

REUTILIZAÇÃO DE FUNDAÇÕES EXISTENTES

Erizângela de Abreu Barbosa¹, Yuri Daniel Jatobá Costa², Carina Maia Lins Costa²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil (zan.abreu@hotmail.com)

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil

Resumo: A reutilização de fundações existentes apresenta potencial como alternativa técnica, econômica e sustentável na engenharia. Este trabalho realizou uma análise bibliográfica e comparativa de quatro estudos internacionais sobre investigação, avaliação, reforço e reúso de fundações existentes. Os resultados indicam que a tomada de decisão depende da integração entre investigação, capacidade resistente, desempenho, histórico de carregamento e análise das incertezas, evidenciando possibilidades de aplicação no contexto brasileiro.

Palavras-chave: Reúso de fundações; Fundações existentes; Investigação geotécnica; Avaliação de desempenho; Reforço de fundações.

INTRODUÇÃO

A reutilização de fundações existentes tem adquirido crescente importância na engenharia geotécnica e estrutural, especialmente em áreas urbanas onde são frequentes processos de reabilitação, ampliação ou substituição de estruturas. Em muitos casos, os elementos de fundação permanecem em condições adequadas de desempenho mesmo quando a superestrutura original deixa de atender às novas necessidades. Nesses cenários, o aproveitamento das fundações existentes pode representar uma alternativa técnica, econômica e ambientalmente vantajosa em comparação à remoção e execução de novos elementos.

Entretanto, a decisão pelo reúso de uma fundação existente envolve diversas incertezas relacionadas à ausência de informações de projeto, desconhecimento das condições reais de execução, dificuldade de acesso aos elementos enterrados e necessidade de avaliar sua integridade, durabilidade, capacidade resistente e compatibilidade com as novas solicitações. Dessa forma, a reutilização não deve ser baseada apenas na resistência estimada ou na condição aparente da fundação, mas em uma abordagem integrada envolvendo investigação, caracterização, análise de desempenho e avaliação das condições futuras de utilização.

Estudos internacionais demonstram que fundações existentes podem ser incorporadas com segurança a novas estruturas quando submetidas a procedimentos adequados de investigação e avaliação. Hertlein e Walton (2000) destacam que, especialmente em ambientes urbanos, a permanência de fundações remanescentes após a demolição de estruturas é uma situação frequente, e que sua avaliação pode evitar

intervenções complexas, reduzindo custos e impactos associados à execução de novos elementos.

Em obras de infraestrutura, Davis et al. (2019) demonstram que o reúso de fundações pode contribuir para estratégias de construção acelerada, reduzindo prazos, interferências operacionais e impactos sobre estruturas em funcionamento, especialmente em intervenções envolvendo pontes. Além disso, Davis et al. (2018) evidenciam que o histórico de carregamento e desempenho de uma fundação existente pode fornecer informações adicionais para a avaliação de sua capacidade, contribuindo para a redução das incertezas associadas ao processo decisório.

A reutilização também não está limitada à manutenção integral dos elementos existentes. Quando a capacidade disponível não é suficiente para atender às novas solicitações, técnicas de reforço podem possibilitar sua adaptação. Begaj e McNamara (2011) demonstram experimentalmente a aplicação de grupos de miniestacas associados a elementos existentes, evidenciando que sistemas antigos podem ser integrados a novas soluções estruturais para ampliar sua capacidade resistente.

Assim, a análise conjunta desses estudos indica que o reúso de fundações deve ser compreendido como um processo de decisão baseado na integração de diferentes fontes de informação, incluindo documentação histórica, inspeções, ensaios, avaliações estruturais e geotécnicas, histórico de desempenho e estratégias de reforço. Essa abordagem permite transformar fundações existentes em recursos de engenharia, reduzindo consumo de materiais, geração de resíduos, intervenções no subsolo e impactos ambientais.

No contexto brasileiro, embora a ABNT NBR 6122:2022 estabeleça requisitos relacionados à investigação geotécnica, segurança e desempenho das fundações, ainda são limitadas as discussões sistematizadas sobre procedimentos específicos para reutilização de fundações existentes. Considerando o grande número de edificações, pontes e obras de infraestrutura construídas ao longo das últimas décadas, o desenvolvimento de metodologias para avaliação e reaproveitamento desses sistemas apresenta potencial relevante para uma engenharia mais eficiente e sustentável.

Diante desse cenário, este trabalho analisa quatro estudos da literatura internacional sobre reutilização de fundações existentes, buscando identificar os principais critérios de investigação, métodos de avaliação, informações utilizadas e estratégias adotadas para a tomada de decisão quanto ao reúso, reforço ou substituição dos elementos existentes. A partir dessa análise comparativa, são discutidas as possibilidades de adaptação desses princípios ao contexto brasileiro, considerando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e de segurança.

O objetivo deste trabalho é, portanto, analisar abordagens empregadas na avaliação e reutilização de fundações existentes, identificando procedimentos e critérios utilizados na literatura internacional e discutindo sua aplicabilidade em obras de engenharia no Brasil. Busca-se demonstrar que, quando fundamentado em investigação adequada e avaliação criteriosa, o reúso de fundações pode constituir uma alternativa segura e sustentável frente à execução de novos sistemas de fundação.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido por meio de uma pesquisa bibliográfica, de abordagem qualitativa, caráter exploratório e natureza analítico-comparativa, tendo como objeto trabalhos científicos relacionados à investigação, avaliação, reutilização, reavaliação da capacidade resistente e reforço de fundações existentes. A metodologia foi estruturada com o objetivo de compreender os principais procedimentos empregados na literatura para avaliar a possibilidade de aproveitamento de fundações previamente executadas e identificar critérios aplicáveis ao processo de tomada de decisão quanto ao reúso, reforço ou substituição desses elementos.

Inicialmente, foi realizada a seleção de estudos considerados representativos da temática, seguida de uma análise comparativa dos procedimentos, métodos, critérios de avaliação e resultados apresentados. A partir dessa análise, buscou-se identificar os principais fatores que influenciam a decisão de reutilizar uma fundação existente, considerando aspectos relacionados à investigação das condições atuais, avaliação da integridade,

durabilidade, capacidade resistente, histórico de desempenho e compatibilidade com novas solicitações estruturais.

Foram selecionados quatro trabalhos considerados relevantes para a análise da reutilização de fundações existentes: Hertlein e Walton (2000), Begaj e McNamara (2011), Davis et al. (2018) e Davis et al. (2019). A seleção foi realizada de forma intencional, considerando a contribuição dos estudos para diferentes etapas do processo de avaliação e a diversidade de abordagens empregadas.

Os trabalhos selecionados apresentam contribuições complementares para a compreensão do tema. Hertlein e Walton (2000) abordam a investigação e caracterização de fundações existentes por meio da combinação de informações históricas, métodos diretos e não destrutivos, ensaios de materiais e provas de carga. Begaj e McNamara (2011) avaliam experimentalmente o comportamento de fundações existentes submetidas a reforço com grupos de miniestacas. Davis et al. (2018) apresentam uma abordagem probabilística para a reavaliação da capacidade resistente, incorporando o histórico de carregamento e desempenho como informações adicionais. Davis et al. (2019) discutem procedimentos de investigação, avaliação e tomada de decisão relacionados ao reúso e reforço de fundações, especialmente em obras de infraestrutura e pontes.

