



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

YANE NUNES AMÂNCIO

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

JOÃO PESSOA – PB

2023

YANE NUNES AMÂNCIO

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção de bacharel em Engenharia Civil, do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, sob a orientação do Prof. Dr. Fábio Lopes Soares.

JOÃO PESSOA – PB

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A484m Amâncio, Yane Nunes.

Manifestações patológicas em Estruturas de contenção
/ Yane Nunes Amâncio. - João Pessoa, 2023.
53 f.

Orientação: Fábio Lopes Soares.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Patologia das contenções. 2. Estabilidade de
taludes. 3. Escavações. I. Soares, Fábio Lopes. II.
Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 624(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

YANE NUNES AMÂNCIO

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso em 10/11/2023 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Fábio Lopes Soares
Fábio Lopes Soares
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

APROVADO

Aline Flávia Nunes Remígio Antunes
Aline Flávia Nunes Remígio Antunes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

APROVADO

Andrea Brasiliano Silva
Andrea Brasiliano Silva
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

APROVADO

Dedico este trabalho a Yane de 2018, sem sua força e dedicação eu não teria chegado aqui.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter sido meu maior guia durante essa jornada, graças a Ele pude perseverar diante dos obstáculos que enfrentei.

Aos meus pais, por nunca terem poupado esforços para investir em minha educação.

A minha irmã, Ellen pela compreensão e apoio diários.

A Léo, meu noivo e melhor amigo, pelas infinitas palavras de apoio, por todo acolhimento nos dias mais difíceis e pela alegria compartilhada a cada pequeno passo que eu dava.

A Planej, que foi uma universidade a parte e onde pude conhecer Alysson, Mariana e Ronald, amigos que levarei comigo.

A Matheus Simas, minha dupla do primeiro ao último período, sua parceria sempre me recarregava.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fábio Lopes pelas valiosas contribuições na minha formação e neste trabalho.

A Prof. Dra. Aline Remígio e a Prof. Dra. Andrea Brasiliano pela conduta e dedicação em sala de aula. Foi uma honra ser aluna e tê-las como exemplo de mulheres na engenharia.

RESUMO

As obras de contenção desempenham um papel fundamental na garantia da estabilidade dos maciços de terra ou rocha, protegendo vidas e propriedades. A evolução das estruturas de contenção ao longo da história é evidente, e a demanda atual por ocupação de encostas e escavações abaixo do lençol freático exige adaptações e alternativas que atendam a requisitos como segurança, viabilidade econômica e sustentabilidade. Este trabalho classifica as contenções em diversas tipologias, cada uma com suas próprias variações e aborda as origens e as formas de prevenir a ocorrência de manifestações patológicas em estruturas de contenção, com destaque para a criação de um checklist de recomendações para a construção dessas estruturas. Contudo, a melhoria contínua na engenharia civil requer esforços adicionais de pesquisa e inovação para enfrentar limitações e promover práticas mais seguras e sustentáveis.

Palavras-chave: patologia das contenções; estabilidade de taludes; escavações.

ABSTRACT

Retaining structures play a fundamental role in ensuring the stability of earth and rock masses, safeguarding lives and properties. The evolution of retaining structures throughout history is evident, and the current demand for hillside development and excavations below the water level necessitates adaptations and alternatives that meet requirements such as safety, economic viability, and sustainability. This work classifies retaining structures into various typologies, each with its own variations, and addresses the origins and ways to prevent the occurrence of pathological manifestations in these structures, emphasizing the creation of a checklist of recommendations for their construction. However, continuous improvement in civil engineering requires additional research and innovation efforts to address limitations and promote safer and more sustainable practices.

Key words: retaining structures problems; slope stability; excavations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do ângulo de talude	15
Figura 2 -Esquema de atuação de contenção provisória	17
Figura 3 - Tipos de escoramento em contenções provisórias	17
Figura 4 - Muro de pedra argamassada	18
Figura 5 - Muro de gabiões	19
Figura 6 - Muro de concreto ciclópico	20
Figura 7 - Muro de solo-pneus	20
Figura 8 -Muro de Flexão “T invertido”	21
Figura 9 - Muro de Flexão “L” com tirante para ancoragem	21
Figura 10 - Parede diafragma atirantada após escavação.....	22
Figura 11 - Cortina de estacas hélice contínua com viga de coroamento executada	23
Figura 12 - Recalque diferencial provocado pelo rebaixamento do nível de água	24
Figura 13 - Causas de manifestações patológicas no Brasil	28
Figura 14 - Desaprumo de painéis de parede diafragma	32
Figura 15 - Umidade em parede diafragma.....	33
Figura 16 - Parede diafragma com problema na limpeza de fundo.....	34
Figura 17 - Estaca com descontinuidade	35
Figura 18 - Esquema de seccionamento do fuste ocasionando descontinuidade	35
Figura 19 - Parede diafragma com problema na limpeza de fundo.....	36
Figura 20 - Subsolo com problemas de drenagem.....	36
Figura 21 - Recalque causado por carreamento de finos.....	37
Figura 22 - Recalque causado por sistema de bombeamento de água	37
Figura 23 - Fissuras presentes em muro de arrimo.....	38
Figura 24 - Localização dos muros	40
Figura 25 - Manifestações patológicas no Muro 01: (A) Armadura exposta; (B) e (C) Fissuras; (D) Desaprumo; (E) Dreno obstruído; (F) Ninho de concretagem.	41
Figura 26 - Layout da obra e principais acessos	43
Figura 27 - Ruptura da cortina de contenção no lado (C)	44
Figura 28 - Ruptura da cortina de contenção no lado (D).	45
Figura 29 - Ruptura identificada no lado D.....	45
Figura 30 - Desenho esquemático dos tirantes no projeto inicial	46
Figura 31 - Desenho esquemático dos tirantes em escala, desenvolvido após ruptura	46
Figura 32 - Colapso de cortina de estacas em Maringá-PR.....	47
Figura 33 - Parte do Checklist Preventivo	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais processos de degradação do concreto	31
Tabela 2 - Manifestações patológicas identificadas e possíveis causas	41
Tabela 3 - Resumo das manifestações patológicas encontradas	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
3. METODOLOGIA	14
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE ESCAVAÇÕES	15
4.2 ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO	16
4.2.1 Contenções provisórias	16
4.2.2 Contenções definitivas	17
4.4 DESEMPENHO E DURABILIDADE DAS EDIFICAÇÕES.....	25
4.5 PATOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	27
4.6 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO	28
4.6.1 Causas relacionadas ao solo	28
4.6.2 Causas relacionadas a água	29
4.6.3 Causas relacionadas a edificações pré-existentes.....	30
4.6.4 Causas relacionadas a contaminação do solo	30
4.6.5 Causas relacionadas aos materiais.....	31
4.6.6 Causas relacionadas a execução.....	32
4.7 PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO	33
4.7.1 Umidade	33
4.7.2 Falta de vinculação	34
4.7.3 Falta de Estanqueidade.....	34
4.7.4 Falha na drenagem	36
4.7.5 Recalques	37
4.7.6 Fissuras, trincas e rachaduras na estrutura	38
4.7.7 Erosão	39
5 ESTUDO DE CASOS.....	40

5.1 CASO 1	40
5.2 CASO 2	42
5.3 CASO 3	47
6 RESULTADOS	49
7 CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS	51
APÊNDICE A.....	53

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, o desenvolvimento das cidades tem colocado em destaque duas tendências marcantes. A primeira diz respeito a urbanização e, sobretudo, ao crescimento populacional nas áreas costeiras, sendo que, em 2011, 40% da população mundial já vivia em distâncias de até 100 quilômetros da costa, conforme publicação da UNESCO. A segunda trata-se da verticalização dos conjuntos habitacionais, que, de acordo com Somekh (2014), multiplica o solo urbano. Não obstante, exige dele uma remodelação para aumentar seu aproveitamento e comportar garagens enterradas em pavimentos do tipo subsolo.

Com o objetivo geral de “prover estabilidade contra a ruptura de maciços de terra ou rocha” (BARROS *et al.*, 2017), as obras de contenção têm ampla importância à medida que protegem vidas e propriedades e permitem a execução de determinados projetos arquitetônicos e de infraestrutura.

Segundo Barros *et al.* (2017), as estruturas de contenção já estavam presentes em construções da pré-história. Mas é inegável que foram além da época e têm sua relevância comprovada mediante a observância de suas evoluções junto a civilização.

Problemáticas atuais como a demanda pela ocupação de áreas de encostas, a escassez de terrenos e a necessidade de escavações abaixo do nível do lençol freático, seguem exigindo a criação e a adaptação de alternativas de contenção. Que devem cumprir alguns requisitos básicos para garantir sua finalidade: oferecer segurança e funcionalidade; apresentar viabilidade econômica e reduzido impacto ambiental; e ser durável.

Ranzini e Júnior (1998) categorizam as contenções em: muros de arrimo de gravidade, muros de arrimo de flexão, solos reforçados e paredes ou cortinas. Cabe ressaltar, entretanto, que cada uma dessas tipologias se subdivide de acordo com os diferentes métodos, técnicas e dispositivos utilizados, resultando em um universo complexo de possibilidades.

Diante disso, a norma NBR 11682/2009, que trata da estabilidade de encostas, determina, para a fase de projeto, que a escolha de uma estrutura de contenção deve se basear na consideração de: especificidades do mecanismo de instabilização; modelo geológico-geotécnico detalhado; e as possíveis alternativas de solução. A

mesma normativa ainda fornece as orientações cabíveis para as fases de execução, monitoramento e manutenção da obra.

O surgimento de não-conformidades em qualquer uma dessas etapas pode, portanto, levar a manifestações patológicas de diferentes gravidades. Isso revela o potencial preventivo de toda e qualquer ação que evite a origem desses problemas. Ou seja, projeto coerente, planejamento da obra, execução do serviço e materiais de qualidade, monitoramento preciso, uso adequado da estrutura (como previsto em projeto) e manutenção periódica têm papel crucial no desempenho da contenção.

Neste contexto, compreender as origens e complicações das manifestações patológicas nas estruturas de contenção torna-se determinante na garantia da integridade das edificações. Por isso, este trabalho se propõe a esclarecer os fatores causadores, através da revisão bibliográfica e da comparação de casos reais estudados. A partir de criteriosa análise, busca-se fornecer um guia para profissionais da área, no que diz respeito à verificação dos serviços de obras de contenções. Por meio do checklist de recomendações pretende-se reduzir os riscos que resultariam no surgimento de patologias.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral compilar os fatores causadores de manifestações patológicas em estruturas de contenção e propor ferramenta prática de caráter preventivo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar literatura sobre contenções e patologia das mesmas;
- Identificar as manifestações patológicas mais recorrentes em obras de contenção;
- Analisar e comparar os agentes causadores de degradação de contenções;
- Fornecer subsídios para verificações mais rigorosas do processo de execução de contenções.

