Sensors**, [s.l.], v. 20, n. 23, p. 1-13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20236769>

ASHTON, Kevin. That 'Internet of Things' Thing. **RFID Journal**, [s.l.], 2009. Disponível em: <https://www.itrco.jp/libraries/RFIDjournal-That%20Internet%20of%20Things%20Thing.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2022

BNDES - Banco nacional do desenvolvimento. **Cartilha de Cidades**. jan. 2018. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivosinternetdascoisas/fase4_13_cartilha-de-cidades.pdf. Acesso em: 9 jul. 2022

BOJEA, Calin; GUERRIERO, Annie; KUBICKI, Sylvain; REZGUI, Yacine. Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research. **Automation in Construction**, [s.l.], v. 114, p. 1-16, jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179>

BLANCO-NÓVOA, Ó.; FRAGA-LAMAS, P.; VILAR-MONTESINOS, M. A.; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M. Creating the Internet of Augmented Things: An Open-Source Framework to Make IoT Devices and Augmented and Mixed Reality Systems Talk to Each Other, **Sensors**, [s.l.], v.20, n.11, p.1-27, jun.2020. DOI: 10.3390/s20113328

BRASIL. **5G**: Brasília é a primeira capital do país a oferecer a nova tecnologia, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/noticias/infraestrutura/07/5g-brasilia-e-a-primeira-capital-do-pais-a-oferecer-a-nova-tecnologia>, 2022. Acesso em 27 jul. 2022.

BRASIL. **Conceito BIM**, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/bim-no-dnit/o-que-e-o-bim>. Acesso em 12 jul. 2022

BRASIL. Decreto nº 9.854, 25 de 2019, 2019. Institui o Plano Nacional de Internet das Coisas e dispõe sobre a Câmara de Gestão e Acompanhamento do Desenvolvimento de Sistemas de Comunicação Máquina a Máquina e Internet das Coisas. **Diário Oficial**, Brasília, 25 jun. 2019.

BRASIL. Estratégia Brasileira para Transformação Digital. **E-Digital**, Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/centrais-de-conteudo/comunicados-mcti/estrategia-digital-brasileira/estrategiadigital.pdf>. Acesso em: 16 de maio de 2022.

CAMPOSANO, José Carlos; SMOLANDER, Kari; RUIPO, Tuomas. Seven Metaphors to Understand Digital Twins of Built Assets. **IEEE**, [s.l.], v. 9, p. 27167- 27181, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3058009

DANIOTTI, Bruno; MASERA, Gabriele; BOLOGNESI, Cecilia Maria; SPAGNOLO, Sonia Lupica; PAVAN, Alberto; IANNACCONE, Giuliana; SIGNORINI, Martina; CIUFFREDA, Simone, MIRARCHI, Claudio; LUCKY, Meherun; CUCUZZA, Marco. **The Development of a BIM-Based Interoperable Toolkit for Efficient Renovation in Buildings: From BIM to Digital Twin**. **Buildings**, [s.l.], v. 12, n. 2, p. 1-15, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12020231>

DICIO - **Dicionário Online de Português**. internet. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/internet/>. Acesso em: 13 jun. 2022

DOUGLAS, Dean; KELLY, Graham; KASSEM, Mohamad. BIM, DIGITAL TWIN AND CYBER-PHYSICAL SYSTEMS: CROSSING AND BLURRING BOUNDARIES. In: **Proceedings of the 2021 European Conference on Computing in Construction**, online, 2021. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.11030>

ERAMO, Romina; BORDELEAU, Francis; COMBEMALE, Benoit; BRAND, Mark van den; WIMMER, Manuel; WORTMANN, Andreas. Conceptualizing Digital Twins. **IEEE Software**, [s.l.], v. 39, n. 2, p. 39 - 46, 2022. DOI: 10.1109/MS.2021.3130755

18

EVANS, Dave. The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. **Cisco Internet Business Solutions Group**, [s.l.], p. 1-11, abr. 2011. Disponível em: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf. Acesso em: 21 jul. 2022.

GLAESSGEN. STARGEL. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles. In: **53rd Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference**. [s.l.], 2012. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20120008178>. Acesso em: 25 jul. 2022.

GRIEVES, Michael. **Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication**. [s.l.], p. 1-11, abr. 2014. Disponível em: <https://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS-SERVICES/DELMIA/PDF/Whitepaper/DELMIA-APRISO-Digital-Twin-Whitepaper.pdf>. Acesso em: 11 ago de 2022.

GRIEVES, Michael; Intelligent digital twins and the development and management of complex systems. **Digital Twin**, [s.l.], v. 1, p. 1-24, mai. 2022. DOI: 10.12688/digitaltwin.17574.1

GRIEVES, Michael; VICKERS, John. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In: KAHLEN, J., FLUMERFELT, S., ALVES, A. (org). **Transdisciplinary Perspectives on**

Complex Systems. Springer, 2017. DOI:10.1007/978-3-319-38756-7_4. E-book.

