4° Workshop de tecnologia de sistemas e processos construtivos
TECSIC 2023

Porto Alegre, RS, Brasil, 23 e 24 de agosto de 2023

A tecnologia de *3D scanning* em apoio à documentação técnica do Edifício Copan

3D scanning technology in support of the technical documentation of the Copan Building

Daniel Farias da Silva Bernardo
Universidade de São Paulo | São Paulo | Brasil | daniel.farias.bernardo@usp.br
Fabiana Lopes de Oliveira
Universidade de São Paulo | São Paulo | Brasil | floliveira@usp.br
Fabiano Rogerio Corrêa
Universidade de São Paulo | São Paulo | Brasil | fabiano.correa@usp.br

Resumo

Este artigo apresenta os resultados da documentação arquitetônica referente ao Edifício Copan, localizado na cidade de São Paulo. Foi utilizada a tecnologia denominada laser scanning para determinação e registro da geometria as built do embasamento do edifício. A partir da geometria real obtida, em conjunção com informações resgatadas de documentos primários e bibliográficos, foi possível propor uma planta contendo uma série de informações técnicas dos elementos de fundação do edifício. Pretende-se, com a apresentação do estudo de caso, contribuir com a exemplificação de uma pesquisa com multimétodo focada na documentação técnica de uma construção histórica, desvendando o sistema estrutural das fundações até então desconhecido.

Palavras-chave: Documentação arquitetônica, 3D *scanning*, Edifício Copan.

Abstract

This article presents the results of the architectural documentation regarding the Copan Building, located in the city of São Paulo. The technology known as laser scanning was used to determine and record the as built geometry of the building's base. Based on the obtained real geometry, in conjunction with information retrieved from primary and bibliographic documents, it was possible to propose a plan containing a series of technical information about the building's foundation elements. With the presentation of the case study, the aim is to contribute

Como citar:
BERNARDO, D. F. S.; OLIVEIRA, F. L.; CORRÊA, F. R. A tecnologia de 3D *scanning* em apoio à documentação técnica do Edifício Copan. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE SISTEMAS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS, 23 e 24 AGO 2023, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2023. p. 127-133.

to the exemplification of a multimethod research focused on the technical documentation of a historical construction, unveiling the previously unknown foundation structural system.

Keywords: Architectural documentation, 3D scanning, Copan Building.

INTRODUÇÃO

Conhecer sobre os sistemas construtivos que compõem uma edificação antiga pode ser decisivo na interpretação das manifestações de suas degradações, de forma a diagnosticá-las corretamente e propor formas mais eficientes de se intervir, com respeito à memória do patrimônio e com contribuições para a segurança ao uso dessas construções [1] [2].

O recorte realizado neste artigo tem como foco o embasamento do Edifício Copan, ícone da arquitetura moderna da cidade de São Paulo, concebido por Oscar Niemeyer. Os resultados aqui apresentados subsidiam a resolução da problemática central de uma ampla pesquisa em desenvolvimento, que busca compreender o histórico de recalques de fundação do edifício, cujos primeiros registros remontam aos anos iniciais de sua construção [3].

Notou-se, no decorrer do processo compreensivo desses recalques, que as informações técnicas da estrutura do edifício são escassas, incompletas e, muitas vezes, contraditórias entre si nos registros bibliográficos existentes, os quais se atentam, na maioria das vezes, a aspectos de cunho arquitetônico. Além disso, os projetos originais de engenharia do edifício, assim como a documentação técnica e iconográfica relacionada à sua concepção estrutural, aos recalques de suas fundações e ao desenvolvimento das obras do edifício ao longo dos anos, são segmentados, estão dispersos por diferentes acervos e ainda não foram resgatados, analisados e registrados sob o viés das técnicas e das tecnologias construtivas empregadas no edifício.

Durante o processo de levantamento documental, tentativas de digitalização de diferentes plantas originais do edifício e sua sobreposição entre si já haviam mostrado diferenças no posicionamento de pilares e na própria forma da torre, o que gerou dúvidas sobre a concordância entre os projetos originais e situação *as built* do edifício. Testes de medições com métodos diretos mostraram pouco sucesso por diversas razões, dentre elas, as grandes dimensões e a forma sinuosa e irregular do edifício, além da grande quantidade de conflitos com carros e objetos depositados no local (subsolos do edifício).

