



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

## **Patologias Comuns em Fundações: Estudo de Caso de uma Edificação Residencial Localizada em Petrópolis – RJ**

**Carolina Lopes de Queiroz Troyack<sup>1</sup>, Alessandra Conde de Freitas<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>UFRJ / Escola Politécnica / Programa de Projeto de Estruturas / [carolinatroyack@poli.ufrj.br](mailto:carolinatroyack@poli.ufrj.br)

<sup>2</sup>UFRJ / Escola Politécnica / Programa de Projeto de Estruturas / [alessandracfreitas@poli.ufrj.br](mailto:alessandracfreitas@poli.ufrj.br)

### **Resumo**

As patologias nas fundações podem ocorrer por diversas causas. As mais corriqueiras podem ser atribuídas a falhas no projeto estrutural, procedimentos inadequados na execução, degradação dos materiais e problemas na caracterização do subsolo e podem surgir nas etapas de investigação do subsolo, análise e projeto das fundações, execução das fundações e pós-conclusão das obras. Por meio de uma revisão bibliográfica, que apresenta algumas patologias das fundações, e de um caso real, onde a estrutura sofreu recalque excessivo das fundações, objetiva-se analisar possíveis causas para a ocorrência desse evento e apresentar o plano de recuperação/reforço estrutural. O caso refere-se a uma edificação residencial, em Petrópolis, que sofreu recalque em parte de suas fundações, sendo que algumas delas desconectaram-se totalmente da laje. Após o surgimento de fissuras na edificação, foi contratada uma empresa para recuperar a estrutura, em 2020. Antes da construção da edificação, não foi realizado procedimento de sondagem, que só foi efetuado por ocasião dos serviços de reparo dessa construtora. Assim, foi possível descobrir que parte da estrutura de fundações estava apoiada numa rocha que continha um “vazio” de cerca de 2m abaixo dela. Esse vazio tanto poderia ser atribuído a características naturais do perfil do solo e já existir antes do momento da construção da edificação, como pode ter sido agravado ou até ter surgido, na etapa de pós-conclusão, em razão de vazamentos de água e esgoto identificados. No caso estudado, é provável que mais de um fator tenha contribuído para o problema nas fundações, aumentando a complexidade na análise do problema. Além das situações citadas, é importante mencionar que houve corte e aterro no terreno antes da construção da edificação, existindo, então, a possibilidade de a estrutura ter sido apoiada total ou parcialmente sobre aterro mal compactado.

### **Palavras-chave**

Fundações; recalque; patologias; fissuras; estrutura.

### **Introdução**

Muito se tem discutido, nos últimos anos, acerca da incidência de diversos problemas estruturais em edificações, o que tem demandado estudos dedicados a analisar as patologias observadas. Helene (1992) define patologia como a área da engenharia que analisa sintomas, mecanismos, causas e origens das deficiências das construções. As autoras do presente trabalho consideram que fundação é parte muito importante da edificação, sendo esta responsável por transmitir para o solo, ou rocha subjacente, as cargas suportadas pela mesma e seu peso próprio, conforme descrito por Bowles (1997). Dessa forma, é possível perceber que problemas envolvendo fundações podem comprometer todo o sistema estrutural. Há causas frequentes de problemas relacionados às fundações, como por exemplo falhas no projeto estrutural, procedimentos inadequados na execução, degradação dos materiais e até problemas na caracterização do solo, como interpretação inadequada de dados, profundidade de investigação insuficiente e inclusive o desprezo completo dessa etapa da obra. Infelizmente a etapa de investigação do subsolo é muitas vezes negligenciada e ignora-se que o solo exercerá função de suportar as cargas da estrutura a ser erguida. Sendo, então, essencial identificar a posição e composição de suas diferentes camadas, caracterizar seu comportamento e avaliar presença de nível d'água, por exemplo. Por meio de uma revisão bibliográfica, onde são expostas algumas das patologias comumente associadas às fundações, e de um caso real, em que uma estrutura ficou comprometida com os efeitos do recalque diferencial das fundações, objetiva-se analisar possíveis causas para a ocorrência desse evento e apontar prováveis soluções. A metodologia adotada para a realização deste artigo contemplou: pesquisas bibliográficas, elaboradas a partir de materiais já publicados,



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

como livros, normas técnicas e outros artigos; estudo de caso, com pesquisa de campo, por meio de coleta de informações no campo e junto à construtora responsável pela recuperação estrutural, por meio de entrevista.

### Revisão bibliográfica

Um diagnóstico apropriado da patologia de uma estrutura de concreto armado, segundo Helene (1992), deve apontar em qual etapa do processo construtivo teve origem o ocorrido, uma vez que, para cada origem do problema existe terapia mais conveniente, embora o fenômeno e os sintomas possam ser os mesmos. O mesmo autor elucida que boa parte das patologias pode ter origem nas etapas de planejamento e projeto e que as falhas de planejamento ou de projeto são, geralmente, mais graves que as falhas de qualidade dos materiais ou de má execução. Assim, é sempre preferível empregar mais tempo no detalhamento e estudo da estrutura que, por falta de previsão, tomar decisões apressadas ou adaptadas durante etapas executivas.

No caso específico das estruturas de fundações, muitas patologias que se manifestam estão intimamente relacionadas à etapa da investigação do subsolo e, em particular, com a ausência desta. Infelizmente, isso é fato corriqueiro em obras de pequeno porte, com o errôneo objetivo de reduzir custos. Milititsky, *et al.* (2008) afirmam que a total ausência de investigação ou a investigação incompleta são as causas mais comuns de problemas relacionados a fundações. Já Velloso, *et al.* (2010) complementam citando o fato de que o projetista de fundações deve acompanhar todo o processo de investigação do subsolo, embora muitas vezes, não o faz, sendo entregue a ele, junto com informações sobre a estrutura que irá projetar, um conjunto de boletins de sondagens de simples reconhecimento. Nessa situação, e existindo dúvidas que embarcem a elaboração do projeto, essas sondagens devem ser consideradas como uma investigação preliminar e deve ser requisitada uma investigação complementar.

