

Análise de Oscilação em fundação superficial do tipo radier em obra da região metropolitana do Recife.

Romildo Alves da Silva

Engenheiro Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil, romildoalvess@gmail.com

Jeovana da Silva Souto Maior

Engenheira Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil, jeovanasouto0@gmail.com

Raíssa Barros Vieira Andrada

Estudante, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil, raissa.andrada@icloud.com

Pedro Eugênio Silva de Oliveira

Engenheiro Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil, pedrocivil@hotmail.com

Joaquim Teodoro Romão de Oliveira

Engenheiro Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil, jtrdo@uol.com.br

RESUMO: O presente trabalho realizou um estudo de interação solo estrutura (ISE) para um edifício de uma obra residencial com 64 blocos, situada na Região Metropolitana do Recife. Como dados básicos de entrada das análises foram avaliados os resultados das medições de recalque ao longo da construção do edifício. Durante a realização dos estudos foi observado um comportamento em que os recalques diferenciais tendiam a se comportar de maneira oscilatória em função do tempo, aproximando-se de uma curva senoidal. Os dados observados mostram que a edificação oscila por um tempo e após um certo número de medições de recalques se estabiliza e para de oscilar. Trabalhando nestes valores foi possível calcular período (t), frequência (f) e velocidade angular (w). Tornando viável analisar o período médio de oscilação e a velocidade angular média, que foram de 38 dias, 2×10^{-6} rad/s respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Interação solo estrutura, recalque, recalques diferenciais, oscilações.

ABSTRACT: The present work carried out a study of soil structure interaction (ISE) for a residential building with 64 blocks, located in the Metropolitan Region of Recife. As basic input data of the analyzes were evaluated the results of the measurements of reposition throughout the construction of the building. During the studies, a behavior was observed in which the differential pressures tended to behave oscillatory as a function of time, approaching a sinusoidal curve. For the observed data the building oscillates for a time and after a given number of measurements of settlements the construction stabilizes and stops oscillating. Working on these values was possible to calculate period (t), frequency (f) and angular velocity (w). Making it feasible to analyze the mean oscillation period and the mean angular velocity, which were 38 days, 2×10^{-6} rad / s respectively.

KEYWORDS: Interaction of soil and structure, settling, differential settlements, oscillations.

1 Introdução

Com o forte crescimento econômico e aumento de investimento governamental de obras de infraestrutura e de cunho imobiliário para classes de menor poder aquisitivo experimentado no Brasil recentemente, houve um notável aumento de obras destinadas a essas classes em Recife e, principalmente, nas regiões metropolitanas. Nas áreas em análise foram observadas, segundo Oliveira (2013) um aumento expressivo de investimento fora da capital Pernambucana. Além disso, têm-se que a fundação do tipo radier, para o tipo de obra em estudo, torna-se a mais acessível. Oliveira (2013) afirma a existência de um grande incremento nas obras executadas com fundação do tipo radier em Recife, e esse aumento do número de obras gera uma expansão da área de influência dos programas habitacionais, afastando-se, aos poucos, dos grandes centros. Os possíveis motivos nos quais possam justificar esse aumento consiste, primeiramente, na produtividade de execução de fundação direta em radier em contrapartida de sapatas isoladas ou corridas. Por se evitar o serviço de escavações e fôrmas e a tipologia horizontal das obras transmitindo baixas tensões ao subsolo.

A obra em questão, utiliza a fundação do tipo radier, no qual o mesmo foi construído sobre um solo com predominância de silte argiloso quando solicitado por um sistema composto de fundação direta do tipo: radier; e superestrutura composta do sistema estrutural: paredes de concreto pré-moldadas. O recalque apresentado na construção, quando monitorado tornou-se notável a presença de uma oscilação no seu movimento, que se aproximou ao formato da curva senoidal. Assim, o artigo em questão, é responsável pela análise do comportamento oscilatório de recalque ao longo da construção do edifício, bem como o nível de carregamento para cada medição e a velocidade angular (w) desse movimento em uma edificação localizada na região metropolitana do Recife. E com as devidas informações analisadas, também possibilitou traçar os gráficos de carga x recalque, o cálculo do período (t), período médio e frequência (f). Com a análise das medições dos recalques percebeu-se um ponto onde há uma cessação das oscilações e estabilização dos recalques.