Tendo em mente as dificuldades citadas e dadas as diversas possibilidades advindas das tecnologias digitais, entendeu-se a necessidade de buscar uma solução tecnológica que atendesse a tais demandas. A solução escolhida foi a utilização de tecnologia de varredura a *laser*, denominada *laser scanning*. Diversos trabalhos nacionais tratam do *3D scanning* [4] [5] e, mais especificamente, sua utilização dentro da temática do patrimônio histórico [6] [7]. A técnica foi aplicada para o levantamento métrico-arquitetônico do edifício, para então se prosseguir para a produção dos novos materiais documentais do seu embasamento. Neste artigo será apresentada a planta de fundações produzida do edifício.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho procurou seguir a metodologia recomendada pelo *International Council of Monuments and Sites* (ICOMOS), referente à avaliação estrutural de construções históricas, e dividiu a investigação em três etapas bem definidas: pesquisa documental (investigação histórica, estrutural e arquitetônica), inspeção visual e levantamento geométrico através do uso de *laser scanner* [1].

PESQUISA DOCUMENTAL E INSPEÇÃO VISUAL

As atividades básicas da pesquisa documental, para fins de caracterização estrutural do Copan, foram a consulta, sistematização, análise e reflexão crítica de fontes primárias, constituídas por plantas, fotografias e documentos técnicos originais da fase construtiva do edifício, os quais se encontram dispersos por diferentes acervos, tais como o da FAUUSP, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e do próprio condomínio do Edifício Copan. Além disso, publicações bibliográficas, produzidas por acadêmicos sobre o Copan, foram resgatadas e consultadas. A documentação focou prioritariamente no embasamento do edifício. Com o intuito de colher informações detalhadas da conformação atual dos sistemas estruturais do Copan, foram realizadas inspeções visuais nos dois subsolos do edifício.

LEVANTAMENTO GEOMÉTRICO A *LASER*

O escaneamento foi realizado em uma área de mais de 9.000 m², abrangendo o 1º e 2º subsolo do edifício - área de interesse para extração da geometria *as built e* do posicionamento dos pilares do embasamento. Para produção da planta de fundações do edifício foram utilizados os dados apenas do 2º subsolo. Foi utilizado um *laser scanner* terrestre (LST) modelo Trimble TX8®, que possui unidade *laser* invisível classe 1, com comprimento de onda de 1,5 µm. O equipamento fornece um campo de visão de 360° (horizontal) x 317° (vertical) e possui uma câmera HDR integrada com campo total de visão, que faz simultaneamente o registro fotográfico dos locais escaneados (Figura 1). O erro sistemático máximo de amplitude do LST utilizado é de 2 mm a uma distância entre 1,5 m e 100 m. O tempo de cada ciclo de varredura foi de 4 minutos.

Figura 1: Processo de escaneamento do 2º subsolo



Nota: A imagem da direita mostra a visualização do modelo fotográfico obtido no software de manipulação. Fonte: o autor.

O processamento da nuvem de pontos foi realizado em uma estação constituída por um processador Intel® Core™ i7-8550U CPU @1.80GHz 1.99 GHz, sistema operacional de 64 bits, processador baseado em x64, SSD de 128GB, memória RAM de 16GB e placa de vídeo dedicada Radeon de 4 GB. As nuvens de pontos geradas em cada um dos ciclos individuais de escaneamento foram manipuladas no software Trimble REALWORKS®. As etapas de manuseio dos dados foram: importação dos arquivos contendo as nuvens de pontos, registro e orientação, segmentação das áreas de interesse e produção das imagens 2D (ortofotos). As ortofotos geradas continham os limites geométricos do edifício, que serviram de referência para produção das plantas 2D no padrão CAD. Os parâmetros obtidos da nuvem final processada estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros do processamento da nuvem de pontos do 2º subsolo