HASAN, Syed Mobeen; LEE, Kyuhyup; MOON, Daeyoon; KWON, Soonwook; JINWOO, Song; LEE, Seojoon. Augmented reality and digital twin system for interaction with construction machinery. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, [s.l.], v. 21, n. 2, p. 564-574, fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/13467581.2020.1869557>

HOSAMO, Haidar Hosamo; IMRAN, Aksa; CARDENAS-CARTAGENA, Juan; SVENNEVIG, Paul Ragnar; SVIDT, Kjeld; NIELSEN, Henrik Kofoed. A Review of the Digital Twin Technology in the AEC-FM Industry. **Hindawi Advances in Civil Engineering**, [s.l.], v. 2022, p. 1-17, mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/2185170>

HU, Ming. **Smart Building and Current Technologies.** In: HU, Ming. Smart Technologies and Design For Healthy Built Environments. Springer, 2021. E-book.

KALANTARI, Saleh; POURJABAR, Sina; XU, Tong Bill; KAN, Julia. Developing and user-testing a Digital Twins prototyping tool for architectural design. **Automation in Construction**, [s.l.], v. 135, p. 1-12, mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104140>

KENETT, Ron S.; BORTMAN, Jacob. The digital twin in Industry 4.0: A wide-angle perspective. **Qual Reliab Engng Int**, [s.l.], v. 38, n. 3, p. 1357-1366, jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/qre.2948>

KHODADADI, DASTJERDI, BUYYA. INTERNET OF THINGS: AN OVERVIEW. In: BUYYA, Rajkumar; DASTJERDI, Amir Vahid (org.). **Internet of Things: Principles and Paradigms.** MORGAN KAUFMANN, 2016. E-book.

JO, D; KIM, G. J. ARIoT: scalable augmented reality framework for interacting with Internet of Things appliances everywhere. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, [s. l.], v.62, n. 3, ago, 2016, p. 334-340. DOI: 10.1109/TCE.2016.7613201

LIU, Yang; SUN, Yuhui; YANG, Ang; GAO, Jing. Digital Twin-Based Ecogreen Building Design. **Complexity**, [s.l.], v. 2021, n. 1391184, p. 1-10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/1391184>

MANFRIANI, Chiara; GUALDANI, Giovanni; GOLI, GIACOMO; CARLSON, Bruce; CERTO, Anna Rita; MAZZANTI, Paola; FIORAVANTI, Marco. The Contribution of IoT to the Implementation of Preventive Conservation According to European Standards: The Case Study of the “Cannone” Violin and Its

Historical Copy. **Sustainability**, v. 13, n. 4, p. 1-10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13041900>

MINERVA, Roberto; LEE, Gyu Myoung; CRESPI, Noël. Digital Twin in the IoT Context: A Survey on Technical Features, Scenarios, and Architectural Models. **IEEE**, [s.l.], v. 108, n. 10, p. 1785 - 1824, maio. 2020. DOI: 10.1109/JPROC.2020.2998530.

MORA; Rocío SÁNCHEZ-APARICIO, Luis Javier; MATÉ-GONZÁLEZ, Miguel Ángel; GARCÍA-ÁLVAREZ, Joaquín; SÁNCHEZ-APARICIO, María; GONZÁLEZ-AGUILERA, Diego. An historical building information modelling approach for the preventive conservation of historical constructions: Application to the Historical Library of Salamanca. **Automation in Construction**, [s.l.], v. 121, p. 1- 22, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103449>

MÖTTUS, Matti; DEES, Matthias; ASTOLA, Heikki; DALEK, Stanislaw; HALME, Eelis; HÄME, Tuomas; KRZYZANOWSKA, Monika; MÄKELÄ, Annikki; MARIN, Gheorghe; MINUNNO, Francesco; PAWLOWSKI, Gero; PENTTILÄ, Juho; RISTIMÄKI, Jussi. A Methodology for Implementing a Digital Twin of the Earth's Forests to Match the Requirements of Different User Groups. In: **12th International Symposium on Digital Earth, 12**. GI_Forum 2021, v. 9, p. 130-136, 2021. DOI: 10.1553/giscience2021_01_s130

NATIVI, Stefano; MAZZETTI, Paolo; CRAGLIA, Max. Digital Ecosystems for Developing Digital Twins of the Earth: The Destination Earth Case. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 13, n. 11, p. 1-25, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13112119>

NI, Zhongjun; LIU, Yu; KARLSSON, Magnus; GONG, Shaofang. A Sensing System Based on Public Cloud to Monitor Indoor Environment of Historic Buildings. **Sensors**, [s.l.], v. 21, n. 16, p. 2- 20, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21165266>