Dessa forma, a seleção dos estudos contemplou diferentes dimensões associadas ao reúso de fundações existentes, incluindo investigação das condições geométricas, construtivas e geotécnicas, avaliação da integridade e durabilidade, verificação da capacidade resistente, consideração do histórico de carregamento, aplicação de técnicas de reforço e análise das alternativas de reutilização integral, reutilização parcial, reforço ou substituição.

Após a seleção, os estudos foram submetidos a uma análise qualitativa e comparativa, utilizando critérios organizados em categorias relacionadas às características da estrutura, da fundação existente, dos métodos de investigação, da avaliação de desempenho e das soluções adotadas (Tabela 1).

A análise comparativa considerou aspectos relacionados ao tipo de estrutura e fundação avaliada, à motivação para reutilização, às informações disponíveis, aos métodos de investigação empregados, aos critérios utilizados para avaliação da integridade, durabilidade e capacidade resistente, bem como à influência do histórico de desempenho na tomada de decisão.

Tabela 1. Critérios utilizados na análise comparativa dos estudos selecionados.

Critério de análise	Pergunta orientadora
Tipo de estrutura	Qual estrutura foi analisada?
Tipo de fundação	Qual sistema de fundação existia?
Motivação	Por que o reuso foi considerado?
Documentação	Quais informações estavam disponíveis?
Investigação	Quais ensaios foram realizados?
Integridade	Como foi avaliada?
Durabilidade	Quais danos foram investigados?
Capacidade	Como foi verificada?
Histórico	O desempenho anterior foi considerado?
Reforço	Foi necessário reforçar?
Solução	Houve reuso total, parcial ou substituição?
Resultado	Qual foi o resultado técnico/econômico?

Também foram analisadas as estratégias adotadas quando a fundação existente não apresentava condições suficientes para atender integralmente às novas solicitações, incluindo técnicas de reforço, integração entre elementos antigos e novos e alternativas de substituição parcial ou total. Além disso, foram avaliados os benefícios, limitações e incertezas associados a cada abordagem, considerando aspectos técnicos, econômicos, construtivos, operacionais e ambientais.

Por fim, os resultados obtidos na análise dos estudos foram utilizados para discutir a possibilidade de aplicação desses princípios ao contexto brasileiro, considerando as características das obras existentes, as condições geotécnicas nacionais, a disponibilidade de informações técnicas e os requisitos estabelecidos pela regulamentação vigente.

Assim, a metodologia adotada permitiu compreender a reutilização de fundações existentes como um processo progressivo de investigação e tomada de decisão, baseado na integração de diferentes fontes de informação e na redução das incertezas relacionadas à geometria, integridade, durabilidade, capacidade resistente e desempenho futuro dos elementos existentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Investigação e Avaliação de Fundações Existentes para Reuso

A reutilização de uma fundação existente depende da caracterização confiável de suas condições geométricas, materiais, estruturais e geotécnicas. Diferentemente de uma fundação nova, cujas características podem ser definidas e controladas durante o projeto e a execução, a avaliação de elementos existentes geralmente envolve

informações incompletas, diferentes fontes de dados e níveis variados de incerteza.

Os estudos analisados indicam que esse processo deve ser conduzido de forma progressiva e integrada. Inicialmente, devem ser reunidas as informações disponíveis e identificadas as principais lacunas de conhecimento. Em seguida, são definidas investigações complementares para avaliar a geometria, a integridade, a durabilidade, a capacidade resistente e as condições do terreno.

A decisão quanto ao reuso não deve ser baseada em um único ensaio ou parâmetro. A confiabilidade da avaliação resulta da combinação entre documentação, inspeções, ensaios, dados geotécnicos, histórico de carregamento e análises estruturais e geotécnicas. Dessa forma, a extensão das investigações deve ser compatível com o grau de incerteza, a importância da estrutura, as consequências de uma eventual falha e as novas solicitações previstas.

Estudo documental

O estudo documental constitui a etapa inicial da avaliação e tem como objetivo reunir informações sobre a concepção, o dimensionamento, a execução, a utilização e o desempenho histórico da estrutura e de suas fundações.

Devem ser analisados, quando disponíveis, projetos originais, memórias de cálculo, relatórios de sondagem, registros de execução, ensaios de materiais, provas de carga, relatórios de inspeção, registros de manifestações patológicas e intervenções realizadas ao longo da vida útil.

Essas informações permitem estabelecer um conhecimento preliminar sobre a fundação e identificar lacunas relacionadas à sua geometria, profundidade, materiais, método construtivo e condições do subsolo. Davis et al. (2019) destacam que o levantamento documental pode fornecer informações relevantes para orientar as investigações posteriores, geralmente com menor custo que as investigações de campo.

Entretanto, a documentação disponível não deve ser considerada suficiente por si só. Podem existir diferenças entre o projeto e o elemento efetivamente executado, além de alterações decorrentes do uso, da ação do ambiente e de processos de deterioração. Conforme Hertlein e Walton (2000), a interpretação dos métodos de investigação, especialmente dos ensaios não destrutivos, torna-se mais confiável quando associada às informações históricas e geotécnicas.

Assim, o estudo documental deve ser entendido como uma etapa de redução inicial das incertezas e planejamento das investigações complementares.

Investigação direta e inspeção

Após o levantamento documental, a investigação direta permite verificar, em campo, as características e condições reais dos elementos existentes. Seu objetivo é confirmar informações relativas à localização, geometria, dimensões, profundidade, materiais e estado de conservação da fundação.

Essa etapa pode envolver escavações localizadas, abertura de valas, exposição de trechos dos elementos, inspeções visuais e coleta de amostras para ensaios laboratoriais. Em fundações superficiais, pode permitir a verificação das dimensões e condições de sapatas, blocos e elementos de ligação. Em fundações profundas, a investigação pode concentrar-se em trechos acessíveis e regiões próximas aos blocos de coroamento.

A inspeção pode identificar fissuras, deformações, perda de seção, deterioração, danos construtivos e outras manifestações capazes de comprometer o desempenho da fundação. Quando necessário, podem ser realizados ensaios de caracterização dos materiais, como a extração de testemunhos de concreto e a avaliação de suas propriedades físicas e mecânicas.

Entretanto, a investigação direta é limitada pelo acesso e pela possibilidade de examinar apenas parte dos elementos. A ausência de danos em uma região exposta não garante a inexistência de problemas em trechos não acessíveis. Por isso, seus resultados devem ser correlacionados com informações documentais, geotécnicas e obtidas por métodos não destrutivos.

Dessa forma, a investigação direta constitui importante ferramenta de confirmação das condições reais da fundação, mas sua extensão deve ser definida de acordo com o nível de incerteza, a importância da estrutura e as consequências de uma eventual falha, buscando equilibrar a necessidade de informação e a preservação dos elementos existentes.

Ensaio não destrutivos

Os ensaios não destrutivos constituem ferramentas importantes para a avaliação de fundações existentes, especialmente quando o acesso direto é limitado ou quando se busca reduzir intervenções invasivas.

