



ARTIGO SOBRE ANÁLISE NUMÉRICA DE PATOLOGIAS ESTRUTURAIS: ESTUDO DE CASO

LUZIANO, Gabriel; GUTIERREZ, Tomás.

Orientador: Prof. Me Hélio França Junior, (Universidade São Francisco)

gabriel.luziano@mail.usf.edu.br

tomas.gutierrez@mail.usf.edu.br

RESUMO. Este presente estudo relaciona o método numérico por meio de programas e a sua utilização para a obtenção de dados auxiliares, utilizados para o diagnóstico preciso de possíveis causas de manifestações patológicas estruturais. A patologia é o ramo da engenharia que estuda todos os tipos de manifestações influentes na deterioração de uma construção, com o auxílio do processamento do computador, pode-se levantar as possíveis causas e qual é a melhor solução econômica e prática. Muitas vezes é possível encontrar algumas variações nos tipos e nos conceitos das patologias, tendo sua causa através de um conjunto de fatores, que partem desde o início do projeto ao período de vida útil da construção. O objetivo do estudo de caso é analisar uma ocorrência existente em uma residência, na qual houveram algumas manifestações patológicas, identificando os possíveis problemas e demonstrando as possíveis soluções para o problema. A qualidade do projeto pode ser considerada de extrema importância, pois a partir dela é possível estabelecer as etapas a serem seguidas da melhor maneira possível, dentro de suas exigências, evitando assim que haja a má execução, tendo o objetivo de evitar possíveis estresses causados aos proprietários pela manifestação patológica em si, podendo ser observado em muitos casos que a opção mais barata nem sempre traz os melhores resultados. É importante salientar que este estudo abordará o método numérico para a obtenção de dados, mas não será aprofundado a análise do surgimento de patologias, custos envolvidos e nem como o programa transcreve as informações apresentadas.

Palavras-chave: Patologias. Estrutura. Construção Civil. Erros de projeto.

ABSTRACT. This present study relates the numerical method through programs and its use to obtain auxiliary data, used for the accurate diagnosis of possible causes of structural pathological manifestations. Pathology is the branch of engineering that studies all types of manifestations that influence the deterioration of a building, with the help of computer processing, possible causes can be found and what is the best economic and practical solution. It is often possible to find some variations in the types and concepts of pathologies, having their cause through a set of factors, which start from the beginning of the project to the period of life of the construction. The objective of the case study is to analyze an existing occurrence in a residence, in which there were some pathological manifestations, identifying the possible problems and demonstrating the possible solutions to the problem. The quality of the project can be considered extremely important, because from it is possible to establish the steps to be followed in the best possible way within its requirements, thus avoiding poor execution, with the objective of avoiding possible stress caused to the owners. by the pathological manifestation itself, and it can be observed in many cases that the cheapest option does not always bring the best results. It is important to point out that this study will address the numerical method for obtaining data, but the analysis of the emergence of pathologies, costs involved, and how the program transcribes the information presented will not be addressed.

Keywords: Pathologies. Structure. Civil Construction. Project Errors.



INTRODUÇÃO

Atualmente as patologias da construção civil são discutidas entre profissionais da engenharia, pois é o que pode caracterizar falhas na estrutura, causando desconforto ou até mesmo o rompimento da mesma, podendo ser identificadas durante e depois da fase da obra. Atualmente nosso país enfrenta alguns desafios em sua economia, causando assim o aumento nos custos dos materiais e da mão de obra, fazendo com que muitas pessoas, que tem o intuito de construir, optem pela mão de obra mais em conta e os materiais mais baratos, porém em alguns casos, muitos profissionais da área não têm sua devida formação, nem competência para administrar uma obra, causando assim problemas futuros para a integridade física da estrutura. (SILVA SENA, 2021).

Nesse estudo foi retratado bem as consequências que este ato pode levar. As patologias tendem a aparecer quando há a negligência em relação às normas e procedimentos durante o processo da edificação. Quando há o aparecimento das patologias, deve-se ser realizado um estudo determinando as causas, podendo assim executar seu respectivo reparo, para que as mesmas cessem ou parem quase que totalmente, pois dependendo do tipo patológico ou de sua magnitude, o mesmo pode levar ao colapso parcial ou total da estrutura, em casos mais graves. Com o avanço da tecnologia foram desenvolvidos métodos que colaboram para o reforço estrutural de estruturas mal projetadas, então nem toda obra pode ser considerada “perdida”. (NISTIR 7396, 2007)

Nota-se também que além das falhas nos projetos, existem falhas ocasionadas por agentes externos, como a deterioração dos materiais através de ações da natureza, agentes que agem através de sobrecargas e a própria temperatura do ambiente, com isso as vistorias são essenciais pois podem facilitar na descoberta e no tratamento de uma possível instabilidade estrutural. (SILVA, 2011)

Atualmente o concreto pode ser considerado um dos materiais mais utilizado nas obras atualmente, porém ele é limitado apenas pela sua resistência à compressão, porque a sua resistência à tração equivale aproximadamente de 10 a 15% de sua resistência à compressão. Entretanto com o passar do tempo foram desenvolvidas armaduras feitas de aço, que atuando juntamente com o concreto, resistem aos esforços de flexo-compressão, podendo assim aumentar a distância entre vão, criando assim cômodos maiores com a menor utilização de material e menor custo financeiro (NEVILLE, 1963).

Hoje em dia, é muito comum o uso de programas de cálculo para resolver problemas complexos, principalmente no ramo da engenharia. Isso possibilita que sejam executadas construções mais baratas, pois o dimensionamento fica exponencialmente mais apurado com o uso de programas auxiliares.

Com o programa é possível gerar deslocamentos virtuais, podendo simular um recalque diferencial ou até mesmo a ação do vento, tais dados geram uma resposta da estrutura, com essa resposta é possível prever calamidades excepcionais, e permite que sejam tomadas medidas caso venham ocorrer. (MARTHA, 2018)

Para este nosso estudo de caso será observado a patologia ocasionada em um muro de arrimo em uma residência de um município do Estado de São Paulo. Segundo o responsável técnico, o muro foi empurrado por meio da força de empuxo causada pelo preenchimento de solo entre o lote e o muro, causando assim uma deformação no eixo principal do muro. Será realizado um estudo numérico da patologia, comparando a situação atual com a situação ideal, e através da obtenção dos dados, será realizada a análise das suas causas e prevenções por meio do método dos elementos finitos.

METODOLOGIA

No decorrer do desenvolvimento do estudo, foram realizadas pesquisas teóricas ao redor do tema estudado, e muitos autores indicam que grande parte das patologias causadas nas edificações estão relacionadas à qualidade da mão de obra empregada, tal tópico pouco estudado é de grande importância nos dias de hoje, principalmente no ramo da engenharia civil, pois consegue demonstrar o que pode ser considerada uma metodologia de alta qualidade e metodologia de baixa qualidade (WEIMER, 2018).