3. METODOLOGIA

Este trabalho utiliza como método a revisão bibliográfica, através da qual se explora o universo de contribuições científicas presentes em livros, artigos, teses, manuais, entre outras publicações relevantes da área. A partir da coletânea de materiais, procede-se a análise crítica, a síntese de conteúdo e a conceituação, cruciais para a compreensão do tema. A aplicação dessa metodologia permitiu ainda a investigação de estudos de caso que, junto às etapas anteriores, contribuiu fortemente para a elaboração do checklist de recomendações apresentado no Apêndice A. Essa sistematização também direciona para sugestões de estudos que visem promover o desenvolvimento de conhecimento sobre Patologia de Contenções e auxiliem profissionais e construtores na aplicação de critérios executivos decisivos para o desempenho de tais estruturas.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE ESCAVAÇÕES

Andrade *et al.* (2021) ressaltaram o papel fundamental que os subsolos exercem no contexto das construções de edifícios urbanos, visto que os terrenos são escassos e têm dimensões limitadas. Isso explica a forte presença de serviços de escavação na construção civil.

A escavação de um terreno não determina, necessariamente, a construção de estruturas de contenção. Isso porque, é possível, em alguns casos, preservar o ângulo de talude natural do solo, que é definido por Andrade *et al.* (2021, p. 190) como “o maior ângulo de inclinação de todo tipo de solo exposto às intempéries”.

Entende-se talude como “qualquer superfície inclinada que limita um maciço de solo” (CARDOSO e SHIMIZU, 2002, p. 5) como exemplificado na Figura 1.

Figura 1 - Representação do ângulo de talude



Fonte: Adaptada de Andrade *et al.* (2021)

Para Cardoso e Shimizu (2002), o ângulo de talude natural indica o limite a partir do qual se torna obrigatório o uso de escoramentos ou contenções. Sob essa perspectiva, escavações com taludamento podem garantir, então, que não ocorram rupturas de equilíbrio dos maciços.

Convém destacar que a técnica de taludamento requer maior espaço em planta, de forma que respeite o ângulo do talude natural (ANDRADE, *et al.*, 2021). Isso geralmente inviabiliza seu uso em áreas urbanas. Além disso, subestimar os riscos dessa solução, as condições locais, a infiltração de água, a presença de sobrecarga e a proteção da superfície pode causar acidentes.

A necessidade de construir contenções surge nesse contexto, visando garantir a segurança da obra, a integridade da edificação e de seu entorno, sem comprometer grandes áreas do terreno.

4.2 ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

Hachich *et al.* (2019) definem estruturas de contenção como todo elemento destinado a se contrapor a empuxos e tensões geradas em maciço que tenha o equilíbrio alterado por escavação ou aterro.

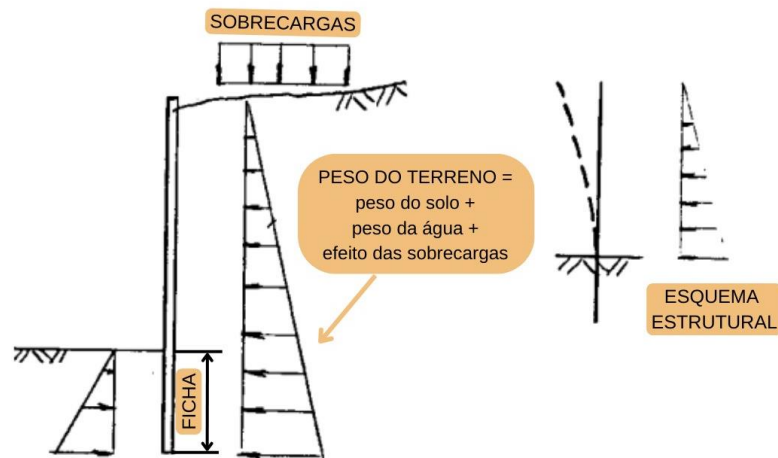
A partir do exposto, entende-se que, diferentes soluções podem ser utilizadas, a depender da geometria da escavação proposta, da presença de edificações vizinhas e do espaço disponível. Mas em todos os casos determinadas recomendações são pertinentes para a aplicação da boa engenharia. Tais cuidados serão apresentados no Capítulo 6 deste trabalho. Antes, serão apresentados os tipos de contenção, o conceito de patologia aplicado à construção civil e as causas de manifestações patológicas comuns nessas estruturas.

4.2.1 Contenções provisórias

Comumente chamadas de escoramentos, as contenções provisórias são estruturas flexíveis, de caráter temporário, que podem ser de perfis cravados de madeira ou de perfis metálicos justapostos (CARDOSO; SHIMIZU, 2002). A depender do tipo de solo e da tipologia adotada, serão diferentes as profundidades recomendadas.

A Figura 2 ilustra, de forma simplificada, a atuação de uma estrutura de contenção de perfil cravado. O esquema permite visualizar como a força resultante da reação do solo é crucial para equilibrar a ação do peso do terreno, essa compensação acontece através do artifício conhecido como Ficha, que é a porção enterrada dos elementos de contenção.

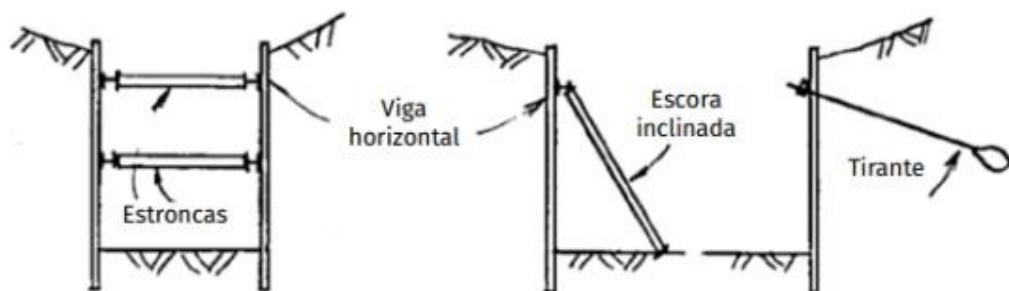
Figura 2 - Esquema de atuação de contenção provisória



Fonte: Adaptada de Cardoso e Shimizu (2002).

Ainda na Figura 2 é possível observar que o elemento de contenção funciona como uma viga engastada em balanço. Por isso, em escavações de médio e grande porte, surge um excesso de deformação na parte superior e o simples enterramento dos perfis não se demonstra suficiente, tornando necessário o uso de escoramento, que pode ser concebido de diferentes formas, sendo três delas ilustradas na Figura 3.

Figura 3 - Tipos de escoramento em contenções provisórias



Fonte: Adaptada de Cardoso e Shimizu (2002).

4.2.2 Contenções definitivas

São estruturas mais robustas, construídas com caráter permanente. Diversas técnicas podem ser usadas na construção de contenções definitivas, dentre elas serão destacadas neste trabalho as estruturas de contenção de solos por gravidade, por flexão e profundas.

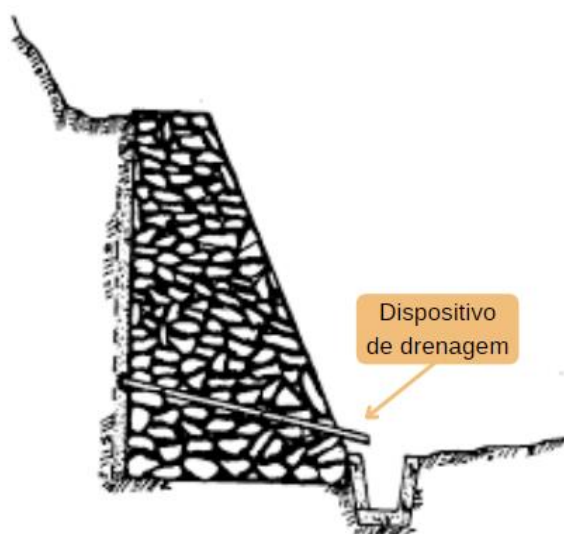
4.2.2.1 Estruturas de contenção de solos por gravidade

Andrade *et al.* (2021) definem as estruturas de contenção de solo por gravidade, também denominadas “muros de arrimo por gravidade”, como estruturas corridas, pesadas, que resistem aos empuxos horizontais usando o peso próprio. Elas têm ampla aplicação em desníveis de até 6 metros, mas apresentam como desvantagem o demasiado espaço que costumeiramente ocupam no terreno.

As principais estruturas que se utilizam dessa técnica são:

- Muro de alvenaria de pedras: os mais antigos e numerosos, segundo Gerscovich, Danziger e Saramago (2016). São construídos com pedras aplicadas manualmente, que podem ser assentadas com argamassa ou não. Sendo recomendada a utilização de pedras com argamassa quando a altura do talude ultrapassa os 2 metros, atentando-se para a consequente necessidade de execução de sistema de drenagem, como retrata o exemplo da Figura 4.

Figura 4 - Muro de pedra argamassada



Fonte: Adaptada de Gerscovich, Danziger e Saramago (2016)

- Muro de gabião: o tipo de estrutura de contenção mais utilizado em rodovias e encostas, segundo Gerscovich, Danziger e Saramago (2016). É construído com gaiolas prismáticas de malha metálica preenchidas por pedras de grandes diâmetros, como pode ser visto na Figura 5. Tais elementos são geralmente dispostos e empilhados no local de instalação, onde são conectados gerando uma estrutura

monolítica que resiste aos esforços horizontais devido ao peso próprio. A alta permeabilidade dos muros de gabiões é um de seus principais benefícios (ANDRADE et al. 2021). Essa característica, entretanto, exige a utilização de material geotêxtil para evitar o carreamento de grãos do solo pela ação da água.