Milititsky, *et al.* (2008) apontam as patologias mais comuns que podem surgir nas fundações nas etapas de investigação do subsolo, análise e projeto das fundações, execução das fundações e pós-conclusão das obras, conforme Tabela 1.

**Tabela 1 – Relação das principais causas de problemas ou patologias em fundações.**

#### PROBLEMAS E PATOLOGIAS MAIS COMUNS

##### ETAPA: INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO

**Ausência de investigação do subsolo - fundações diretas - Causas:** Tensões de contato em excesso, tendo incompatibilidade com as reais características do solo, podem causar recalques inadmissíveis ou rupturas; Fundações em solos heterogêneos ou em materiais de comportamentos muito diferentes, sem juntas, podem causar recalques diferenciais; Fundações em solos compressíveis, sem estudos de recalques, podem originar deformações; Fundações que deveriam estar em camada rígida/dura, estando em solos moles, sem estudos de recalques, podem causar rupturas ou grandes deslocamentos das fundações.

**Ausência de investigação do subsolo - fundações profundas - Causas:** Escolha de estacas inadequadas ao subsolo, uma vez que este não é conhecido, pode resultar em mau comportamento; A geometria adotada para as fundações pode estar em desacordo com o tipo de solo, e elas também podem ter dimensões menores do que as necessárias; Estacas que devem estar em camadas resistentes podem estar em solos moles, tendo recalques incompatíveis com os desejados para a obra; Pode ocorrer atrito negativo não previsto, causando redução na carga admissível nominal adotada para as estacas.

**Investigação do subsolo insuficiente - Causas:** Número insuficiente de pontos de sondagem em grande área ou em subsolo variado; Profundidade de investigação insuficiente, ignorando-se que podem existir camadas menos resistentes e incapazes de suportar a carga necessária ao projeto; Insuficiência na caracterização do comportamento e peculiaridades de camadas do subsolo (ex: colapsibilidade e expansibilidade); Situações com variadas propriedades geotécnicas, com eventuais anomalias em locais isolados ou situações não identificadas.

**Investigação do subsolo com falhas - Causas:** Erros de localização de sondagens ou localização incompleta; Emprego de métodos impróprios ou ensaios não padronizados; Uso de equipamentos defeituosos ou fora da especificação; Falhas na caracterização do solo; desnivelamento entre referências e furos; Fraude nos relatórios de sondagem.

**Interpretação incongruente de dados - Causas:** Não detecção de problemas; Uso de valores não representativos

Vegetação - **Causas:** Interferência física das raízes; Alteração no teor de umidade do solo.

**Colapsibilidade - Causas:** Solos sensíveis a alterações no teor de saturação no terreno, apresentando redução de volume, independente de carregamento externo (ex: solos porosos tropicais).

**Expansibilidade - Causas:** Solos argilosos com argilo-minerais expansivos e variações de umidade, causadas por chuvas, mudanças no nível do lençol freático, presença de vegetação, etc.

**Regiões de mineração - Causas:** Subsidência em locais de extração mineral a profundidade rasa, onde há galerias túneis abandonados, etc.

**Regiões cársticas - Causas:** Rochas de carbonato de cálcio e magnésio, que, em contato com água combinada com CO<sub>2</sub>, se



solubilizam, gerando cavidades e porosidades.

**Matacões - Causas:** Blocos de rocha não decompostos no solo residual, de solos transportados ou de intemperismo rochoso.

#### **ETAPA: ANÁLISE E PROJETO DAS FUNDAÇÕES**

**Comportamento do solo - Causas:** Uso de projetos que consideram um comportamento do solo melhor do que o real; Reprodução incongruente do comportamento do solo pelo uso de similitudes empíricas não aplicáveis a determinada situação; Erro na estimativa de caracterização do comportamento do solo, por exorbitar a faixa de incidência da similitude; Escolha de fundações inadequadas para o tipo de comportamento do solo.

**Interação solo-estrutura - Causas:** Consideração de forma isolada da transmissão da carga de uma fundação ao solo, desprezando-se que a ocorrência de outra solicitação modifica as tensões na massa do solo; Estacas sobre camada de pouca espessura, abaixo da qual há solo mole, que foi desconsiderado na análise de capacidade de carga, podem romper; Grande proximidade entre estacas, desconsiderando-se a sobreposição de efeitos, redução de eficiência e efeito de grupo; Desconsideração do atrito negativo ou de sobrecarga unilateral atuando, em profundidade (efeito Tschebotarioff), nas estacas.

**Falta de conhecimento do comportamento verdadeiro das fundações - Causas:** Uso de soluções de fundações diferentes (ex: por variações de cargas e profundidades da camada de resistência do subsolo), sem os devidos cuidados, ocasionando recalques diferenciais; Na ocorrência de problemas construtivos em fundações profundas, a adoção de elementos de fundação como um reforço, sem considerar possíveis efeitos no elemento novo; Nas fundações profundas, o uso de valores de capacidade de carga, baseados nas sondagens, sem respeitar limites para resistência de ponta e atrito lateral.

**Estrutura de fundação - Causas:** Incorreção na definição das cargas que chegam às fundações e no dimensionamento de elementos estruturais das fundações; Não avaliação da situação "as built", uma vez que a execução do projeto pode causar excentricidades que geram maiores solicitações.

**Especificações construtivas - Causas:** Fundações diretas: problemas de inacurácia, como, da especificação das cotas de assentamento das fundações; das características do solo e alocação das fundações; da ordem de execução dos elementos adjacentes; da tensão admissível do solo; das características do concreto; do cobrimento da armadura; Fundações profundas: não indicação das profundidades mínimas de projeto, peso mínimo ou características do martelo de cravação e nega; das características do equipamento de execução; das tensões e características dos materiais das estacas; dos detalhamento de emendas; Não indicação das cargas usadas no projeto e de referências e localizações das sondagens ou ensaios usados no projeto.

