ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Manifestações patológicas de fundações superficiais: estudo de caso de uma edificação

Pathological manifestations of superficial foundations: case study of a building

Stefhani Gabriela Gonçalves Oliveira
Instituto Federal de Minas Gerais | Belo Horizonte | Brasil |
oliveirastefhani@gmail.com
Janaína Aguiar Park
Instituto Federal de Minas Gerais e CEFET-MG | Belo Horizonte | Brasil |
janaina.park@ifmg.edu.br

Resumo

O surgimento de trincas e fissuras pode ser um indício de patologia de algum elemento estrutural da edificação, como a fundação. As patologias advindas da fundação são de difícil detecção e sua origem pode estar ligada a fatores desencadeados em diferentes fases da fundação: investigação geotécnica, concepção do projeto, execução da obra e utilização da edificação. Dessa forma, o objetivo desse artigo é apresentar as patologias advindas da fundação e as metodologias que podem ser usadas para a sua identificação. Para isso, foi realizado um estudo de caso em uma edificação que sofreu recalque diferencial na cidade de Belo Horizonte/MG. Os resultados mostraram os problemas nas diferentes fases da construção e a importância da eficiente fiscalização nas diferentes etapas da obra. Espera-se com esse artigo agregar discussões e conhecimento acerca do tema para o desenvolvimento de pesquisas na área de patologias.
Palavras-chave: Patologia. Fundação Superficial. Recalque. Trincas. Fissuras.

Abstract

The emergence of cracks and fissures can be an indication of pathology in some structural element of the building, such as the foundation. Pathologies arising from the foundation are difficult to detect, and their origin may be linked to factors triggered at different phases of the foundation: geotechnical investigation, project design, construction execution, and building usage. Thus, the objective of this article is to present the pathologies arising from the foundation and the methodologies that can be used for their identification. For this purpose, a case study was conducted on a building that suffered differential settlement in the city of Belo Horizonte/MG. The results revealed issues across various phases of construction and highlighted the significance of effective oversight at each stage of the project. It is hoped this article will contribute to discussions and expand knowledge on the topic, fostering the development of research in the field of pathologies.
Keywords: Pathology. Shallow Foundation. Settlement. Cracks. Fissures.

Como citar:
OLIVEIRA, S. G.G.; PARK, J.A. Manifestações patológicas de fundações superficiais: estudo de caso em uma edificação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

INTRODUÇÃO

A fundação tem por finalidade a transmissão das cargas de uma edificação para o solo, podendo ser do tipo superficial ou profunda. Fundações superficiais, ou fundações diretas, são aquelas em que as tensões são transmitidas diretamente pela base por compressão. Já nas fundações profundas, ou fundações indiretas, a tensão é transmitida majoritariamente por atrito lateral entre o solo e a fundação [1].

O recalque é uma deformação do solo proveniente de carregamentos verticais no terreno ou em cotas próximas a ele. Os recalques podem ocorrer após a construção ou serem desenvolvidas lentamente após a aplicação da carga [2]. A diferença dos recalques entre as fundações é denominada recalque diferencial, segundo o mesmo autor, nos recalques imediatos não há recuperação do solo no descarregamento. O recalque diferencial produz distorções na estrutura, que podem acarretar em fissuras [3].

Quando mal executadas, as fundações sofrem recalques além do admissível, o que pode gerar patologias em formas de fissuras, rachaduras e outros danos à edificação. As patologias nas fundações são ocasionadas por uma ou mais falhas que podem ocorrer ou ser originadas em diferentes fases de uma fundação: (1) caracterização e comportamento do solo; (2) análise e concepção do projeto; (3) execução da obra; (4) utilização da estrutura (eventos pós conclusão da obra) [2].

Quando ocorrem manifestações patológicas advindas da fundação, os quais comprometem a segurança e funcionalidade da edificação, é necessário avaliar se o recalque ainda está em curso por meio do acompanhamento das fissuras. A escolha adequada para a correção das manifestações patológicas está intrinsecamente ligada à identificação da sua causa [2]. Podem ser utilizados métodos para estabilização do recalque por meio de reparo ou reforço nos materiais, aumento da área de apoio, melhoria das condições do solo e/ou com estacas injetadas [1][3][4].