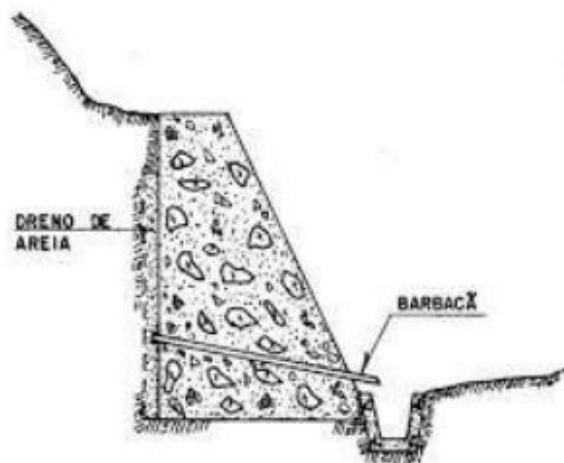
Figura 5 - Muro de gabiões



Fonte: Gerscovich, Danziger e Saramago (2016)

- Muro de concreto ciclópico: viável de ser executado até a altura de 4 metros. É construído por meio de forma preenchida com concreto e matacões de diferentes dimensões, formando um sistema altamente rígido e impermeável. Essas características exigem sistema de drenagem eficaz, além de terreno adequado, para que não ocorram recalques (ANDRADE et al. 2021). A seção transversal mais comum é em forma de trapézio, mas para economia de material pode ser construída em forma de degraus. A Figura 6 ilustra um muro de concreto ciclópico, com a indicação da camada drenante de areia na face interna e do barbacã, tubo que funciona como dispositivo de drenagem.

Figura 6 - Muro de concreto ciclópico



Fonte: Gerscovich, Danziger e Saramago (2016)

- Muro de pneus: vantajoso do ponto de vista econômico e sustentável, visto que utiliza pneus usados preenchidos por solo compactado, combinando resistência mecânica e baixo custo (Medeiros *et al.* 2000). De acordo com Andrade *et al.* (2021) o muro de solo-pneus admite deformações superiores às consideradas para os muros citados anteriormente. Isso justifica o fato de não ser a solução recomendada para conter terrenos que servem de suporte para fundações, conforme indicam Gerscovich, Danziger e Saramago (2016). A Figura 7 exhibe o exemplo de um muro de pneus executado.

Figura 7 - Muro de solo-pneus

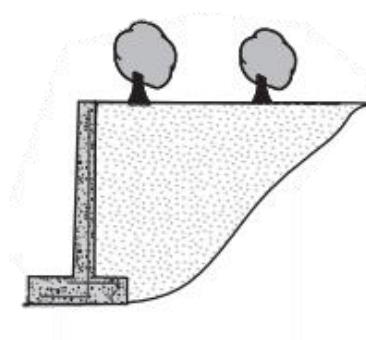


Fonte: Andrade *et al.* (2021)

4.2.2.2 Estruturas de contenção de solos por flexão

Apresentam, geralmente seção em L ou em T invertido e trabalham resistindo aos empuxos pelo mecanismo de flexão e utilizando parte do peso próprio do maciço que se apoia sobre ele (Milititsky *et al.* 2019). Por isso diferem-se dos “muros de arrimo por gravidade” atingindo formatos mais esbeltos. A Figura 8 e a Figura 9 mostram os dois tipos de seção mais usuais.

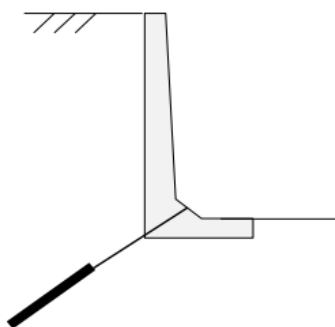
Figura 8 - Muro de Flexão “T invertido”



Fonte: Gerscovich, Danziger e Saramago (2016)

Segundo Gerscovich, Danziger e Saramago (2016) os Muros de Flexão são construídos em concreto armado, podem ser pré-moldados ou moldados *in loco* e se tornam antieconômicos para alturas entre 5m e 7m. Nos casos em que se faz necessário melhorar a estabilidade com relação ao tombamento é conveniente que se execute contrafortes ou ancoragem com tirantes. Ambas as soluções são úteis quando há limitação de espaço impedindo que as dimensões do próprio muro sejam aumentadas. Já a ancoragem, como exhibe a Figura 9, requer a ocorrência de material de resistência apropriada na fundação do muro.

Figura 9 - Muro de Flexão “L” com tirante para ancoragem



Fonte: Gerscovich, Danziger e Saramago (2016)

4.2.2.3 Estruturas de contenção profundas

As estruturas de contenção profundas são divididas em Cortinas e Paredes Diafragma. Elas são recomendadas para os casos em que há pouca área disponível, tornando inviável a construção de robustos muros de arrimo (Andrade *et al.* 2021). Ambos os sistemas trabalham à flexão e são capazes de conter maciços formados por escavações de maiores profundidades quando comparados aos muros.

- Paredes Diafragma: são, de forma simplificada, muros estruturais capazes de alcançar profundidades de 50 metros, segundo Andrade *et al.* (2021) que podem ser executados em concreto armado moldado *in loco* ou a partir de peças pré-fabricadas. As paredes têm seu uso bem difundido em diferentes obras. Caso haja necessidade e os vizinhos não se oponham, as paredes diafragma podem ser atirantadas, como as que podem ser vistas na Figura 10, tipo de contenção mais utilizado, segundo Fraga e Jung (2013 *apud* Andrade *et al.* 2021).

Figura 10 - Parede diafragma atirantada após escavação.

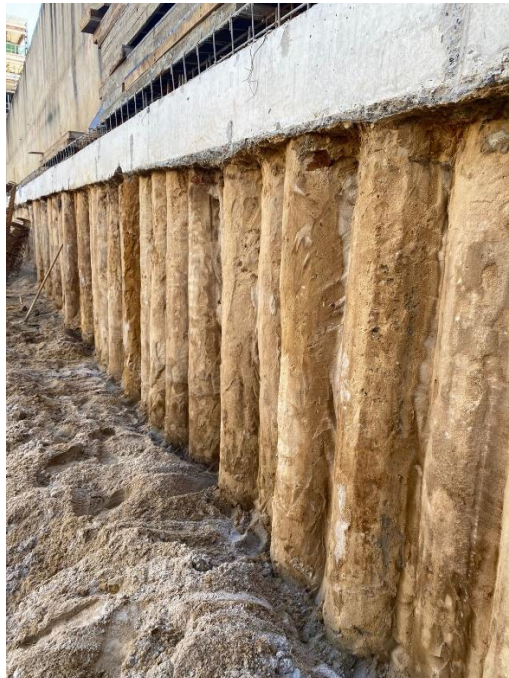


Fonte: Milititsky (2016)

- Cortinas de estacas: podem ser mais esbeltas que as paredes diafragma. Seu funcionamento é semelhante ao dos perfis pranchados exibido na Figura 2 e quando o tamanho da ficha não é suficiente para que se alcance a estabilidade desejada, pode-se fazer uso dos tirantes. O tipo de estaca utilizado dependerá das características do terreno, da região e da vizinhança, podendo ser executada com estaca raiz, estaca hélice contínua, estaca pré-moldada, entre outras. A Figura 11

mostra uma estrutura de contenção executada com estaca hélice contínua a 7 metros de profundidade, em um terreno na cidade de João Pessoa.

Figura 11 - Cortina de estacas hélice contínua com viga de coroamento executada



Fonte: Autoral (2023)

4.3 ESCOLHA DA CONTENÇÃO

A escolha do tipo de contenção, assim como qualquer projeto de engenharia é bastante influenciada pela região da implantação, isso porque a disponibilidade de determinadas técnicas, equipamentos e mão-de-obra especializada podem ser limitadas em algumas localidades.

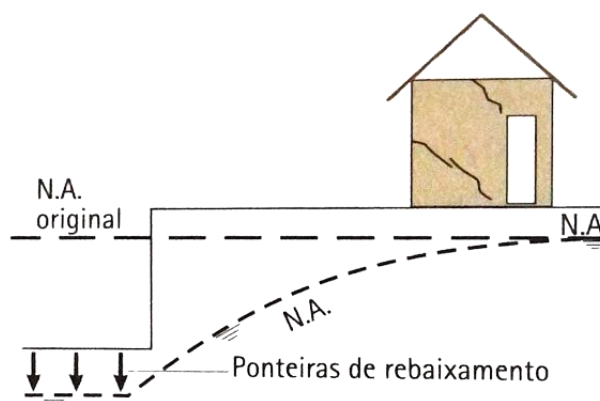
Contudo, as decisões que envolvem os projetos de contenções permeiam não só pela consideração de fatores gerais tais como custo, profundidade da escavação, espaço disponível e condições do solo, mas também dos fatores menos evidentes elencados a seguir.

4.3.2 Presença de água

O nível do lençol freático, a ocorrência de artesianismo e a estanqueidade requerida são condições que devem ser avaliadas com cautela. A falha na identificação desses condicionantes pode, segundo Milititsky (2016) inviabilizar por completo a solução inicialmente escolhida. Isso se deve a inexecutabilidade de algumas técnicas pela existência de água, como é o caso dos perfis pranchados

provisórios e dos estações com concreto projetado. Esses dois sistemas de contenção exigem o rebaixamento do lençol freático, procedimento que pode causar o adensamento do solo e recalques, prejudicando estruturas vizinhas. A Figura 12 mostra os prejuízos causados a uma casa localizada pelo sistema de rebaixamento instalado em suas proximidades.

Figura 12 - Recalque diferencial provocado pelo rebaixamento do nível de água



Fonte: Milititsky, Consoli, Schnaid (2015)

Milititsky (2016) explica que a execução de poços de escavação é, em alguns casos, suficiente para a implantação da obra de contenção, mas adiciona que para evitar efeitos negativos na vizinhança a recarga do lençol pode ser necessária. Por tudo isso, o conjunto de soluções deve ser bem avaliado pela equipe de profissionais envolvida.

Um outro ponto de alerta é a variação eventual do nível de água, cuja desconsideração resultará em solicitações maiores que as esperadas afetando a estabilidade do talude e provocando a ruptura de elementos enterrados. Esse é um problema comum devido as oscilações das estações de chuvas e secas (Milititsky; Consoli; Schnaid, 2015).

4.3.3 Agressividade do meio

Milititsky, Consoli, Schnaid (2015) declaram que qualquer projeto de engenharia cujos elementos estejam em contato com o solo e a água devem ser elaborados mantendo em vista suas integridades no longo prazo. Isso se traduz na necessidade de se considerar a possibilidade de presença de materiais contaminantes no terreno e de se fazer a verificação durante a etapa de investigação geotécnica.

Solos que apresentem pH (potencial hidrogênico) baixo e altos teores de sulfatos, cloretos e certos ácidos podem ser considerados ambientes mais agressivos que os usuais.

4.3.4 Canteiro, equipamentos e serviços disponíveis

O espaço e acessibilidade do canteiro da obra devem ser sempre avaliados levando-se em consideração a mobilização dos equipamentos a serem utilizados.

4.3.5 Durabilidade

O primeiro questionamento relacionado à durabilidade se trata da provisoriedade ou não da contenção. Como analisado no item 4.2, o sistema pode ser provisório ou permanente, sendo que para o segundo caso a durabilidade é um fator fundamental. Justamente por isso, as contenções permanentes terão maior enfoque neste trabalho.