**Fundações em aterros - Causas:** Peso próprio das fundações ou carregamento suportado por elas resultando em um recalque do corpo de aterro, quando o mesmo não é compactado ou vibrado ou quando são usados materiais inadequados para aterrar, por exemplo. Aterro sobre solos moles, gerando deformações significativas no solo natural por tensões devidas ao peso próprio do aterro e pelas cargas da estrutura; Atrito negativo e efeito Tschebotarioff; Ações bioquímicas nos aterros causadas pela decomposição da matéria orgânica dos lixões e aterros sanitários desativados.

#### **ETAPA: EXECUÇÃO DAS FUNDAÇÕES**

**Fundações superficiais - problemas envolvendo o solo - Causas:** Fundações sobre solos de diferentes comportamentos; Amolgamento de solo no fundo da vala, por falta de cuidado na escavação ou por falta de limpeza; Reaterros mal executados; Substituição do solo por materiais inapropriados ou mal compactados; Sapatas posicionadas em cotas diferentes com alívio da fundação de nível superior; Sapatas posicionadas em cota superior a tubulações, que, por ocasião de reparos e consequentes escavações, pode comprometer as fundações.

**Fundações superficiais - problemas com elementos estruturais das fundações - Causas:** fck do concreto inferior ao do projeto, comprometendo a segurança; Falta de concreto no fundo da cava onde será apoiada a fundação, possibilitando contaminações e expondo as armaduras; Execução de fundações com geometria e dimensões erradas; Adensamento e vibração inadequados; Água na cava na concretagem, comprometendo a integridade e qualidade da fundação.

**Fundações profundas - Causas:** Estacas em posição em desacordo com o projeto, causando solicitações não esperadas; Desvios na execução por obstruções no solo; Alterações da geometria ou reduções das dimensões do elemento na execução, que terá resistência reduzida; Posição errada ou falta de armaduras; Características inadequadas do concreto.

#### **ETAPA: PÓS-CONCLUSÃO**

**Carregamento próprio da superestrutura - Causas:** Aumentos de carregamento, causados por mudança de uso da edificação ou alterações e ampliações não pressupostas no projeto inicial, que podem ocasionar recalques significativos.

**Movimentação da massa de solo devido a fatores externos - Causas:** Mudança de uso de terrenos vizinhos, onde venha a existir nova edificação, que não realize juntas entre ela e as edificações existentes ou que estoque materiais pesados e seja muito próxima a prédios com fundações diretas ou profundas leves, podendo causar superposição de pressões e recalques nas construções antigas; Grandes escavações próximas a edificações, deslocando a massa de solo destas; Falta de proteção nas divisas das escavações ou escavações internas à obra, causando instabilidade e acidentes; Instabilidade de taludes pela execução de fundações em encostas; Rompimento de tubulações abaixo do nível das fundações, carreando solo e gerando vazios; Extravasamento de grandes coberturas sem sistema adequado de descarga, podendo acumular água em áreas do solo onde isso não ocorria antes da existência da construção, podendo causar saturação, erosão e recalque; Oscilações do nível de água não previstas, causando instabilidade no subsolo e subpressão, podendo romper estruturas enterradas; Rebaixamento do nível de água, aumentando a tensão efetiva da massa do solo, gerando deformações; Erosão ou solapamento de fundações construídas parcialmente em água corrente; Escavações indevidas de humanos ou animais, resultando em vazios abaixo de fundações superficiais.

**Choques e Vibrações - Causas:** Equipamentos industriais; Cravação de estacas; Compactação vibratória e dinâmica; Explosões;

**Degradação dos materiais - Causas:** Concreto: ataques químicos; fator água/cimento inadequado, reduzindo durabilidade e resistência à compressão do concreto; carbonatação; lixiviação; retração; fuligem; fungos; cloretos; Aço: corrosão por solos poluídos, solos naturais agressivos, aterros de solos não compactados ou de materiais agressivos, água do mar; Madeira: ataque biológico de insetos; apodrecimento, amolecimento e degradação por água.

Fonte: Adaptado de MILITITSKY, *et al.* (2008).

Hachich et al. (1998) mencionam que o mau funcionamento das fundações provoca três diferentes tipos de danos: (i) Arquitetônicos, que, apesar de prejudicarem a estética da construção, não comprometem sua estabilidade, sendo optativo o reforço. Fissuração de paredes e acabamentos e ruptura de painéis de vidro ou mármore são exemplos desse tipo de danos; (ii) Funcionais, que afetam a utilização da edificação, como, por exemplo, o rompimento ou refluxo da rede hidrossanitária, o desgaste exagerado dos trilhos-guia de elevadores e o mau funcionamento de janelas e portas. O reforço pode ser exigido quando os danos causarem maiores transtornos; (iii) Estruturais, que atingem vigas, pilares e lajes, sendo indispensável o reforço para garantir a estabilidade da estrutura. De acordo com Velloso e Lopes (2010), o surgimento de fissuras sempre é indicativo de que está ocorrendo algo, apesar de elas nem sempre serem causadas por deslocamento da estrutura, sendo recomendado observar sua evolução, com instrumento de medida como o fissuromêtro, ou medindo-se as diagonais de um retângulo traçado de modo a ser cortado pela fissura. A Tabela 2 indica a relação da abertura de fissuras em edifícios com a intensidade dos danos, de acordo com o uso do imóvel e o efeito na estrutura e no uso do edifício.