Diante da complexidade e da relevância do tema no contexto da engenharia civil, este trabalho propõe o estudo das manifestações patológicas relacionadas a fundações superficiais por meio de um estudo de caso. A edificação escolhida foi um imóvel de uso comercial e residencial na cidade de Belo Horizonte. Por meio da análise do histórico da edificação e do monitoramento da estrutura, são analisadas as principais causas que ocasionaram o aumento expressivo das manifestações patológicas nas diferentes fases do empreendimento, além de serem apontadas possíveis práticas de prevenção e análise das medidas corretivas adotadas para a problemática.

ESTUDO DE CASO

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O caso estudado refere-se a um imóvel de 2 andares constituído de um pavimento comercial (padaria) no andar inferior e um residencial no andar superior com piscina, situado na zona sul da cidade de Belo Horizonte - Minas Gerais (Figura 1). Em setembro

de 2021, foi iniciada uma obra vizinha para a implementação de um novo empreendimento de edifício vertical ao lado da propriedade.

Figura 1 - Localização da edificação.



Fonte: [9], modificado pelos autores.

A obra foi iniciada com a demolição de três casas antigas e a escavação de 3 metros abaixo do nível da rua, onde seriam executados contrafortes armados na divisa com a padaria.

As escavações foram iniciadas durante o período chuvoso, em outubro de 2021, e durante esse processo o proprietário da padaria constatou o agravamento das fissuras presentes no imóvel, comunicando aos responsáveis pela obra. A obra foi paralisada e os taludes protegidos com lona. Com a continuação da chuva, foi constatado o agravamento das anomalias, o que levou a construtora a contratar um perito técnico.

VISTORIA CAUTELAR

Antes do início das obras, em 22 de junho de 2021, foi realizada vistoria cautelar, utilizando fissurômetro e análises qualitativas na construção, pela construtora, nos imóveis vizinhos ao novo empreendimento, com o objetivo de identificar e caracterizar a existência de possíveis anomalias. No imóvel da padaria, constatou-se a existência de trincas, fissuras e infiltrações (Figura 2), principalmente no muro de divisa com os fundos.

Figura 2 - Constatações de vistoria cautelar.



Nota: a) trinca no muro de divisa padaria/fundos; b) trincas no muro de divisa padaria/fundos; c) trinca no muro do segundo pavimento padaria no corredor; d) trinca no hall da padaria; e) infiltração no teto do cômodo fritadeira, proveniente da infiltração da piscina; f) trincas e fissuras no pilar do corredor, divisa com obra. Fonte: o autor.

MONITORAMENTO DA ESTRUTURA

Em dezembro de 2021, foi iniciado pela construtora, juntamente com o perito para avaliar o imóvel, o monitoramento da edificação com o uso de escoras metálicas, tubos de inspeção, lâmina vítrea e pêndulo, constatando assim a movimentação horizontal e vertical do imóvel e o agravamento das trincas e fissuras.

As escoras metálicas foram colocadas em todas as vigas da padaria em virtude das deformações horizontais estruturais. Constatou-se que as deformações evoluíram de maneira crescente e que as vigas mais próximas da divisa com a obra e as próximas aos cômodos da divisa dos fundos obtinham uma deformação superior às outras. A Figura 3 mostra os locais onde foram inseridas as escoras metálicas na padaria.

Figura 3 - Escoras metálicas



Nota: a) Hall do imóvel; b) Salão abaixo das vigas transversais que sustentam o pavimento superior; c) Hall da padaria; d) Garagem da padaria. Fonte: acervo pessoal do perito Gérson Campera (2021).

O monitoramento do nível d'água foi realizado diariamente entre o período de janeiro e fevereiro de 2022. A Tabela 1 apresenta o monitoramento na segunda quinzena do mês de fevereiro de 2022. Observa-se uma variação maior do N.A. na padaria conforme a ocorrência de precipitação pluviométrica, sugerindo a existência de rede de drenagem rompida abaixo da edificação e no interior do aterro.