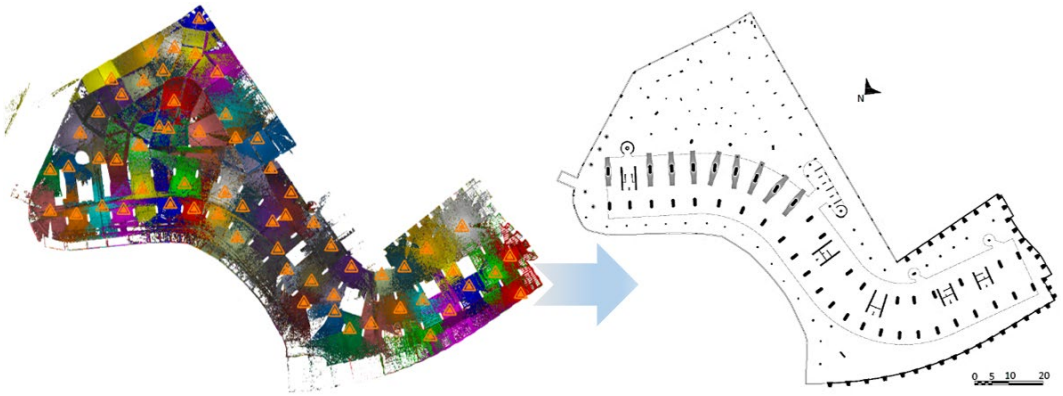
Parâmetro	Valor
Quantidade de ciclos de escaneamento	64
Quantidade de Pontos	2.235.380.589
Erro geral de nuvem para nuvem	1,04 mm
Intervalo dos Índices de confiança	61 - 100%

Fonte: o autor.

PRODUÇÃO DAS BASES DOCUMENTAIS DO COPAN

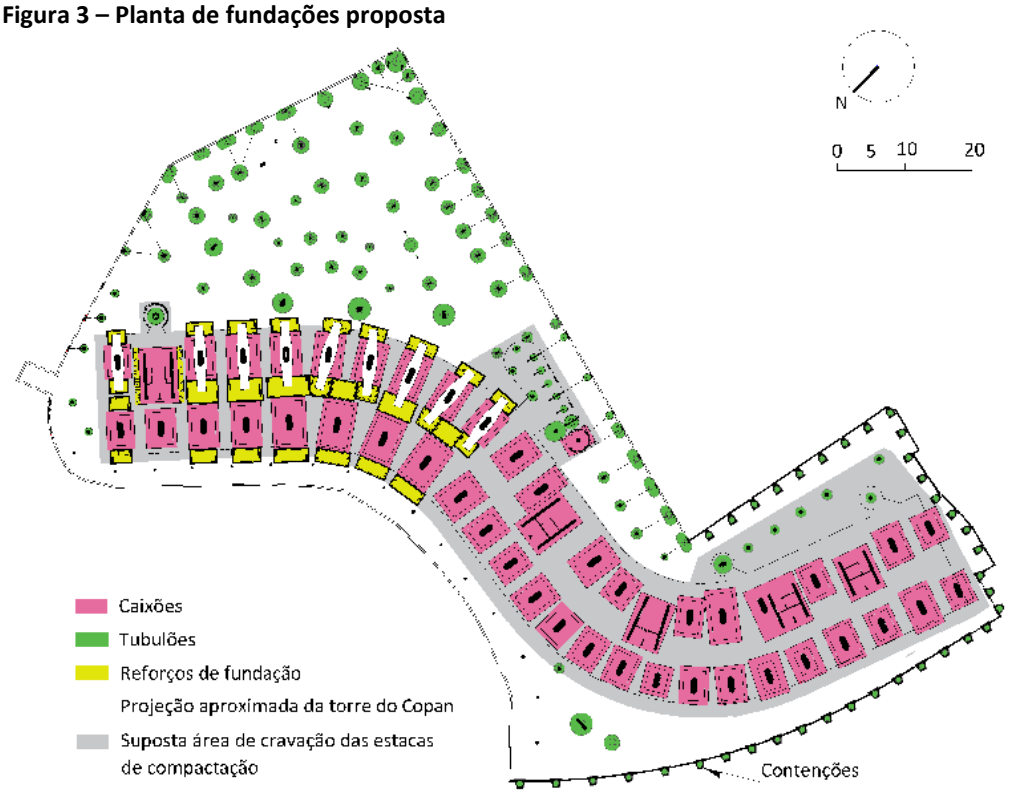
A partir dos limites físicos obtidos, em conjunção com as informações resgatadas das fontes primárias, indicando as características dos elementos estruturais, pôde-se então se propor uma planta com a localização dos pilares do edifício no pavimento analisado, conforme se observa na Figura 2. Por fim, tomando-se como base a planta obtida, pôde-se prosseguir para a produção de documentos mais detalhados, como a planta de fundações apresentada na Figura 3.

