

Tipos de recalques na construção civil: uma revisão de literatura baseada no processo de impactos em estruturas

Evaristo de C.

RESUMO

Este trabalho aborda os diferentes tipos de recalques nas fundações de edificações na construção civil, analisando seus impactos estruturais com base em uma revisão bibliográfica. O objetivo geral da pesquisa é investigar os fenômenos de recalque e contribuir para o desenvolvimento de práticas mais eficientes na concepção e manutenção de obras civis. O método adotado foi a pesquisa qualitativa exploratória, utilizando-se de uma revisão sistemática da literatura existente. Foram analisados os principais tipos de recalques, as condições geotécnicas que influenciam o fenômeno e as técnicas de monitoramento aplicadas. Os resultados indicaram que o recalque diferencial é o tipo mais crítico, com grande impacto sobre a estabilidade das estruturas, e que métodos de monitoramento contínuo e previsões computacionais têm se mostrado fundamentais para a mitigação dos efeitos negativos. No entanto, ainda existem limitações nos métodos de previsão, especialmente em áreas urbanas com solos heterogêneos. Sugere-se, portanto, a adoção de tecnologias mais avançadas para garantir a segurança e a durabilidade das construções.

Palavras-chave: recalques; fundações; impactos estruturais; monitoramento; construção civil.

1. INTRODUÇÃO

Na engenharia civil, o estudo do recalque de fundações é essencial para garantir a segurança e a durabilidade das estruturas, sendo um aspecto de grande relevância para a área. O fenômeno de recalque, caracterizado pelo afundamento ou rebaixamento de uma estrutura devido à compressão e consolidação do solo subjacente à fundação, pode impactar significativamente as edificações, resultando em danos estruturais graves, como fissuras e até colapsos, caso não seja devidamente compreendido e mitigado. Dessa forma, o conhecimento sobre os diferentes tipos de recalques e suas causas é crucial para conceber e gerenciar obras de forma segura e eficiente (Almeida, 2014).

Segundo Machado, Fernandes e Brito (2023), a fixação das estruturas pode ter implicações profundas para a segurança e o desempenho do ambiente construído, tornando indispensável que engenheiros e pesquisadores compreendam esse fenômeno. Ortega e Pedreiro (2023) destacam que o estudo do recalque envolve a análise das propriedades do solo, das cargas estruturais e de como esses elementos interagem para garantir a eficácia das fundações. As fundações adequadas, portanto, são essenciais para transferir as cargas da edificação ao terreno de forma segura, de modo a evitar deformações excessivas que possam comprometer a estabilidade da construção.

Além disso, Reis e Garcia (2020) ressaltam que a falta de estudos detalhados sobre as condições do solo pode levar a patologias graves nas estruturas, resultando em disputas judiciais e em custos elevados de reparo. Exemplos de problemas decorrentes de recalques incluem a Torre Inclinada de Pisa, o edifício da cidade de Santos/SP e a Cidade do México, locais amplamente pesquisados devido às falhas estruturais associadas a assentamentos irregulares do solo. Tais exemplos destacam a importância de se compreender os fatores geotécnicos e ambientais que afetam os recalques, para evitar que situações semelhantes ocorram em outras obras.

Com o crescimento urbano e a expansão das cidades, a demanda por estruturas fortes e sustentáveis que resistam a condições climáticas extremas e a pressões geológicas tem aumentado. Diante desse cenário, o presente estudo visa investigar os diferentes tipos de recalques que ocorrem na construção civil, com foco nos impactos que causam às estruturas. O objetivo é aprofundar o conhecimento sobre esses fenômenos geotécnicos e oferecer recomendações práticas para melhorar a concepção, execução e manutenção de obras civis.

O problema de pesquisa que orienta este estudo pode ser sintetizado na seguinte questão: Quais são os principais tipos de recalques que afetam as fundações das edificações e como as técnicas atuais podem ser aprimoradas para prevenir seus impactos negativos? A relevância desse problema reside na necessidade urgente de garantir que as edificações modernas resistam aos impactos causados pelos recalques, assegurando a integridade das estruturas e evitando prejuízos econômicos e de segurança. A urbanização acelerada exige que construções sejam realizadas em terrenos com características geotécnicas desafiadoras, intensificando a importância de se investigar soluções adequadas para os recalques. (Almeida, 2014).

A justificativa para este estudo está na carência de soluções eficazes para mitigar os efeitos dos recalques, especialmente em regiões geológicas adversas. Embora a literatura sobre o tema seja vasta, as técnicas atuais ainda apresentam limitações significativas, conforme observado por Reis e Garcia (2020). O recalque diferencial, por exemplo, é uma das principais causas de patologias em edificações, gerando tensões estruturais que comprometem a segurança e a durabilidade das construções. Nesse sentido, é imperativo que novos métodos de monitoramento e mitigação sejam desenvolvidos, especialmente para áreas urbanas em crescimento.

A inovação deste trabalho está na proposta de uma abordagem mais abrangente e interdisciplinar para o estudo dos recalques, integrando diferentes áreas do conhecimento, como geotecnia, monitoramento tecnológico e análise de risco.