Tabela 1: Nível d'água obra e padaria

	Altura do nível d'água	
Data	Obra[1]	Padaria[1]
14/02/2022	0,08m	1,70m
15/02/2022	0,08m	1,70m
16/02/2022	0,14m	1,50m
17/02/2022	0,14m	1,32m
18/02/2022	0,08m	1,40m
21/02/2022	0,18m	1,45m
22/02/2022	0,25m	1,45m
23/02/2022	úmido	1,33m

[1] furo de 1,90m abaixo do nível do solo

Fonte: o autor.

Também foram colocados pêndulos (Figura 4) nos pilares de sustentação do hall e corredor que permitiram confirmar maiores deformações angulares nos pilares mais próximos à obra.

Figura 4 – Pêndulos



Nota: Recobrimento rompido devido a deformação sofrida pelo pilar, prumo vertical no pilar do hall; b) pêndulo vertical no pilar do corredor. Fonte: acervo pessoal do Perito Gérson Campera.

Lâminas vítreas e placas de gesso (Figura 5) foram colocadas nas trincas e fissuras, ao longo do pavimento inferior e superior. Observações diárias constataram que o recalque estava em curso devido ao rompimento delas, principalmente nos cômodos do andar superior de divisa com a obra e nos fundos da padaria.

Figura 5 - Lâmina vítrea e placa de gesso.



Nota: a) Placa de gesso situado no hall. b) placa de gesso situado na garagem c) placa de gesso situado no quarto do andar superior d) lâmina vítrea situado no hall do andar inferior. Fonte: acervo pessoal do Perito Gérson Campera.

PARECER TÉCNICO DO PERITO

Durante as pesquisas e investigações a respeito do imóvel realizado pelo perito averiguou-se que a edificação foi construída há mais de 40 anos sobre aterro mal compactado, fundação de baixa profundidade (<2m), sem avaliação por sondagens e agravados com diversos vazamentos nas instalações hidrossanitários e pluviais, gerando uma intensa instabilidade na camada de aterro de sustentação do imóvel.

Os registros fotográficos (Figuras 6 e 7) são comprobatórios das deformações identificadas na edificação em virtude do adensamento vertical do solo de sustentação em nível térreo, com trinca de 45° com o plano horizontal oriunda do recalque diferencial da fundação.

Figura 6 - Vista parcial interna da alvenaria da suíte/apartamento superior.



Nota: acervo pessoal do Perito Gérson Campera.

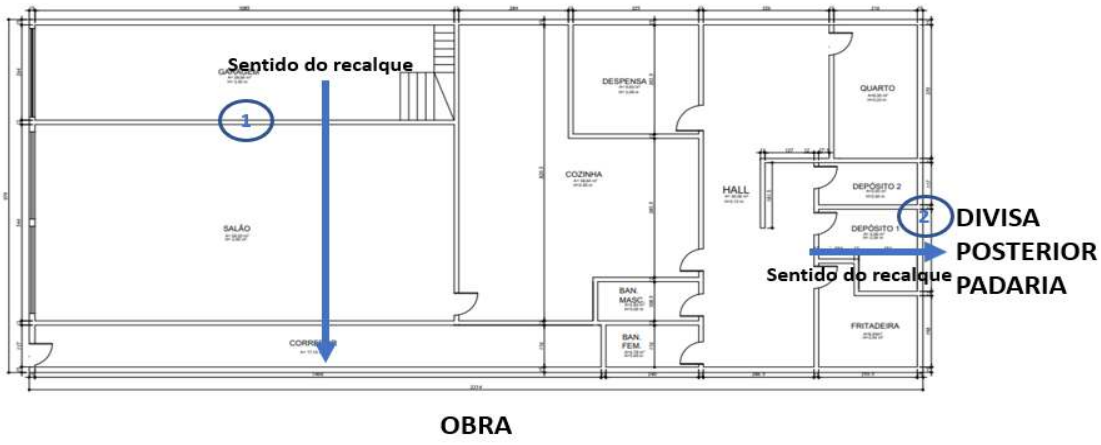
Figura 7 - Vista parcial interna da alvenaria do banheiro do apartamento superior.



