

**ANÁLISE DOS RECALQUES DIFERENCIAIS  
EM UM RESERVATÓRIO DE ÁGUA ELEVADO LOCALIZADO NO CEASA-PE**

**DIFFERENTIAL SETTLEMENT ANALYSIS  
OF AN ELEVATED WATER STORAGE TANK LOCATED AT CEASA-PE**

Ricardo Augusto Filho<sup>1</sup>  
André Vinícius Azevedo Borgatto<sup>2</sup>  
Jordlly Reidson de Barros Silva<sup>3</sup>

**RESUMO**

Após inspeções em um reservatório elevado localizado no Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco (CEASA-PE), foram detectadas patologias estruturais oriundas de recalques diferenciais, verificados por meio de métodos topográficos. As etapas para a recuperação estrutural da supraestrutura já se encontravam em andamento, necessitando assim de uma solução para a estabilização dos recalques, a fim de impedir novas patologias ou o colapso da construção. Esse trabalho apresenta um estudo de caso do problema citado, discutindo as causas, efeitos e possíveis soluções, com o foco principal na análise de previsões de recalques e recalques reais, tendo em vista fatores, econômicos, estruturais e de usabilidade. Primeiramente foi executada uma análise estrutural de primeira ordem a fim de estimar a carga que cada pilar está transmitindo a fundação, sendo separada entre análise preliminar e através de software estrutural. Com a ciência das cargas atuantes, juntamente de dados geológicos do terreno, foram efetuados cálculos para a determinação da capacidade de carga geotécnica na região das fundações utilizando métodos semiempíricos, e posterior a isso, análise de previsões recalques utilizando parâmetros obtidos através de retroanálise, para poder comparar os resultados com magnitudes de recalques reais medidos por meio de métodos topográficos. O presente trabalho tem como objetivo, o entendimento da metodologia utilizada para a análise de recalques em reservatórios elevados, servindo desse modo como material de estudo para auxílio na resolução de problemas semelhantes.

**Palavras-chave:** estabilização; recalque diferencial; fundação; reservatório;

---

<sup>1</sup> Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, 2022.

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Civil - Geotecnia Ambiental, realizado em regime sanduíche entre o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE/UFRJ e a universidade Alemã Technische Universität Braunschweig, 2010.

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Civil, com ênfase em Estruturas, pela Universidade Federal de Pernambuco, 2022.

## ABSTRACT

After inspections on a raised reservoir located in the Central Supply and Logistics of Pernambuco (CEASA-PE), structural pathologies were detected due to differential settlements, verified by topographic methods. The steps for the structural recovery of the superstructure were already in progress, requiring a solution for the stabilization of the settlements in order to prevent new pathologies or the collapse of the construction. This paper presents a case study of the problem cited, discussing the causes, effects and possible solutions, with the main focus on the analysis of settlement predictions and actual settlements, taking into account factors, economic, structural and usability. First a structural analysis of the first order was performed in order to estimate the load that each column is transmitting to the foundation, being separated between preliminary and through structural software. Knowing the acting loads, along with geological data from the terrain, calculations were made to determine the geotechnical load capacity in the foundation region using semi-empirical methods, and after that, analysis of settlement predictions using parameters obtained through back analysis, in order to compare the results to real settlement magnitudes measured by topographical methods. The present work has as its objective, the understanding about the methodology used at the analysis of settlements in elevated reservoirs, serving as study material to help the resolution of similar problems.

**Keywords:** stabilization; differential settlement; foundation; reservoir;

## INTRODUÇÃO

Recalques em fundações são mais comuns do que muitos imaginam, diferente dos recalques uniformes (ou absolutos) onde todos elementos das fundações recalcam em magnitudes similares, os recalques diferenciais ocorrem quando tais elementos rebaixam em diferentes magnitudes, e são esses os recalques historicamente causadores de problemas, onde temos um dos exemplos mais famosos do mundo encontrado na Itália, a Torre de Pisa, apresentada na Figura 1.

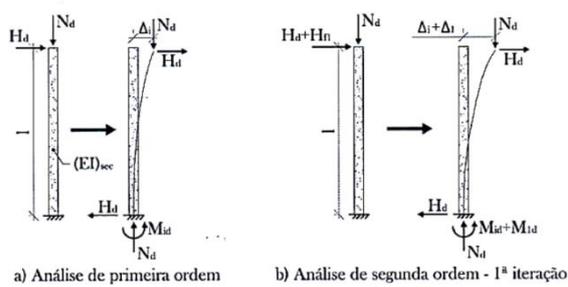
Figura 1: Torre de Pisa, na Itália.



Fonte: Rotas de Viagem, 2022.

Segundo Gusmão (2006)<sup>1</sup>, os recalques em fundações podem causar três tipos de danos a estrutura, sendo eles: danos estéticos, aqueles que não afetam o uso ou a estabilidade da obra; danos funcionais, geradores de dificuldades na utilização da edificação; danos estruturais, aqueles que afetam diretamente a estrutura e esses podem até levar a construção a ruína. Os danos na estrutura podem ser causados por efeitos de segunda ordem, onde ocorre uma reconfiguração das ações atuantes na estrutura por conta da inclinação. Ainda a respeito dos efeitos de 2ª ordem, é apresentado por Cavalcante (2019)<sup>2</sup> que ao incrementar deslocamentos no topo de uma estrutura, é gerado um acréscimo na magnitude dos momentos atuantes nas fundações, assim como ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Efeitos de Segunda Ordem.