Figura 01 – Manifestação patológica (fissuração) em uma parede de alvenaria (Fonte: WEIMER, Bianca F.; THOMAS, Maurício; DRESCH, Fernanda. Patologia das estruturas, p-15)



Figura 02 - Incompatibilidade entre projetos elétricos e estruturais (Fonte: <https://maisengenharia.altoqi.com.br/estrutural/consequencias-falta-compatibilizacao-em-projetos/>)

O uso de programas possibilita métodos cada vez mais apurados para a análise estrutural. Podemos considerar montar uma estrutura com os suas respectivas cargas e reações, geralmente fazemos os cálculos da sua capacidade resistiva, se a resistência oferecida pelo material for maior que a solicitações resultantes das cargas, a estrutura conseguirá resistir, caso as solicitações forem maiores, deverá ser refeito os cálculos para que a estrutura não colapse.

Quando entramos no campo da análise estrutural moderna, existem quatro níveis de abstração que estão relacionados com a estrutura analisada. Sendo primeiro A Estrutura Real, a representação de como a estrutura é construída.

Logo em seguida temos o Modelo Estrutural, que descreve o comportamento da estrutura e como ela reage com as suas respectivas reações. O terceiro é o Modelo Discreto, que gera soluções que podem ser resolvidas computacionalmente. O quarto é o Modelo Computacional, é importante salientarmos que não adianta criar estes modelos discretos, se não é possível resolvê-los manualmente, ou seja, é necessário o auxílio de um computador (MARTHA, 2018).

O Método dos Elementos Finitos é uma das principais ferramentas para efetuação de estudo estrutural e desempenho estrutural. Segundo Azevedo (2003), já existiam artigos escritos sobre a utilização de tal metodologia datando na década de 60, sendo esses escritos por Ray Clough, porém nesta época não existiam os computadores modernos, com grande capacidade de processamento, tais só vieram a existir a partir da década de 70. Então os elementos finitos mais utilizados eram triangulares e tetraédricos, que por sua vez não tinham tamanha precisão. Pode-se observar que a precisão de cálculo pelo Método dos Elementos Finitos é exponencialmente mais precisa de acordo com a maior discretização do elemento finito que faz parte da estrutura, em outras palavras, quanto mais fina for a “malha” circundando o objeto estudado maior será a precisão do cálculo. O grande problema encontrado é que quanto maior for a malha, maior será a quantidade de processamento necessária para que sejam executadas, pois as variáveis aumentam exponencialmente. Pode ser visto que ao mesmo tempo que a precisão do cálculo aumenta, a capacidade de processamento necessária também aumenta, ambos exponencialmente, conforme visto na Figura 03

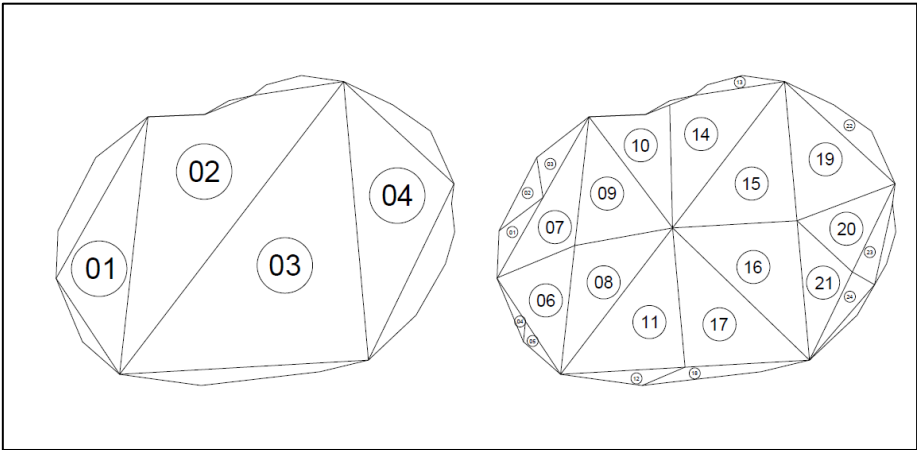


Figura 03 – Exemplo da discretização de uma área (Fonte: Autoria própria).

O Método dos Elementos Finitos transfere a determinação de seu comportamento para um sistema de equações de equilíbrio, na qual com a definição de um sistema estrutural é possível determinar a matriz de rigidez elementar, podendo relacionar também seus respectivos graus de liberdade incidentes em seus respectivos nós. Com o conjunto de diversas matrizes elementares é constituída uma matriz de rigidez global. É importante citarmos que a geometria da seção transversal, o material utilizado e o sistema de forças constituem as matrizes

elementares, que por sua vez constituem a matriz global, na qual os resultados obtidos serão os estados de tensão e deslocamento nas quais o sistema está sujeito.

Com o avanço da tecnologia na década de 80 e 90 e a fabricação de computadores com maior capacidade de processamento, foi possível utilizar tais ferramentas para o auxílio no dimensionamento de projetos estrutural. As variáveis analisadas durante a resolução de problemas de análise estruturais podem ser caracterizadas como, condições de equilíbrio, sistemas de forças, deslocamentos, forças críticas e tensões de bifurcações.

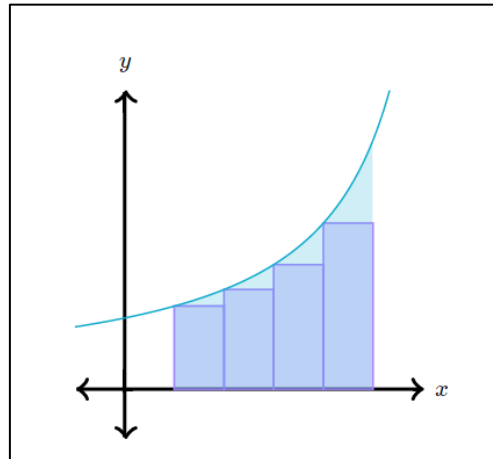


Figura 04 – Soma das áreas de Riemann (Fonte: <https://pt.khanacademy.org/math/ap-calculus-ab/ab-integration-new/ab-6-2/a/riemann-sums-review>).

Muitas ferramentas computacionais utilizam o Método dos Elementos Finitos, por conta de sua precisão e a redução do tempo de processamento para a realização de análises. Sendo utilizado não apenas para usos acadêmicos, mas também por profissionais da área, sua versatilidade permite a realização de vários tipos de análises, podendo ser utilizadas em vários campos de estudos, podendo até mesmo considerar comportamentos fisicamente e geometricamente não lineares.

Podemos fazer uma analogia entre o método dos elementos finitos e a soma de Riemann, porque ambas têm o mesmo princípio se tratando da obtenção de resultados mais precisos, quanto mais polígonos forem utilizados para o cálculo da área, no caso de Riemann e no Método dos Elementos Finitos, maior será a precisão de cálculo. No caso do método dos elementos finitos, quanto mais discretizada for a estrutura, maior será a precisão dos resultados.