Nota: acervo pessoal do Perito Gérson Campera.

O sentido do recalque diferencial ocorreu em direção a obra e em direção a divisa dos fundos da padaria (Figura 8).

Figura 8- Sentido do recalque diferencial em planta baixa.



Fonte: o autor.

No local 1 da Figura 8 houve rachaduras de 2cm entre a parte inferior da viga e a alvenaria, evidenciando o deslocamento da estrutura que ocorreu em toda a extensão da viga (Figura 9).

Figura 9 - Evidências do recalque diferencial em direção a obra.



Nota: acervo pessoal do Perito Gérson Campera.

No local 2 (fundos da padaria que faz divisa com outro lote), a rachadura, já evidenciada na vistoria cautelar preliminar a execução da contenção, sofreu evolução na sua abertura, confirmando também as deformações. Além disso, o piso da casa que faz divisa com a parte dos fundos da padaria sofreu uma inclinação de proporção considerável (Figura 10).

Figura 10 – Evidências do recalque diferencial em direção a divisa posterior padaria no local 2 da Figura 8.



Nota: acervo pessoal do Perito Gérson Campera.

Análise dos possíveis fatores que provocaram as manifestações patológicas

Diante dos acontecimentos supracitados, é possível detectar uma série de fatores que auxiliaram na ocorrência do recalque diferencial da edificação e no aparecimento das patologias. A seguir, esses fatores serão explorados de acordo com as quatro etapas da obra (caracterização e comportamento do solo, análise e projeto, execução, eventos pós conclusão da fundação), de maneira a facilitar a identificação de possíveis medidas preventivas.

CARACTERIZAÇÃO E COMPORTAMENTO DO SOLO

O principal objetivo das análises geotécnicas é a obtenção de dados úteis para caracterização do solo, sendo uma etapa fundamental para o correto dimensionamento da fundação. Porém, na edificação estudada (padaria), essa etapa não foi realizada, acarretando em um possível subdimensionamento da fundação.

Segundo projetos fornecidos pelo proprietário, a fundação dimensionada pelo engenheiro estrutural na época da construção foi de uma sapata com profundidade de 2m. Analisando o boletim de sondagem realizado após o incidente, há um aterro de 4m na parte frontal da padaria e 10m na parte dos fundos. Também é possível observar que o SPT (*Standard Penetration Test*) varia de 2 a 10 golpes, indicando solo pouco compactado, portanto a fundação foi apoiada em um solo de aterro mal compactado [5].

Já na obra, a sondagem foi realizada, cumprindo com a quantidade mínima exigida pela norma [6]. As edificações limítrofes a obra também são antigas, algumas em processo de tombamento, e a vistoria cautelar já tinha apontado nelas diversas patologias. Com isso, poderia ter sido realizado estudos preliminares de solo nas edificações ao entorno da obra durante a concepção da nova edificação, afim de averiguar se há influência do solo no surgimento dessas patologias.

ANÁLISE E PROJETO

Na vistoria cautelar realizada nos terrenos vizinhos a obra, conforme [7], foi verificada a existência de fissuras e trincas, mas não foi caracterizada, quantificada nem tampouco realizado estudo quanto a natureza dessas anomalias, portanto conclui-se que a vistoria cautelar foi deficiente. No muro de divisa com os fundos por exemplo, que consta no laudo de vistoria cautelar (Figura 2), é possível perceber que ele já sofria com a existência de trincas e fissuras. Esse muro de arrimo que faz a divisa entre as edificações foi construído há mais de 40 anos, sendo constituído de pedra ciclópica e bloco cerâmico maciço. Porém, mesmo com todos esses indícios não houve estudos aprofundados sobre a questão.