**Tabela 2 – Relação entre abertura de fissuras e danos em edifícios**

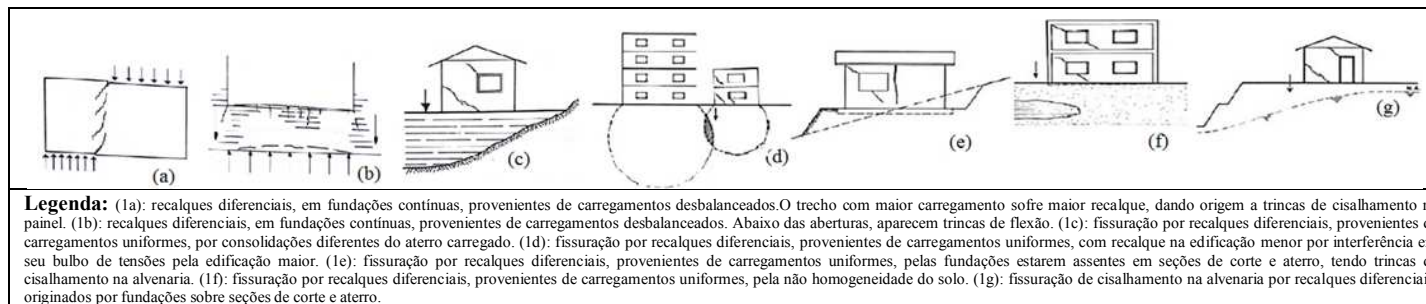
Abertura (mm)	Intensidade dos danos			Efeito na estrutura e no uso do edifício
	Residencial	Comercial ou público	Industrial	
< 0,1	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Nenhum
0,1 a 0,3	Muito leve	Muito leve	Insignificante	Nenhum
0,3 a 1	Leve	Leve	Muito leve	Apenas estética; deterioração acelerada do aspecto externo
1 a 2	Leve a moderada	Leve a moderada	Muito leve	
2 a 5	Moderada	Moderada	Leve	Utilização do edifício será afetada e, no limite superior, a estabilidade também pode estar em risco
5 a 15	Moderada a severa	Moderada a severa	Moderada	
15 a 25	Severa a muito severa	Severa a muito severa	Moderada a severa	
> 25	Muito severa a perigosa	Severa a perigosa	Severa a perigosa	Cresce o risco de a estrutura tornar-se perigosa

Fonte: THOMBURN E HUTCHINSON (1985, *apud* VELLOSO E LOPES, 2010).

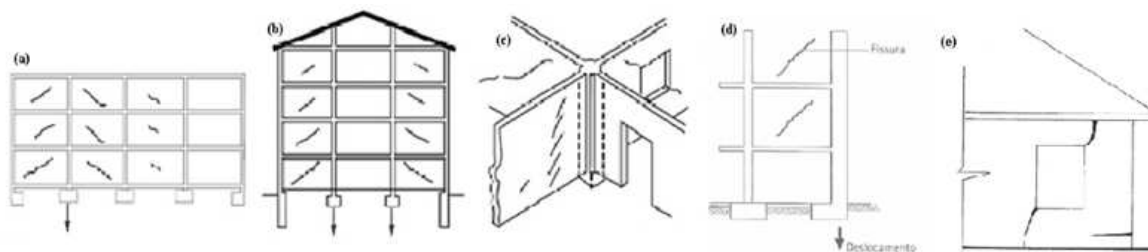
Segundo Thomaz (1989), as fissuras causadas por recalques diferenciais apresentam-se inclinadas, assemelhando-se, ocasionalmente, a fissuras geradas por deflexão de componentes estruturais, sendo, normalmente, maiores do que estas e deitando-se em direção ao ponto de maior recalque. Além disso, as fissuras advindas de recalques apresentam esmagamentos localizados, em forma de escamas, fornecendo sinais das tensões de cisalhamento que as causaram. Quando os recalques são intensos, é possível verificar claramente variações nas aberturas das fissuras. Conforme pode ser visto na Figura 1, o Instituto Eduardo Torroja - P.I.E.T (1971 *apud* Thomaz, 1989) e o *Centre Scientifique et Technique de la Construction* - C.S.T.C. (1983 *apud* Thomaz, 1989) associam alguns aspectos que fazem as fundações terem recalques diferenciais com as configurações típicas de suas fissuras.

Milititsky, *et al.* (2008) alertam que certos detalhes construtivos de vinculação dos diversos tipos de elementos de uma edificação, além de efeitos associados de movimentações ocasionadas por outro fator que não deslocamentos fazem com que seja bastante complicado identificar os movimentos a partir das configurações das fissuras. Entretanto, esses autores apresentam mais alguns casos típicos de fissuração, conforme Figura 1, que representa as seguintes situações: Figuras 2-a, 2-b e 2-c: fissuras provenientes de recalque de fundações de pilares internos. ORTIZ (1984 *apud* Milititsky, *et al.*, 2008). Figura 2-d: fissuras

causadas por recalque de fundação de pilar de canto. URIEL ORTIZ (1983 apud Milititsky, *et al.*, 2008). Figura 2-e: fissuras em parede portante causadas por recalque na extremidade. URIEL ORTIZ (1983 apud Milititsky, *et al.*, 2008).



**Figura 1 – Configurações típicas de fissuras relacionadas a recalques diferenciais de fundações.** Fonte: 1-a e 1-b: P.I.E.T (1971 apud Thomaz, 1989) e 1-c, 1-d, 1-e, 1-f e 1-g: C.S.T.C. (1983 apud Thomaz, 1989)

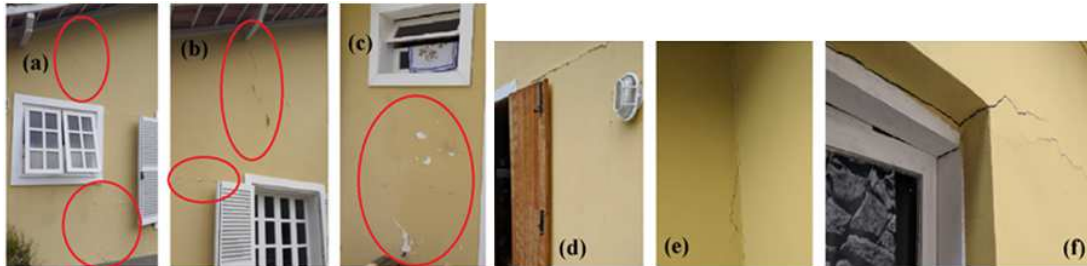


**Figura 2 – Configurações típicas de fissuras relacionadas a recalques diferenciais de fundações.** Fonte: MILITITSKY, *et al.* (2008).