O caso relacionado trata-se de uma patologia apontada em um muro de arrimo, localizada em uma residência de um município do Estado de São Paulo, no qual houve um deslocamento no alinhamento do muro sobre a fundação, após o preenchimento de terra no vão localizado no terreno adjacente ao muro. Infelizmente tal patologia é muito comum de acontecer, porque profissionais da área sem o devido conhecimento não levam em conta as forças horizontais que atuam na estrutura, apenas as forças verticais, acabam assim dimensionando o lado de maior inércia no sentido transposto, conforme disposto na Figura 05.

É quase impossível o não aparecimento de patologias nas construções, pois existem vários fatores que interferem e colaboram para o mesmo, tais patologias podem ser minúsculas ou até invisíveis ao olho nu, porém quando as manifestações patológicas interferem no funcionamento da estrutura, deverá ser analisada detalhadamente (BOTELHO; MARCHETTI, 2018).

O que pode ser visto logo de início é o método construtivo de pilares e vigas com alvenaria de vedação, não indicado para muros maiores que 2,00 metros, pois o mesmo

apresenta pequeno poder de sustentação, para muros de 4,00 a 6,00 metros é indicado o método construtivo conhecido como Muro Atirantado, conforme representado na Figura 06

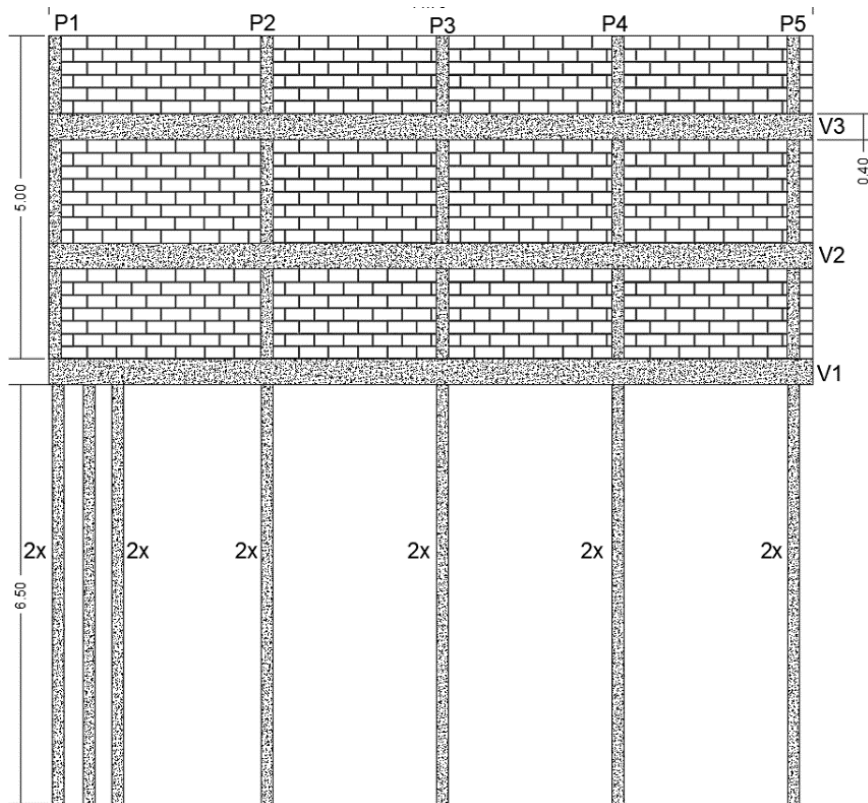


Figura 05 – Desenho representativo do muro de arrimo (Fonte: Autoria própria).

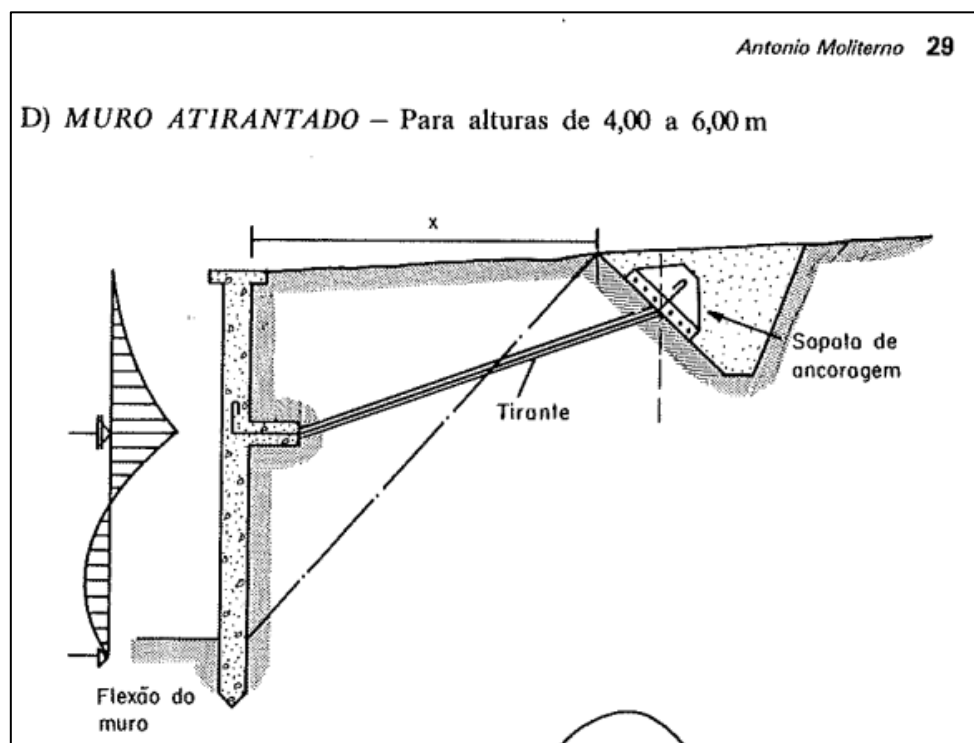


Figura 06 - Muro Atirantado Fonte: MOLITERNO (1994, pg. 29)

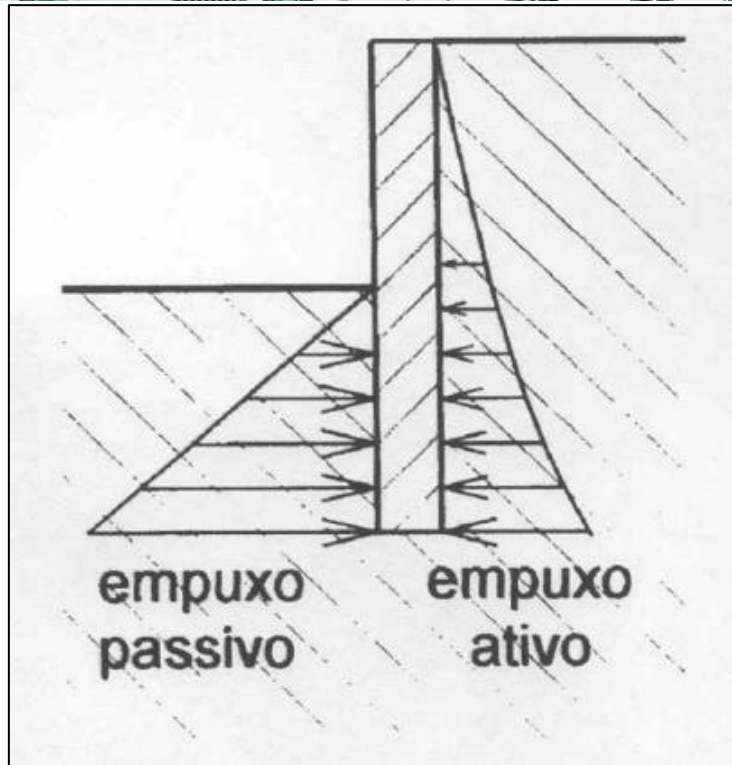


Figura 07 – Classificação dos empuxos (Fonte: LOBO; FERREIRA; RENOFIO, 2003)