Este artigo, ao se concentrar nos tipos de recalques e seus impactos nas fundações, contribuirá significativamente para o avanço das técnicas de engenharia civil, fornecendo percepções para o planejamento e execução de obras em solos de diferentes características. Ao propor soluções inovadoras para o monitoramento e a mitigação dos recalques, o estudo visa promover a segurança estrutural e a longevidade das edificações, colaborando para o desenvolvimento sustentável das cidades.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Investigar os tipos de recalques na construção civil, com base no processo de impactos em estruturas, visando aprofundar o conhecimento sobre esses fenômenos geotécnicos e contribuir para o desenvolvimento de práticas mais eficientes e seguras na concepção, execução

e manutenção de obras civis.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar os principais tipos de recalques;
- Analisar fatores que afetam as fundações e examinar vários fatores geológicos;
- Avaliar métodos de previsão e monitoramento dos recalques;
- Recomendações para minimização e adaptação dos recalques;

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Conceito de fundação

Brito (2017) destaca que, nos últimos anos, a indústria da construção civil no Brasil passou por um desenvolvimento significativo, registrando um crescimento progressivo ao longo da década de 1990, o que resultou no aumento do número de obras realizadas. As condições socioeconômicas da época contribuíram para que as construções fossem executadas de maneira mais rápida, porém com menor rigor no controle de qualidade dos materiais utilizados e dos serviços prestados, o que levou a uma diminuição na qualidade das edificações.

É fundamental destacar que a fundação representa uma das etapas mais cruciais a serem monitoradas e executadas no processo de construção, uma vez que ela é essencial para a sustentação do edifício. Segundo Brito (2017), a fundação permite a transferência das cargas da estrutura para o solo, garantindo a estabilidade da edificação, assim, é de extrema importância estudar detalhadamente a técnica de fundação mais adequada para cada projeto, levando em consideração aspectos como a carga que o edifício exercerá e as características do solo, com o intuito de evitar erros de projeto que possam causar graves problemas à obra.

Para Deus (2020), as fundações podem ser classificadas em dois grandes grupos: fundações superficiais (também chamadas de rasas ou diretas) e fundações profundas (ou indiretas). De modo geral, as fundações superficiais são utilizadas quando as camadas do subsolo logo abaixo da estrutura conseguem suportar as cargas do edifício. Já as fundações profundas são empregadas quando é necessário atingir camadas mais profundas e resistentes do solo para garantir a segurança da construção.

A NBR 6122 (ABNT, 2010) estabelece que a fundação profunda é caracterizada como um elemento que permite a transmissão de carga ao solo, seja pela base (resistência de ponta),

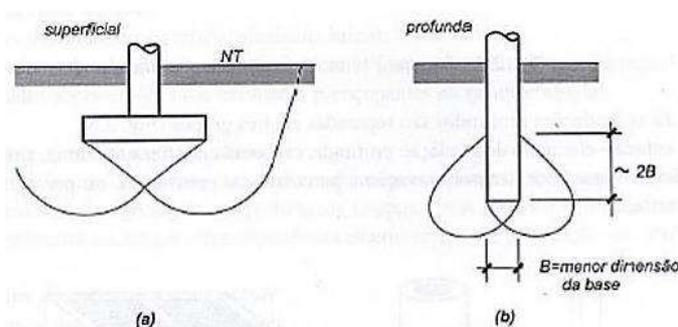
pela superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação de ambas. Essa fundação tem sua ponta ou base situada a uma profundidade superior a oito vezes a menor dimensão da fundação em planta, com no mínimo 3m de profundidade, quando o limite de oito vezes não for atingido. Entre os tipos de fundações profundas estão as estacas e os tubulões.

No que diz respeito às fundações rasas, a mesma norma especifica que esses elementos transmitem a carga ao solo por meio de pressões distribuídas sob a base da fundação, com a profundidade de assentamento em relação ao solo adjacente sendo inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Nesse grupo, incluem-se elementos como sapatas, blocos, radier, sapatas associadas, vigas de fundação e sapatas corridas (ABNT NBR 6122, 2010).

3.1.1 Tipos de fundações

De acordo com Deus (2020), as fundações podem ser classificadas em duas categorias principais: fundações diretas e fundações indiretas. As fundações diretas, também conhecidas como superfícies rasas, são aquelas em que a carga da estrutura é transmitida diretamente ao solo logo abaixo da fundação, sem a necessidade de alcançar camadas de solo mais profundas. Já as fundações indiretas, ou profundas, são utilizadas quando as camadas mais próximas da superfície não possuem resistência suficiente, exigindo que as cargas sejam transferidas para camadas mais profundas do solo, garantindo a estabilidade da estrutura, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Fundações diretas (a) e indiretas (b)