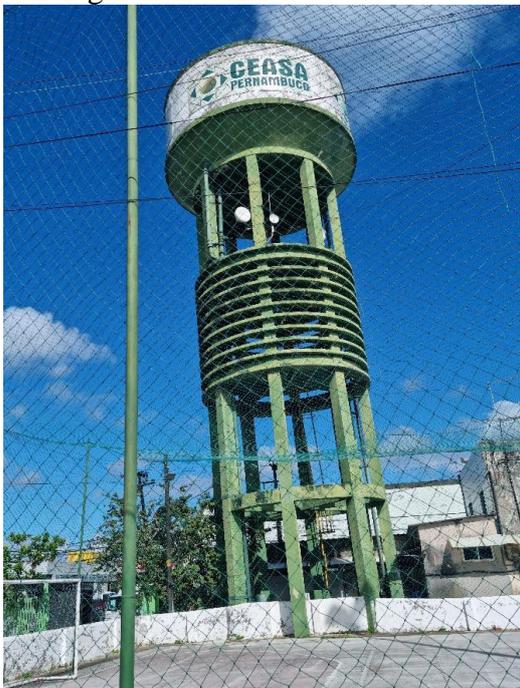


Fonte: Cavalcante, 2019.

Além do acréscimo de esforços de momentos na fundação, os recalques diferenciais também podem gerar adições de cargas nos pilares vizinhos aos que estão recalando em maior magnitude, segundo o estudo sobre redistribuição de esforços em um reservatório de água devido a recalques nas fundações, desenvolvido por Cavaleiro (2021)<sup>3</sup>.

O presente trabalho é um estudo de caso que tem como foco a análise de recalques diferenciais e consequentes patologias encontradas no reservatório elevado do CEASA-PE (Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco) exposto na figura Figura 3.

Figura 3: Reservatório elevado.



Fonte: O Autor, 2022.

Para obter os resultados de previsões de recalques faz-se necessário a obtenção dos parâmetros geotécnicos relacionados à capacidade de carga do solo. Estes parâmetros podem ser obtidos através da aplicação de fórmulas semiempíricas, assim como indicado por Albuquerque (2021)<sup>4</sup>.

Em vista da vasta bibliografia geotécnica, existem diversas metodologias consagradas para a realização da estimativa de recalques em fundações profundas, subdivididas principalmente entre estacas isoladas e grupos de estacas por Danziger (2021)<sup>5</sup>.

Para ocorrer a validação das previsões de recalques, faz-se imprescindível a realização do monitoramento de recalques através de métodos topográficos, para assim definir a magnitude das distorções angulares presentes entre os elementos de fundação e com isso analisar os resultados paralelamente as indicações de estados limites de serviço da Norma Brasileira ABNT NBR 6122 (2019)<sup>6</sup>.

## METODOLOGIA

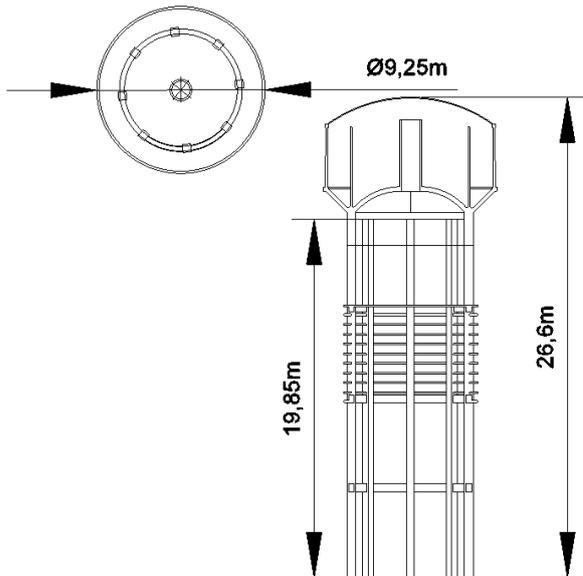
O presente artigo tem em vista prosseguir com metodologia determinada pela seguinte ordem: coleta de dados, análise estrutural, análise geotécnica, previsões de recalques através da retroanálise, monitoramento de recalques reais e por fim, classificação de risco da estrutura juntamente a indicação de possíveis ações necessárias.

### Documentação Técnica

Ao pesquisar informações sobre o reservatório elevado em questão, foi identificado que a construção é datada da década de 60, ou seja, possui mais de 60 anos. Diante deste cenário, poucas informações técnicas acerca desta estrutura são existentes. Dos poucos registros obtidos é sabido apenas que no sistema de fundação foram utilizadas estacas do tipo Franki, que são moldadas in loco e se

caracterizam por sua base alargada, contudo, nenhum dado geométrico foi encontrado. Além disso, foi obtido o modelo arquitetônico do reservatório (Figura 4).

Figura 4 – Modelo arquitetônico da construção.



Fonte: Adaptado pelo Autor, 2022.

### Informações de Campo

Durante realização de vistorias técnicas no reservatório elevado, foram identificados alguns sinais que indicavam a presença de recalques diferenciais, como a existência de anteriores reforços na fundação destacados na Figura 5 e elevação de muro ao lado de pilar, indicado na Figura 6.

Figura 5: Blocos de coroamento extras.



Fonte: O Autor, 2022.

Figura 6: Pilar elevado.