Conforme abordado anteriormente, foi realizado um aterro no muro já edificado, resultando assim em um deslocamento da linha do eixo, conforme representado pela Figura 08, neste caso a patologia se formou em um muro de arrimo com cerca de 5,00 metros de altura, no qual foi projetado com a intenção de suportar a carga de empuxo da terra.



Figura 08 – Demonstração da deformação em relação ao eixo (Fonte: Próprio Autor)

Foi realizado uma pesquisa teórica a respeito das manifestações visualizadas, somando com livros que abordaram os erros de execução comuns nos canteiros de obras, no qual um dos pontos analisados foi a carga de empuxo sobre o muro, que acabou não suportando ocasionando um deslocamento de aproximadamente 7,00 centímetros no alinhamento do muro sobre a fundação.

Foram levantadas as medidas que correspondem às necessidades para suportar as cargas expostas, atribuindo um quantitativo médio comum para os valores característicos do solo, e com a ajuda do orientador foram montados alguns modelos estruturais do muro analisado.

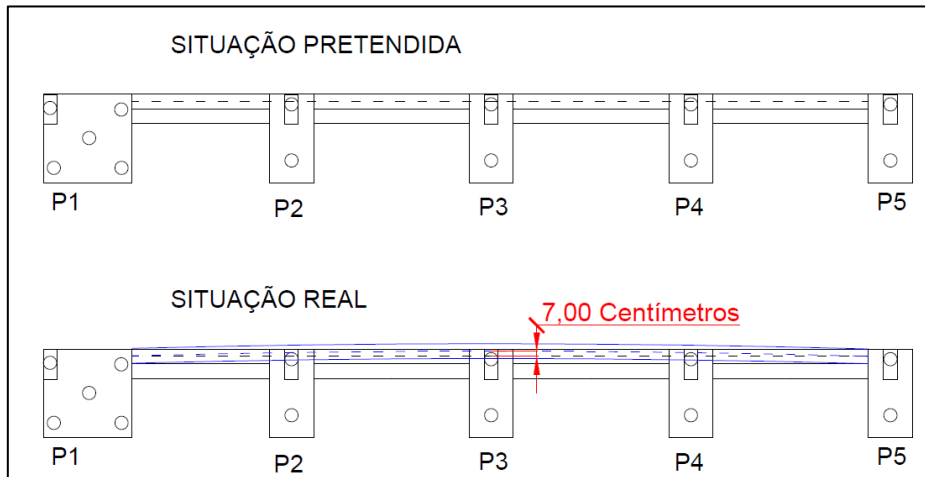


Figura 09 – Representação da deformação (Fonte: Próprio Autor)

O que pode ser observado na Figura 10 é que o muro não apresentava um sistema de drenagem de águas pluviais correta, fazendo com que o muro sofresse um excesso que não poderia não ter sido levado em conta no cálculo do projetista. Tal medida é grave porque o empuxo que a água gera para o muro, em muitos casos, pode ser muito semelhante ao empuxo que o muro da terra ou muitas vezes maior, somando assim uma carga maior que a prevista anteriormente.



Figura 10 – Muro sem o aterro (Fonte: Próprio Autor)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas algumas simulações utilizando o software Ftool, prevendo qual seria o comportamento do muro em quatro situações, sendo elas: O empuxo a 1/3 da base, o empuxo entre 1/3 e 2/3 da base, e o empuxo no topo do muro.

Como visto no caso real o muro sofreu uma deformação de cerca de 7,00 cm da linha do eixo, onde houve a falta de drenagem específica e a falha no projeto estrutural, o muro tem 5 metros de altura e o primeiro passo foi determinar as cargas e deformações a 1/3 dessa altura, no qual não apresenta sobrecarga de água sendo a situação ideal deste método construtivo, os cálculos foram desenvolvidos através dos softwares Ftool, Smath Solver e Autocad.

Para a realização dos cálculos foram utilizadas informações como:

Y_t = Peso específico do solo

Φ = Ângulo do talude natural

K = Coeficiente de Empuxo

P = Tensão máxima

H = Altura do muro

E = Valor do Empuxo

Primeira Situação – Empuxo a 1/3 da base

$Y_{t1} := 1,7 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$
 $Y_t := Y_{t1} = 16,6713 \cdot \frac{1}{3} \text{ kN}$
 $\Phi := 30$
 $K := \left(\tan \left(\left(45 - \frac{\Phi}{2} \right)^\circ \right) \right)^2 = 0,3333$
 $h := 5 \text{ m}$
 $E := K \cdot Y_t \cdot \frac{h^2}{2} = 69,4638 \cdot \frac{1}{\text{m}} \text{ kN}$

$P := K \cdot Y_t \cdot h = 27,7855 \cdot \frac{1}{2} \text{ kN}$

Figura 11 – Determinação do empuxo a 1/3 da base do muro (Fonte: Próprio Autor)

Argilas	Peso específico aparente do solo $\gamma_t \dots \text{tf/m}^3$
Turfa	0,5 – 0,8
Muito mole	1,3
Mole	1,5
Média	1,7
Rija	1,9
Dura	2,1
Silte	1,5 – 1,8
Argila arenosa	1,7

Figura 12 – Tabela características do solo (Fonte: MOLITERNO (1994, pg: 187))

Vale ressaltar que o exemplo foi referenciado como sendo empuxo ativo, onde aparece em situações onde a estrutura de contenção é gradualmente empurrada por um maciço sólido, diminuindo a tensão horizontal efetiva e causando rupturas no solo.

Foi utilizado o livro de muros de arrimo do Antônio Moliterno como base para a determinação dos empuxos apresentados pelo solo, onde foi determinado o tipo de solo que o terreno apresentava, o ângulo de talude natural e o seu respectivo peso específico aparente em tf/m^3 . Cabe salientar que o próprio programa Smath Solver realiza as conversões das unidades de medida automaticamente, quando necessário.