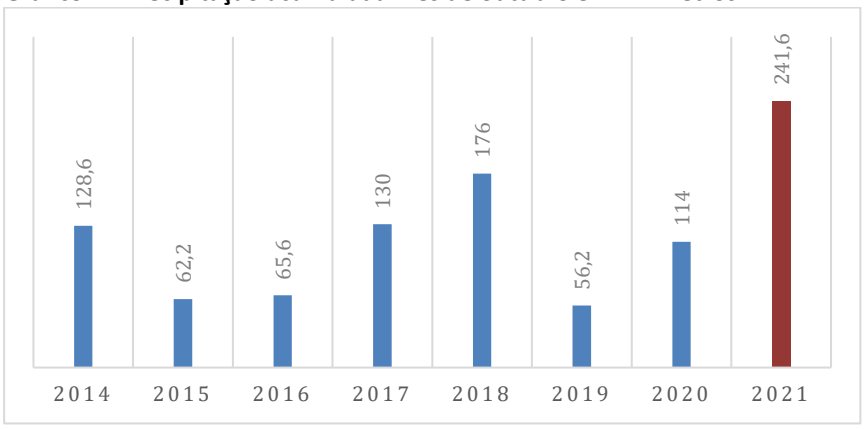
É comum o surgimento de patologias, incluindo o recalque diferencial, em edificações com fundação apoiada em aterro mal compactado. Geralmente, nesses casos o recalque ocorre lentamente, porém de forma contínua. Com a pré-existência de

trincas inclinadas (figura 2), pode-se presumir que a padaria já estava sofrendo com recalque diferencial.

EXECUÇÃO

As escavações iniciaram durante o mês de outubro de 2021, período chuvoso, o que auxiliou para o ocorrido. Outro agravante, foi o fato das chuvas de 2021 terem sido bem acima do esperado para o período. No gráfico abaixo, é relacionado o acumulado de precipitação pluviométrica no mês de outubro desde o ano de 2014. Pode-se perceber que o ano de 2021 foi o que houve maior precipitação.

Gráfico 1 - Precipitação acumulada mês de outubro em milímetros.



Fonte: o autor, a partir dos dados disponibilizados por [8].

A boa prática da engenharia preconiza que a atividade de escavações não seja realizada em época chuvosas, pois há a saturação do solo, gerando instabilidade durante as escavações. No entanto, caso precise ser realizada em época com alto índice pluviométrico é importante que seja previsto medidas para minimizar a saturação do solo ou trabalhar com fatores de segurança mais elevados.

Durante as escavações, não foi realizado pela obra também o acompanhamento das fissuras nas casas ao entorno. Com isso, a observância do aumento das fissuras foi realizada pelo próprio proprietário da padaria que provavelmente só constatou após um aumento significativo.

Quanto à padaria, a execução da sua fundação foi realizada há mais de 40 anos, não tendo dados fidedignos se ela foi realizada de acordo com o projetado e com supervisão de profissional capacitado.

EVENTOS PÓS CONCLUSÃO DA FUNDAÇÃO

Outro fator que propiciou para ocorrência do recalque diferencial foi o rompimento da rede de drenagem. Por ser antiga e não receber manutenções desde a sua construção, não se sabe ao certo se a rede já se encontrava rompida ou se rompeu durante o alívio de tensões ocasionado pela escavação.

Porém, esse é um fato que propiciou para a ocorrência de grandes deslocamentos e no recalque diferencial, já que o solo foi carreado e consequentemente formam bolsões no subsolo.

Além disso, há uma hipótese que o apartamento superior com piscina na área externa foi construído posteriormente, aumentando a carga para a fundação que não era prevista durante o projeto da fundação.

ANÁLISE GERAL

Com base nos estudos e análises realizados, pôde-se constatar que as falhas que ocasionaram o recalque diferencial na edificação tiveram múltiplos fatores como causa em diferentes etapas da obra. A Tabela 2 resume os fatores identificados em cada etapa da construção que propiciaram o ocorrido e elenca as possíveis medidas preventivas que poderiam ter sido tomadas.