## Estudo de caso

A edificação residencial unifamiliar, objeto deste estudo, situa-se em Petrópolis – RJ, possui 186,62m<sup>2</sup> de área construída e é composta por 2 pavimentos e seu uso é compatível com o que foi projetado. O método construtivo utilizado no imóvel, que tem idade aproximada de 40 anos, foi estrutura de concreto armado, alvenaria de vedação em bloco cerâmico, revestimento em argamassa e acabamento em pintura acrílica. Ele é constituído por 4 quartos, sendo 3 suítes, lavabo, sala de estar, salão de jogos, cozinha, área de serviço, piscina, 3 anexos, sendo um com cozinha e banheiro, outro com churrasqueira, banheiro e sauna e o último, localizado em outro nível do terreno, com um quarto de hóspedes. A área do terreno é de, aproximadamente, 300m<sup>2</sup> e, hoje, após ter sofrido cortes e aterros anteriores ao início das obras para a construção da edificação, possui dois platôs, sendo um ao nível da rua e o outro, mais elevado, onde a casa foi edificada, como pode ser observado na primeira fotografia apresentada na Figura 8. Todas as informações obtidas, com relação ao caso em tela, foram obtidas através de entrevista realizada com o engenheiro Diogo de Carvalho da Silva, da ZSE Engenharia, por ocasião de visita ao local no dia 20 de outubro de 2020 e por meio de contatos posteriores. Conforme relatado pelo engenheiro, antes da construção dessa residência, não foi realizado um serviço de sondagem para investigação do subsolo. Porém, há cerca de 30 anos, após os proprietários notarem o surgimento de fissuras na casa, entraram em contato com um profissional, que fez uma avaliação superficial e detectou um recalque no terreno. Por meio da inserção de barras de aço cravadas no solo, ele observou que o terreno não estava tão estável, uma vez que houve um “afundamento” das mesmas. Porém, não foi dado prosseguimento a esse levantamento/estudo preliminar. Passados cerca de 15 anos, os proprietários perceberam o surgimento de fissuras na residência e contrataram apenas um pedreiro, sem a supervisão de um engenheiro. Ocorre que o mencionado profissional se propôs a fazer um “reforço estrutural”, por meio de um “cintamento”, com mais ou menos 1m de altura, para apoiar a laje inferior da edificação e evitar seu “afundamento”. Evidentemente, não foi feita investigação do subsolo antes da execução desse serviço. Após essa sucessão de fatos, no ano de 2020, notou-se que as fissuras continuavam

a evoluir e outras surgiam, como pode ser visto na Figura 3. As fissuras 3-a, 3-b e 3-c variam de cerca de 0.4 a 0.8mm (leves, de acordo com o Quadro 2) e as fissuras 3-d, 3-e e 3-f variam de 1 a 3mm (moderadas, de acordo com a Tabela 2). As localizações em planta baixa das fissuras contidas na Figura 3 podem ser vistas na Figura 6. Na Figura 7, são representadas as configurações das fissuras 3-a, 3-b, 3-c, 3-d e 3-e, que estão na fachada principal do imóvel. Para facilitar a compreensão cronológica, a sequência dos fatos narrados está resumida na linha do tempo da Figura 4.



**Figura 3 – Fissuras na fachada da edificação.** Fonte: Autoras (2020).



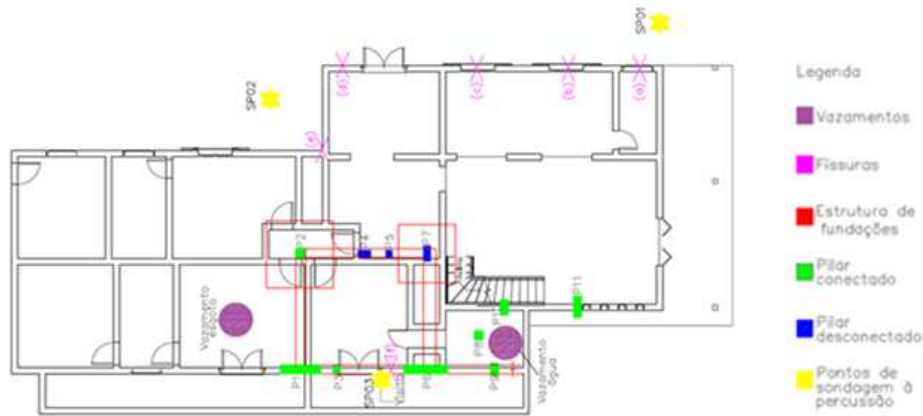
**Figura 4 – Linha do tempo do surgimento de problemas estruturais na edificação.** Fonte: Autoras (2020).

Dessa vez, os proprietários optaram pela contratação de profissionais especializados, uma empresa de engenharia civil, a ZSE Engenharia. Na vistoria técnica inicial, os engenheiros responsáveis pela obra de recuperação estrutural, entrando embaixo da laje inferior da casa, já que entre a superfície do terreno e a laje há uma distância de pouco menos de 1m, constataram que o “reforço” feito por aquele profissional (pedreiro) havia recalcado ainda mais que a laje da casa. Três pilares desconectaram-se totalmente da laje, deixando espaços livres de cerca de 5cm. Na Figura 5c, é possível notar que algumas fundações, que são do tipo direta, ficaram completamente soltas.

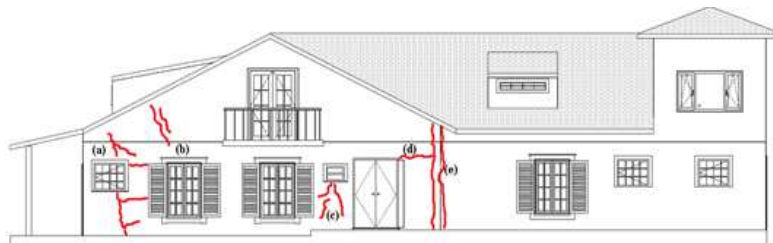


**Figura 5 – (a) e (b) Vazamentos encontrados próximos às fundações. (c) Detalhe de um dos pilares que se desconectaram da laje inferior da casa.** Fonte: Autoras (2020)

Na mesma ocasião, identificaram dois focos de vazamento, como pode ser visto na Figura 5 (5-a refere-se a um vazamento oriundo de tubulações de esgoto e 5-b exibe um vazamento, proveniente de água de banho do banheiro localizado logo acima). Na Figura 6, é possível ver os locais dos vazamentos na planta baixa. Após visita em campo, foi possível representar em planta a parte da estrutura de fundações que foi possível visualizar, conforme Figura 6, onde também pode-se identificar locais das fissuras principais da fachada e dos vazamentos de água e esgoto citados anteriormente. Já na Figura 7, estão representadas as configurações das principais fissuras, que estão localizadas na fachada principal do imóvel.