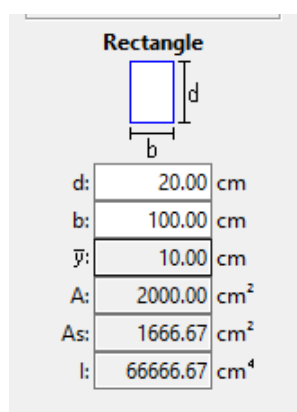


Figura 13 – Momento de Inércia do muro (Fonte: Próprio Autor)

No software FTOOL foi demonstrado o valor da carga e realizado uma simulação que apresenta a deformação e o momento fletor resultante no muro a 1/3 da base, a primeira

metodologia não foi levado em conta a presença da água. A carga de empuxo encontrado foi de 69,4638 kN/m.

O que pode ser observado com esse levantamento de dados, é que a deformação esperada para essa situação, sendo considerada a mais favorável, era de 2,54 centímetros, menor que situação real de 7,00 centímetros que foi a deformação resultante do muro. Podemos com essas informações saber que mesmo o muro apresentando uma deformação grande, por falta de conhecimentos prévios dos profissionais, não deveria ter uma deformação duas ou três vezes maior. Então mesmo que a estrutura tivesse sido realizada da melhor maneira possível, sem apresentar falhas durante a fase de execução, ainda sim apresentaria uma patologia, não tão discrepante como a patologia que apareceu durante a fase de aterro, porém ainda sim poderia ser considerada uma patologia. Podemos perceber que o muro não foi dimensionado corretamente, seguindo os padrões apresentados no livro de Antônio Moliterno.

Argilas	Peso específico aparente do solo $\gamma_t \dots \text{tf/m}^3$	Coesão tf/m^2 Kogler*	Ângulo de talude natural φ°	Resistência a compressão σ_c^{**}
Turfa	0,5 – 0,8	–	10°-18°	–
Muito mole	1,3	–	20°-30°	< 2,5
Mole	1,5	0,5	20°-30°	2,5-5
Média	1,7	5 a 10	20°-30°	5-10
Rija	1,9	{ argilas antigas duras = 10	20°-30°	10-20
Dura	2,1		20°-30°	40-50
Silte	1,5 – 1,8	1 a 3	30°-35°	–
Argila arenosa	1,7	2 a 5	26°-30°	–

Figura 14 – Tabela Ângulo de talude natural (Fonte: MOLITERNO (1994, pg: 187))

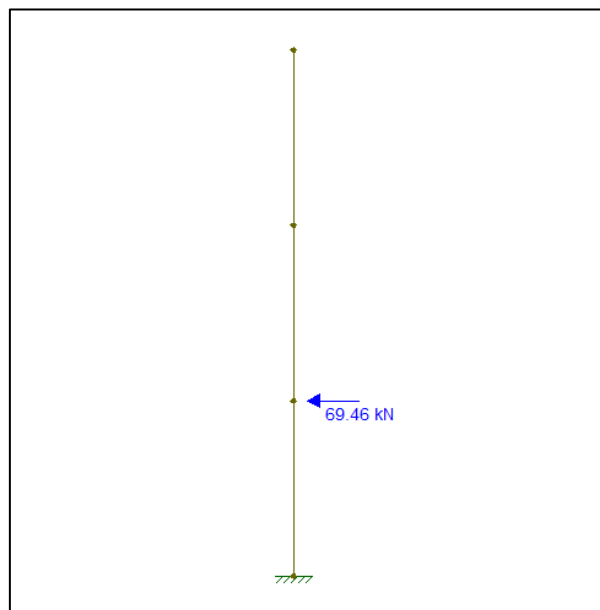


Figura 14 – Empuxo localizado a 1/3 da base (Fonte: Próprio Autor)

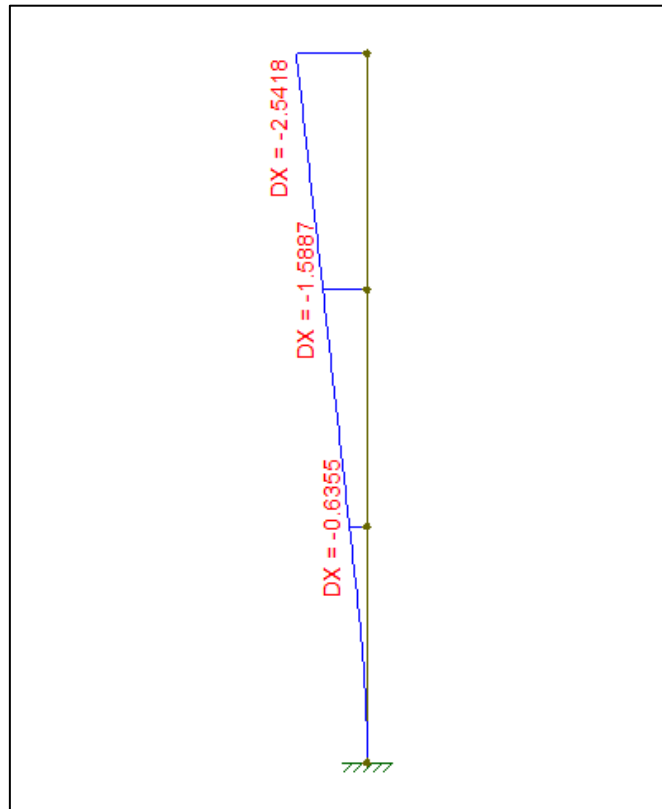


Figura 15 – Deformação 1/3 da base (Fonte: Próprio Autor)

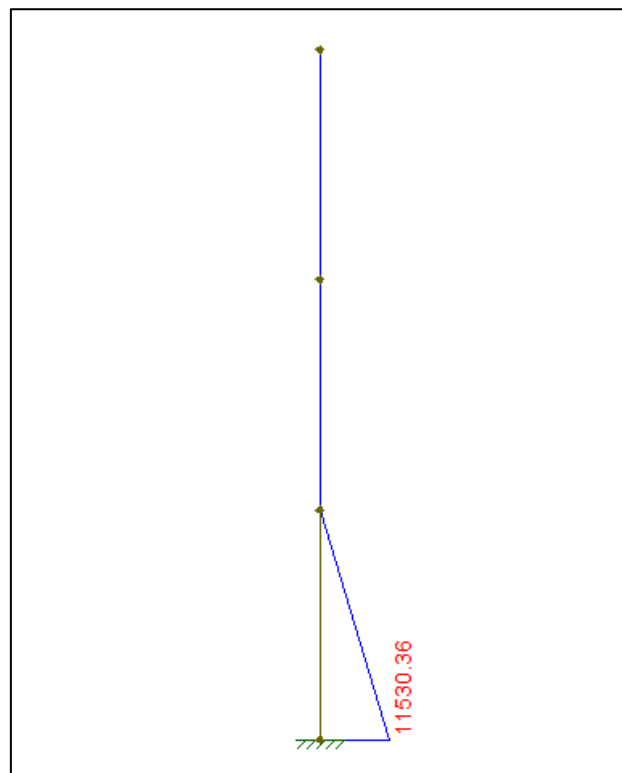


Figura 16 – Momento Fletor 1/3 da base (Fonte: Próprio Autor)