Hertlein e Walton (2000) destacam a aplicação de técnicas como o ensaio de resposta ao impulso e o ensaio sísmico paralelo na investigação de fundações profundas. Dependendo das características do elemento e das condições do meio, esses métodos podem fornecer informações sobre a profundidade, a continuidade e a existência de descontinuidades. No ensaio sísmico paralelo, por exemplo, um furo executado adjacente à fundação pode ser utilizado para estimar o comprimento de elementos enterrados cuja extremidade inferior não é diretamente acessível (Figura 1).

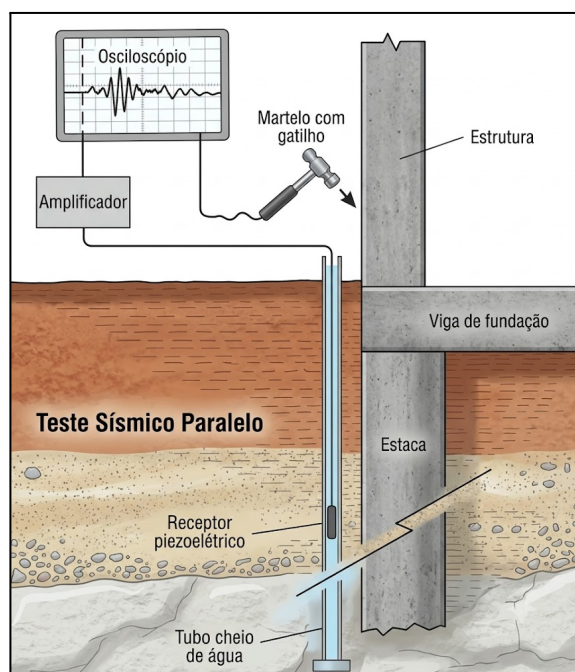


Figura 1. Esquema do ensaio sísmico paralelo para avaliação de fundações existentes (Adaptado de Hertlein e Walton, 2000).

Também podem ser utilizados radar de penetração no solo, ultrassom, tomografia ultrassônica, termografia infravermelha, métodos de resistividade elétrica, radiografia, métodos sísmicos e perfilagem geofísica em furos. Essas técnicas podem auxiliar na identificação de armaduras, vazios, descontinuidades, zonas deterioradas e características geométricas dos elementos.

Em estruturas de difícil acesso, especialmente em ambientes submersos, técnicas de sonar também podem contribuir para a investigação de pilares e fundações de pontes (Figura 2).

A seleção do método deve considerar o objetivo da investigação, as características da fundação e as limitações de cada técnica. Como nenhum ensaio é capaz de eliminar isoladamente todas as incertezas, a confiabilidade da avaliação aumenta quando diferentes métodos são combinados e seus resultados são correlacionados com informações documentais, geotécnicas e de campo.

Avaliação da integridade e durabilidade

A avaliação da integridade busca verificar a continuidade, a geometria e as condições físicas dos elementos de fundação. Devem ser investigadas características como localização, dimensões, profundidade, seção transversal e estado dos materiais, bem como a ocorrência de vazios, fissuras, descontinuidades, perda de seção e danos decorrentes de intervenções ou processos construtivos.

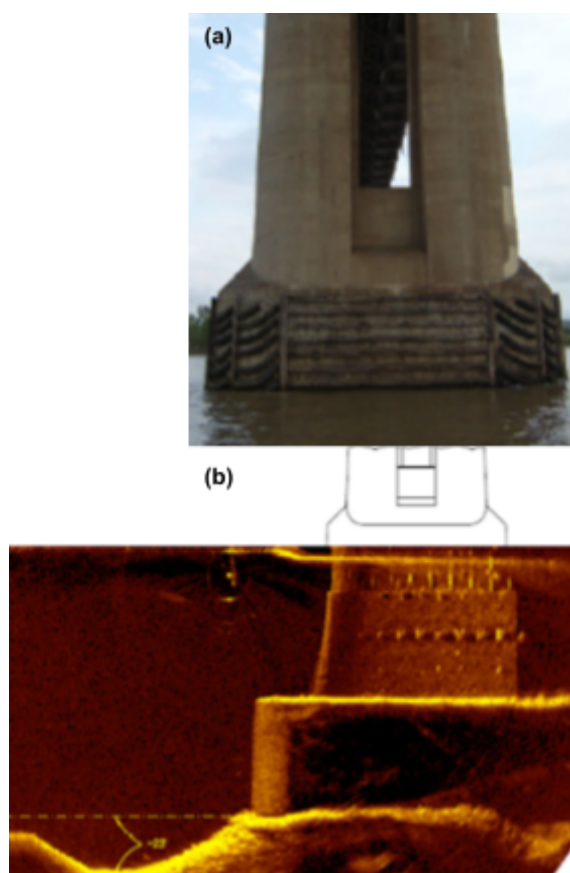


Figura 2. (a) imagem acima da água e (b) imagem de um sonar de um pilar da ponte (Adaptada de Davis et al., 2019).

Essa avaliação pode combinar inspeções diretas, exposição localizada, extração de amostras e ensaios não destrutivos. Entretanto, a integridade física, isoladamente, não garante a possibilidade de reutilização. Um elemento contínuo e aparentemente íntegro pode não possuir capacidade suficiente para as novas solicitações, enquanto danos localizados podem ser compatíveis com o reúso quando houver possibilidade de reparo ou reforço.

A durabilidade deve verificar se a fundação poderá permanecer em serviço durante o período previsto para a nova utilização. Para isso, devem ser considerados o material constituinte, as condições ambientais, o histórico de exposição e a possibilidade de progressão dos mecanismos de deterioração. Em elementos de concreto armado, podem ser relevantes a carbonatação, a penetração de cloretos, a corrosão das armaduras, o ataque químico e a abrasão. Em fundações de madeira, devem ser considerados principalmente a deterioração biológica e a perda de seção.

Também devem ser avaliadas as condições da água subterrânea, as variações do nível freático, a presença de agentes agressivos e as alterações ocorridas no entorno. Davis et al. (2019) indicam que essa análise

pode envolver inspeções, ensaios de campo e laboratório e, quando necessário, estimativas da vida útil remanescente.

Assim, integridade, durabilidade e capacidade resistente devem ser avaliadas conjuntamente. Uma fundação pode apresentar capacidade suficiente no momento da investigação, mas não ser adequada ao reúso caso esteja submetida a um processo de deterioração progressivo capaz de comprometer sua segurança futura.

Avaliação da capacidade resistente

A avaliação da capacidade resistente constitui uma das principais etapas da decisão sobre a reutilização. Deve considerar simultaneamente a capacidade estrutural dos elementos e a capacidade geotécnica do sistema solo-fundação.

A capacidade estrutural está relacionada à resistência dos materiais e à capacidade dos elementos de suportar os esforços atuantes. A capacidade geotécnica, por sua vez, depende da transferência de cargas para o terreno, da resistência do solo e dos mecanismos de ruptura e deformação.

A análise deve considerar o histórico de carregamento e as novas solicitações de projeto, incluindo possíveis alterações nas cargas, no uso da estrutura, no nível d'água, nas condições do terreno e no entorno. A capacidade pode ser avaliada por métodos analíticos, empíricos, numéricos e experimentais, cuja escolha depende do tipo de fundação, da qualidade das informações disponíveis, das condições geotécnicas e do nível de confiabilidade requerido.