4.3.6 Prazo

A velocidade construtiva de cada tipologia de contenção é diferente, portanto, a escolha da solução adequada deve estar alinhada aos prazos estabelecidos no cronograma da obra.

4.3.7 Vizinhança

“O sistema construtivo das contenções, suas características de rigidez, as etapas e cuidados na sua implantação afetam de forma diferente os deslocamentos provocados na vizinhança” (Milititsky; Consoli; Schnaid, 2015 p. 173). Nesse sentido, Milititsky (2016) ainda recomenda que sejam realizadas a avaliação da viabilidade e a comparação do desempenho entre soluções, considerando as fundações e estruturas próximas, as restrições e sensibilidade da vizinhança.

4.4 DESEMPENHO E DURABILIDADE DAS EDIFICAÇÕES

O conceito de desempenho das edificações é compreendido como o comportamento que uma edificação e seus sistemas apresentam enquanto em uso (ABNT, 2021).

Já a capacidade que uma edificação e seus sistemas têm de desempenhar suas condições ao longo do tempo, sendo respeitadas as condições de uso e manutenção recomendadas é denominada como durabilidade (ABNT, 2021).

Vista a proposta funcional intrínseca das estruturas de contenção, tais definições são importantes para o contexto deste trabalho, pois os níveis de desempenho e durabilidade esperados se mostram fatores imprescindíveis na avaliação de situações adversas, como se explica a seguir.

O processo construtivo de uma edificação contempla, idealmente, planejamento e concepção prévia, elaboração de projetos, compra de materiais, preparação de canteiro e execução dos serviços da obra. Em cada uma dessas fases, no entanto, podem ocorrer erros que resultarão, eventualmente, em falhas construtivas (Neves; Vázquez, 2021). Nesse sentido, o comprometimento de um ou mais sistemas prediais, sejam eles estruturais ou não, é prejudicial para o desempenho e pode afetar a durabilidade do objeto construído.

Dal Molin (1998) identificou em sua dissertação que apesar de existirem, na época, publicações sobre defeitos em edificações, as informações eram dispersas e de difícil acesso, acrescentando ainda que a complexidade desse assunto se deve à quantidade e variabilidade dos parâmetros que o envolvem.

Para Martins *et al.* (2003 apud Gnipper; Mikaldo Júnior 2020) foi nas últimas décadas que o estudo das falhas construtivas no campo da engenharia passou a ser tratado de forma mais sistematizada, contando com base científica na busca pelo reconhecimento de ocorrências e de seus respectivos reparos.

Apenas em 2013 entrou em vigor a norma NBR 15575 da ABNT, que já conta com uma versão atualizada, tratando do desempenho de edificações habitacionais (ABNT, 2021). Dividido em 5 partes, o texto, entretanto, contempla somente os requisitos gerais, os sistemas de pisos, os sistemas de vedação vertical interna e externa, os sistemas de cobertura e os sistemas hidrossanitários para habitações.

Tudo isso corrobora a ideia de que ainda há muito a se desenvolver no que diz respeito à qualidade e ao desempenho dos produtos da construção civil em suas particularidades.

4.5 PATOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Um dos desafios da construção civil consiste, justamente, em evitar, identificar e corrigir as falhas construtivas para que não se desdobrem nas indesejadas e possivelmente perigosas manifestações patológicas.

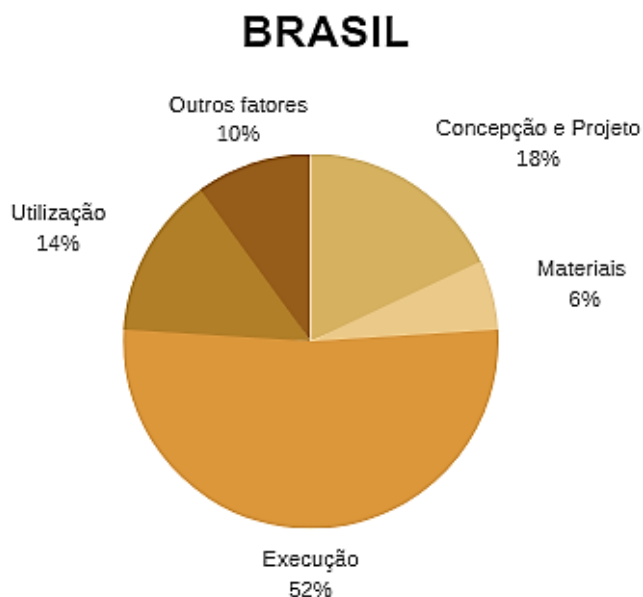
A NBR 15575-1:2013/Em1:2021, no item 3.83, define manifestação patológica como sendo toda irregularidade “que se manifesta no produto em função de falhas no projeto, na fabricação, na instalação, na execução, na montagem, no uso ou na manutenção, bem como problemas que não decorram do envelhecimento natural” (ABNT, 2021, p. 13).

Na conjuntura da medicina, a patologia é o estudo das doenças a partir de aspectos estruturais e funcionais dos sistemas que compõem os seres vivos. Assim, entende-se Patologia das Construções como sendo uma área de estudo que se dedica a investigar e entender as irregularidades, identificadas como manifestações patológicas, em produtos da engenharia civil, seus sintomas, suas causas e formas de mitigação.

A manifestação patológica em uma estrutura indica, de forma geral, que houve uma ou mais falhas durante a execução de uma das etapas do processo construtivo e aponta também problemas no sistema de gestão da qualidade das atividades (Souza; Ripper, 1998). A Figura 13 exhibe os percentuais de ocorrência de problemas patológicos em estruturas de concreto de acordo com a fase de vida da construção.

A Figura 13, na realidade, aglomera em 5 categorias os diversos itens deflagradores das manifestações patológicas. Alguns desses aspectos serão contemplados no item 4.6 deste trabalho.

Figura 13 - Causas de manifestações patológicas no Brasil



Fonte: Adaptado de Ripper (2002 *apud* Carvalho Júnior, 2015)

4.6 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

Para Souza e Ripper (1998) é necessário compreender as estruturas como produtos complexos, cujas características variam enormemente. Nesse sentido, a implantação de contenções requer atenção para informações de diferentes naturezas. Conhecer essas variáveis é determinante para o sucesso da solução.

4.6.1 Causas relacionadas ao solo

Tratando-se da construção de estruturas de contenção, Milititsky (2016) afirma que o principal ponto crítico se refere ao solo e suas condições. Isso porque projetos de contenções envolvem “a determinação das ações do solo e a execução da escavação nesse material e que nele ocorrem a implantação do sistema [...] e sua estabilidade, é de fundamental importância o conhecimento desse meio físico” Milititsky (2016, p. 15).

Com relação ao solo, patologias desencadeadas por subdimensionamento da estrutura, recalques diferenciais, deformações, ruptura do maciço ou redução da carga admissível nominal adotada, podem, então, decorrer:

- a) da ausência completa da investigação do subsolo ou insuficiência de sondagem: muito comum em obras de pequeno e médio porte, essa ausência é geralmente

motivada por fatores econômicos, mas inaceitável do ponto de vista normativo. Por isso, seguir as recomendações da ABNT NBR 6122/2010 e da ABNT NBR 11682/2009 sobre o tipo, profundidade e quantidade mínima de furos de sondagem pode ser crucial.

- b) de falhas de investigação geotécnica: segundo Milititsky, Consoli, Shnaid (2015, p. 33) essas falhas são problematizadoras “por causa da diferença entre estimativa e a realidade observada durante a execução”. Dentre os problemas que podem surgir a esse respeito estão: presença de rocha ou de água sem devida previsão, tipos e espessuras de solo diferentes dos previstos, entre outras dificuldades executivas. Milititsky (2016) ressalta que novos ensaios ou procedimentos devem ser adotados caso surjam eventuais divergências entre as definições do programa de investigação e as condições de implantação dos serviços.
- c) Da interpretação inadequada das informações: essa questão se agrava a medida em que o modelo adotado para o subsolo na etapa de projeto não é representativo. Um exemplo bastante didático do que pode acontecer trata-se da consideração dos altos valores de penetração NSPT pelo projetista quando, na verdade, isso se deu pela presença de pedregulhos, que não aumentam de forma equivalente a resistência do solo (Milititsky; Consoli; Shnaid, 2015).

Um levantamento feito no Reino Unido (Clayton, 2001) evidenciou como causas relevantes de problemas em projetos de contenção: existência de materiais desfavoráveis ao projeto, geometria diferente da investigada, variabilidade nas propriedades do solo, nível de água diferente do previsto, obstruções durante escavações e presença de solos contaminados.

4.6.2 Causas relacionadas a água

Outra variável relevante quando do uso de contenções é a presença de água. Isso porque, o nível do lençol freático impõe condicionantes que podem gerar manifestações patológicas, como recalques, ruptura do maciço ou do fundo da escavação e infiltrações cujas decorrências relacionam-se com:

- a) Falha na previsão de empuxos;
- b) Falha no rebaixamento durante a execução;
- c) Problemas na execução de tirantes;
- d) Influência de fundações vizinhas.

4.6.3 Causas relacionadas a edificações pré-existent

A construção em locais com edificações pré-existent e/ou vizinhas, exige a garantia de segurança e mínima perturbação para os vizinhos, mas também que sejam identificadas as interferências ainda fase de projeto. Esse último fator é, no entanto, difícil de se concretizar tendo em vista que “os cadastros de instalações são, em geral, imprecisos e incompletos, quando existentes” (MILITITSKY, 2016, p. 18).

A esse respeito manifestações patológicas podem ser desencadeadas por:

- a) Interferência de estruturas e elementos enterrados;
- b) Erro na previsão de sobrecarga proveniente de edificações vizinhas;
- c) Falha na consideração da segurança e da sensibilidade das estruturas próximas, visto que Zhang e Zhan (2021) afirmam que escavações profundas resultam em efeitos inevitáveis para a vizinhança;
- d) Falta de investigação da natureza e posição das fundações vizinhas.

4.6.4 Causas relacionadas a contaminação do solo

A importância da identificação de contaminação do solo relaciona-se tanto com o comportamento do próprio solo, como também com o tipo de material e sistema adotado na construção das contenções, que podem ser incompatíveis com o material contaminante.

Um estudo conduzido por Assa'ad (1998) confirmou que a presença de ácido fosfórico advindo de tanques de uma indústria provocou a expansão do solo devido a formação de gases em seu interior a partir de reações químicas. Isso não é, necessariamente, um fator impeditivo para a construção de estruturas enterradas, contanto que medidas sejam tomadas para solucionar o problema. Em seu trabalho, Assa'ad (1998) recomenda que sejam instaladas tubulações, que servirão como caminho para a saída dos gases e sejam realizadas inspeções, monitoramentos e manutenções contínuas nos tanques, minimizando as fugas do ácido para o solo.