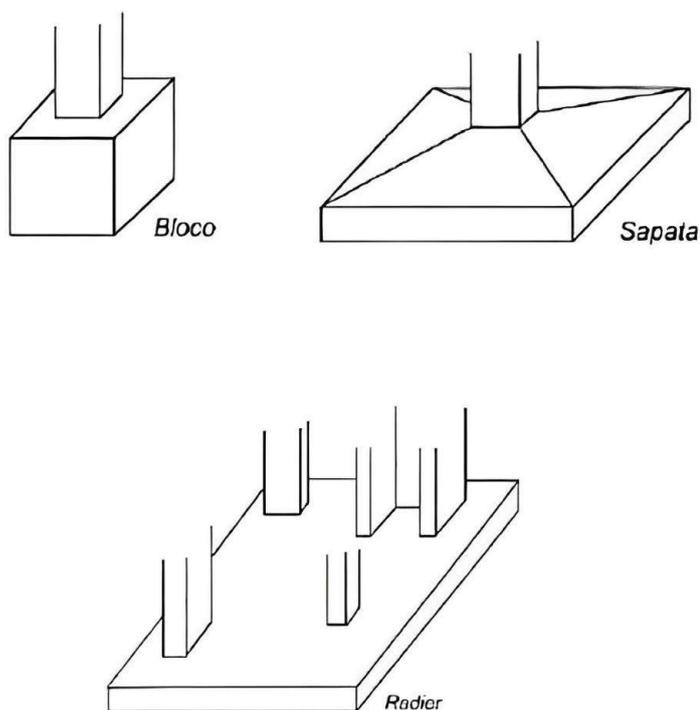
Fonte: Deus (2020, p. 17)

É relevante destacar que o tipo de fundação é selecionado conforme as demandas específicas de cada país, nesse sentido, a NBR 6122:2010 é uma norma que estabelece os critérios fundamentais com base em um projeto de construção para determinar a escolha entre fundação profunda ou superficial.

Conforme destacado por Deus (2020), a fundação direta, também conhecida como fundação rasa, é instalada nas camadas superficiais do solo, geralmente a uma profundidade de até 3m, e isso ocorre porque as cargas transferidas para o solo são influenciadas pela distribuição

de pressão exercida sob a fundação. A fundação direta é comumente a primeira opção em projetos de construção. No entanto, ela é raramente utilizada em grandes obras, especialmente naquelas com solo de baixa resistência. A Figura 2 apresenta os principais tipos de fundação direta.

Figura 2. Fundações diretas (bloco, sapata e radier)



Fonte: Deus (2020, p. 18)

Conforme descrito pela NBR 6118 (ABNT, 2014), os blocos são estruturas volumétricas que têm a função de transferir cargas da fundação para as vigas, podendo ser considerados rígidos ou seguir critérios de fundação semelhantes.

Já a sapata é definida como um elemento superficial de fundação, em concreto armado, projetado de modo que as tensões de tração resultantes sejam suportadas por armaduras dispostas especificamente para essa finalidade, conforme estabelecido pela (NBR 6122, ABNT, 2010).

Por último, o radier é um tipo de fundação rasa que suporta todas as cargas da edificação por meio de colunas, distribuindo-as de forma uniforme no solo. O radier é uma laje apoiada continuamente sobre o solo, e quando a carga total é distribuída uniformemente, a capacidade de suporte do solo é menor ou igual a 50% (Deus, 2020).

3.2 Recalques em fundações

A NBR 6122 (ABNT, 2010) caracteriza o recalque como o deslocamento vertical descendente de uma parte estrutural, logo, o movimento de um componente da fundação pode

resultar em danos, os quais são divididos em três tipos:

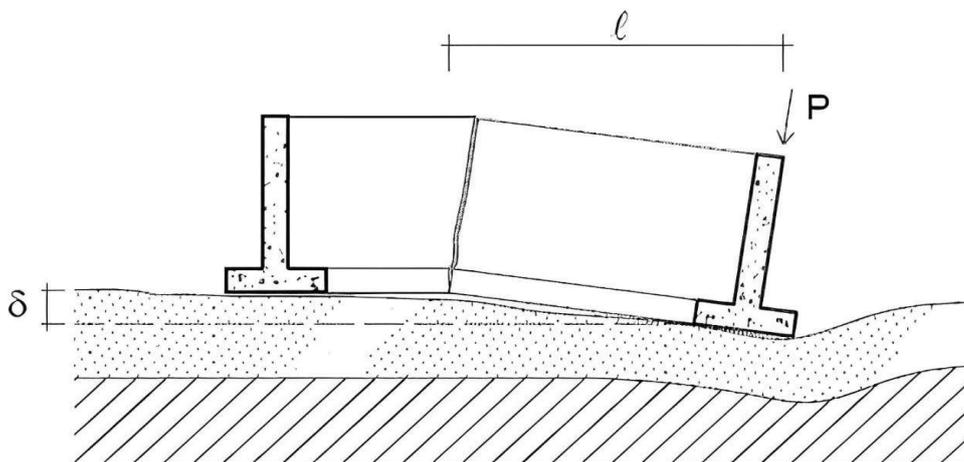
- **Arquitetônicos:** referem-se aos danos estéticos da construção, como, por exemplo, rachaduras;
- **Funcionais:** relacionam-se a prejuízos no uso da estrutura, como irregularidades nos pisos ou problemas no sistema hidráulico;
- **Estruturais:** envolvem danos que afetam a estrutura, como fissuras em pilares ou vigas, podendo causar o colapso parcial ou total da edificação.