Segunda Situação – Empuxo a 2,14 metros da base

2 Situação - Empuxo a 2,14m da base

$$Yt1 := 1,7 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}^3}$$

$$Yt := Yt1 = 16,6713 \cdot \frac{1}{3} \text{ kN}$$

$$q := 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Ho := \frac{q}{Yt} = 0,15 \text{ m}$$

$$h := 5 \text{ m}$$

$$Yágua := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\phi := 30$$

$$K := \left(\tan \left(\left(45 - \frac{\phi}{2} \right)^\circ \right) \right)^2 = 0,3333$$

$$H := h + Ho = 5,15 \text{ m}$$

$$Eterra := \frac{K \cdot Yt \cdot (H^2 - Ho^2)}{2} = 73,6304 \cdot \frac{1}{\text{m}} \text{ kN}$$

Figura 17 – Determinação do empuxo a 2,14 metros da base (Fonte: Próprio Autor)

Em seu livro, Antonio Moliterno comenta que quando o muro de arrimo não contém um sistema de drenagem e não é executado o aterro de forma correta, há um aumento no Centro de Gravidade da linha do Empuxo, aumentando assim o Momento Fletor, Força Cortante e conclusivamente o deslocamento. Neste passo seguindo a mesma linha de raciocínio do primeiro, foi calculado os valores sobre no baricentro da aplicação, chegando a um resultado de 2,14 metros, já utilizando a sobrecarga da água, que somando com o empuxo atingiu cargas elevadas, levando assim a uma possível falha no projeto da estrutura do muro.

$$Eterra := \frac{K \cdot Yt \cdot (H^2 - Ho^2)}{2} = 73,6304 \cdot \frac{1}{\text{m}} \text{ kN}$$

$$Eágua := 1 \cdot Yágua \cdot \frac{h^2}{2} = 125 \cdot \frac{1}{\text{m}} \text{ kN}$$

$$Etotal := Eterra + Eágua = 198,6304 \cdot \frac{1}{\text{m}} \text{ kN}$$

Figura 18 – Somatória do empuxo da terra e sobrecarga da água a 2,14 metros da base (Fonte: Próprio Autor)

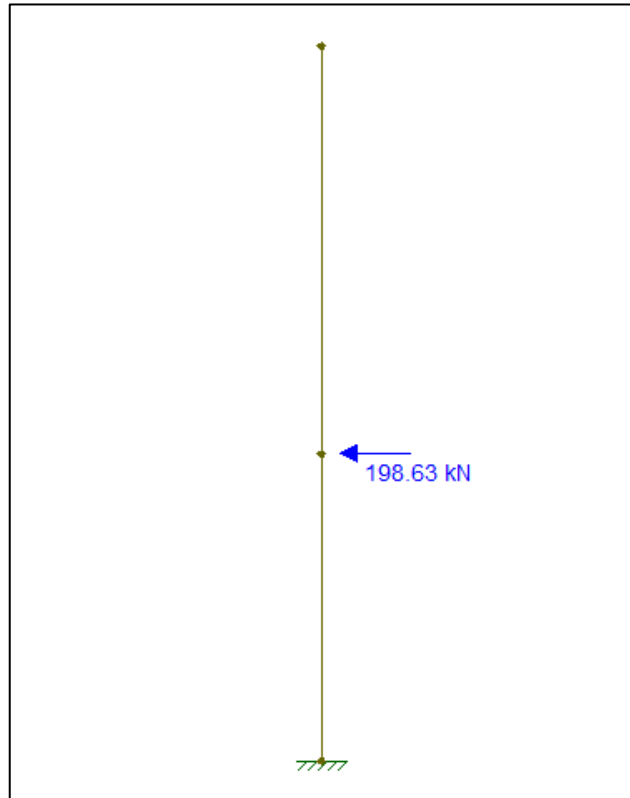


Figura 19 – Empuxo localizado a 2,14 metros da base (Fonte: Próprio Autor)

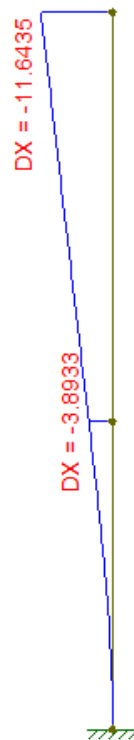


Figura 20 – Representação do valor da deformação (Fonte: Próprio Autor)

Considerando a metodologia de cálculo teórico previamente mencionada, pode-se observar um deslocamento de 11,64 centímetros da linha do eixo, valor bem próximo da deformação real ocasionada no muro de arrimo estudado.

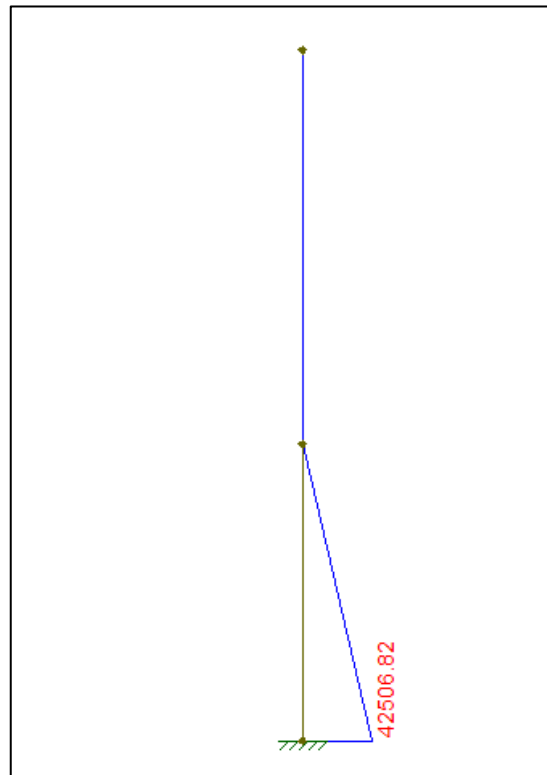


Figura 21 – Representação momento fletor (Fonte: Próprio Autor)

Terceira Situação – Empuxo no topo do muro

Nessa etapa do estudo, os cálculos foram desenvolvidos através dos valores encontrados no segundo passo, no qual foi calculado a carga do empuxo e o deslocamento no topo do muro. Os valores encontrados são iguais, pois ambos apresentam a somatória da sobrecarga

$$E_{terra} := \frac{K \cdot Y_t \cdot (H^2 - H_o^2)}{2} = 73,6304 \cdot \frac{1}{m} \text{ kN}$$

$$E_{água} := 1 \cdot Y_{água} \cdot \frac{h^2}{2} = 125 \cdot \frac{1}{m} \text{ kN}$$

$$E_{total} := E_{terra} + E_{água} = 198,6304 \cdot \frac{1}{m} \text{ kN}$$

Figura 22 – Somatória do empuxo da terra e sobrecarga da água no topo do muro (Fonte: Próprio Autor)