Davis et al. (2018) destacam que o histórico de carregamento pode constituir uma evidência adicional relevante. O fato de uma fundação ter suportado determinado carregamento durante um período significativo sem evidências de ruptura ou desempenho inadequado pode contribuir para a reavaliação de sua capacidade.

Entretanto, o desempenho satisfatório no passado não garante automaticamente a capacidade futura. A avaliação deve considerar também a condição atual da fundação, os processos de deterioração, as alterações do terreno e as novas solicitações previstas.

Provas de carga e histórico de carregamento

As provas de carga permitem avaliar diretamente a resposta da fundação às solicitações, fornecendo informações sobre a relação entre carga e deslocamento e sobre o comportamento resistente do sistema.

Em fundações existentes, sua aplicação pode ser limitada pelo custo, pelas dificuldades de acesso, pela



necessidade de sistemas de reação e pela possibilidade de interferência na operação da estrutura. Dessa forma, nem sempre é viável testar individualmente todos os elementos.

Nessas situações, o histórico de carregamento e desempenho pode fornecer informações complementares. Davis et al. (2018) demonstram que o comportamento observado de grupos de estacas durante sua vida útil pode ser incorporado à avaliação probabilística da capacidade, especialmente quando não há evidências de ruptura ou de recalques anormais.

Esse histórico, entretanto, não substitui a investigação da integridade, da durabilidade e das condições geotécnicas. Sua função é complementar às demais informações e contribuir para a redução das incertezas relacionadas à capacidade da fundação.

Correlação com dados geotécnicos

A avaliação de uma fundação existente deve considerar as condições do terreno e a interação entre o solo e a fundação. A caracterização geotécnica é necessária para compreender os mecanismos de transferência de carga e verificar a compatibilidade entre as condições atuais do subsolo e o desempenho esperado do sistema.

Entre as informações relevantes estão a estratigrafia, os parâmetros de resistência e deformabilidade do solo, a posição do nível d'água, as cotas de apoio e a ocorrência de erosão, instabilidade ou alterações na drenagem.

Os dados históricos podem apresentar limitações quanto à localização, profundidade e qualidade dos registros. Por isso, investigações complementares podem ser necessárias para confirmar as condições atuais do terreno e verificar possíveis alterações ocorridas ao longo do tempo.

A comparação entre dados antigos e atuais permite identificar mudanças nas condições do subsolo e avaliar a consistência das informações disponíveis, especialmente quando ocorreram alterações de uso, intervenções próximas, mudanças no nível d'água ou modificações na geometria do terreno.

Dessa forma, a análise geotécnica deve ser integrada às informações sobre os elementos de fundação. A possibilidade de reutilização depende da compreensão conjunta da condição dos elementos, das características do terreno e da interação entre ambos.

Estratégias de Reavaliação, Reforço e Adequação de Fundações Existentes

A avaliação de uma fundação existente não conduz necessariamente à escolha entre sua reutilização

integral e sua substituição completa. Dependendo das condições de integridade, durabilidade, capacidade resistente e das novas solicitações de projeto, diferentes estratégias podem ser adotadas, incluindo a reutilização sem intervenções significativas, a reutilização parcial, o reforço, a recuperação ou a combinação entre elementos existentes e novos.

A decisão deve resultar da análise integrada das informações obtidas durante a investigação, considerando a capacidade resistente disponível, o histórico de desempenho, as condições geotécnicas, os mecanismos de deterioração, as novas solicitações e a viabilidade técnica e econômica das alternativas. Assim, a reutilização deve ser compreendida como um processo de decisão que pode envolver diferentes níveis de intervenção, e não como uma escolha exclusivamente binária entre manter ou substituir a fundação existente.

Reavaliação com base no carregamento anterior

Uma característica importante das fundações existentes é a possibilidade de utilizar informações relacionadas ao seu comportamento real durante o período anterior de serviço. Além dos resultados de ensaios e dos métodos convencionais de cálculo, o histórico de carregamento e desempenho pode fornecer evidências adicionais sobre a capacidade do sistema.

Davis et al. (2018) apresentam uma abordagem probabilística para a reavaliação da capacidade de estacas existentes considerando o carregamento previamente suportado e o desempenho observado ao longo do tempo. Quando uma fundação permanece submetida a determinado nível de carregamento durante um período significativo sem evidências de ruptura ou desempenho inadequado, esse comportamento pode contribuir para a redução das incertezas associadas à estimativa de sua capacidade.

Essa informação, entretanto, não substitui a investigação da integridade, da durabilidade e das condições geotécnicas. O histórico de desempenho deve ser utilizado como evidência complementar, em conjunto com a avaliação das condições atuais e das novas solicitações previstas.

A utilização dessa abordagem requer cautela, pois a capacidade observada no passado pode não representar as condições futuras da fundação. Processos de deterioração, alterações do nível d'água, erosão, socavamento, escavações próximas e mudanças nas cargas podem modificar o comportamento do sistema. Portanto, o desempenho histórico deve ser considerado em conjunto com as condições atuais e com a previsão de desempenho durante a nova vida útil da estrutura.

Reforço de fundações existentes

Quando a fundação existente apresenta capacidade insuficiente para suportar integralmente as novas solicitações, mas mantém condições adequadas de integridade e durabilidade, o reforço pode constituir uma alternativa técnica à substituição completa. O objetivo pode ser aumentar a capacidade resistente, reduzir deformações, recuperar elementos deteriorados, melhorar a transferência de cargas ou proteger a fundação contra mecanismos de degradação.

Entre as principais estratégias de reforço encontram-se a instalação de novas estacas ou microestacas, a utilização de grupos de miniestacas, o encamisamento de elementos, o aumento de seções, a execução de concreto e armaduras complementares, a melhoria do terreno e a adoção de medidas de proteção contra erosão, socavamento e corrosão.

Davis et al. (2019) apresentam soluções nas quais microestacas são instaladas associadas às fundações existentes, permitindo que novos elementos contribuam para a transferência das cargas sem a necessidade de remoção completa do sistema original (Figura 3). Begaj e McNamara (2011), por sua vez, investigaram experimentalmente o comportamento de uma estaca existente submetida a recarregamento após a instalação de grupos de miniestacas ao seu redor, demonstrando que características como o número, o comprimento e o espaçamento dos novos elementos influenciam o comportamento do conjunto.

A eficiência do reforço depende da interação entre a fundação existente, os novos elementos e o terreno. Por isso, o dimensionamento deve considerar a compatibilidade de deslocamentos, a transferência e a redistribuição de cargas e a sequência construtiva. Além da capacidade final, devem ser avaliados os efeitos da execução sobre a estrutura existente e sobre o subsolo, especialmente em obras em operação ou com acesso restrito.

Dessa forma, o reforço pode permitir a manutenção de parte significativa da infraestrutura existente, reduzindo a necessidade de demolições e de novas intervenções no terreno. Contudo, sua viabilidade depende da compatibilidade entre as condições atuais da fundação, as novas solicitações e a capacidade da solução de reforço em proporcionar desempenho adequado durante a vida útil prevista.