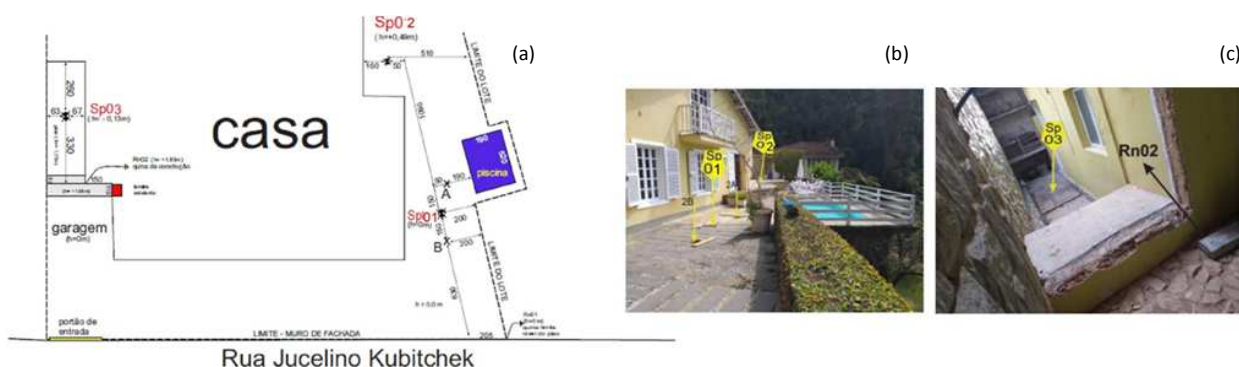


**Figura 6 – Parte visível da estrutura de fundações existente na edificação e indicação das posições das fissuras principais da fachada e vazamentos de água e esgoto.** Fonte: Adaptado de ZSE Engenharia (2020).



**Figura 7 – Fachada mais afetada pelas fissurações.** Fonte: Adaptado de ZSE Engenharia (2020)

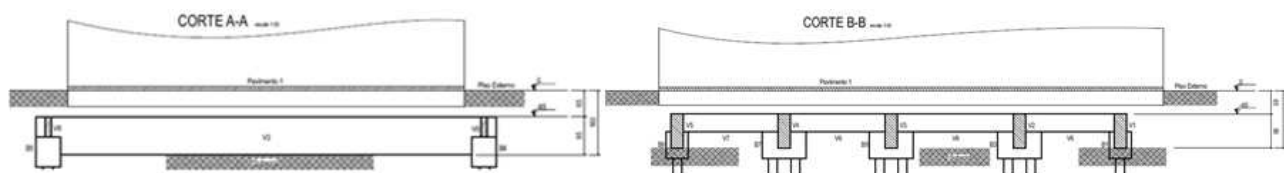
Então, como medida inicial dos trabalhos de recuperação da estrutura, em agosto de 2020, foi realizada uma sondagem de simples reconhecimento no subsolo. Foram feitos três furos principais e três furos confirmatórios de sondagem à percussão, num total de 12,60m. É possível ver o posicionamento dos furos na Figura 8. As sondagens à percussão tiveram diâmetro de 66,5mm e foram realizadas com circulação de água no interior do furo. Como medida de resistência à penetração, a cada 1m de profundidade, foi usado um amostrador padrão, do tipo Raymond-Terzaghi, com diâmetro externo de 50,8mm e diâmetro interno de 34,9mm, que foi cravado no solo por golpes de um martelo com 65kg, lançado de uma altura de 75cm. O número de golpes necessários para cravação dos 30cm finais, do amostrador em questão, forneceu a compacidade e/ou consistência do solo na área pesquisada, conforme NBR 6484 (2001). Esse método é chamado de SPT (Standard Penetration Test). Quando o índice de resistência é apresentado em fração, o numerador indica os golpes e o denominador, a profundidade, em centímetros. No relatório, são apresentados perfis individuais das sondagens, com cotas dos furos e das camadas atravessadas, e, em relação à referência de nível (RN) escolhida, o índice de resistência à penetração, em duas fases e a cada metro de profundidade, o nível d’água observado, a descrição do subsolo com identificação e classificação das amostras e de quaisquer obstáculos encontrados.



**Figura 8 – Planta de localização dos furos de sondagem à percussão.** Fonte: ZSE Engenharia (2020)

Também foram executados dois furos de sondagem mista, com circulação de água e protegidos por revestimento BW (ABGE), sendo 4,40m perfurados com sondagem à percussão e 7,85m perfurados com sonda rotativa em rocha alterada/fraturada. No dia em que esse serviço estava sendo realizado, uma sondagem à percussão adentrou uma rocha numa profundidade de 1,20m. Em seguida, por meio de uma sondagem rotativa, a rocha foi perfurada em mais 80cm, totalizando 2m. Houve uma pausa para o almoço dos profissionais. Ao retornarem, viram que a haste do equipamento de sondagem, que tinha sido deixada no local, penetrou por inteiro no terreno, atingindo 4m no total. Dessa forma, foi possível descobrir que havia um enorme vazio após os 2m de rocha. O citado pedreiro que havia feito a primeira tentativa de um “reforço estrutural”, anos antes, apoiou parte do “cintamento” nessa rocha, acreditando que ela era firme. À princípio, isso poderia ser uma das explicações possíveis do porquê de algumas fundações terem sofrido recalques excessivos. As rochas nesse terreno estão bem superficiais. A furação mais profunda, feita com sondagem à percussão, foi de 4,20m. Mas, o que chamou atenção foi descobrir que algumas fundações estavam apoiadas justamente numa rocha com um grande vazio abaixo dela.