Fonte: O Autor, 2022.

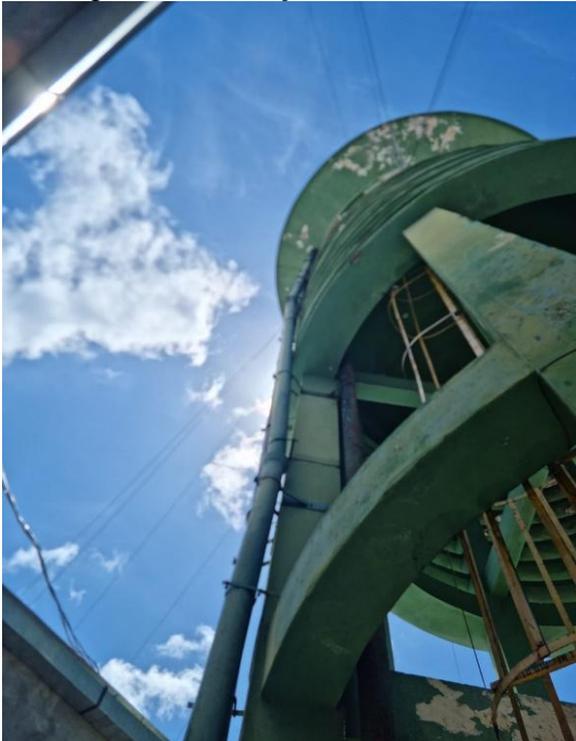
Além desses indicativos, foram encontradas distorções nas tubulações, estando essas já interditadas por conta das curvaturas (Figuras 7 e 8).

Figura 7: Tubulação deformada a)



Fonte: O Autor, 2022.

Figura 8: Tubulação deformada b)



Fonte: O Autor, 2022.

Durante a vistoria, também foi possível identificar algumas das possíveis causas que contribuíram para o surgimento de recalques no reservatório, como a presença de obras vizinhas, fossas e caixas

de gordura construídas ao lado das fundações.

### Análise estrutural

A análise estrutural é um procedimento necessário para a determinação dos esforços atuantes na fundação.

### Análise preliminar

Para ter uma ideia inicial das cargas atuantes nas fundações, essa primeira análise foi executada de maneira empírica, desenhando todas as partes sólidas do reservatório separadamente com o uso do software AutoCad (versão estudante) conforme exposto nas Figuras 9a e 9b.

Figura 9ª e 9b : Partes sólidas do reservatório.



Fonte: O Autor, 2022.

Logo após a criação dos sólidos 3D, foi calculado o volume de cada parte constituinte do reservatório e multiplicado por seus respectivos pesos específicos, lembrando de somar essas cargas ao volume de água que também iria gerar ações na fundação, onde por fim serão divididas as cargas atuantes para todos os pilares. Na Tabela 1 encontram-se memorial de cálculo com os esforços totais que estão sendo aplicados na fundação, ainda sem majoração de carga.

Tabela 1: Cálculo da carga total da estrutura

CÁLCULO DOS ESFORÇOS QUE SÃO DISTRIBUÍDOS ENTRE OS PILARES						
Geometria	Material	Volume	$\gamma$ (gama)	Esforços por Unidade	Esforços do Grupo	
					Quantidade	Uni
Pilar	Concreto	6,5	25	162,5	8	1300
Viga Circular Fina	Concreto	0,58	25	14,5	11	159,5
Viga Circular Robusta	Concreto	2,56	25	64	4	256
Viga Cruzada	Concreto	0,72	25	18	8	144
Laje Intermediária	Concreto	4,24	25	106	1	106
Laje curva externa	Concreto	2,5	25	62,5	1	62,5
Parede Interna	Concreto	9,06	25	226,5	1	226,5
Parede Externa	Concreto	12,56	25	314	1	314
Tubo Interno	Concreto	1,39	25	34,75	1	34,75
Laje Curva Interna	Concreto	6,61	25	165,25	1	165,25
Laje de Tampa	Concreto	3,55	25	88,75	1	88,75
Fluido	Água	250	10	2500	1	2500
ESFORÇOS TOTAIS QUE SÃO DIVIDIDOS ENTRE OS PILARES:						5357,25

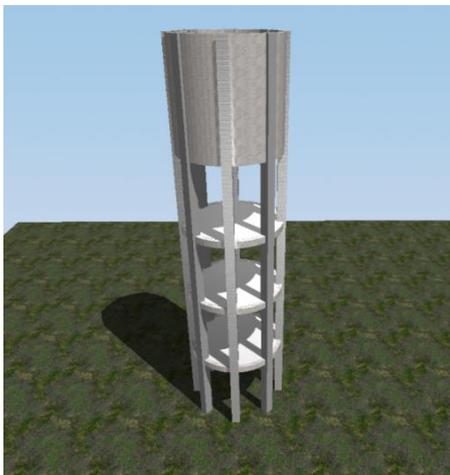
Fonte: O Autor, 2022.

Como nessa análise preliminar será calculado apenas os esforços causados pelo peso próprio de concreto e carga da água, será incluído uma majoração de 40% nas cargas, favorecendo assim a segurança. Mesmo multiplicando as cargas do peso próprio por um coeficiente de majoração de 1,4, tais esforços ainda serão tomados como característicos neste trabalho.