Alternativas de intervenção: reutilização integral, reutilização parcial, reforço e substituição

A reutilização de fundações existentes pode ocorrer em diferentes níveis, definidos a partir das condições de integridade, durabilidade, capacidade resistente e compatibilidade dos elementos existentes com as novas solicitações de projeto. A alternativa mais favorável consiste na reutilização integral, na qual a

fundação existente é mantida e incorporada à nova estrutura sem necessidade de intervenções significativas. Entretanto, quando são identificadas limitações localizadas, alterações importantes nas condições de carregamento ou necessidade de adequação do desempenho, podem ser adotadas soluções intermediárias envolvendo aproveitamento parcial, reforço ou substituição de determinados elementos.

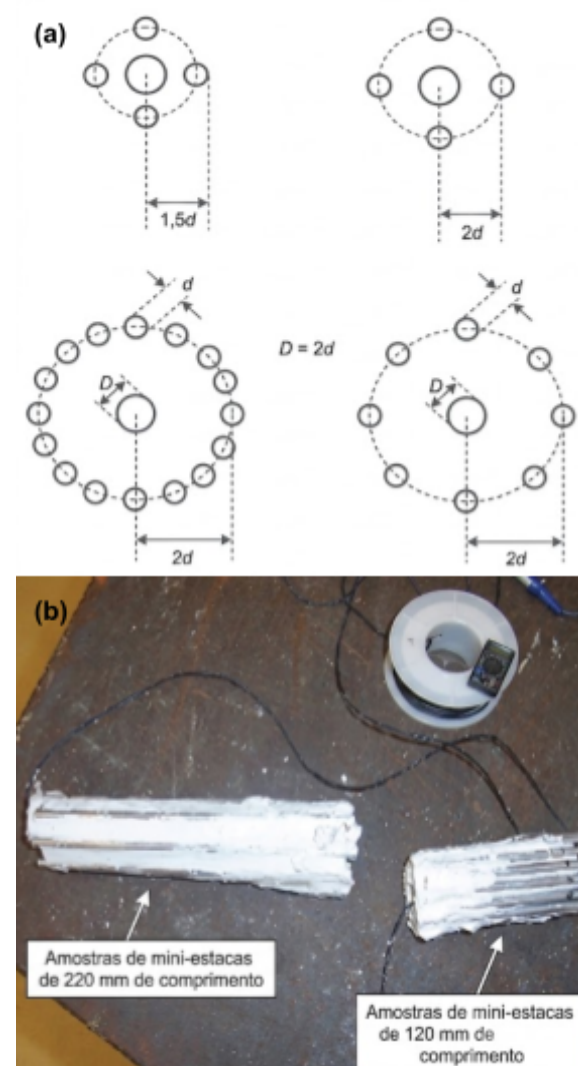


Figura 3. (a) Geometria dos grupos e (b) miniestacas (Adaptada de Begaj e McNamara, 2011).

Alternativas de intervenção: reutilização integral, reutilização parcial, reforço e substituição

A reutilização de fundações existentes pode ocorrer em diferentes níveis, definidos a partir das condições de integridade, durabilidade, capacidade resistente e compatibilidade dos elementos existentes com as novas solicitações de projeto. A alternativa mais favorável consiste na reutilização integral, na qual a fundação existente é mantida e incorporada à nova estrutura sem necessidade de intervenções significativas. Entretanto, quando são identificadas

limitações localizadas, alterações importantes nas condições de carregamento ou necessidade de adequação do desempenho, podem ser adotadas soluções intermediárias envolvendo aproveitamento parcial, reforço ou substituição de determinados elementos.

Davis et al. (2019), com base em Butcher et al. (2006) e Collin e Jalinoos (2014), destacam que as estratégias de intervenção em fundações existentes podem envolver diferentes combinações entre elementos preservados e novos componentes estruturais. Essas alternativas incluem a reutilização total ou parcial da fundação, a associação com sistemas de reforço e a substituição de elementos quando necessário (Figura 4).

Dessa forma, a tomada de decisão não deve ser limitada à escolha entre manter integralmente ou remover completamente a fundação existente, mas deve considerar diferentes possibilidades de adaptação às condições específicas de cada empreendimento.

A reutilização integral ocorre quando os elementos existentes apresentam capacidade resistente, integridade física e durabilidade compatíveis com as novas condições de utilização, permitindo sua incorporação direta à nova estrutura. A reutilização parcial pode ser adotada quando apenas parte dos elementos existentes apresenta condições adequadas de aproveitamento, sendo complementada pela execução de novos elementos de fundação. Já a reutilização associada ao reforço envolve a manutenção da fundação existente juntamente com intervenções destinadas a aumentar sua capacidade resistente, recuperar danos, melhorar a transferência de cargas ou prolongar sua vida útil.

Em determinadas situações, pode ser necessária a substituição parcial de elementos que apresentam desempenho inadequado, mantendo-se aqueles que ainda possuem condições satisfatórias de utilização. Quando a fundação existente apresenta limitações relacionadas à segurança, integridade, durabilidade ou viabilidade econômica, pode ser adotada a substituição total, com a execução de um novo sistema de fundação.

A escolha da alternativa mais adequada deve resultar da análise integrada das informações obtidas durante a investigação, das características da fundação existente, das novas solicitações estruturais, das condições geotécnicas e dos riscos associados às intervenções. Assim, o reúso de fundações deve ser compreendido como um processo de tomada de decisão baseado na avaliação das condições atuais e futuras do sistema, permitindo a combinação de diferentes estratégias para alcançar uma solução tecnicamente segura, economicamente viável e ambientalmente eficiente.

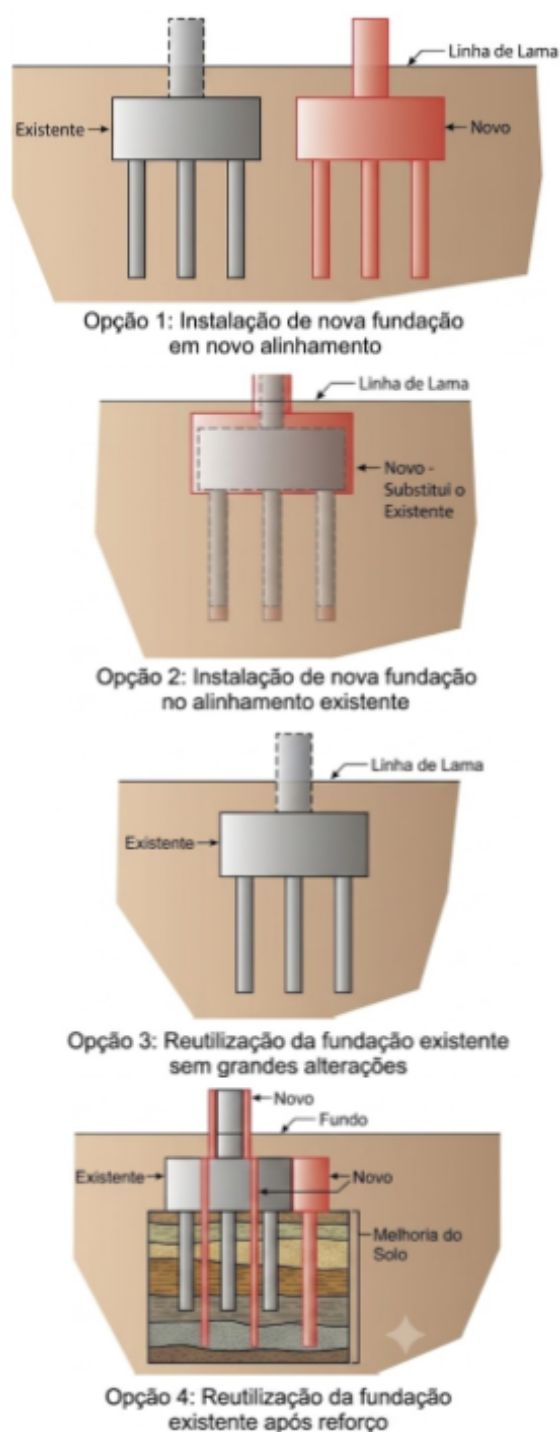


Figura 4. Opções de reconstrução de fundação (Adaptada de Davis et al., 2019).