O reforço das fundações está previsto para ocorrer da seguinte maneira: serão inseridos pilares por baixo da laje inferior, que descarregarão em vigas que atravessarão a casa de uma extremidade à outra. Essas vigas serão apoiadas em fundações localizadas nas laterais da casa, o que possibilitará a inserção de fundações profundas, do tipo estaca raiz, e evitará maiores transtornos aos moradores. Possivelmente, a casa será “macaqueada” para que, quando houver a conexão da laje aos pilares, possa ter uma carga imediata nas novas vigas e já possibilitar um pequeno recalque, estabilizando a estrutura e, conseqüentemente, aliviando a carga nas fundações antigas. Se esse procedimento não for feito, só haverá carga nessa viga quando a casa ceder mais um pouco e os responsáveis técnicos não desejam esperar que isso ocorra para só então a estrutura estabilizar. As especificações para o reforço estrutural foram as seguintes: o projeto estrutural está referenciado às normas nacionais NBR 6118, NBR 6120, NBR 6122, NBR 6123, NBR 14931; a execução da obra será criteriosa e com previsão de escoramentos temporários; a profundidade, as armaduras e a execução para a transferência das cargas para o subsolo serão de responsabilidade do executor e obedecerão às prescrições de todas as normas nacionais cabíveis para este fim; serão executadas estacas raiz para carga admissível normal de 400kN e diâmetro de 250mm; fck para os elementos estruturais maior ou igual a 45MPa; aço CA-50; cotas em centímetros; serão usados distanciadores plásticos na espessura dos cobrimentos de todas as peças armadas; a cura do concreto deve iniciar-se imediatamente após o lançamento e manter as superfícies expostas umedecidas constantemente durante os primeiros 7 dias; a execução obedecerá às prescrições de todas as normas nacionais cabíveis para este fim; todas as medidas, especificações e interferências serão verificadas e confrontadas no local antes da execução; serão executadas vigas e pilaretes complementares para o escoramento da estrutura existente, apoiados sobre a nova estrutura, em posições estratégicas a serem confirmadas após a locação da estrutura projetada. Qualquer alteração necessária será comunicada e avaliada previamente pelo projetista antes de sua execução e deve ser previsto um adequado controle de qualidade e rígidos limites de tolerância na variabilidade das medidas. As Figuras 9 a 12 mostram o detalhamento do projeto de recuperação das fundações.



**Figura 9 – Cortes.** Fonte: ZSE Engenharia (2020).



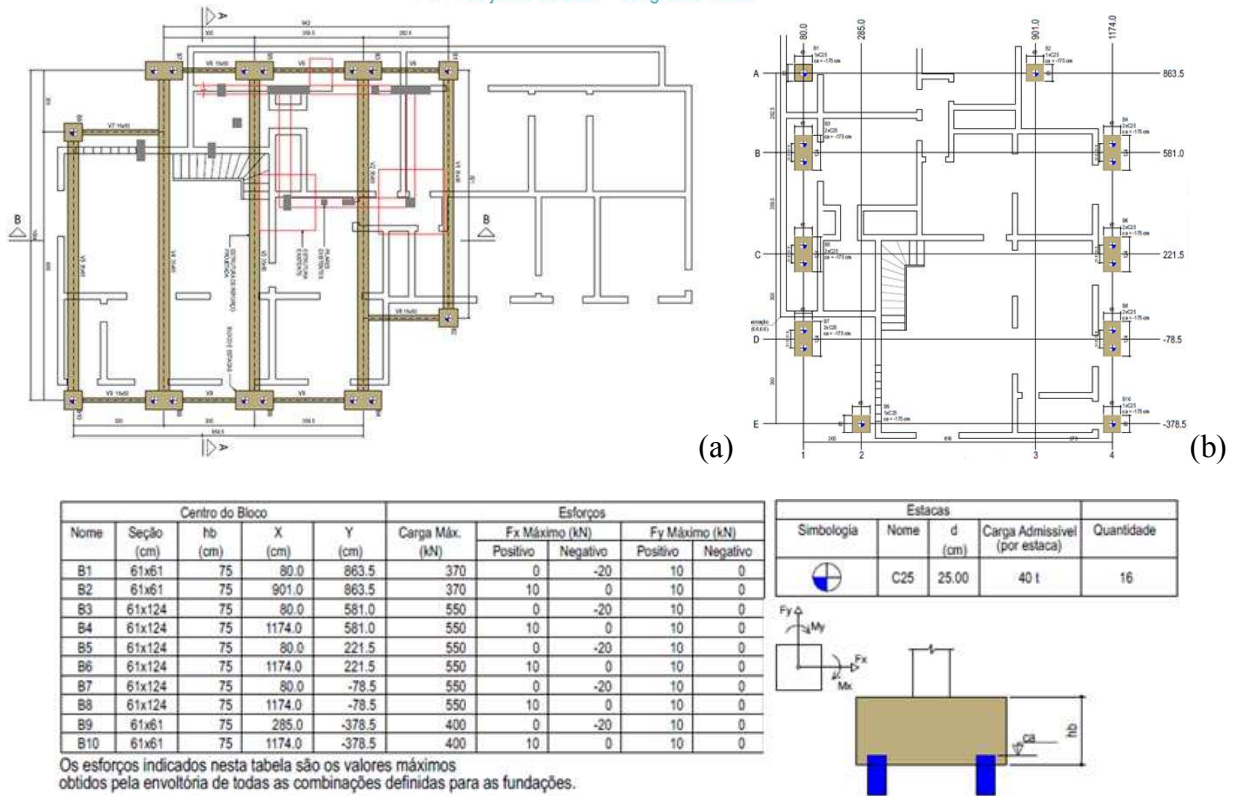


Figura 10 – (a) Planta de formas do pavimento 1 (Nível -65), (b) Planta de locação das estacas e blocos e (c) Detalhes dos blocos e estacas. Fonte: ZSE Engenharia (2020).