De acordo com Rauecker (2018), toda fundação acontece recalque a partir do momento em que é submetida a cargas. Ele também aponta que esse recalque ocorre em duas fases: a primeira, logo após o carregamento; e a segunda, com o passar do tempo. No campo acadêmico, o recalque é classificado em três tipos:

- **Recalque imediato (ρ_i):** em solos arenosos e não saturados, este tipo de recalque está ligado à redução do índice de vazios do solo (Rauecker, 2018). Já em solos argilosos saturados, ocorre deformação vertical sem mudança de volume, uma vez que o carregamento da fundação não se refere a um aterro de dimensões infinitas. Normalmente, manifesta-se em algumas horas.
- **Recalque por adensamento primário (ρ_a):** em solos finos e saturados, essa deformação ocorre devido à expulsão da água presente nos vazios do solo, o que leva a uma alteração no volume. Esse processo é lento, podendo levar meses ou até anos para se completar, por conta da interação entre as partículas de solo e as moléculas de água (Rauecker, 2018).
- **Recalque por compressão secundária (ρ_c):** ocorre em solos específicos, como argilas extremamente moles, marinhas ou de origem calcária. Esse tipo de recalque, muitas vezes ignorado nos cálculos, só é considerado em casos específicos e pode levar décadas para se manifestar (Rauecker, 2018).

Falconi (2019) afirma que as patologias funcionais estão diretamente associadas à magnitude dos recalques totais da construção, no entanto, os danos arquitetônicos decorrem de recalques diferenciais. Quando a estrutura se desloca de maneira uniforme, não há redistribuição de tensões, evitando, assim, danos. Por outro lado, quando ocorrem recalques diferenciais, a edificação se movimenta de modo desigual, resultando nas patologias mencionadas. Dessa forma, alguns conceitos fundamentais relacionados a esse tema são definidos para melhor compreensão do fenômeno: O recalque diferencial ($\Delta\rho$) ocorre quando há variação no recalque entre dois pontos distintos da fundação (Figura 3). Já o recalque diferencial específico ($\Delta\rho/l$) é a razão entre o recalque diferencial e a distância horizontal "l" que separa dois pontos da fundação e o recalque total (δ), refere-se ao recalque final observado na estrutura em análise.

Figura 3. Recalque diferencial nas estruturas



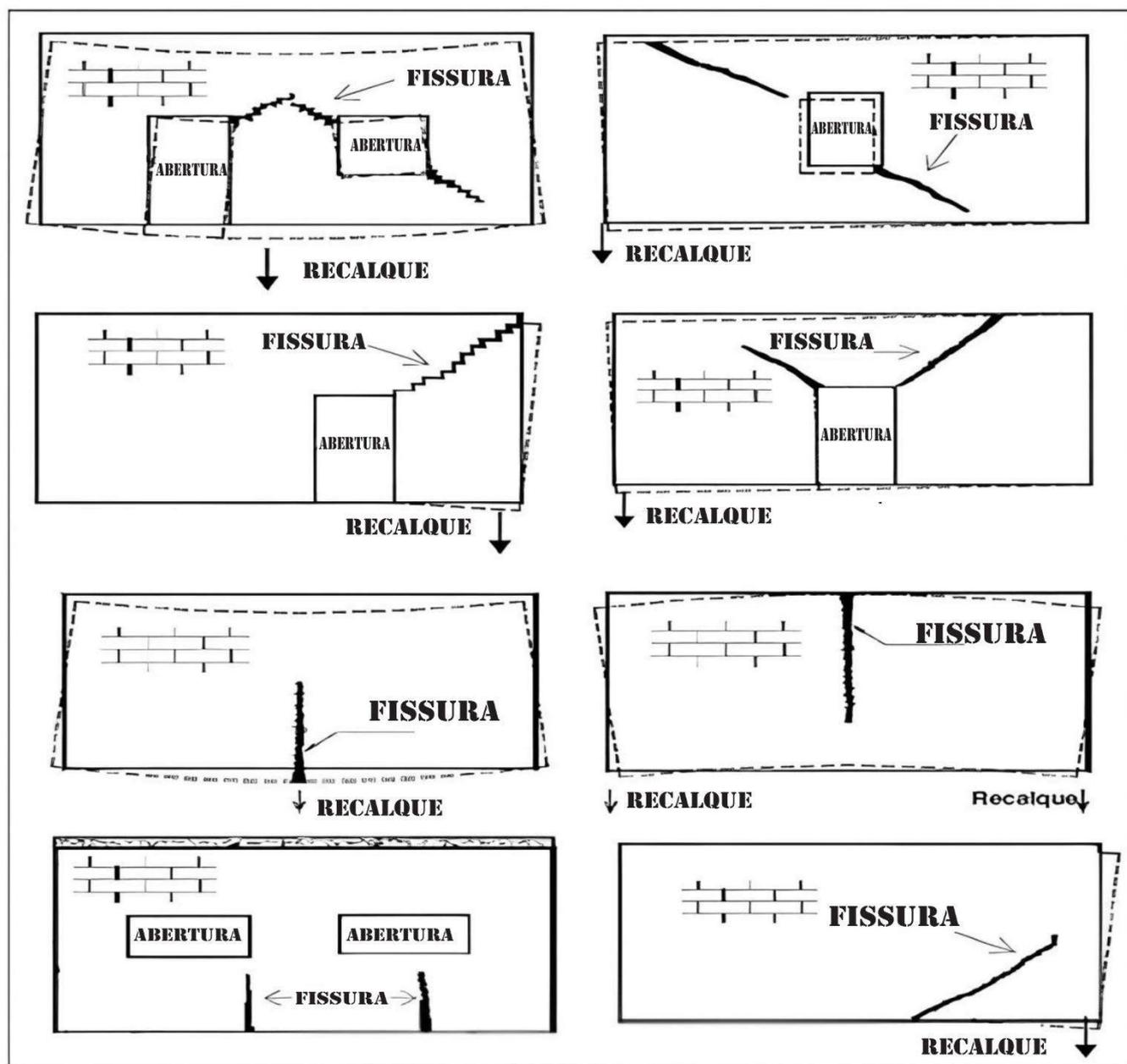
Fonte: Rauecker (2018)