Em obras urbanas e de infraestrutura, especialmente em intervenções envolvendo pontes e estruturas existentes, a combinação entre elementos antigos e novos pode representar uma alternativa vantajosa, reduzindo impactos, custos, prazos de execução e a necessidade de demolições. Dessa forma, a fundação existente deixa de ser vista apenas como um elemento a ser removido e passa a ser considerada

um recurso técnico potencialmente aproveitável dentro de uma nova configuração estrutural.

Aspectos Normativos e Interface com a ABNT NBR 6122:2022

A reutilização de fundações existentes exige a verificação da compatibilidade entre as condições atuais dos elementos e as novas solicitações impostas pela estrutura a ser implantada. Essa avaliação deve considerar aspectos relacionados à segurança, capacidade resistente, desempenho, durabilidade e interação solo-fundação. No Brasil, a ABNT NBR 6122:2022 constitui uma referência fundamental para o projeto e a verificação de fundações, embora não apresente um procedimento específico destinado exclusivamente ao reúso de fundações existentes.

A ausência de uma metodologia normativa específica não impede a aplicação dos princípios estabelecidos pela norma. Os requisitos relacionados à investigação geotécnica, determinação da capacidade de carga, avaliação dos estados-limites e verificação do desempenho fornecem uma base para a análise de fundações existentes. Entretanto, sua aplicação deve considerar as particularidades dessas estruturas, principalmente a existência de informações incompletas, diferenças entre projeto e execução, alterações ocorridas ao longo da vida útil e incertezas associadas aos elementos enterrados.

A investigação das condições existentes constitui a primeira etapa do processo de avaliação. Devem ser analisados documentos disponíveis, como projetos, registros de execução, sondagens, ensaios e histórico de desempenho, complementados, quando necessário, por novas investigações geotécnicas e inspeções dos elementos de fundação. Essas informações permitem avaliar possíveis alterações no subsolo, como variações do nível d'água, erosão, escavações próximas, mudanças de drenagem ou modificações no entorno que possam influenciar o comportamento do sistema solo-fundação.

A verificação da capacidade resistente deve considerar tanto a capacidade estrutural dos elementos quanto a capacidade geotécnica do sistema. O fato de uma fundação ter apresentado desempenho satisfatório no passado não garante automaticamente sua adequação para novas condições de carregamento, pois podem ocorrer alterações nas solicitações, na geometria da estrutura, nas condições ambientais ou no estado de conservação dos materiais. Nesse contexto, o histórico de carregamento e desempenho, conforme discutido por Davis et al. (2018), pode ser utilizado como informação complementar para reduzir incertezas, desde que associado às demais avaliações.

Além da capacidade resistente, a reutilização deve considerar os estados-limites de serviço, incluindo

recalques, deslocamentos e compatibilidade de deformações entre a fundação existente e a nova estrutura. Uma fundação pode apresentar resistência suficiente e ainda assim não atender aos requisitos de desempenho devido a deformações excessivas ou incompatíveis com a nova configuração estrutural.

A avaliação da durabilidade também possui papel fundamental, pois a condição atual da fundação não representa necessariamente seu comportamento futuro. Devem ser analisados os materiais constituintes, as condições ambientais e os mecanismos de deterioração existentes, como corrosão, ataque químico, perda de seção ou degradação biológica. Quando identificados danos, a reutilização pode ser viabilizada por meio de reparos, proteção ou reforço, desde que a vida útil remanescente seja compatível com a nova utilização.

Devido às incertezas associadas às fundações existentes, a investigação deve ser realizada de forma progressiva, combinando diferentes fontes de informação, como documentação, inspeções, ensaios não destrutivos, investigações geotécnicas e provas de carga. Nenhum método isolado é capaz de caracterizar completamente uma fundação enterrada; portanto, a confiabilidade da avaliação depende da integração dos dados disponíveis e da redução das incertezas ao longo do processo.

Dessa forma, a interface entre a ABNT NBR 6122:2022 e a reutilização de fundações existentes pode ser estabelecida pela aplicação dos princípios normativos às etapas de investigação, caracterização, verificação de segurança e avaliação de desempenho. Embora a norma não apresente um procedimento específico para reúso, seus conceitos fornecem uma base técnica para orientar esse processo, que deve ser complementado por metodologias de investigação e gestão das incertezas próprias de estruturas existentes.

Assim, a reutilização de fundações no contexto brasileiro pode ser desenvolvida a partir de uma abordagem integrada envolvendo levantamento documental, investigação das condições existentes, avaliação da integridade e durabilidade, análise geotécnica, verificação da capacidade resistente e definição da estratégia de intervenção mais adequada, seja reutilização integral, parcial, reforço ou substituição. Essa abordagem permite aproximar a prática nacional das metodologias internacionais, promovendo soluções mais seguras, econômicas e sustentáveis na engenharia de fundações.

Análise Comparativa dos Quatro Estudos

Os quatro estudos analisados apresentam abordagens distintas, porém complementares, para a avaliação, reutilização e reforço de fundações existentes. Apesar das diferenças quanto ao tipo de estrutura, método

empregado e objetivo específico, todos convergem para a necessidade de fundamentar a decisão de reúso em uma avaliação integrada das condições existentes, considerando investigação, capacidade resistente, desempenho, durabilidade e compatibilidade com as novas solicitações (Tabela 2).

Hertlein e Walton (2000) apresentam uma abordagem voltada principalmente à investigação e caracterização de fundações existentes. Os autores demonstram que informações incompletas sobre geometria, profundidade, materiais e condições dos elementos podem ser complementadas por meio da combinação de inspeções, ensaios não destrutivos, avaliação de materiais, provas de carga e dados geotécnicos. A principal contribuição do estudo está na demonstração de que a redução das incertezas pode viabilizar o aproveitamento de fundações que, inicialmente, poderiam ser consideradas inadequadas pela ausência de informações.

Tabela 2. Síntese comparativa dos estudos analisados.