### Análise dos resultados

Após a análise preliminar, foi efetuado um estudo mais aprofundado, com o intuito de examinar de maneira mais precisa a atuação dos esforços na fundação. Para executar tal análise, foi utilizado o software TQS (versão estudante), que é um dos maiores softwares de análise e dimensionamento estrutural do Brasil, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10: Modelo estrutural TQS versão estudante.

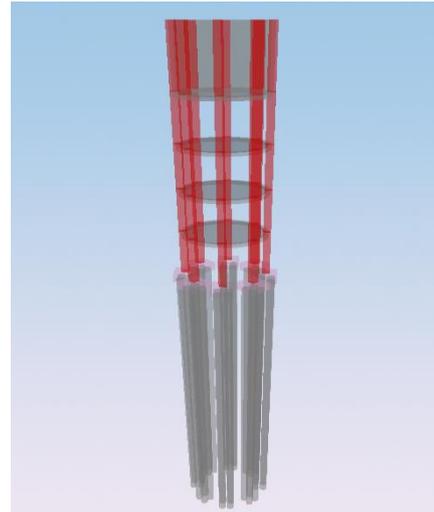


Fonte: O Autor, 2022.

Além do modelo estrutural referente a superestrutura, foram inseridos

blocos de estacas para uma melhor visualização do trabalho (Figura 11), porém são estacas hipotéticas, já que não foram encontradas informações indicando diâmetro, profundidade, quantidade de estacas ou dimensões dos blocos.

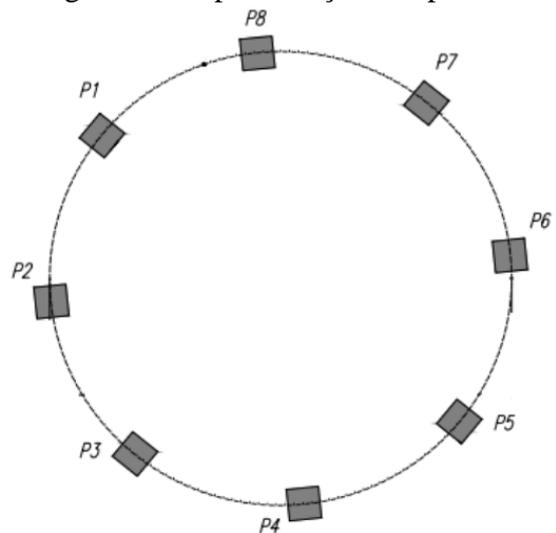
Figura 11: Modelo estrutural TQS versão estudante com estacas.



Fonte: O Autor, 2022.

Os pilares foram numerados no sentido anti-horário para a análise, conforme indicado na Figura 12.

Figura 12: Representação dos pilares.



Fonte: O Autor, 2022.

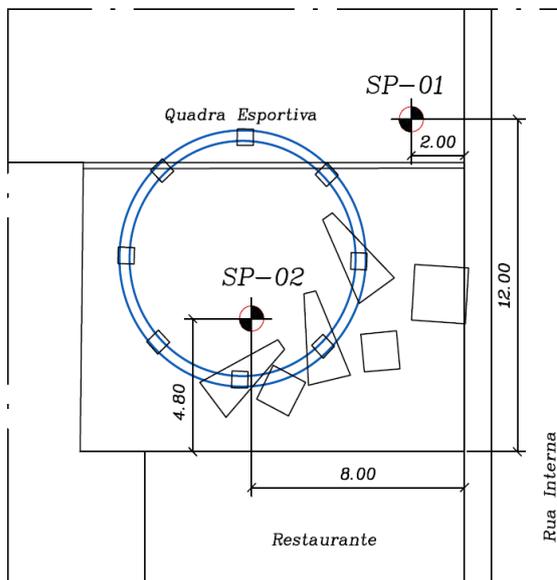
Em respeito às cargas permanentes e acidentais atuando na base do pilar, foi utilizado como valor de cálculo para a análise, um relatório elaborado por

engenheiro estrutural contratado pelo CEASA-PE.

### Análise geotécnica

Os dados geotécnicos utilizados neste trabalho foram obtidos através de sondagens do tipo SPT (ensaio de penetração padronizado), realizados por empresa especializada. Foram realizados dois furos de sondagens, com cerca de 40 metros de profundidade, nas posições indicadas na Figura 13.

Figura 13: Localização dos furos SPT.



Fonte: Adaptado pelo autor do CEASA-PE, 2022.

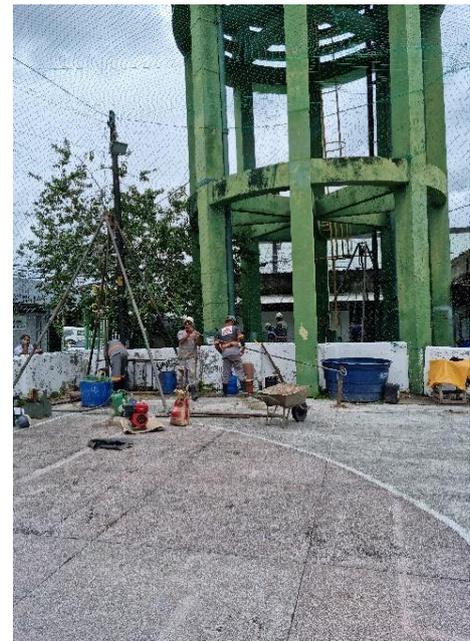
Seguem nas Figuras 14 e 15 fotos retiradas durante a realização dos furos de sondagem.