Segundo Rauecker (2018), apesar dos avanços nos métodos de cálculo, alguns fatores ainda afetam a precisão das previsões:

- Heterogeneidade do solo: em geral, as previsões são baseadas nos perfis de solo obtidos por ensaios de campo. Contudo, certas características peculiares do solo podem não ser detectadas nesses ensaios.
- Variação nas cargas previstas: ocasionalmente, surgem cargas acidentais que não foram consideradas no projeto, levando à redistribuição dos esforços na estrutura.
- Imprecisão nos métodos de cálculo: embora haja progressos matemáticos e computacionais, ainda não existem métodos de cálculo que garantam precisão absoluta.

Segundo Reis e Garcia (2020), o recalque se caracteriza principalmente pela diferença de nível, ocorrendo quando uma parte da estrutura se encontra mais rebaixada do que outra, com ou sem a presença de distorção angular. Esse fenômeno gera esforços estruturais não antecipados, podendo, em casos mais graves, levar à inutilização da estrutura, conforme Figura 4.

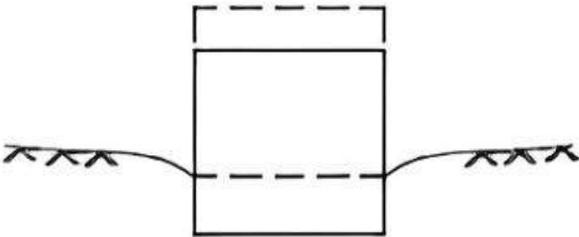
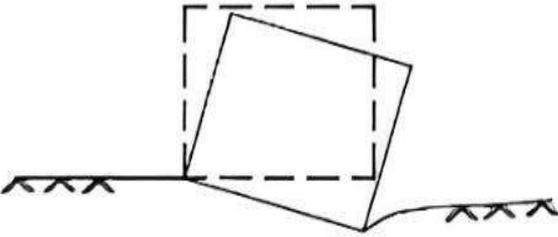
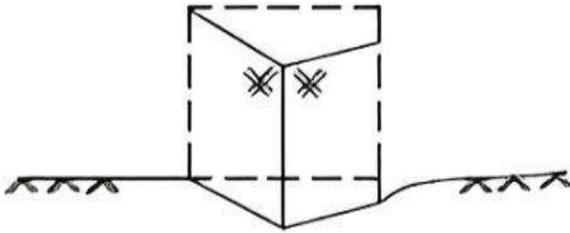
Figura 4. Tipos de recalques



Fonte: Reis e Garcia (2020)

O recalque diferencial pode ser subdividido em dois grupos distintos, conforme mostrado na Figura 5, permitindo uma análise mais detalhada e específica das variações que ocorrem entre diferentes pontos da fundação.

Figura 5. Danos ligados aos recalques

Tipo de recalque	Danos associados
<p data-bbox="432 801 616 853">Uniforme</p> 	<p data-bbox="858 801 1473 1122">Danos arquiteônicos (estéticos e funcionais), dependendo da grandeza dos recalques. Danos às ligações com o exterior (instalações, rampa, escada).</p>
<p data-bbox="268 1160 815 1211">Não uniforme; sem distorção</p> 	<p data-bbox="858 1160 1294 1301">Danos arquiteônicos: desaprumo em prédios altos, etc.</p>
<p data-bbox="268 1512 815 1563">Não uniforme; com distorção</p> 	<p data-bbox="858 1512 1310 1832">Danos arquiteônicos: fissuração, distorção de vãos, etc. Danos estruturais: fissuras em vigas, etc.</p>

Fonte: Reis e Garcia (2020)

Segundo Reis e Garcia (2020), o recalque de corpo rígido ocorre quando todos os pontos da estrutura apresentam um valor constante de distorção angular. Dependendo da intensidade dos recalques, a estrutura pode não sofrer danos estruturais, mas isso pode comprometer a estética e, dependendo do ângulo de inclinação, afetar tubulações, elevadores, alinhamento de paredes, entre outros aspectos funcionais.