Além de ser potencialmente prejudicial para o comportamento do solo, como demonstrado no exemplo anterior, a contaminação pode deteriorar os materiais que compõem a estrutura de contenção. O concreto, por exemplo, tem caráter alcalino, portanto se mantido em solo composto por materiais de pH ácido, poderá sofrer degradação.

4.6.5 Causas relacionadas aos materiais

Qualquer sistema construtivo é demasiado dependente da indústria de materiais, sob a qual a indústria da construção civil tem pouco controle (Souza; Ripper, 1998). Isso exige dos construtores e profissionais a cobrança por produtos de qualidade, a verificação do atendimento as especificidades normativas e o controle sob o uso dos insumos pelas equipes de trabalho.

Souza e Ripper (1998) destacam como problemas patológicos comuns devido a qualidade inadequada dos materiais: baixa durabilidade, baixa resistência, presença de agentes agressivos e erros dimensionais.

As contenções em que se utiliza concreto, merecem atenção relacionada a porosidade e permeabilidade, pois quanto maiores esses fatores, maior se torna a taxa de deterioração desse produto. Na prática, se recomenda que a relação água/cimento e o tempo de cura ideais sejam respeitados. Esse cuidado é importante não só para a preservação do próprio concreto, mas para evitar a corrosão das armaduras, quando aplicável. A Tabela 1 sintetiza os principais deflagradores de degradação em superfícies de concreto.

Tabela 1 - Principais processos de degradação do concreto

NATUREZA DO PROCESSO	AGRESSIVIDADE	CONSEQUÊNCIAS INERENTES AO PROCESSO	
	CONDIÇÕES PARTICULARES	ALTERAÇÕES DE COR/MANCHAS	ALTERAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS
Carbonatação	Umidade relativa do ar entre 60 e 85%	Em geral mais clara	Redução do pH Corrosão das armaduras Fissuração superficial
Lixiviação	Atmosfera ácida, águas moles	Escurece com manchas	Redução do pH Corrosão das armaduras Desagregação superficial
Retração	Molhagem/secagem e ausência de cura	Manchas e fissuras	Fissuração Redução do pH Corrosão das armaduras
Fuligem	Atmosferas urbanas e industriais (zonas úmidas)	Manchas escuras	Redução do pH Corrosão das armaduras
Fungos	Zonas úmidas e salinas	Manchas escuro-esverdeadas	Redução do pH Desagregação superficial Corrosão das armaduras
Concentração salina	Atmosferas marinhas e industriais	Branqueamento	Despassivação da armadura Desagregação superficial

Fonte: Milititsky (2016 *apud* Helene, 1992)

4.6.6 Causas relacionadas a execução

Imaginando-se um caso em que todos os aspectos discutidos anteriormente tenham sido cuidadosamente analisados e não sejam geradores de nenhuma irregularidade, ainda assim manifestações patológicas podem surgir. Isso se deve às variadas possibilidades de falhas executivas às quais a contenção está suscetível.

Armaduras mal posicionadas ou insuficientes, junta de dilatação mal executada, inclinação executada em desacordo com o projeto, falta de limpeza da cabeça da estaca, falta de vinculação entre estacas, cota de assentamento diferente da planejada e movimentação indesejada de elementos são apenas alguns exemplos de erros que podem acontecer na etapa de execução da estrutura de contenção.

A Figura 14 mostra um caso de desaprumo dos painéis de uma parede diafragma onde fica nítido o desencontro dos elementos. Milititsky (2016) afirma que esse é um resultado típico de quando esse tipo de contenção é executado sem as paredes guia. O defeito foi identificado após a escavação do subsolo necessitará de um conjunto de soluções para evitar percolação de água e permitir o travamento dos elementos.

Figura 14 - Desaprumo de painéis de parede diafragma



Fonte: Milititsky (2016)

Como visto, muitas são as possíveis origens das manifestações patológicas em contenções e certamente muito ainda pode ser estudado e esclarecido sobre cada uma delas. Entretanto, mantendo em foco o objetivo deste trabalho, entretanto, será dado destaque na seção 4.7 às principais anomalias, a partir das quais foi elaborado um guia prático de caráter preventivo.

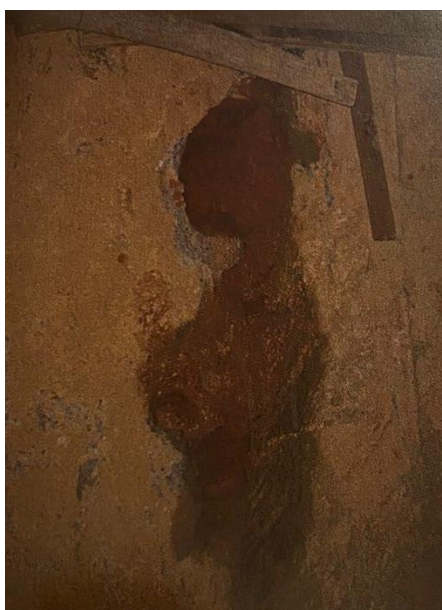
4.7 PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

A escavação se mostra como uma etapa importante para a identificação e antecipação de problemas patológicos nas estruturas em análise. Especialmente nas contenções profundas, a retirada do solo costuma ser reveladora, visto que toda a execução é feita a partir de um nível bem superior ao de assentamento, de forma enterrada. Cabe ressaltar que “[...]qualquer imperfeição ou falha verificada ou percebida deve ser imediatamente tratada, evitando-se eventual fluxo de água, perda de material ou mesmo a fragilização e a ruptura do elemento” (Milititsky, 2016 p. 103).

4.7.1 Umidade

A dosagem inadequada do concreto pode permitir a passagem de água, devido à porosidade ocasionada, como exhibe a Figura 15. A presença de umidade pode comprometer o desempenho da estrutura (Milititsky, 2016).

Figura 15 - Umidade em parede diafragma



Fonte: Milititsky (2016)

4.7.2 Falta de vinculação

Paredes diafragma executadas mediante falta de limpeza do fundo costumam ter problemas de vinculação com o topo rochoso. Isso significa que o contato da base da parede com a rocha em que seria implantada fica comprometido, não atingindo o comportamento previsto em projeto. Um caso desse tipo de falha pode ser visto na Figura 16.

Figura 16 - Parede diafragma com problema na limpeza de fundo



Fonte: Milititsky (2016)

4.7.3 Falta de Estanqueidade

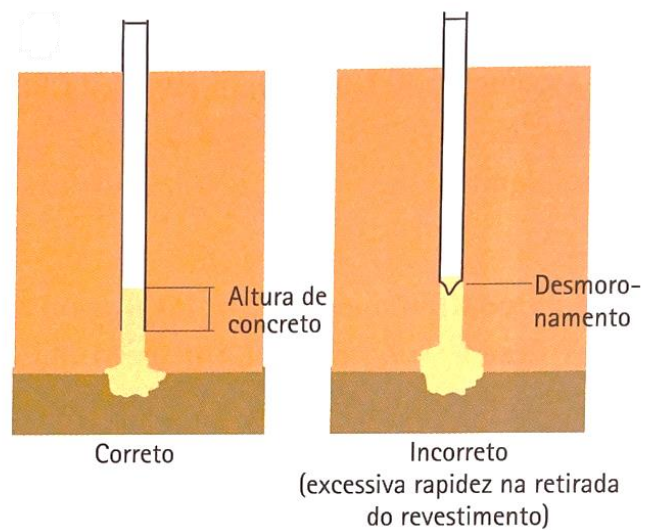
As falhas na estanqueidade de contenções podem ser observadas, principalmente nos casos em que ocorrem problemas na concretagem, gerando o surgimento de descontinuidades verticais, horizontais e nas juntas. Nos casos de contenções profundas feitas com estacas escavadas pode acontecer a descontinuidade da estaca, como mostra a Figura 17, por causa da velocidade inadequada da retirada do revestimento, como exhibe a Figura 18. A Figura 19 expõe um caso em que a execução dos painéis da parede diafragma ficou comprometida devido a concretagem ineficiente.

Figura 17 - Estaca com descontinuidade



Fonte: Milititsky, Consoli, Schnaid (2015)

Figura 18 - Esquema de seccionamento do fuste ocasionando descontinuidade



Fonte: Milititsky, Consoli, Schnaid (2015)

Figura 19 - Parede diafragma com problema na limpeza de fundo



Fonte: Milititsky (2016)

4.7.4 Falha na drenagem

As falhas executivas nas juntas podem resultar em um caminho preferencial da água, podendo comprometer o sistema de drenagem do subsolo (Milititsky, 2016), como mostra a Figura 20.

Figura 20 - Subsolo com problemas de drenagem

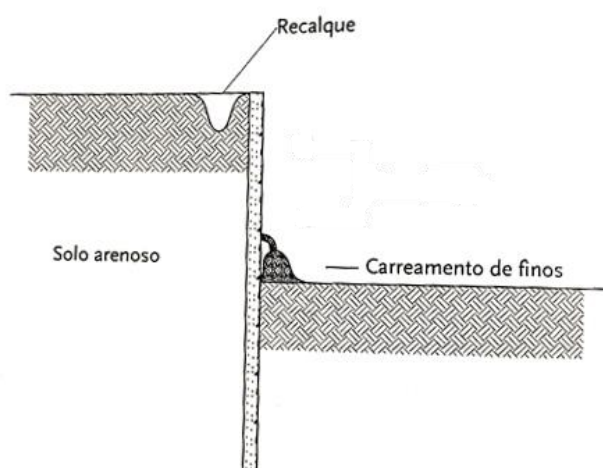


Fonte: Milititsky (2016)

4.7.5 Recalques

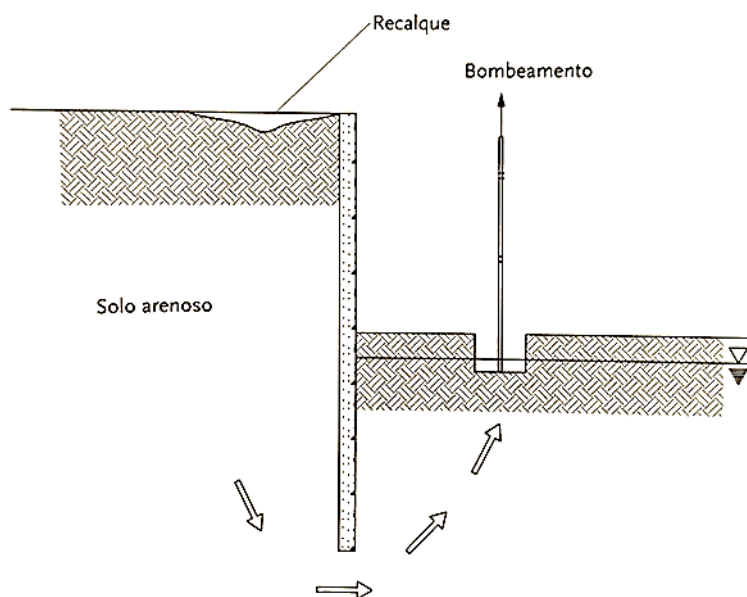
Milititsky (2016) destaca dois principais motivos desencadeadores de recalques em contenções, o primeiro deles é o carreamento de materiais devido à descontinuidade da estrutura, a Figura 21 ilustra essa problemática. O segundo é o rebaixamento do nível de água, como mostra a Figura 22.