Figura 14: Localização do furo 2.



Fonte: O Autor, 2022.

Figura 15: Localização dos furos 1 e 2.



Fonte: O Autor, 2022.

### Retroanálise

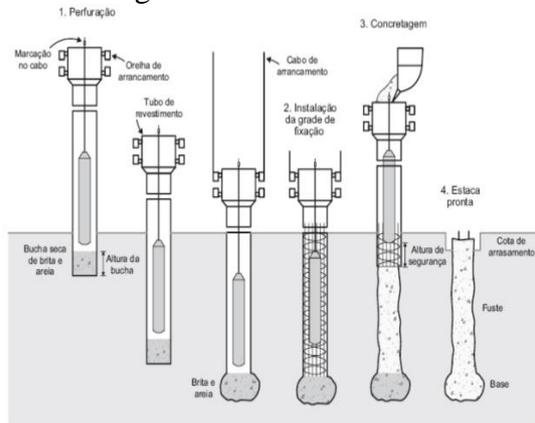
Devido à falta de informações técnicas das fundações, recorreu-se a realização de uma retroanálise para posterior cálculo de previsões de recalques.

### Dimensionamento geotécnico

Uma das poucas informações que foram encontradas a respeito da fundação do reservatório foi sobre seu processo

construtivo, que foi por estaca Franki, sendo caracterizada por uma estaca de base alargada moldada in loco, conforme ilustrado na Figura 16.

Figura 16: Estaca Franki.



Fonte: Albuquerque, 2020.

Diante deste cenário, foi utilizado a técnica de retro dimensionamento das estacas utilizando-se os dados geotécnicos do subsolo bem como as solicitações estruturais obtidas.

### Pré-Dimensionamento

Visando a obtenção dos possíveis diâmetros e embutimentos das estacas foram adotadas as seguintes premissas:

- Dimensionamento de estacas necessárias para um único pilar de 57x57cm;
- Desconsiderar os blocos triangulares que foram inseridos como intervenções anteriores para o recalque;
- Considerar os dados do SP-02;
- Considerar as cargas encontradas pelo engenheiro calculista terceirizado.

Na suposição inicial dos diâmetros nominais, foi levada em consideração a resistência estrutural das estacas. Será estimado a utilização de 3 (três) estacas por pilar, para com isso obter a carga axial por estaca:

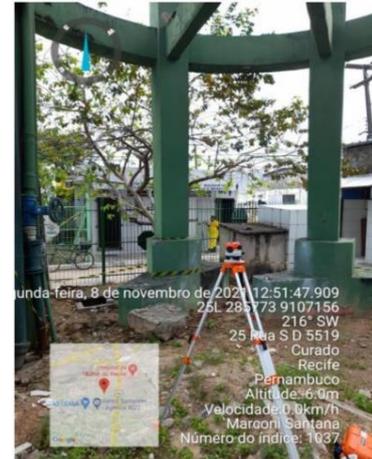
$$P1 = \frac{939}{3} = 313 \text{ kN/estaca} \quad (1)$$

Para a primeira suposição de comprimento do fuste, será considerada a profundidade limite de sondagem, tal comprimento será corrigido após a análise das cargas admissíveis do solo.

### Recalques Reais

Foi utilizado nível eletrônico (Figura 17) com precisão na ordem de 0,01mm durante um período de 4 (quatro) meses, para a realização da medição dos recalques reais das fundações, segundo arquivos do CEASA-PE.

Figura 17: Nível Eletrônico Utilizado.



Fonte: CEASA-PE, 2021.

### Distorção Angular

A análise da distorção angular servirá para identificar a probabilidade da ocorrência de danos à estrutura, seu valor cresce à medida que os recalques diferenciais se desenvolvem, assim como indicado na fórmula abaixo.

$$\theta = \frac{\Delta\rho}{\Delta L} \quad (2)$$

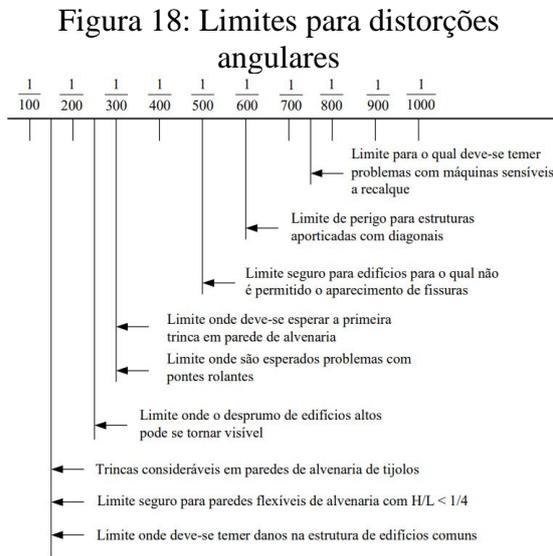
Onde:

$\theta$  - Distorção angular;

$\Delta\rho$  - Recalque diferencial entre dois elementos;

$\Delta L$  - Distância entre os eixos dos elementos.

Os valores de distorções angulares encontrados, serão classificados através das limitações indicadas por Hachich(1998)<sup>7</sup>, assim como indicado na Figura 18.



## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Análise estrutural

Para conferir se as cargas axiais, desconsiderando a ação do vento, estão coerentes, bastou apenas fazer uma comparação entre os resultados dos métodos utilizados (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2: Carga por pilar – Através da análise preliminar.