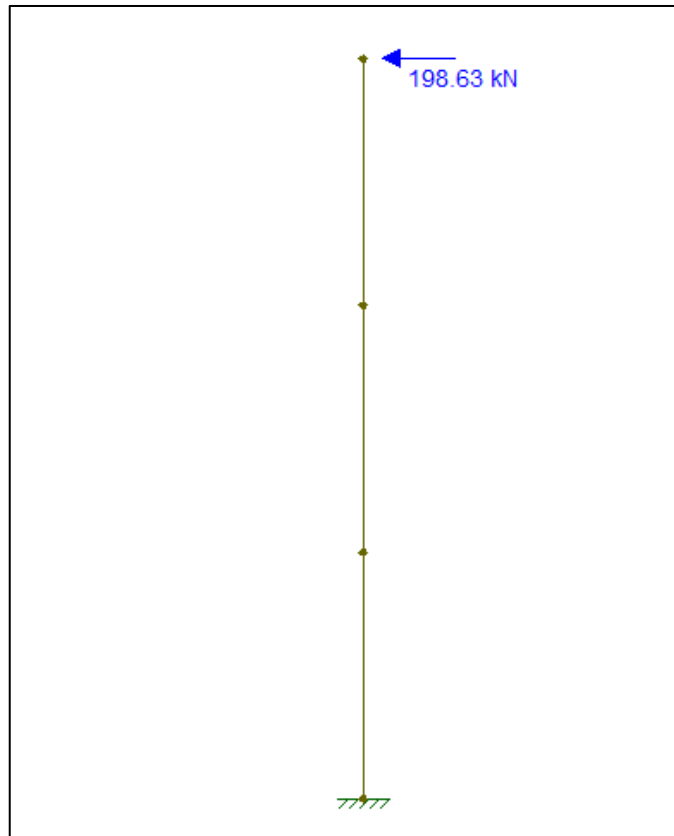


Figura 23 – Empuxo localizado no topo do muro (Fonte: Próprio Autor)

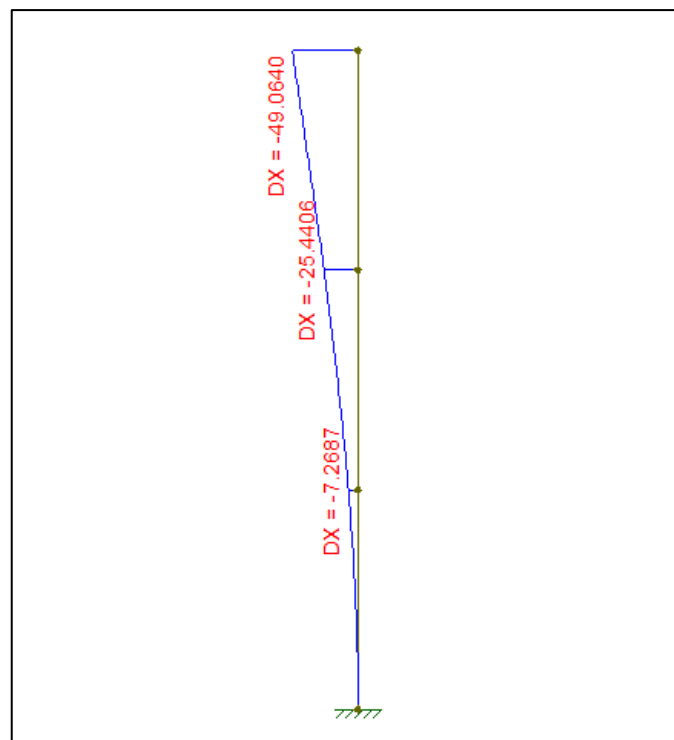


Figura 24 – Representação da deformação sobre o muro em seu topo (Fonte: Próprio Autor)

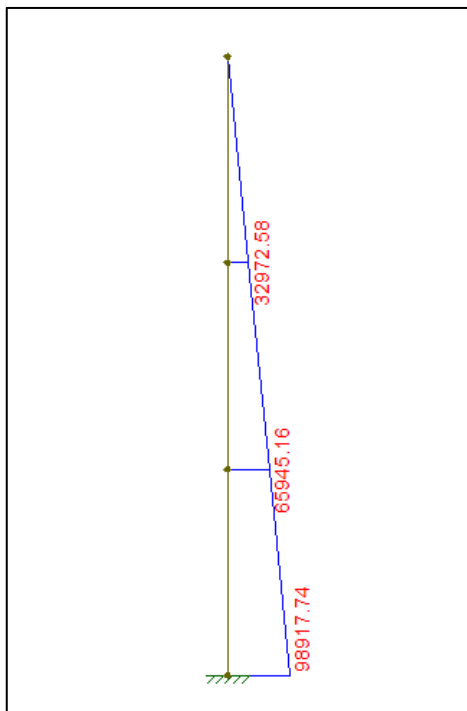


Figura 25 – Representação momento fletor no topo do muro (Fonte: Próprio Autor)

CONCLUSÃO

Com base nos dados encontrados e nos modelos utilizados, podemos determinar que não foi apenas um ponto específico que causou o deslocamento de 7,00 centímetros da estrutura, mas sim uma somatória de falhas, sendo as principais: a metodologia que foi utilizada não é recomendada para muros maiores que 4,00 metros de altura, a inexistência do sistema de drenagem de águas pluviais, falha na execução do aterro e o dimensionamento estrutural insuficiente.

A metodologia que deveria ter sido utilizada é a de concreto armado com tirantes, conforme demonstrado na Figura 06, podemos ver que o proprietário decidiu implementar esses tirantes depois da formação da patologia, que ocasionou a interrupção do desenvolvimento da patologia. Tal metodologia é recomendada pois o tirante alivia a força do empuxo, gerando assim uma força vetorial contrária, superior ou igual, a força gerada pelo maciço de terra no ponto aplicado.

O dimensionamento estrutural pode ser considerado como insuficiente pois é comum que as vigas e os pilares sejam dimensionados a responder os esforços vindo perpendicularmente à face de maior inércia, porque o lado de maior inércia proporciona a maior resistência a flexo-compressão. O muro projetado foi dimensionado com a altura de 40 centímetros e a base de 20 centímetros, segundo o conhecimento prévio ensinado no curso de Engenharia Civil, sabemos que o lado com a maior dimensão detém maior momento de inércia, então podemos concluir que a maneira que o muro foi projetado tinha a intenção de resistir a cargas advindas da vertical, é comum que cargas de lajes e telhados venham da vertical, e tal método de dimensionamento de vigas é o mais utilizado nas edificações, pois se esperam as cargas das lajes e dos telhados. Porém o empuxo não é uma carga vertical, mas sim uma carga horizontal, então o lado de maior inércia deveria ter sido o lado perpendicular à força do empuxo, e a maneira que foi dimensionado esse muro demonstrou que o profissional não tinha este conhecimento prévio.