NI, Zhongjun; LIU, Yu; KARLSSON, MAGNUS, GONG, Shaofang. Enabling Preventive Conservation of Historic Buildings Through Cloud-based Digital Twins: A Case Study in the City Theatre, Norrköping. **IEEE**, [s.l.], v. 10, p. 90924 - 90939, 2022. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3202181

NIKOUI, Tina Samizadeh; RAHMANI, Amir Masoud; BALADOR, Ali; JAVADI, Hamid Haj Seyyed. Internet of Things architecture challenges: A systematic review. **International journal of communication systems**, [s.l.], v. 34, n. 4, p. 1-42, dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/dac.4678>

NIŽETIĆ, Sandro; SOLIC, Petar; GONZÁLEZ-DE-ARTAZA, Diego Lopez-de-Ipiña; PATRONO, Luigi. Internet of Things (IoT): Opportunities, issues and challenges towards a smart and sustainable future. **Journal of Cleaner**

Production, [s.l.], v. 279, p. 1-32, nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122877>

PAN, Yue; ZHANG, Limao. A BIM-data mining integrated digital twin framework for advanced project management. **Automation in Construction**, [s.l.], v. 124, p. 1-15, abr. 2021. DOI: [10.1016/j.autcon.2021.103564](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103564)

POPOVSKY, Petar; TRILLINGSGAARD, Kasper F; SIMEONE, Osvaldo; DURISI, Giuseppe. 5G Wireless Network Slicing for eMBB, URLLC, and mMTC: A Communication-Theoretic View. **Networking and Internet Architecture**, [s.l.], p. 1-32, ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1804.05057>

RAFSANJANI, Hamed Nabizadeh; NABIZADEHB, Amir Hossein. Towards digital architecture, engineering, and construction (AEC) industry through virtual design and construction (VDC) and digital twin. **Energy and Built Environment**, [s.l.], p. 1-10, nov. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.10.004>

RICCI, Alessandro; CROATTI, Angelo; MONTAGNA, Sara. Pervasive and Connected Digital Twins – A Vision for Digital Health. **IEEE Internet Computing**. [s.l.], p. 1-8, nov. 2021. DOI: [10.1109/MIC.2021.3052039](https://doi.org/10.1109/MIC.2021.3052039)

SEPASGOZAR, Samad M. E. Differentiating Digital Twin from Digital Shadow: Elucidating a Paradigm Shift to Expedite a Smart, Sustainable Built Environment. **Buildings**, [s.l.], v.11, n. 4, p. 1-16. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings11040151>

SCURO, C; LAMONACA, F; PORZIO, S. MILANI, G. OLIVITO, R.S. Internet of Things (IoT) for masonry structural health monitoring (SHM): Overview and examples of innovative systems. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 290, p. 1-22, jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123092>

TAIVALSAARI, Antero; MIKKONEN, Tommi. Cloud Technologies for the Internet of Things: Defining a Research Agenda Beyond the Expected Topics. In: Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications. **IEEE**, [s.l.], p. 484 - 488, 2015. DOI: [10.1109/SEAA.2015.12](https://doi.org/10.1109/SEAA.2015.12)

UVA, G.; SANGIORGIO, V.; RUGGIERI, S.; FATIGUSO, F. Structural vulnerability assessment of masonry churches supported by user-reported data and modern Internet of Things (IoT). **Measurement**, [s.l.], v. 131, p.183-192, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.08.014>

WALKUP, Deb; LITTLE, Jeff. Industrial Internet of Things (IIoT) Sensors. In: TARANTINO, Anthony. **Smart Manufacturing: The Lean Six Sigma Way**. 1. ed. [s.l.], Wiley, 2022. p. 188. E-book.

VAN DER AALST, Will M. P.; HINZ, Oliver; WEINHARDT, Christof. Resilient Digital Twins: Organizations Need to Prepare for the Unexpected. **Bus Inf Syst Eng**, [s.l.], v. 63, n. 6, p. 615- 619, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12599-021-00721-z>

WANG, Jianxin; LIM, Ming K; WANG; Chao; TSENG, Ming-Lang. The evolution of the Internet of Things (IoT) over the past 20 years. **Computers & Industrial Engineering**, [s.l.], v. 155, p. 1-17, maio de 2019. DOI: 10.1016/j.cie.2021.107174

YITMEN, Ibrahim; ALIZADEHSALEHI, Sepehr; AKINER, Ilknur; AKINER, Muhammed Ernur. An Adapted Model of Cognitive Digital Twins for Building Lifecycle Management. **Applied Sciences**, [s.l.], v. 11, n. 9, p. 1-22, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11094276>

NOTA

Publisher

Universidade Federal de Goiás. Programa de Pós-graduação Projeto e Cidade. Publicação no Portal de Periódicos UFG.

As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

RECEBIDO EM: 06/12/2022

APROVADO EM: 23/12/2022

PUBLICADO EM: 31/12/2022