Por outro lado, o recalque por distorção angular acontece quando o assentamento da estrutura ocorre de maneira desigual, resultando na deformação da mesma (Reis; Garcia, 2020).

Para Reis e Garcia (2020), a interação solo-estrutura envolve a análise da resposta conjunta de três sistemas profundamente interligados: a estrutura, a fundação e o solo. No entanto, a aplicação prática desse conceito enfrenta dificuldades devido à compreensão limitada dos seus princípios fundamentais, à complexidade da literatura existente sobre o tema e ao tratamento restrito dado pelos códigos e normas de projeto estrutural.

Para um entendimento mais claro do assunto, de acordo com Reis e Garcia (2020), é necessário considerar os fatores que influenciam essa análise:

- Número de pavimentos: à medida que o número de andares aumenta, o efeito da interação solo-estrutura diminui, tornando-se quase irrelevante. Os momentos fletores nos elementos dos primeiros pavimentos são maiores e tendem a diminuir conforme o número de andares aumenta, devido à maior rigidez dos pavimentos inferiores .
- Processo construtivo: influencia diretamente a rigidez da estrutura, que tende a aumentar conforme o número de pavimentos cresce.
- Edificações vizinhas: a interação solo-estrutura diminui conforme a distância entre elas aumentam, reduzindo os efeitos mútuos sobre os recalques.
- Rigidez relativa entre a estrutura e o solo: é um fator essencial no comportamento da construção em relação aos recalques totais e diferenciais, sendo que uma maior rigidez relativa tende a mitigar esses recalques.
- A forma em planta do edifício: exerce influência, podendo uniformizar ou não os recalques, especialmente em estruturas mais flexíveis.
- Tipo de análise: estática ou dinâmica, especialmente em cenários de carga sísmica, também afeta a interação solo-estrutura, sendo que análises dinâmicas podem apresentar diferenças substanciais em relação às estáticas.

Conforme Medeiros e Savino (2019), a patologia na engenharia trata do estudo dos sintomas, mecanismos, causas e origens das anomalias em construções. Uma das principais dificuldades na identificação de patologias em fundações, conforme os autores, reside no fato de

que os elementos estruturais estão localizados abaixo do solo, fora da visão direta. Assim, quando as manifestações patológicas, como trincas, rachaduras e fissuras, tornam-se visíveis, o grau de comprometimento da estrutura já pode estar em um estágio avançado.

3.3 Métodos de previsão e monitoramento

De acordo com Santos e Melo (2019), a previsão de recalques é fundamentalmente baseada em modelagens computacionais que tentam simular o comportamento do solo e da estrutura ao longo do tempo, utilizando dados coletados em campo, como sondagens e ensaios geotécnicos. No entanto, mesmo com a precisão das modelagens, a variação das características do solo e a heterogeneidade dos materiais frequentemente resultam em diferenças entre os valores previstos e os observados durante a execução da obra.

Além da previsão, o monitoramento em tempo real dos recalques desempenham um papel crucial no acompanhamento da evolução dos deslocamentos verticais ao longo do tempo (Santos; Melo, 2019). Conforme destacado por Savaris (2008), o monitoramento é realizado com equipamentos simples, como níveis óticos e pinos de recalque, permitindo a observação contínua do comportamento da fundação. Essas medições possibilitam que ajustes sejam feitos durante a fase de construção, caso os deslocamentos excedam os valores previstos, evitando falhas estruturais graves e permitindo a correção precoce de problemas potenciais.

Outro aspecto importante abordado por Santos e Melo (2019) é a utilização de ferramentas computacionais avançadas, como o GARP (*Geotechnical Analysis of Raft with Piles*), que permitem realizar simulações mais complexas envolvendo a interação solo-estrutura. Essas ferramentas possibilitam a consideração de múltiplas variáveis, como a elasticidade do solo e as condições de carga não previstas inicialmente, garantindo um ajuste mais preciso entre os recalques previstos e os monitorados. No entanto, as peculiaridades locais do solo e a dificuldade em obter dados exatos podem impactar a eficácia dessas simulações.

Por fim, os autores afirmam que, além da modelagem computacional e do monitoramento em campo, é imprescindível o uso de técnicas de reforço das fundações durante a execução, caso os recalques observados se afastem dos valores esperados. Isso se torna particularmente relevante em áreas urbanas, onde as vibrações e a proximidade de outras construções podem afetar significativamente a estabilidade das fundações (SANTOS; MELO, 2019). Dessa forma, a integração entre previsões baseadas em simulações e o monitoramento em tempo real é essencial para mitigar os riscos associados aos recalques diferenciais e garantir a segurança das edificações.