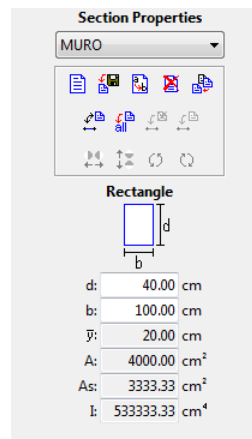


Figura 26 – Momento de Inércia do muro transposto (Fonte: Próprio Autor)

Foi realizada uma Quarta simulação, utilizando os parâmetros de cálculo da Segunda e Terceira Situação e aplicando a força numa altura de 2,14 da base, seguindo o levantamento teórico previamente pesquisado, no qual haveria a força de empuxo proveniente da água e do sobrepeso na estrutura, porém a viga analisada foi transposta, inverteu-se o valor das dimensões da viga, como se ela tivesse sido feita com 20,00 centímetros de altura e 40,00 centímetros de base, e foram encontrados um Momento Fletor e os deslocamentos da estrutura analisada, que estão representados nas figuras 24,25 e 26.

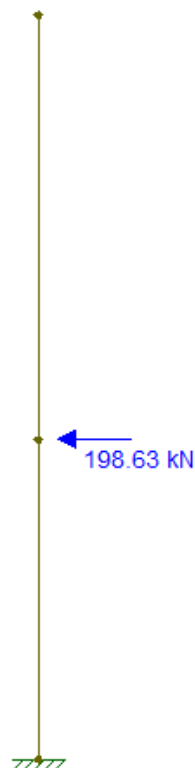


Figura 27 – Empuxo localizado a 2,14 metros da base (Fonte: Próprio Autor)



Figura 28 – Representação momento fletor do muro transposto (Fonte: Próprio Autor)



Figura 29 – Representação da deformação do muro transposto (Fonte: Próprio Autor)

Podemos perceber que mesmo o muro sendo condicionado a tensões elevadas, apresentando falhas durante a fase de execução, não dispo de sistema de drenagem de águas pluviais e também não executando a fase de aterro corretamente, se o profissional responsável tivesse dimensionado o muro nestas condições, apenas transpondo a viga, utilizando a mesma quantidade de concreto armado e armadura, haveria um deslocamento de apenas 1,45 centímetros, que é muitas vezes menor que a situação real.

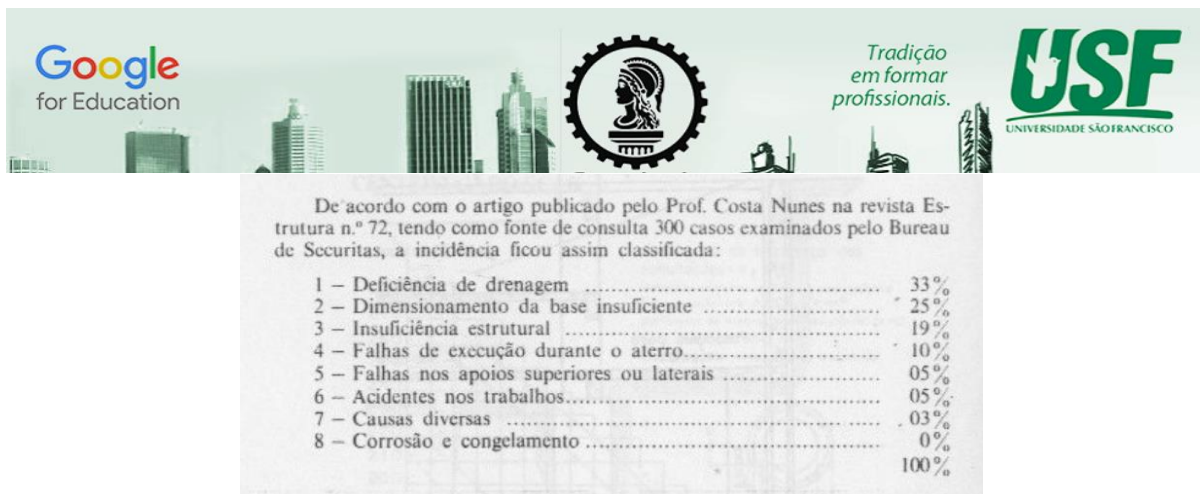


Figura 30 – Casos mais comuns de aparecimento de patologias em muros de arrimo (Fonte: MOLITERNO; 1994, pg: 189)

Conforme apresentado na Figura 26, em 1994 houve uma pesquisa dos principais motivos de ruptura dos muros de arrimo, e o muro analisado contempla quase os quatro pontos, demonstrando que não houve o conhecimento técnico necessário para o mesmo, mostrando assim a importância de um profissional devidamente qualificado.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, A. F. M.- **Método dos Elementos Finitos**. 1.ed. Porto, 2003. P. 248
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado em tempo: edição revista segundo a norma de concreto armado NBR 6118/2014**. 9.ed.rev. São Paulo: Blucher, 2018. v. 1, p. 536
- ELLINGWOOD, B.; SMILOWITZ, R.; DUSENBERRY, D.; DUTHINH, D.; LEW, H.; CARINO, N; **Best Practices for Reducing the Potential for Progressive Collapse in Buildings**, NIST Interagency/Internal Report (NISTIR), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2007
- KIRSTEN, André E. 3 possíveis consequências da falta de compatibilização em projetos, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://maisengenharia.altoqi.com.br/estrutural/consequencias-falta-compatibilizacao-em-projetos>. Acesso em: 12 de out. de 2022.
- LOBO, Ademar da S.; FERREIRA, Cláudio V.; RENOFIO, Adilson. **Muros de arrimo em solos colapsíveis provenientes do arenito Bauru: problemas executivos e influência em edificações vizinhas em áreas urbanas**. Artigo - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, São Paulo, 2003.
- MARTHA, Luiz Fernando. **Análise Matricial de Estruturas com Orientação a Objetos**. 1. ed. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2018. 352 p.
- MOLITERNO, Antônio. **Caderno de Muros de Arrimo**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1994, p. 208
- NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**, Porto Alegre: Grupo A, 2016. 9788582603666.
- REVISÃO sobre as somas de Riemann. **Khan Academy**, Disponível em: <https://pt.khanacademy.org/math/ap-calculus-ab/ab-integration-new/ab-6-2/a/riemann-sums-review>. Acesso em : 12 de out. de 2022
- SILVA, I. T. S. **Identificação dos fatores que provocam eflorescência nas construções em Angicos/RN**. 2011. Monografia. Universidade Federal Rural do Semiárido, Angicos.
- SENA, Caroline S.; SANTOS, Dione D; ALMEIDA, Patrícia; et al. **Gestão de Obras e Patologia das Estruturas**, Porto Alegre: Grupo A, 2021
- WEIMER, Bianca F. THOMAS, Maurício; DRESCH, Fernanda. **Patologia das estruturas**. Av. Jerônimo de Ornelas, 670 - 6º andar - Santana, Porto Alegre - RS, 90040-340: Grupo A, 2018.