Figura 21 - Recalque causado por carreamento de finos



Fonte: Adaptada de Milititsky (2016)

Figura 22 - Recalque causado por sistema de bombeamento de água



Fonte: Milititsky (2016)

4.7.6 Fissuras, trincas e rachaduras na estrutura

A NBR 6118 declara que o surgimento de fissuras é inevitável em elementos estruturais de concreto armado tendo em vista a baixa resistência do concreto a tração (ABNT 2014). Fissura é como classificamos as aberturas de até 0,4mm (ABNT, 2014), sob essa circunstância não há danos significativos nas armaduras, porém sua evolução pode torná-la uma trinca e, em casos mais graves, rachadura.

As origens de fissuras variam de caso a caso, mas algumas motivações são “[...] retração plástica térmica ou devido a reações químicas internas do concreto nas primeiras idades, devendo ser evitadas ou limitadas por cuidados tecnológicos, especialmente na definição do traço e na cura do concreto.” (ABNT, 2014).

A Figura 23 mostra fissuras em um muro de contenção causadas devido aos elevados valores de recalques sofridos pelo maciço de aterro contido (Castro *et al.* 2012). Segundo os autores, a diferença de rigidez entre a fundação e o solo fez com que o muro de contenção recalcasse menos que o aterro, o que provocou um aumento das tensões a serem suportadas pela estrutura. Quanto a origem do recalque, para início de análise, Castro *et al.* (2012) concluiu que se deu pela falta de preparação do solo para receber as cargas do aterro.

Figura 23 - Fissuras presentes em muro de arrimo



Fonte: Castro *et al.* 2012

Por tudo isso, a orientação é de que haja além de todas as preocupações com a qualidade do concreto, um monitoramento constante das eventuais fissuras e agilidade na correção do problema, quando necessária.

4.7.7 Erosão

Ventos, precipitações e ações antrópicas são agentes erosivos que também podem provocar a deterioração das estruturas, sejam de pedras ou de concreto. Esse é um fato curioso quando visto pela ótica de que estruturas de contenção também são utilizadas para minimizar o impacto da erosão em maciços de solo. Nesses casos, a própria estrutura ficará submetida à degradação, como forma de proteger encostas. Por isso, se prova importante que as contenções, principalmente aquelas cuja implantação ocorre em locais exposto a intempéries e a forte interferência humana, sejam construídas com materiais adequados a suportar as ações a que serão submetidas ao longo de sua vida útil. Bem como que as manutenções sejam bem planejadas e realizadas conforme recomendação de profissional habilitado.

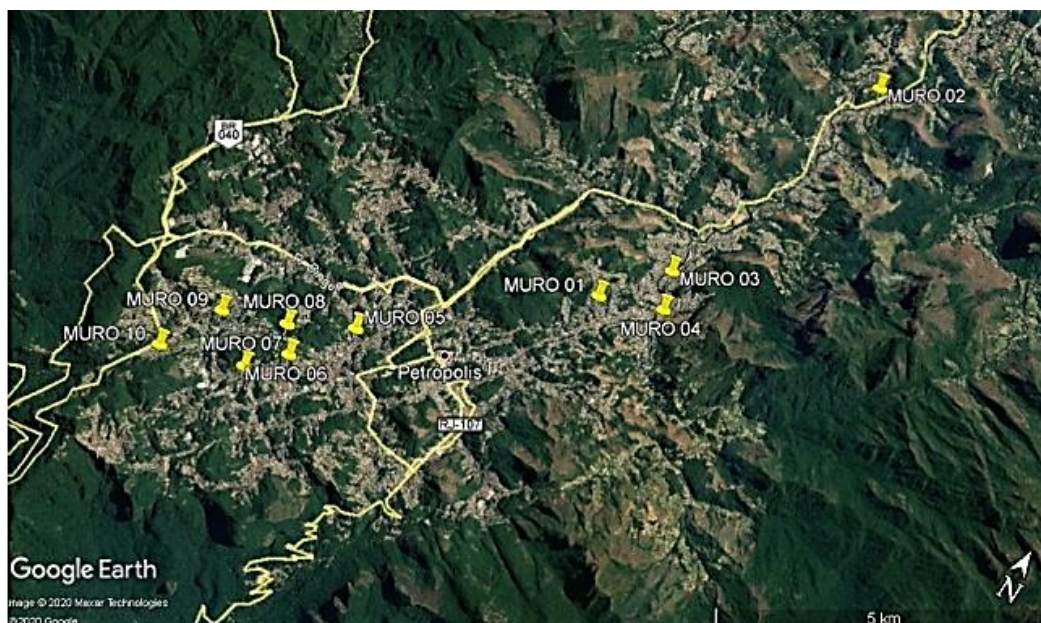
5 ESTUDO DE CASOS

Para prosseguir com o embasamento da criação final a que se propõe este trabalho, o presente capítulo se destina a estudar, analisar e catalogar dados de três casos reais de manifestações patológicas em contenções publicados por outros autores.

5.1 CASO 1

Ribeiro, Azevedo e Júnior (2021) analisaram as manifestações patológicas em muros de contenção por flexão na cidade de Petrópolis. Para isso, inspecionaram 10 estruturas em diferentes pontos do município, fazendo o levantamento dos problemas encontrados em cada uma. A Figura 24 exibe um mapa com indicação dos muros enumerados de 01 a 10.

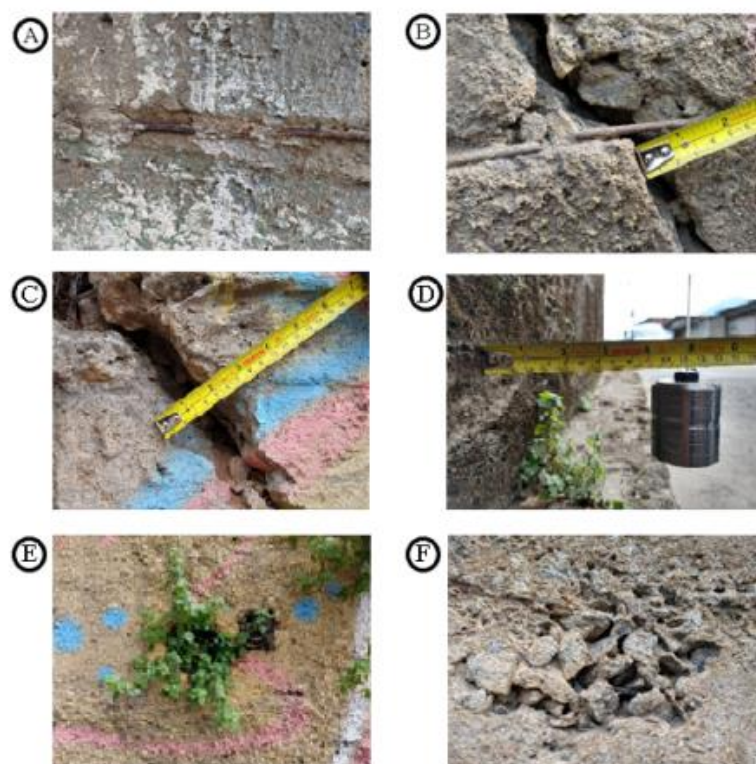
Figura 24 - Localização dos muros



Fonte: Ribeiro, Azevedo e Júnior, 2021.

Um dos muros analisados apresentou 5 tipos de manifestação patológica: exposição de armadura, fissuras no concreto, desaprumo da estrutura, obstrução de drenos e nichos de concretagem. Os autores indicaram que as possíveis causas estariam relacionadas a falha no projeto, na execução e na manutenção da estrutura, mostrando que não é rara a combinação de diferentes motivações gerando problemas dessa categoria. As circunstâncias encontradas na inspeção desse muro podem ser vistas na Figura 25.

Figura 25 - Manifestações patológicas no Muro 01: (A) Armadura exposta; (B) e (C) Fissuras; (D) Desaprumo; (E) Dreno obstruído; (F) Nicho de concretagem.



Fonte: Ribeiro, Azevedo e Júnior, 2021.

Para documentação da inspeção do muro além dos registros fotográficos, os autores elaboraram a Tabela 2 contendo os problemas patológicos constatados e suas prováveis causas.

Tabela 2 - Manifestações patológicas identificadas e possíveis causas

PATOLOGIAS	POSSÍVEIS CAUSAS
Aço exposto	Falha de projeto Falha de execução
Fissuras	Falha de projeto Falta de manutenção
Desaprumo	Falha de projeto
Drenos obstruídos	Falta de manutenção
Ninhos de concretagem	Falha de execução

Fonte: Ribeiro, Azevedo e Júnior, 2021.

Além dessa contenção, a inspeção foi realizada em outros 9 muros, seguindo a mesma metodologia de identificação de problemas e processo de documentação com fotos. A partir das vistorias foi elaborada a Tabela 3. Nela, os autores categorizaram as patologias em: Aço exposto, Fissuras, Desaprumo, Drenos obstruídos/Drenos inexistentes e Ninhos de concretagem. A marcação com “X” indica que o muro apresentava determinada manifestação patológica no momento da inspeção. E como resultado, pode-se extrair da Tabela 3 que 100% dos muros avaliados apresentaram manifestações patológicas, sendo que 90% deles tinham problemas de drenagem, ora por falta de manutenção, ora por inexistência completa de drenos.