Figura 2 – Produção da planta com a localização dos pilares do 2º subsolo a partir da nuvem de pontos



Fonte: o autor.

Figura 3 – Planta de fundações proposta

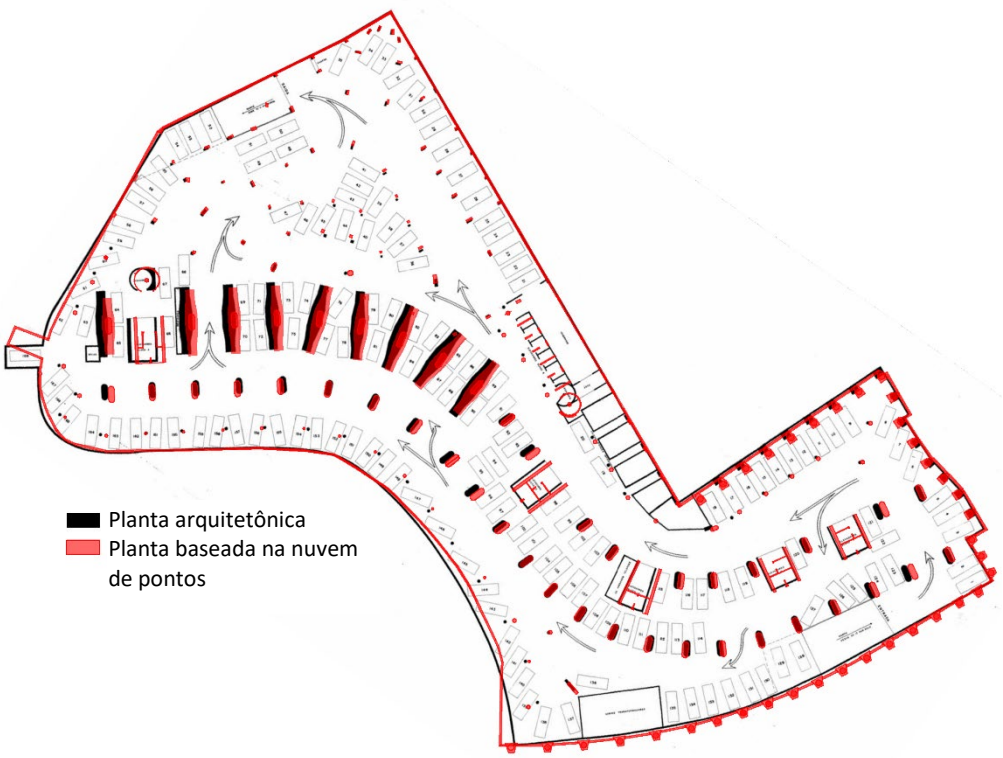


Nota: Observa-se que o edifício foi executado em fundações profundas do tipo caixões e tubulões cravados a ar comprimido. Na projeção da torre, foi realizado um trabalho preliminar de melhoramento do solo abaixo da cota dos caixões, previamente a sua execução, cravando-se uma malha estacas de compactação pré-moldadas de concreto armado. O edifício teve suas fundações reforçadas em 1962, depois de se constatar, pelo monitoramento dos recalques, distorções angulares críticas. Fonte: o autor.

A planta de fundações obtida foi produzida pela junção de informações técnicas de dezenas de documentos emitidos ao longo dos 20 anos de construção do edifício. Ela é uma proposta baseada nas versões mais recentes encontradas dos projetos originais, em documentos técnicos oficiais, como o relatório preliminar sobre o estudo da estabilidade das fundações projetadas para o Edifício Copan [8], encomendado ao IPT em 1954, e em referências bibliográficas importantes publicadas na segunda metade do século XX, nas quais acadêmicos analisam as fundações do edifício [9] [10] [11].

A Figura 4 mostra a sobreposição da planta obtida a partir da varredura a laser com uma planta do projeto arquitetônico da fase construtiva do edifício. Veem-se diferenças marcantes nas características geométricas em cada uma das representações, notadamente no posicionamento dos pilares e contenções. Essas diferenças só são vistas corretamente em uma escala de aproximação maior, pois em proporções menores essas não são perceptíveis adequadamente. Esse resultado suscita abordagens a serem desenvolvidas por pesquisas futuramente.

Figura 4 – Sobreposição do resultado da varredura a *laser* com planta arquitetônica do período construtivo.