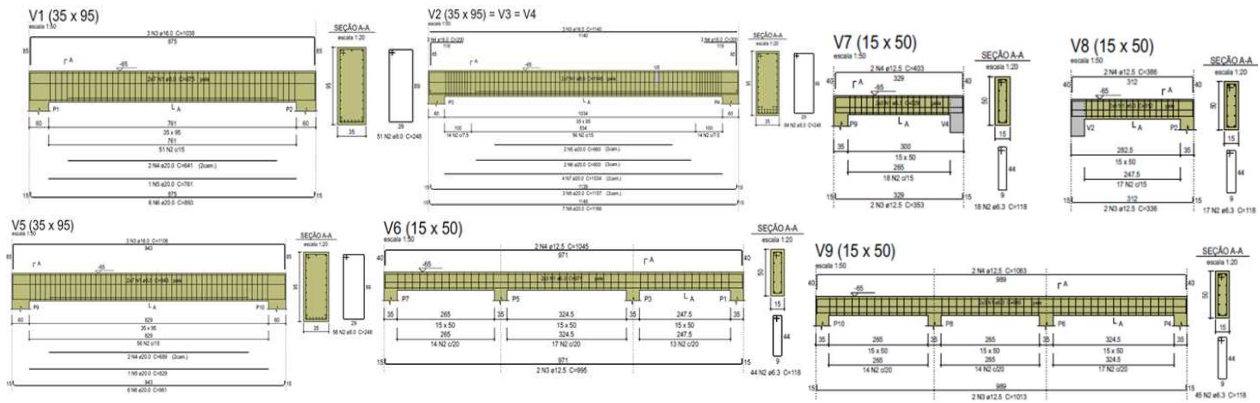


Figura 11 – Vigas. Fonte: ZSE Engenharia (2020).

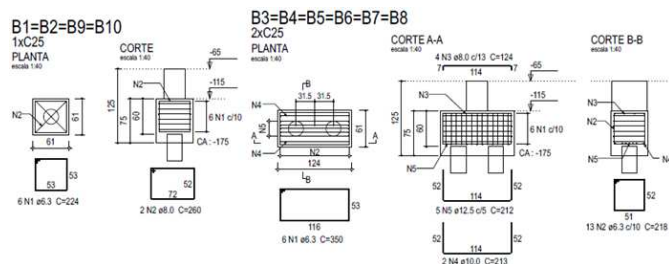


Figura 12 – Blocos. Fonte: ZSE Engenharia (2020)



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

## Conclusões

Difícilmente, os problemas referentes ao surgimento de patologias em fundações possuem uma causa exclusiva. No caso em tela, é bastante provável que mais de um fator tenha contribuído para o aparecimento do problema nas fundações. Há várias possibilidades para as causas que culminaram no recalque excessivo de fundações.

Não houve nenhum tipo de estudo do subsolo antes do início da construção do imóvel. Por si só, isso já seria suficiente para desencadear inúmeros transtornos, conforme apresentado na Tabela 1. As particularidades do solo sobre o qual a casa foi erguida eram totalmente desconhecidas. Conforme mencionado no estudo de caso, por ocasião dos primeiros indícios do problema, foi chamado um profissional que verificou que as barras de aço inseridas no terreno tiveram um “afundamento”, o que demonstra uma possível movimentação no mesmo. A edificação encontra-se no platô superior. Naturalmente, a topografia com declive existente propiciou ainda mais tais movimentações. Com os relatórios de sondagem, feitos em 2020, foi possível ver a existência de fragmentos de rochas no terreno, o que gera hiatos no solo e facilita que o material mais fino se carregado por entre os vazios do material mais grosseiro. As movimentações, inclusive, podem ocasionar deslocamento das tubulações e, eventualmente, resultar em rompimentos. Muitos problemas ocorrem devido a topografias que apresentam declividade. Note-se que, na Figura 8b, pode-se observar a existência de um muro de concreto no platô superior do terreno, sobre o qual a casa foi construída. Não há relato de que tenha sido projetado e executado por um profissional qualificado para funcionar corretamente como um muro de contenção. Como foi mencionado, houve corte e aterro no terreno antes da construção da edificação. É possível que a estrutura possa ter sido apoiada total ou parcialmente sobre aterro mal compactado. O vazio do solo identificado pelos serviços de sondagens contratados no ano de 2020, por ocasião da realização dos serviços de recuperação estrutural, tanto poderia ser atribuído a características naturais do perfil do solo e já existir antes do momento da construção da casa, como também pode ter sido agravado ou até mesmo ter surgido por inteiro, na etapa de pós-conclusão, em razão dos vazamentos de água e esgoto que foram identificados, associados a infiltração de águas no nível mais acima do terreno, que pode fazer com que, se o material do solo for muito alterado, haja dissolução debaixo do material e carregamento do mesmo. Em relação às configurações das fissuras representadas na Figura 7, pode-se estabelecer algumas comparações com as fissuras típicas apresentadas na Figura 1. As fissuras da fachada da edificação mostradas nas Figuras 7-a e 7-e assemelham-se ao exemplificado na Figura 1-e. As fissuras da fachada das Figuras 7-a e 7-b assemelham-se aos casos exemplificados nas Figura 1-c e 1-f. No tocante às espessuras, a maioria delas ultrapassa o limite de 0.4mm, estabelecido pela NBR6118/2014. Até o momento da finalização deste trabalho, o plano de recuperação apresentado pela construtora contratada não foi implementado. Espera-se que, com a conclusão do mesmo, o problema seja corrigido de forma definitiva.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.
- BOWLES, J.E. Foundation analysis and design. 5<sup>th</sup> ed. Singapore: McGraw-Hill, 1997.
- HACHICH, W. et al. Fundações: Teoria e Prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.
- HELENE, Paulo R. L. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo: Pini, 1992.
- MILITITSKY, J. et al. Patologia das Fundações. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- THOMAZ, E. Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo:PT/EPUSP/PINI, 1989.
- VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. Fundações: Critérios de Projeto, Investigação do Subsolo, Fundações Superficiais, Fundações profundas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.