Tabela 3 - Resumo das manifestações patológicas encontradas

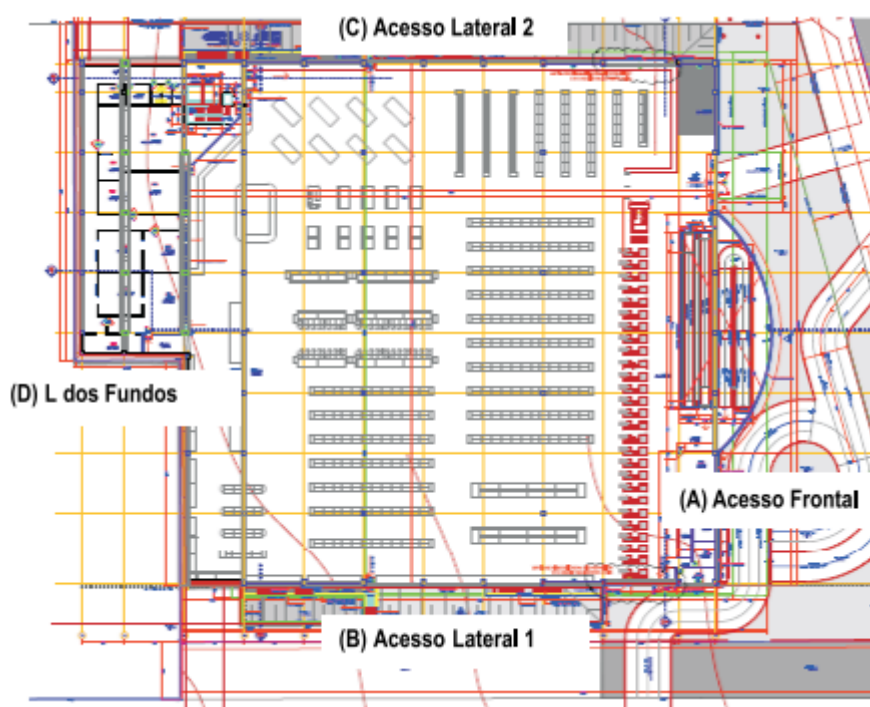
Patologias Muros	Aço exposto	Fissuras	Desaprumo	Drenos obstruídos / Drenos inexistentes	Ninhos de concretagem
Muro 01	X	X	X	X	X
Muro 02	X			X	
Muro 03		X		X	
Muro 04	X	X		X	
Muro 05		X		X	
Muro 06	X			X	X
Muro 07		X		X	
Muro 08	X				X
Muro 09		X		X	X
Muro 10		X		X	
Percentual dos muros com cada patologia:	50%	70%	10%	90%	40%

Fonte: Ribeiro, Azevedo e Júnior, 2021.

5.2 CASO 2

Dell'avanzi *et. al* (2010) produziram um artigo discutiram as falhas que culminaram no colapso do solo na escavação de uma obra com três subsolos em Curitiba-PR. A obra em questão se transformaria em um edifício comercial de grande porte, alto padrão, com mais de 38.000m² construídos e volume de escavação correspondente a 103.000m³. O layout proposto em projeto é mostrado na Figura 26, com destaque para os lados (A), (B) e (C) que seriam acessados através das vias locais. No lado dos fundos (D) existia o terreno vizinho, onde estava estabelecida a sede de três pavimentos de uma instituição privada locada a uma distância de 14 metros da divisa do lote.

Figura 26 - Layout da obra e principais acessos



Fonte: Dell'avanzi *et al.*, 2010.

Como explicam Dell'avanzi *et. al* (2010) a empresa proprietária da obra era também responsável pelo gerenciamento de seus projetos e por carecer de corpo técnico para a elaboração deles, optou por contratar a elaboração de 4 projetos: arquitetônico, estrutura pré-moldada de concreto, estrutura metálica de cobertura e geotécnico (fundações e contenções). A solução definida entre empresa proprietária e projetistas foi o uso de uma estrutura autoportante na contenção responsável por absorver todos os empuxos horizontais de forma totalmente independente da superestrutura. A decisão foi tomada com vistas a reduzir os custos com elementos pré-moldados de concreto. Nesse sentido, o projeto previa a execução de uma cortina de estacas hélice contínua interligadas e por viga de coroamento em concreto armado e atirantadas por três linhas de tirantes.

O empreendimento estava em construção sob uma formação geológica caracterizada por alto pré-adensamento do solo e presença de argilominerais altamente expansivos quando não confinados (Dell'avanzi *et al.*, 2010).

Os problemas começaram a ocorrer durante a escavação. Quando a cota inferior mais baixa já havia sido atingida em alguns pontos, a cortina atirantada do

lado (C) perdeu o equilíbrio e as cortinas dos lados (B) e (D) sofreram deslocamentos. Para contornar a situação, a empresa executou, numa posição mais externa à estrutura que se rompeu, uma nova cortina de estacas de diâmetro maior, mas a situação se repetiu poucos dias depois. Após este evento insistiu-se na execução de uma nova linha de estacas de diâmetros ainda maiores, mas com essa tentativa, ocorreu a ruptura nos taludes do lado (B) e (D) e a ruptura do talude (C) se agravou. A imagem da contenção rompida no lado (C) pode ser vista na Figura 27, na qual também é possível observar a perda de solo entre estacas comprovando o padrão expansivo típico do solo do local.

Figura 27 - Ruptura da cortina de contenção no lado (C)



Fonte: Dell'avanzi *et al.*, 2010.

Através de novas investigações geotécnicas e da reavaliação do projeto conduzidos em auditoria, identificou-se que as plantas de detalhamento continham apenas detalhes esquemáticos e informações como a seção transversal eram inexistentes, o que pode ter gerado grande quantidade de erros. Como recomendação imediata foi indicada a interrupção dos serviços e a execução de uma berma para conter o solo dos lados (C) e (D), o que significou um grande retrabalho. A Figura 28 exhibe a ruptura da cortina de estacas ao longo do lado (D) e a berma executada.

Além disso, as análises mostraram que no projeto inicial as tensões horizontais foram subestimadas entre 50% na base da escavação e 300% nas partes superiores. Essa consideração provocou o subdimensionamento da estrutura, que culminou na ruptura por cisalhamento como mostra a Figura 29.

Figura 28 - Ruptura da cortina de contenção no lado (D).



Fonte: Dell'avanzi *et al.*, 2010.

Figura 29 - Ruptura identificada no lado D

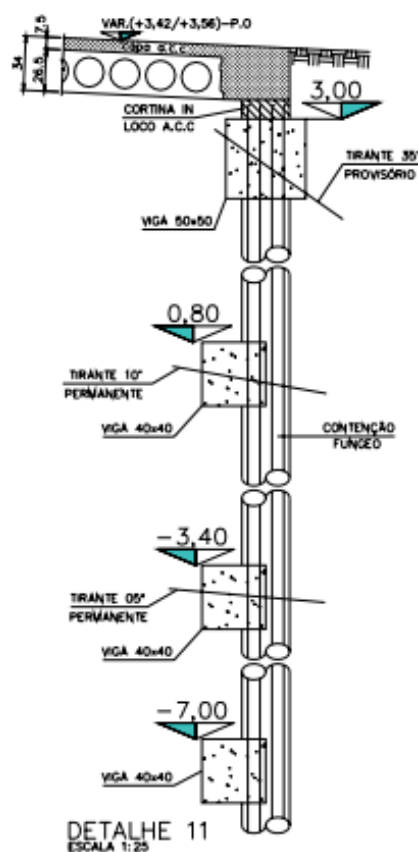


Fonte: Dell'avanzi *et al.*, 2010.

Outra irregularidade identificada pelos auditores dizia respeito às inclinações dos tirantes, que podem ser vistos na Figura 30. Acontece que ao ser desenhado em escala, o esquema revelou a interferência de um tirante sobre os outros. A Figura 31

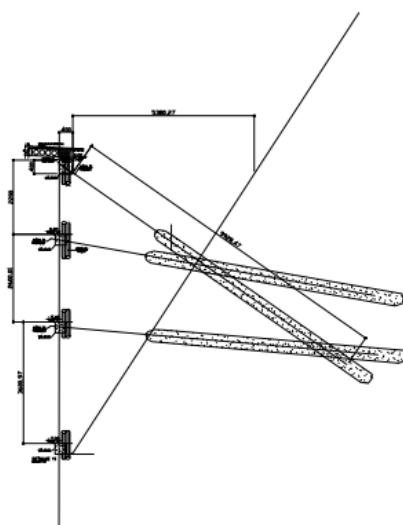
revela justamente que a inclinação dos tirantes da segunda e terceira linhas de tirantes interferiam nos da na primeira linha, já que todos eram alinhados verticalmente.

Figura 30 - Desenho esquemático dos tirantes no projeto inicial



Fonte: Dell'avanzi *et al.*, 2010.

Figura 31 - Desenho esquemático dos tirantes em escala, desenvolvido após ruptura



Fonte: Dell'avanzi *et al.*, 2010.

Todas as análises realizadas explicitaram a ocorrência de uma sequência de erros de projeto que levaram a estrutura ao fracasso, todos eles estão listados a seguir:

- Projeto de tirantes com inclinações inadequadas e no mesmo alinhamento vertical;
- Desconsideração do pré-adensamento do solo;
- Subestimação dos carregamentos atuantes (empuxos);
- Falta de avaliação da presença de fluxo de água;
- Armação inadequada das estacas;
- Espaçamento de estacas maior que o necessário.

O estudo feito por Dell'avanzi *et al.* (2010) ratifica a importância da qualidade dos projetos para que a contenção seja bem-sucedida e alerta para a relação “execução X projeto” como raiz de vícios construtivos.

5.3 CASO 3

Souza e Enami (2009) estudaram o colapso da cortina de estacas de um edifício em construção em Maringá-PR. A Figura 32 se trata da imagem do local após o colapso. Souza e Enami (2009) estudaram o colapso da cortina de estacas de um edifício em construção em Maringá-PR.

Figura 32 - Colapso de cortina de estacas em Maringá-PR



Fonte: Souza; Enami (2009)

Os autores relatam que erros de execução dos serviços causaram a ruína da estrutura. O primeiro equívoco ocorreu na escavação, que atingiu a profundidade de 6,25 metros, quando a especificada pelo projetista era de 2,80 metros. Além disso, foi identificado o processo de segregação do concreto devido ao provável lançamento inadequado do material. A aderência em pontos de emendas também se mostrou comprometida, assim como o espaçamento e alinhamento entre as estacas.

Mais do que isso, é importante discutir sobre os prejuízos atrelados ao caso, como a queda de vendas dos comerciantes estabelecidos na rua afetada pela ruptura do maciço, a qual ficou interditada até a recuperação da estrutura, as mudanças no trânsito que precisaram ser feitas, além dos transtornos relacionados a vizinhança (Souza; Enami, 2009).