Estudo	Principal foco	Principal contribuição
Hertlein e Walton (2000)	Investigação de fundações existentes	Redução de incertezas por meio de inspeções e ensaios
Davis et al. (2018)	Reavaliação da capacidade resistente	Uso do histórico de desempenho na avaliação da capacidade
Davis et al. (2019)	Reúso de fundações em pontes	Definição de estratégias de reúso, reforço e substituição
Begaj e McNamara (2011)	Reforço de estacas existentes	Avaliação do aumento de desempenho com miniestacas

Davis et al. (2018) concentram-se na reavaliação da capacidade resistente de fundações existentes por meio de uma abordagem probabilística baseada no histórico de carregamento e desempenho. O estudo evidencia que uma fundação existente possui informações adicionais que não estão disponíveis em fundações novas, pois seu comportamento observado ao longo do tempo pode contribuir para reduzir incertezas na estimativa da capacidade. Entretanto, os autores ressaltam que o histórico de desempenho deve ser utilizado como informação complementar, associado à avaliação das condições atuais da fundação.

Davis et al. (2019) apresentam uma abordagem mais abrangente, voltada ao reúso de fundações em obras de infraestrutura, especialmente pontes. O estudo destaca que a decisão não deve ser limitada entre reutilizar ou remover completamente a fundação, mas pode envolver diferentes estratégias, como reutilização integral, reutilização parcial, reforço ou substituição de elementos específicos. Sua principal

contribuição está na integração entre aspectos técnicos, econômicos, construtivos e de segurança no processo de tomada de decisão.

Begaj e McNamara (2011) investigam experimentalmente o reforço de fundações existentes por meio da utilização de grupos de miniestacas. Os resultados demonstram que uma fundação que não apresenta capacidade suficiente para novas solicitações pode ser adaptada por meio de intervenções de reforço, ampliando as possibilidades de aproveitamento dos elementos existentes e evitando sua substituição completa.

A análise comparativa evidencia que não existe uma metodologia única para a reutilização de fundações existentes. A estratégia adotada depende das características da estrutura, do tipo de fundação, do nível de conhecimento disponível e das novas condições de carregamento. Entretanto, os estudos apresentam uma sequência comum de avaliação: levantamento das informações existentes, identificação das incertezas, investigação complementar, avaliação da integridade e durabilidade, verificação da capacidade resistente e análise da necessidade de reforço ou substituição.

De forma geral, os trabalhos demonstram que a reutilização de fundações deve ser entendida como um processo baseado na redução progressiva das incertezas e na integração de diferentes fontes de informação. Métodos de investigação, dados históricos, análises probabilísticas e técnicas de reforço não devem ser considerados isoladamente, mas como ferramentas complementares para fundamentar a decisão.

Assim, os estudos analisados indicam que uma fundação existente não deve ser automaticamente considerada um elemento sem utilidade ou destinado à remoção. Quando adequadamente investigada e avaliada, ela pode representar um recurso técnico capaz de ser incorporado a novas estruturas, contribuindo para soluções mais econômicas, sustentáveis e eficientes na engenharia de fundações.

Vantagens, Limitações e Riscos

A reutilização de fundações existentes apresenta benefícios técnicos, econômicos, ambientais e operacionais, mas também envolve limitações e riscos que devem ser avaliados durante o processo de tomada de decisão. A viabilidade do reúso depende do equilíbrio entre os benefícios proporcionados e o nível de incerteza associado às condições reais da fundação.

Entre as principais vantagens destaca-se a redução da necessidade de execução de novos elementos de fundação, o que pode diminuir custos, prazos de obra, consumo de materiais e geração de resíduos (Tabela 3).

A manutenção de fundações existentes também pode reduzir escavações, intervenções no subsolo e impactos em áreas urbanizadas, sendo especialmente relevante em obras de infraestrutura, pontes e locais com restrições de acesso ou operação. Além disso, o histórico de desempenho da fundação constitui uma informação adicional importante, pois o comportamento observado durante sua vida útil pode contribuir para a avaliação da capacidade e para a redução das incertezas, conforme discutido por Davis et al. (2018).

Tabela 3. Vantagens, limitações e riscos associados à reutilização de fundações existentes.

Vantagens	Limitações	Riscos
Redução de custos	Falta de documentação	Superestimação da capacidade
Redução do prazo de obra	Dificuldade de acesso	Subestimação da deterioração
Menor geração de resíduos	Incerteza sobre materiais e geometria	Recalques excessivos
Menor necessidade de escavação	Limitações dos ensaios	Alterações do terreno
Menor impacto ambiental	Incompatibilidade e geométrica	Danos durante a execução
Aproveitamento do histórico de desempenho	Necessidade de investigação especializada	Incompatibilidade de rigidez
Menor interferência na operação	Possível necessidade de reforço	Falhas decorrentes de informações insuficientes

Apesar desses benefícios, a reutilização apresenta limitações relacionadas principalmente à dificuldade de caracterização das condições existentes. A ausência de documentos confiáveis, diferenças entre o projeto original e a execução real, dificuldade de acesso aos elementos enterrados e limitações dos métodos de investigação podem comprometer o nível de conhecimento sobre a fundação. Além disso, fundações antigas podem apresentar alterações decorrentes do tempo, como deterioração dos materiais, mudanças nas condições do terreno e incompatibilidades com as novas solicitações estruturais.

Os principais riscos associados ao reúso estão relacionados à avaliação inadequada da capacidade resistente, à subestimação de mecanismos de deterioração e à interpretação incorreta das condições geotécnicas e estruturais existentes. Uma fundação que apresentou desempenho satisfatório no passado não necessariamente possui capacidade suficiente para atender a uma nova configuração estrutural, especialmente quando há aumento de cargas, alterações no nível d'água, modificações no entorno ou redução da durabilidade dos elementos.

Dessa forma, a reutilização de fundações deve ser baseada em uma avaliação integrada, considerando informações documentais, investigações de campo, ensaios, condições geotécnicas, histórico de desempenho e novas solicitações de projeto. A redução de custos, prazos e impactos ambientais somente representa uma vantagem efetiva quando associada à garantia dos requisitos de segurança, desempenho e vida útil da estrutura.

Portanto, o reúso de fundações deve ser entendido não como uma simples alternativa à substituição, mas como uma estratégia de engenharia baseada na investigação, na redução progressiva das incertezas e na análise criteriosa dos riscos envolvidos.

Possibilidades de Aplicação no Contexto Brasileiro

Os estudos analisados demonstram que a reutilização de fundações existentes pode representar uma alternativa tecnicamente viável para diferentes tipos de obras, desde que baseada em investigação adequada, avaliação das condições atuais e verificação da compatibilidade com as novas solicitações. No Brasil, essa abordagem apresenta potencial principalmente em áreas urbanas consolidadas, obras de infraestrutura e processos de reabilitação de estruturas existentes.

O crescimento urbano e a necessidade de adaptação do ambiente construído têm aumentado a ocorrência de intervenções em estruturas antigas, como ampliações, mudanças de uso, substituições de superestruturas e recuperação de pontes e viadutos. Nesses casos, as fundações existentes podem deixar de ser vistas apenas como elementos remanescentes a serem removidos e passar a ser consideradas recursos técnicos potencialmente aproveitáveis. Essa possibilidade é particularmente relevante em locais onde a execução de novas fundações apresenta dificuldades devido à restrição de espaço, interferências com estruturas vizinhas, limitações operacionais ou elevados impactos ambientais.