3.4 Recomendações e adaptação dos recalques

Para minimizar os efeitos dos recalques em estruturas civis, é essencial a aplicação de métodos que envolvam tanto o projeto quanto a construção. No estágio de projeto, deve-se priorizar o uso de fundações adequadas ao tipo de solo, considerando sua capacidade de carga e deformabilidade. Conforme apontado por Santos e Melo (2019), o uso de sapatas associadas e radier para fundações superficiais tem mostrado bons resultados em obras de grande porte, uma vez que promovem uma distribuição mais uniforme das cargas. O cuidado na escolha do método de fundação é uma das primeiras formas de mitigar recalques diferenciais e garantir a integridade da estrutura.

Savaris (2008) destaca a importância do uso de estacas e tubulões como técnicas de reforço em solos de baixa capacidade de suporte, essas técnicas são eficazes principalmente em áreas urbanas, onde o solo pode estar sujeito a vibrações causadas por obras adjacentes. A adoção de reforços estruturais durante a execução da obra reduz o risco de falhas catastróficas, mitigando o impacto de recalques diferenciais, que podem afetar a estabilidade da estrutura.

No campo das ações preventivas, a avaliação adequada do solo é uma medida fundamental, na realização de sondagens geotécnicas detalhadas, incluindo ensaios de penetração padrão (SPT) e ensaios de adensamento, permite uma análise mais precisa da capacidade de suporte do solo e sua suscetibilidade a recalques (RAUECHER, 2018). Com base nesses dados, o projetista pode implementar ajustes no dimensionamento da fundação, garantindo que a estrutura seja adequada para o tipo de solo encontrado, reduzindo, assim, a probabilidade de problemas futuros.

Nesse contexto, recomenda-se a implementação de sistemas de monitoramento em tempo real, como níveis óticos e pinos de recalque, que permitem acompanhar de forma contínua o comportamento da estrutura durante e após a construção. Santos e Melo (2019) sugerem, que essa prática pode auxiliar na identificação precoce de recalques indesejados, possibilitando a adoção de medidas corretivas ainda durante a fase construtiva. O monitoramento contínuo proporciona dados valiosos, que podem ser utilizados em futuras construções, aprimorando as práticas de engenharia de fundações.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa realizada pode ser classificada por sua natureza como pesquisa aplicada, pois segundo Almeida (2014), a pesquisa científica aplicada visa gerar conhecimento para a solução de problemas práticos, ou seja, utilizar o conhecimento para resolver problemas de organização ou pessoa.

Quanto ao método, classifica-se como qualitativo, pois sustenta que existe uma ligação inseparável entre o mundo objetivo e a subjetividade que não pode ser explicada numericamente (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 70). Além disso, na pesquisa qualitativa, o ambiente natural é a fonte direta de coleta de dados, descrição de fenômenos e interpretação de significado. Os dados recolhidos neste tipo de estudo são descritivos, havendo uma maior preocupação com o processo do que com o resultado final do estudo.

A pesquisa realizada neste trabalho é propósito de exploração. De acordo com Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa exploratória visa proporcionar uma compreensão inicial de um determinado problema. Para intensificar o trabalho, foi realizado um estudo bibliográfico sobre o assunto, por meio da análise dos títulos da literatura profissional e dos artigos científicos.

Quanto aos procedimentos como pesquisa bibliográfica, pois de acordo com Almeida (2014), é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros, artigos científicos, dissertações, teses, entre outros.

Para este trabalho foi realizada uma revisão de literatura com o objetivo de embasar teoricamente o estudo sobre os recalques em estruturas civis. A revisão da literatura foi efetuada por meio de consulta a bases de dados científicas como *Scopus*, *Web of Science* e *Google Scholar*, utilizando palavras-chave específicas sobre o tema. Foram selecionados livros, artigos científicos, dissertações e teses que abordaram as causas e consequências dos recalques, bem como os métodos de minimização e prevenção adotados na engenharia civil. Essa etapa permitiu a construção de um referencial teórico sólido, que serviu de base para a análise dos dados coletados e para a formulação das recomendações ao final do estudo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos ao longo da execução da metodologia proposta revelam a importância de um estudo detalhado sobre os recalques nas fundações, desse modo a pesquisa bibliográfica destaca a relevância das análises geotécnicas como parte fundamental para a prevenção de danos estruturais. Os estudos realizados demonstraram que os recalques diferenciais são os principais responsáveis por patologias nas edificações, como rachaduras e deformações. A ausência de um monitoramento eficaz e de técnicas adequadas de mitigação foi identificada como um dos fatores cruciais para o surgimento dessas falhas, especialmente em solos de baixa capacidade de suporte (SAVARIS, 2008).

O monitoramento contínuo das fundações, com o uso de pinos de recalque e níveis óticos, revelou-se eficaz na identificação precoce de deslocamentos estruturais, permitindo a correção antecipada de problemas potenciais. Nos casos em que esse monitoramento foi negligenciado, observou-se um aumento substancial nos custos de reparação e, em alguns casos, a inutilização da estrutura. Dessa forma, o investimento em tecnologias de monitoramento não apenas promove a segurança, mas também resulta em economia a longo prazo (SAVARIS, 2008).