REPRESENTAÇÃO DOS ESFORÇOS NA BASE DE CADA PILAR			
PILAR	CARGA DE PESO PRÓPRIO	MAJORAÇÃO	PP + PERMANENTE + ACIDENTAL
	KN		KN
P1	669,66	1,40	937,52
P2	669,66	1,40	937,52
P3	669,66	1,40	937,52
P4	669,66	1,40	937,52
P5	669,66	1,40	937,52
P6	669,66	1,40	937,52
P7	669,66	1,40	937,52
P8	669,66	1,40	937,52

Fonte: O Autor, 2022.

Tabela 3: Carga por pilar – Pelo software TQS.

PILAR	PP + PERMANENTE + ACIDENTAL
KN	
P1	939,00
P2	939,00
P3	939,00
P4	939,00
P5	939,00
P6	939,00
P7	939,00
P8	939,00

Fonte: Adaptado pelo autor de CEASA-PE, 2022.

Analisando os resultados acima, vemos que as cargas transferidas por cada pilar para a fundação foram na ordem de 93,7tf na análise preliminar e na efetuada através do software TQS ficou na ordem de 93,9tf, portanto, tiveram uma diferença de apenas 0,16%, validando assim os valores das cargas axiais encontradas.

### Análise geotécnica

A realização do ensaio SPT nos deu uma informação bastante relevante para o entendimento do problema, onde podemos identificar pela Figura 19 que as primeiras camadas de solos resistentes só são encontradas a partir dos 31m de profundidade.

Figura 19: Profundidade das primeiras camadas resistentes.

PERFIL TERRENO		
Prof. [m]	N <sub>SPT</sub>	PENETRAÇÃO × PROFUNDIDADE
15,0	2	
16,0	2	
17,0	2	
18,0	2	
19,0	4	
20,0	4	
21,0	3	
22,0	3	
23,0	3	
24,0	4	
25,0	4	
26,0	3	
27,0	4	
28,0	4	
29,0	4	
30,0	8	
31,5	22	

Fonte: O Autor adaptado de CEASA-PE, 2022.

### Retroanálise Geotécnica

Como não foram obtidas informações sobre as estacas reais presentes na fundação do reservatório, foi executada uma tentativa de obtenção da previsão de recalque através de retroanálise, determinando a carga admissível do solo e logo após a previsão de recalque em si.

### Carga admissível

Na determinação da carga admissível do solo foi utilizado o método semi-empírico proposto por Aoki & Velloso. A memória de cálculo executada a seguir toma como base os passos e formulário exposto no livro **Engenharia de Fundações** do professor Paulo José de Albuquerque. Para determinar a carga admissível do solo aplicando o método proposto por Aoki & Velloso, tem-se:

- Resistência por atrito:

$$R_L = U \cdot \sum \left( \frac{\alpha \cdot K \cdot N_{SPT}}{F_2} \cdot \Delta_L \right) \quad (3)$$

- Resistência de ponta:

$$R_P = \frac{K \cdot N_P}{F_1} \cdot A_P \quad (4)$$

- Cálculo da capacidade de carga:

$$R_{rup} = U \cdot \sum \left( \frac{\alpha \cdot K \cdot N_{SPT}}{F_2} \cdot \Delta_L \right) + \frac{K \cdot N_P}{F_1} \cdot A_P \quad (5)$$

- Cálculo da Resistência Admissível:

$$R_{adm} = \frac{R_{rup}}{2} \quad (6)$$

Aplicando as formulas apresentadas anteriormente, foi obtida a carga admissível do solo supondo 3 (três) estacas a uma profundidade de 30 metros conforme indicada na Tabela 4.

Tabela 4: Carga Admissível – Método Aoki & Velloso.

ESTACA			AOKI VELLOSO
PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (m)	CARGA (KN)	CARGA ADM. (KN)
30	0,4	328,65	410,23

Fonte: O Autor, 2022.

### Previsão de recalques

Para o cálculo da previsão de recalque foi utilizado o método da estaca equivalente, possibilitando que o grupo de estacas seja considerado como uma única “Estaca equivalente” e assim consegui aplicar o método proposto por Poulos e Davis para previsão de recalques no topo de estacas isoladas, como indicado por Danziger (2021), obtendo a previsão do recalque imediato (Tabela 5), onde:

W<sub>o</sub>: Recalque do Topo da Estaca;

W<sub>s</sub>: Recalque do Fuste;

W: Recalque do bloco de coroamento.

Tabela 5: Previsão de Recalque.

RECALQUE DO BLOCO DE COROAMENTO			
W <sub>o</sub> (m)	W <sub>s</sub> (m)	W (m)	W (mm)
0,0018	0,0094	0,0112	11,2

Fonte: O Autor, 2022.

É importante reforçar que a previsão de recalque apresentada a seguir contém certo grau de imprecisão por conta de fatores como, falta de dados sobre a fundação (quantidade de estacas, diâmetros e profundidades reais) e o desconhecimento da camada incompressível do solo, já que a sondagem a percussão foi executada até a profundidade de 40m e ainda assim não foi encontrada tal camada incompressível.