Tabela 2: Resumo do ocorrido e medidas sugeridas

Etapas de obra	Resumo do ocorrido	Medidas preventivas sugeridas
Caracterização e comportamento do solo	- Ausência de análise de solo nos terrenos vizinhos (impactados pela obra).	- Investigação do solo dos terrenos vizinhos, quando estes forem impactados pela obra.
Análise e projeto	- Projeto previsto com escavação de forma integral (sem escoramento); - Projeto não considerou a fundação rasa do vizinho, apoiada em aterro mal compactado; - Vistoria cautelar no terreno vizinho deficiente.	- Previsão no projeto de escavação de forma parcial, previsão de execução de proteção junto a estrutura existente (como a estronca), ou a análise e concepção de outro tipo de contenção; - Consideração do tipo e estado da fundação existente do vizinho quando esta for impactada pela obra; - Vistoria cautelar documentada com caracterização, classificação e quantidade das patologias existentes nas edificações vizinhas.
Execução	- Escavação em período chuvoso; - Ausência de acompanhamento da evolução de evidências nas casas ao entorno.	- Escolha de período seco para realização de obras de escavação. - Realização de acompanhamento sistemático da evolução de patologias existentes, prumo e recalque das edificações vizinhas possivelmente atingidas. .
Eventos pós conclusão da fundação	- Rompimento da rede de drenagem - Possivelmente a fundação do vizinho havia recebido uma sobrecarga do pavimento superior não prevista no momento da construção da fundação (hipótese não verificada).	- Manutenções periódicas nas redes hidrossanitários; - Parecer de um engenheiro estrutural para acréscimo de mais um pavimento (no caso da padaria).

Fonte: os autores.

Considerações Finais

Este trabalho elencou as principais causas de recalque diferencial em fundações superficiais. O objetivo foi descrever as suas possíveis origens nas diversas etapas de

obra e os seus mecanismos de formação, apresentando formas para acompanhamento das patologias.

No estudo de caso em questão, foi possível avaliar que a edificação vizinha à obra (padaria) já sofria com patologias decorrentes da falta de manutenção do imóvel e do provável subdimensionamento da fundação. Além disso, a escolha de época pluviosa e método de escavação intensificaram o processo de recalque diferencial, piorando o estado das patologias já existentes na padaria. Além disso, a desconsideração do tipo e estado da fundação vizinha, uma vistoria cautelar deficiente e a ausência de acompanhamento sistemático das patologias existentes foram determinantes para o agravamento do ocorrido.

Cuidados em todas as etapas de vida de uma fundação são necessários para evitar o surgimento de patologias. A caracterização do solo é uma etapa fundamental para o correto dimensionamento da fundação que deve ser feita por profissional capacitado. Infelizmente, é comum engenheiros realizarem dimensionamento de fundação analisando as características geotécnicas de obras próximas, que parecem ter características semelhantes.

É importante também que haja uma fiscalização eficiente e adequada durante a execução de projetos geotécnicos e que ele seja realizado por profissionais capacitados e habilitados. Também se recomenda sempre a realização das devidas manutenções preventivas e corretivas nas edificações, e a comunicação e um engenheiro estrutural caso o proprietário queira realizar alguma modificação que altere as cargas da edificação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por seu apoio para participação no evento e com infraestrutura de equipamentos [Convênio: PCE-00405-24, APQ-01425-22 e RED-00191-23], e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo incentivo de produtividade em pesquisa [Convênio: PQ 316846/2023-6], bem como à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

[1] TEIXEIRA, A.; GODOY, N. **Capítulo 7: análise, projeto e execução de fundações rasas.** In HACHICH et al. Fundações: Teoria e prática. São Paulo, 1996. p.227 a 228.

[2] MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. **Patologia das fundações.** 2. ed. Ed. Oficina de Textos: Cubatão, 2015.

[3] OLIVEIRA, A. M. **Fissuras e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. 2012. 96f. Monografia (Espacialização em Gestão em Avaliações e Perícias) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.

[4] SANTOS, G. V. Patologias devido ao recalque diferencial em fundações. Disponível em: < 21113271.pdf (uniceub.br)>. Acesso junho de 2022.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Sondagem de simples reconhecimento. Rio de Janeiro. ABNT. 2020.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro. ABNT. 2019.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13752**: Perícias de engenharia na construção civil. Rio de Janeiro. ABNT. 1997.

[8] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Acumulado de precipitação mensal.** Disponível em: www.tempo.inmet.gov.br. Acessado em 02 de fevereiro de 2023.

[9] GOOGLE. **Google Earth website**. Disponível em: http://earth.google.com/. Acesso em: 20 janeiro 2024.