Nota: A planta arquitetônica utilizada na comparação foi emitida no período construtivo do edifício e pertence ao acervo iconográfico da FAUUSP. Fonte: composição produzida pelo autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A varredura por intermédio do escaneamento 3D atendeu às necessidades da pesquisa ao possibilitar a coleta de uma grande quantidade de dados geométricos, de forma rápida e com precisão adequada para as representações gráficas elaboradas. Além disso, o *scanner*, por meio de sua câmera integrada, facilitou o acesso à certos detalhes que poderiam ter passado despercebidos nas visitas *in loco*. Desta forma, pode-se dizer que o 3D *scanning* se mostrou uma poderosa ferramenta para a documentação métrica-arquitetônica no âmbito do patrimônio histórico.

Em relação à utilização de informações provenientes de fontes primárias, esta deve ser feita de forma cautelosa, uma vez que pode haver incertezas sobre a confiabilidade de se estar trabalhando com as últimas revisões de cada documento. Para tal, é recomendado o cruzamento constante de informações entre o material encontrado, de forma a retroalimentar o próprio processo decisório de registro. Afinal, informações técnicas relacionadas à construção de edificações históricas são também informações de cunho histórico. A produção de conjuntos documentais inéditos, obtidos pelo resgate, organização, análise crítica e síntese de dados provenientes das fontes primárias e bibliográficas, possibilita a circulação das informações obtidas nos originais e, por fim, colabora com as atividades de salvaguarda do bem patrimonial.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida, processo número 88887.512030/2020-00.

Ao condomínio do Edifício Copan, na figura do síndico Sr. Affonso Celso Prazeres de Oliveira, por permitir o desenvolvimento da pesquisa.

À Trimble pela disponibilização das licenças dos softwares.

REFERÊNCIAS

[1] ICOMOS. Icomos Charter - Principles for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage. In: INTERNATIONAL COUNCIL ON MONUMENTS AND SITES**. Proceedings...** Thessalonik: ICOMOS, 2003.

[2] ICOMOS. Principles for the recording of monuments, groups of buildings and sites. In: 11th ICOMOS GENERAL ASSEMBLY. **Proceedings...** Sofia: ICOMOS: 1996.

[3] BERNARDO, D. F. S.; OLIVEIRA, F. L.; CAMPOS, G. C. Monitoramento dos recalques do edifício Copan. In: 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, 2022, Gramado. **Anais...** ALCONPAT Brasil: Gramado, 2022. p. 825-834.

[4] ARAÚJO, A. **Cadastro 3D no Brasil a partir de varreduras a laser (laser scanning)**. 2015. 178p. Florianópolis: Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2015.

[5] KÜHL, B. M.; *et al*. Escaneamento a laser em três dimensões e métodos de levantamento integrados: reflexão crítica a partir da cooperação FAUUSP - DIAPReM. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 16, p. 1-17, 2021.

[6] NOVAES, M. V. F. **A tecnologia e seu lugar na metodologia de restauro: O *3D Laser Scanning* como forma de documentação arquitetônica e sua aplicação no restauro do Palacete Tereza Lara em São Paulo.** 2018. 293p. São Paulo: Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

[7] SAVIANE, B. M.; CAMPIOTTO, R. C. Complexo do Itamaraty, Rio de Janeiro: uma campanha de levantamento arquitetônico. In: PATRIMÔNIO 4.0: CONECTANDO DIMENSÕES DA REALIDADE, 2022, Goiás. **Anais...** Goiás, 2022. v. 1. p. 315-325.

[8] VARGAS, M. **Relatório Preliminar sobre o estudo da estabilidade das fundações projetadas para o Edifício "Copan"**. Relatório técnico. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1954.

[9] MACHADO, J. Discussão no painel "Fundações diretas a profundas, sem uso de estacas". In: 2° CONGRESSO PANAMERICANO DE MECÂNICA DOS SOLOS, 1963, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1963. v. 2. p. 600-609.

[10] VARGAS, M.; MORAES, J. T. L. Long term settlement of tall buildings on sand. In: 12th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 1989, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1989. v. 1. p. 765-768.

[11] VARGAS, M.; SILVA, F. P. O problema das fundações de edifícios altos: experiência em São Paulo e Santos. In: CONFERÊNCIA SUL-AMERICANA SOBRE EDIFÍCIOS ALTOS, 1973, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ASCE/ABSE, 1973. p. 307-316.