### Recalques Reais

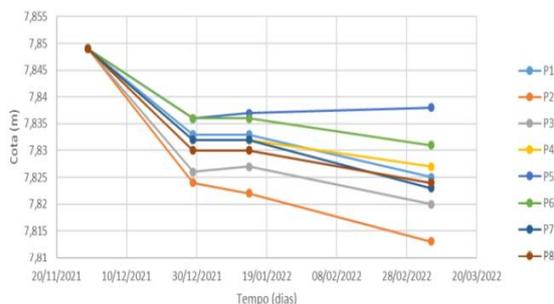
Através de monitoramento realizado por equipe de topografia especializada, usando nível eletrônico de precisão, foram obtidos os resultados dos recalques reais demonstrados na Tabela 6 e Figura 20.

Tabela 6: Medições dos Recalques.

PILAR	29/11/2021	29/12/2021	14/01/2022	07/03/2022	29/11/2021 à 07/03/2022
	Cravação Cotas (m)	Leituras (m)	Leituras (m)	Leituras (m)	Varição - $\Delta p$ (m)
P1	7,849	7,833	7,833	7,825	-0,024
P2	7,849	7,824	7,822	7,813	-0,036
P3	7,849	7,826	7,827	7,82	-0,029
P4	7,849	7,832	7,832	7,827	-0,022
P5	7,849	7,836	7,837	7,838	-0,011
P6	7,849	7,836	7,836	7,831	-0,018
P7	7,849	7,832	7,832	7,823	-0,026
P8	7,849	7,83	7,83	7,824	-0,025

Fonte: CEASA-PE, 2021.

Figura 20: Medições dos Recalques.



Fonte: CEASA, 2021.

Analisando o gráfico da medição dos recalques reais, foi observado uma grande disparidade nos resultados dos primeiros meses, por tal motivo será levada em consideração apenas as últimas

3 medições, conforme indicado na Tabela 7.

Tabela 7: Medições dos Recalques adaptada.

PILAR	29/12/2021	14/01/2021	07/03/2021	29/12/2021 à 07/03/2022
	Leituras (m)	Leituras (m)	Leituras (m)	Varição - $\Delta p$ (m)
P1	7,833	7,833	7,825	-0,008
P2	7,824	7,822	7,813	-0,011
P3	7,826	7,827	7,820	-0,006
P4	7,832	7,832	7,827	-0,005
P5	7,836	7,837	7,838	0,002
P6	7,836	7,836	7,831	-0,005
P7	7,832	7,832	7,833	-0,009
P8	7,830	7,830	7,824	-0,006

Fonte: Adaptado pelo autor de CEASA-PE, 2022.

Dito isso, foi possível identificar a elevação do pilar 5, confirmada pela deformação do muro ao seu lado (Figura 6) e a maior magnitude de recalque no pilar 2, validada através da existência de reforço em sua fundação (Figura 5).

Após a análise dos recalques reais, ficou evidente a **ineficácia** da aplicação de retroanálise para a previsão de recalques nessa situação, já que o resultado da previsão deu na ordem de 1,1cm (Tabela 5) e o maior rebaixamento monitorado, desconsiderando a primeira medição, atingiu 1,1cm em aproximadamente 3 (três) meses (Tabela 7). A imprecisão da previsão de recalque através da retroanálise vem por meio de alguns fatores como, incertezas sobre qual camada de solo a fundação real está assentada, profundidade da camada incompressível do solo e quantidade de estacas por bloco, fora a imprecisão do método, onde segundo (DANZIGER, 2021), se dá pela utilização de parâmetros do solo obtidos por meio de correlações e não por propriedades de deformações reais do solo, obtidas através de ensaios.

### Distorção Angular

Sabe-se que, quão maior for a diferença de magnitude dos recalques entre dois elementos próximos, maior será o valor da distorção angular, sendo as fissuras um dos primeiros sintomas de elevadas distorções angulares, porém, apenas pequenas fissuras já podem acarretar no surgimento de outras patologias que podem comprometer o funcionamento da edificação. Dito isso, é apresentado na Tabela 8 os valores das distorções angulares entre alguns pilares e suas respectivas classificações.

Tabela 8: Distorções angulares.

Pilares	Recalques (mm)	$\Delta \rho$ (mm)	$\Delta L$ (mm)	Distorção Angular ( $\Theta$ )	Classificação
P2	-11	13	8190	0,0015873	Perigo para prticos com diagonais
P5	2			1/630	
Pilares	Recalques (mm)	$\Delta \rho$ (mm)	$\Delta L$ (mm)	Distorção Angular ( $\Theta$ )	Classificação
P4	-5	3	2730	0,0010989	Problemas com maquinas sensíveis
P5	-2			1/910	
Pilares	Recalques (mm)	$\Delta \rho$ (mm)	$\Delta L$ (mm)	Distorção Angular ( $\Theta$ )	Classificação
P5	-2	3	2730	0,0010989	Problemas com maquinas sensíveis
P6	-5			1/910	
Pilares	Recalques (mm)	$\Delta \rho$ (mm)	$\Delta L$ (mm)	Distorção Angular ( $\Theta$ )	Classificação
P6	-5	4	2730	0,0014652	Perigo para prticos com diagonais
P7	-9			1/682,5	

Fonte: O Autor, 2022.