Além disso, os métodos de simulação computacional utilizados para prever os recalques, embora promissores, ainda apresentam limitações significativas. A heterogeneidade do solo e a variação nas cargas estruturais nem sempre são totalmente contempladas pelos modelos, o que leva a discrepâncias entre os valores previstos e os observados. Contudo, a utilização de ferramentas como o GARP, que integra dados geotécnicos e modelagem computacional avançada, tem apresentado resultados mais precisos, especialmente em áreas urbanas densamente edificadas (MACHADO, 2023).

Em termos de discussões, os resultados apontam para a necessidade de aprimorar as técnicas de fundação, especialmente em solos com baixa resistência e as soluções propostas pela pesquisa, como a utilização de fundações profundas e técnicas de reforço, mostraram-se eficazes na prevenção de recalques diferenciais. Recomenda-se ainda a adoção de sistemas de monitoramento em tempo real em todas as fases do projeto, desde a construção até a operação, garantindo que qualquer desvio dos valores previstos seja imediatamente corrigido, promovendo maior segurança e durabilidade das edificações.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos objetivos específicos, foram identificados os principais tipos de recalques, avaliando os fatores que os influenciam e examinando as técnicas de monitoramento e minimização. Os resultados obtidos ao longo do estudo corroboram a relevância de um aprofundamento no conhecimento sobre os fenômenos de recalque, especialmente aqueles que resultam em patologias graves nas edificações, como fissura e danos estruturais.

Em comparação com os objetivos propostos, o estudo conseguiu, de maneira satisfatória, classificar os tipos de recalques e identificar os métodos mais eficientes de previsão e monitoramento. A pesquisa bibliográfica demonstrou que, embora existam técnicas avançadas de minimização dos recalques, há limitações significativas no campo do monitoramento contínuo, especialmente em solos urbanos heterogêneos. A análise crítica dos métodos atuais revelou que, apesar dos avanços tecnológicos, ainda há um espaço considerável para melhorias na precisão das previsões de recalque e no desenvolvimento de soluções preventivas mais eficazes.

Em termos de aspectos positivos, o trabalho contribuiu para uma melhor compreensão dos fatores geotécnicos que influenciam os recalques e apresentou propostas de melhoria para o monitoramento em tempo real. No entanto, a pesquisa enfrentou limitações, sobretudo no que diz respeito à disponibilidade de estudos de caso mais recentes e à aplicação prática das soluções sugeridas, que dependem de condições geológicas e ambientais específicas. A falta de dados empíricos mais robustos também restringiu a generalização dos resultados obtidos.

Diante dessas limitações, sugere-se que estudos futuros investiguem a aplicação de novas tecnologias, como o uso de sensores inteligentes e drones para o monitoramento de recalques em áreas de difícil acesso. Além disso, seria pertinente realizar pesquisas experimentais que validem os resultados teóricos apresentados, aplicando-os em diferentes tipos de solo e em cenários urbanos variados. Esses estudos poderão contribuir para o aprimoramento das práticas de engenharia civil e para a prevenção de patologias estruturais nas construções futuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M. S. **Elaboração de projeto, TCC, dissertação e tese: uma abordagem simples, prática e objetiva.** São Paulo: ATLAS, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6118:2024. **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.** NBR 6118. São Paulo, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6122:2024. **Projeto e execução de fundações.** NBR 6122. Rio de Janeiro, 2024.
- BRITO T. F. **Análise de manifestações patológicas na construção civil pelo método Gut: Estudo de caso em uma instituição pública de ensino superior.** 2017. 77 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017. Cap. 1. Disponível em: <<http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2016.2/analise-de-manifestacoes-patologicas-na-construcao-civil-pelo-metodo-gut-estudo-de-caso-em-uma-instituicao-publica-de-ensinosuperior.pdf>>. Acesso em: 23/09/2024.
- DEUS, L. K. V. **Tipos de fundações.** Trabalho apresentado para obtenção do grau de Bacharel pelo curso de Engenharia Civil, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Taubaté. 2020.
- FALCONI, F. *et al.* **Fundações: teoria e prática.** São Paulo: Editora Pini, 2019.
- MACHADO, A. K. R.; FERNANDES, H. A.; BRITO, P. H. D. **Estudo de caso de medição de recalque em uma construção na cidade de Anápolis-Go.** 2023.
- MEDEIROS, G. J.; SAVINO, M. R. **Análise De Patologias De Recalque Em Fundações Superficiais E Profundas.** Monografia. Engenharia civil. Faculdade Doctum de Juiz de Fora, 2019.
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.** 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. 276 p.
- RAUECKER, J. C. N.. **Previsão do recalque de um edifício alto com fundação em sapata na cidade de Goiânia.** Trabalho de conclusão de curso. Engenharia civil. Universidade Federal de Goiás, 2018.
- REIS, V. S.; GARCIA, W. L. **Patologias Causadas Por Recalque Diferencial.** Anais do 3º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsoma. 2020; 879-891
- SANTOS, L. G. B.; MELO, P. V. M. **Comparação entre a previsão e o monitoramento de recalque em um edifício.** Monografia. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.
- SAVARIS, G. **Monitoração de Recalques de um Edifício e Avaliação da Interação Solo Estrutura.** Campos dos Goytacazes: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil, 2008