6 RESULTADOS

Tomando como base todo o referencial bibliográfico analisado e os estudos de casos discutidos é possível visualizar a complexidade que envolve o tema Patologia em Contenções. Tanto devido a diversidade de variáveis e de soluções a se considerar, como devido as chances de erros que podem deflagrar disfunções construtivas. Outro ponto que dificulta a identificação de problemas patológicos reside no fato de que “não existem critérios absolutos de aceitabilidade ou segurança quanto a recalques admissíveis decorrentes de escavações [...]” (Milititsky, 2016, p. 134)

Mesmo assim, é conveniente constatar padrões de falhas que já ocorreram em contenções, o que permite estabelecer algumas recomendações de caráter preventivo às manifestações patológicas. Cumprindo com o que se propõe este trabalho, foi elaborada uma lista de observações que pode guiar os profissionais envolvidos na execução de contenções. Parte desse checklist pode ser visto na Figura 33 e a versão completa se encontra no Apêndice A.

Figura 33 – Parte do Checklist Preventivo

RECOMENDAÇÕES PARA PREVENÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO	
ANTES DA EXECUÇÃO DAS CONTENÇÕES	
AÇÃO	R/NA
Garantir que já tenham sido coletados dados sobre as condições das construções e instalações vizinhas (laudo de vistoria cautelar)	
Planejamento de todos os serviços	
Confirmar se as informações de projeto correspondem a situação real (ex.: altura do talude, profundidade da escavação, limites dos terrenos)	
Verificar se a sondagem geotécnica foi feita de forma suficiente e levada em consideração nas premissas do projeto	
Investigar a possível presença de agentes contaminantes no solo	
Conferir se o projeto prevê solução de drenagem	
Promover treinamento de toda a equipe envolvida para os procedimentos de execução de serviços que serão realizados	
Conferir especificações dos materiais a serem utilizados (fck, traço, bitolas, espaçadores, formas, quando aplicáveis etc.)	
Verificar a limpeza das superfícies que receberão concreto (quando aplicável)	

Fonte: Autoral (2023)

7 CONCLUSÃO

Este trabalho se dedicou ao estudo da origem e prevenção de manifestações patológicas em estruturas de contenção, buscando destacar relevância do tema para a estabilidade e segurança de construções urbanas cada vez mais propensas ao uso de escavações. Com isso em vista foi possível elaborar um checklist direcionado à construção de contenções, com o propósito de mitigar e prevenir a ocorrência dessas patologias. Esse checklist representa uma ferramenta valiosa para engenheiros civis, construtores e profissionais da área, fornecendo diretrizes e práticas para a execução de projetos de contenção mais seguros e duráveis.

Ainda assim, a partir de toda a discussão proposta nos capítulos anteriores conclui-se que a escolha da solução de contenção, a adoção de premissas, a elaboração do projeto, a execução dos serviços e a manutenção são todas etapas complexas e possuem diferentes pontos críticos. Apesar de existirem padrões, a origem de manifestações patológicas também pode ocorrer pela combinação de fatores. Isso ressalta que é fundamental analisar todas as informações com cautela quando se pretende investigar qualquer caso através da Patologia de Contenções.

É importante reconhecer que este estudo também enfrentou limitações notáveis. Uma das principais limitações foi a escassez de publicações científicas disponíveis sobre incidentes de patologias em estruturas de contenção. Isso demonstra a necessidade premente de mais pesquisas e documentação de casos práticos nessa área. Essa lacuna de informações pode ser superada por meio de pesquisas futuras que abordem casos específicos de manifestações patológicas, investigando causas, soluções e lições aprendidas.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se: elaborar estudos de caso de estruturas de contenção que tenham enfrentado manifestações patológicas, desenvolver modelos de simulação para prever o comportamento de estruturas de contenção ao longo do tempo e avaliar a eficácia do checklist proposto neste trabalho por meio de estudos de campo e análises estatísticas, comparando projetos que o adotam com projetos que não o adotam.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Stephane L. P de; GUIMARÃES, Diego; ALMEIDA, Patricia de; et al. Fundações e Obras de CONTENÇÃO. Porto Alegre: SAGAH, 2021. E-book. ISBN 9786556902593. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556902593/>. Acesso em: 25 set. 2023.

ASSA'AD, A. Differential upheaval of phosphoric acid storage tanks in Aqaba, Jordan. Journal of Performance of Construction Facilities, New York: ASCE, v.12, pp. 71-76, 1998. Disponível em: https://www.academia.edu/7824165/DIFFERENTIAL_UPHEAVAL_OF_PHOSPHORIC_ACID_STORAGE_TANKS_IN_AQABA_JORDAN. Acesso em 23 out. 23.

BARROS, Pérsio L. de A.; FRACASSI, Gerardo; DURAN, Jaime da S.; TEIXEIRA, Alexandre M. Obras de contenção: Manual técnico.

CARDOSO, F. F.; SHIMIZU, J. Y. Sistemas de contenção. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002. Disponível em: https://www.geocities.ws/apostilasedikk/sistemas_contencao.pdf. Acesso em: 25 set. 2023.

CARVALHO JÚNIOR, E. L. Patologia das edificações em concreto originadas na fase de uso. Project Management Knowledge Base – Conhecimento e Experiência em Gerenciamento de Projetos, 2015. Disponível em: <https://pmkb.com.br/artigos/patologia-das-edificacoes-em-concreto-originadas-na-fase-de-uso/>. Acesso em: 23 out. 2023.

CASTRO, Bruno et al. Estudo de Caso: Avaliação de patologias devido à recalques em viaduto sobre Rodovia Federal. 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323969415_Estudo_de_Caso_Avaliacao_d_e_patologias_devido_a_recalques_em_viaduto_sobre_Rodovia_Federal. Acesso em 22 set. 2023.

CLAYTON, C. R. I. Managing geotechnical risk: improving geotechnical risk in UK building and construction. 1 ed. Londres: Thomas Telford, 2001.

DAL MOLIN, Denise C. Coitinho. Fissuras em estruturas de concreto armado: Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 238, 1988.

DELL'AVANZI, E.; MACHADO, R. D.; QUEVEDO, J. R. S.; GUIZELINI, A. P. Discussão dos aspectos técnicos contribuintes à ruptura de uma escavação a céu aberto. Revista Concreto & Construções, São Paulo, n. 57, p. 13-25, 2010. Disponível em: https://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_57.pdf. Acesso em 26 out. 2023.

GNIPPER, Sérgio F.; MIKALDO JR. Jorge. Patologias frequentes em sistemas prediais hidráulico sanitários e de gás combustível decorrentes de falhas no processo

de produção do projeto. In: Revista Boletim do Gerenciamento nº 22, 2020, Curitiba. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/issue/view/37/22%C2%AA%20Edi%C3%A7%C3%A3o%20-%20Boletim%20do%20Gerenciamento>. Acesso em 22 set. 2023.

HACHICH, W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. Q.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. (Ed.). Fundações: teoria e prática. 3 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2019.

IOC/UNESCO, IMO, FAO, UNDP. (2011). A Blueprint for Ocean and Coastal Sustainability. Paris: IOC/UNESCO

MEDEIROS, L. V. *et al.* Reuso de pneus em geotecnia. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE REUSO/RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS, 2000, São Paulo. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/~denise/artigos/pneu/fiesp2000.pdf>. Acesso em: 03 out. 2023.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, C.; SCHNAID, F. Patologia das fundações. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MILITITSKY, J. Grandes escavações em perímetro urbano. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

NEVES, M. B. J.; VÁZQUEZ, E. G. Patologias das estruturas. Revista Boletim do Gerenciamento, Rio de Janeiro, v. 22, n. 22, p. 11-19, 2021. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/issue/view/37/22%C2%AA%20Edi%C3%A7%C3%A3o%20-%20Boletim%20do%20Gerenciamento>. Acesso em: 22 set. 2023.

RIBEIRO, A. A. de S.; AZEVEDO, B. F. de; JÚNIOR, M. A. P. M. JÚNIOR. Análise de patologias em muros de concreto armado: um estudo de caso no município de Petrópolis. Epitaya E-books, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 09-28, 2021. Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/68>. Acesso em: 26 out. 2023.

SENES, Jessyka de. Estudo de caso: Análise da estabilidade de um muro de contenção com patologias. TCC (Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura) – Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville, p.109, 2018.

SOMEKH, Nadia. A cidade vertical e o urbanismo modernizador. 2ª edição revisada, São Paulo, Editora Mackenzie, Romano Guerra, 2014.

SOUZA, R. A. DE; ENAMI, R. M. SOBRE OS ACIDENTES ESTRUTURAIS RECENTES OCORRIDOS NA CIDADE DE MARINGÁ-PR. Revista Tecnológica, v. 18, n. 1, p. 91-101, 8 set. 2010. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/article/view/8732>. Acesso em 26 out. 2023.

ZHANG, X.; ZHAN, Z. Evaluation of Risk of Building Damage due to Deep Excavations via Numerical Modelling. 2021, 16 p. Artigo – Hindawi, 2021. DOI 6646094. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/ace/2021/6646094/>. Acesso em 02 out. 2023.

APÊNDICE A

RECOMENDAÇÕES PARA PREVENÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO	
ANTES DA EXECUÇÃO DAS CONTENÇÕES	
AÇÃO	R/NA
Garantir que já tenham sido coletados dados sobre as condições das construções e instalações vizinhas (laudo de vistoria cautelar)	
Planejamento de todos os serviços	
Confirmar se as informações de projeto correspondem a situação real (ex.: altura do talude, profundidade da escavação, limites dos terrenos)	
Verificar se a sondagem geotécnica foi feita de forma suficiente e levada em consideração nas premissas do projeto	
Investigar a possível presença de agentes contaminantes no solo	
Conferir se o projeto prevê solução de drenagem	
Promover treinamento de toda a equipe envolvida para os procedimentos de execução de serviços que serão realizados	
Conferir especificações dos materiais a serem utilizados (fck, traço, bitolas, espaçadores, formas, quando aplicáveis etc.)	
Verificar a limpeza das superfícies que receberão concreto (quando aplicável)	
Durante a execução das contenções	
AÇÃO	R/NA
Acompanhar os serviços garantindo que sejam executados conforme procedimento especificado por fabricante e/ou projetista	
Utilizar inclinômetro para medir deslocamentos, curvatura, e assim validar as premissas de cálculo	
Estabelecer monitoramento de recalques na construção e na vizinhança (quando aplicável)	
Monitorar o consumo de concreto (quando aplicável) e comunicar projetistas quando discrepâncias forem percebidas	
Documentar os ensaios de desempenho dos tirantes (quando aplicável)	
Após conclusão das contenções	
AÇÃO	R/NA
Elaborar plano de manutenção para uso dos moradores e/ou usuários da estrutura de contenção	
Monitoramento de eventuais manifestações patológicas ao longo do tempo	
LEGENDA: R – REALIZADA; NA – NÃO SE APLICA	