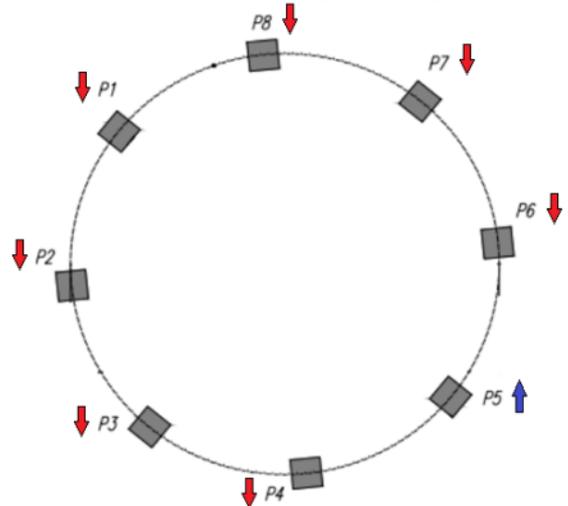
As classificações da tabela acima apresentada se encontram arredondadas para cima, visto que, os recalques que estão sendo analisados na tabela são de um curto período (3 meses) comparado a idade do reservatório (aproximadamente 60 anos), então, é coerente afirmar que as distorções encontradas (Tabela 7) tem grandes chances de serem menores que as distorções angulares reais.

### Redistribuições de Esforços

Aplicando os conceitos de Redistribuição de esforços em um reservatório de água devido a recalques nas fundações, desenvolvido por (CAVALHEIRO, 2021), é possível analisar através da Figura 21 que os pilares 4 e 6 estão apresentando maiores magnitudes de rebaixamento do que o pilar 5, logo, tanto o P4 quanto o P6 têm parte de suas cargas transferidas para o P5,

causando assim uma sobrecarga no mesmo.

Figura 21: Representação dos rebaixamentos e elevações dos pilares.



Fonte: O Autor, 2022.

## CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Por meio desse estudo, foi possível detectar patologias oriundas de recalques diferenciais presentes em reservatório elevado, confirmados através de acompanhamento topográfico. Tais recalques diferenciais podem ser consequência de atritos negativos causados pela implantação de caixas de esgoto, aterros e edificações vizinhas. Os recalques vêm a ser mais agravados por conta do método executivo utilizado na fundação, estaca tipo Franki, pois como existe rugosidade elevada neste tipo de estaca é consequentemente maior o seu coeficiente de atrito.

Já são encontradas perdas parciais de desempenho e funcionalidade na edificação, visto que existem tubulações que se encontram interdidas por conta de vazamentos causados por curvaturas. As patologias presentes na construção serão ainda mais agravadas com o passar do tempo, necessitando assim de urgentes intervenções, tratando da superestrutura, corrigindo manifestações patológicas como fissuras, trincas e armações expostas, mas também sem esquecer-se da infraestrutura,

onde se encontra o maior problema, sendo assim obrigatória a intervenção em sua fundação, estabilizando a estrutura pausando os rebaixamentos, ou até acentuando alguns recalques para realinhar a edificação, diminuindo distorção angular. Um ponto importante a ser ainda exposto, é a ciência de que talvez seja mais vantajoso, financeiramente falando, a demolição e reconstrução de outro reservatório ao invés de executar as tantas intervenções necessárias, por conta da falta de informações a respeito das fundações e pela grande densidade de obras existentes na vizinhança, elevando assim a complexidade do problema e consequentemente o custo para sana-lo.

## REFERÊNCIAS

- 1 GUSMÃO, Alexandre Duarte. **Estudo da interação solo-estrutura e sua influência em recalques de edificações**. Rio de Janeiro: COPPE, 1990. 165 p. 29,7 cm.
- 2 CAVALCANTE, G. H. F. **Pontes em Concreto Armado: análise e dimensionamento**. São Paulo: Blucher, 2019.
- 3 CAVALHEIRO, Fernando Nunes. Redistribuição de esforços em um reservatório de água devido à recalques nas fundações. **Cinpar**, Fortaleza, ano 17, p. 1-7, junho. 2021.
- 4 ALBUQUERQUE, Paulo José Rocha; GARCIA, Jean Rodrigo. **Engenharia de fundações**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020. 356 p.
- 5 DANZIGER, Bernadete Ragoni. **Fundações em Estacas**. Rio de Janeiro: LTC, 2021. 212p.
- 6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

7 HACHICH, W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. Q.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S.

**Fundações: Teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. 751 p.

8 ROTAS DE VIAGEM, **História e curiosidades da Torre de Pisa: o monumento mais famoso da Itália**. Rotas de Viagem, 2022. Disponível em: <https://rotasdeviagem.com.br/historia-e-curiosidades-da-torre-de-pisa/>. Acesso em: 25 de agosto de 2022.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e pela oportunidade de estar concluindo mais esta fase. À minha mãe, Edilza, por me apoiar e sempre me ceder um pouco de sua imensa força. À meu pai, Ricardo, por ser sempre presente, cuidadoso e forte. À minha vó, Ivone, por ser simplesmente a melhor avó do mundo para mim. À minha irmã, Andreza, por toda torcida e amor. À minha namorada, Thays, pelo companheirismo em vários momentos difíceis dessa minha jornada. Aos meus amigos, que sempre me ajudaram.

Agradeço também aos meus educadores. Ao meu professor, Dr. Wesley Melo, por sempre ter me ajudado sem medir esforços. Ao meu orientador, Dr. André Borgatto, por me guiar de forma sábia e serena. Ao meu co-orientador, Dr. Jordlly Reydson, pelo cuidado e ensinamentos que irei levar para a vida.