Entretanto, a aplicação das metodologias desenvolvidas internacionalmente deve considerar as particularidades brasileiras. Entre os principais desafios destacam-se a ausência de documentação de estruturas antigas, a diversidade dos sistemas construtivos utilizados ao longo do tempo e a grande variabilidade das condições geotécnicas nacionais. Solos tropicais, solos residuais, depósitos sedimentares e diferentes condições de nível d'água podem influenciar significativamente o comportamento das fundações existentes, exigindo avaliações específicas para cada local.

Com base nos estudos analisados, a avaliação de uma fundação existente visando ao reúso pode ser estruturada em etapas progressivas (Figura 5).

Inicialmente, deve ser realizado o levantamento documental e histórico da estrutura, reunindo informações sobre projeto, execução, materiais, condições do terreno e desempenho observado. Em seguida, devem ser identificadas as principais incertezas relacionadas à geometria, integridade, durabilidade e capacidade resistente da fundação, definindo-se as investigações complementares necessárias.



Figura 5. Fluxograma proposto para avaliação da possibilidade de reutilização de fundações existentes.

Essas investigações podem envolver inspeções diretas, ensaios não destrutivos, caracterização dos materiais, novas investigações geotécnicas e provas de carga, conforme o nível de incerteza e a importância da estrutura. A partir dos resultados obtidos, deve ser realizada uma avaliação integrada considerando a condição dos elementos existentes, a interação solo-fundação, o histórico de desempenho e as novas solicitações previstas.

A decisão final pode envolver diferentes estratégias, como reutilização integral, quando a fundação atende aos requisitos de segurança e desempenho; reutilização parcial, quando apenas determinados elementos podem ser aproveitados; reutilização associada a reforço, quando são necessárias intervenções para aumento de capacidade ou recuperação; solução mista, combinando elementos existentes e novos; ou substituição, quando o reuso não apresenta viabilidade técnica ou econômica.

A análise dos estudos também evidencia a possibilidade de desenvolvimento de procedimentos nacionais específicos para avaliação de fundações

existentes. Embora a ABNT NBR 6122:2022 forneça princípios relacionados à investigação, segurança, capacidade e desempenho das fundações, a reutilização apresenta particularidades que demandam orientações complementares, especialmente quanto à gestão das incertezas, utilização do histórico de desempenho e aplicação de métodos de investigação em elementos enterrados.

Nesse sentido, procedimentos nacionais poderiam estabelecer diferentes níveis de avaliação conforme a importância da estrutura, o grau de conhecimento disponível e as consequências de uma eventual falha. A utilização integrada de informações documentais, métodos não destrutivos, investigações geotécnicas e análises probabilísticas pode contribuir para avaliações mais confiáveis e reduzir decisões conservadoras baseadas apenas na ausência de informações.

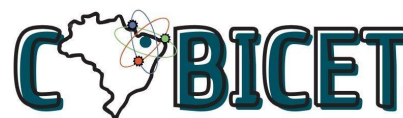
Além dos aspectos técnicos e econômicos, a reutilização de fundações apresenta potencial contribuição para a sustentabilidade da construção civil. O aproveitamento de elementos existentes pode reduzir o consumo de materiais, a geração de resíduos, as atividades de demolição e os impactos associados à execução de novas fundações. Entretanto, esses benefícios devem ser avaliados considerando todo o ciclo de vida da intervenção, garantindo que a solução adotada seja simultaneamente segura e ambientalmente vantajosa.

Dessa forma, a reutilização de fundações existentes apresenta potencial de aplicação em diversas situações brasileiras, incluindo reabilitação de pontes e viadutos, ampliação de edificações, intervenções em áreas urbanizadas, recuperação de estruturas antigas e obras em locais com restrições construtivas. Sua adoção depende, entretanto, da consolidação de uma cultura de investigação e avaliação das estruturas existentes.

Assim, o reuso de fundações deve ser considerado uma alternativa de projeto, e não uma exceção, desde que fundamentado em critérios técnicos de segurança, capacidade resistente, durabilidade e desempenho. O desenvolvimento de procedimentos complementares às normas existentes pode contribuir para ampliar sua aplicação no Brasil, promovendo soluções mais eficientes, econômicas e sustentáveis na engenharia de fundações.

CONCLUSÃO

A análise dos estudos demonstra que a reutilização de fundações existentes constitui uma alternativa tecnicamente viável e alinhada aos princípios de eficiência construtiva, sustentabilidade e aproveitamento de estruturas já implantadas. Entretanto, o reuso não deve ser entendido como uma simples manutenção de elementos antigos, mas como



um processo de engenharia baseado em investigação, avaliação das incertezas e verificação da compatibilidade entre a fundação existente e as novas solicitações.

A análise comparativa dos quatro trabalhos evidenciou que a decisão pelo reúso depende da integração de diferentes informações. Hertlein e Walton (2000) destacam a importância da combinação entre documentação, investigações diretas, ensaios não destrutivos e dados geotécnicos para caracterização das fundações existentes. Davis et al. (2018) demonstram que o histórico de carregamento e desempenho pode contribuir para a reavaliação da capacidade resistente, enquanto Davis et al. (2019) evidenciam a aplicação do reúso em obras de infraestrutura por meio de avaliações integradas de integridade, durabilidade, capacidade e risco. Begaj e McNamara (2011) mostram que técnicas de reforço podem ampliar a capacidade de fundações existentes, permitindo sua adaptação a novas condições de carregamento.

Os estudos analisados indicam que a reutilização não deve ser definida com base em um único parâmetro, mas por meio da avaliação conjunta das condições estruturais, geotécnicas e de desempenho. Assim, diferentes estratégias podem ser adotadas, incluindo reutilização integral, reutilização parcial, reforço, combinação entre elementos existentes e novos ou substituição, conforme as características e exigências de cada empreendimento.

No contexto brasileiro, o reúso apresenta potencial significativo em edificações, pontes e demais obras de infraestrutura, especialmente em áreas urbanizadas onde a remoção de fundações existentes pode gerar elevados custos, impactos e dificuldades executivas. Embora a ABNT NBR 6122:2022 forneça princípios importantes relacionados à segurança, investigação e desempenho das fundações, observa-se a necessidade de procedimentos complementares específicos para avaliação de estruturas existentes e gestão das incertezas associadas.

Dessa forma, a reutilização de fundações deve ser considerada uma alternativa de projeto fundamentada em investigação adequada, avaliação de capacidade, integridade, durabilidade e desempenho. Quando conduzida de maneira criteriosa, essa abordagem permite transformar fundações existentes em recursos estratégicos, contribuindo para soluções mais seguras, econômicas e sustentáveis na engenharia de fundações.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de

Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- BEGAJ, L.; MCNAMARA, A. M. Centrifuge model testing for pile foundation reuse. *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics*, v. 11, n. 4, p. 166-177, 2011.
- DAVIS, N.; SANAYEI, M.; AGRAWAL, A.; JALINOOS, F. Determining the capacity of reused bridge foundations from limited information. *Journal of Bridge Engineering*, v. 23, n. 12, 2018.
- DAVIS, N. T.; HOOMAAN, E.; AGRAWAL, A. K.; SANAYEI, M.; JALINOOS, F. Foundation reuse in accelerated bridge construction. *Journal of Bridge Engineering*, v. 24, n. 10, 2019.
- HERTLEIN, B. H.; WALTON, W. H. Assessment and reuse of old foundations. *Transportation Research Record*, n. 1736, p. 49-52, 2000.