2 Revisão Bibliográfica

Os requisitos para um projeto de fundações, de acordo com Gusmão (1990), podem ser definidos pela estabilidade do solo e do elemento estrutural, deformações aceitáveis pela edificação e durabilidade dos materiais utilizados. Poucos são os casos de edificações no Brasil em que a interação solo-estrutura foi considerada para fins de projeto, apesar da sua importância.

Segundo BURLAND et al (1977), é importante se fazer a distinção entre os dois maiores passos em uma análise de interação solo-estrutura: o primeiro, e o mais importante do ponto de vista prático, é a estimativa da grandeza dos recalques e, conseqüentemente, a deformada de recalques da edificação.

Em uma cidade como Recife, conhecida pelo subsolo predominantemente fofo, seja de argila orgânica mole, areia fina e média ou arenitos bem consolidados é imprescindível que a medição dos recalques sejam examinados com cautela.

3 Descrição da Obra

A obra em análise trata-se da torre de número 4, localizada na área de projeção da Quadra 04, em um condomínio residencial localizado no primeiro bairro planejado de São Lourenço da Mata, região metropolitana do Recife. Com um total de 2.048 apartamentos distribuídos em 64 torres, com 8 pavimentos constitui-se o complexo de torres. A distribuição das cargas para a fundação foi dada através de painéis de alvenaria estrutural de concreto, que apresentam cargas distribuídas linearmente, variando de 80 a 167 kN/m.

A avaliação do solo foi realizada através da sondagem a percussão, onde foram utilizadas as sondagens SP49 e SP50 para análise, onde foi possível a obtenção de dados como o nível do terreno natural

– localizado entre as cotas +68,390 metros a +68,690 metros, podendo variar – sendo a cota de implantação do terreno de +69,040 metros. E nível de água a 4,25 metros.

A sondagem SP49, representada na figura 1, tem sua primeira camada com cerca de 1,55 metros de silte argiloso, médio, amarelo e avermelhado variegado com NSPT entre 7 e 8 golpes/30 centímetros, seguido por uma camada de silte argiloso, com presença de mica, com solo médio a rijo, vermelho e amarelo variegado, apresentando um NSTP entre 8 e 15 golpes/30 centímetros, sendo sua camada entre 1,55 metros e 7,05 metros.

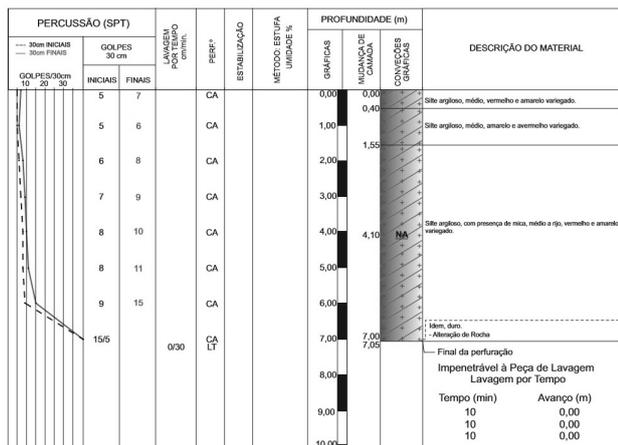


Figura 1. Sondagem 49.

A sondagem SP50, exibida na figura 2, possui uma primeira camada de 0 a 1,85 metros de profundidade e possui predominantemente silte argiloso, de mole a médio, cor vermelho e amarelado e NSPT entre 5 e 8 golpes/ 30 centímetros. A camada seguinte, é formada por silte argiloso, com pedregulhos de dimensões variáveis, solo médio a rijo, de cor cinza claro amarelado e esverdeado, com profundidade de 1,65 a 4,70 metros e NSPT de 9 a 17 golpes/30 centímetros. A camada seguinte possui uma profundidade de 4,70 a 6,05 metros e constitui-se predominantemente de silte argiloso, duro, vermelho e amarelado variegado e NSPT de 21 a 30 golpes/30 centímetros. E, por último, entre 6,05 a 7,01 metros, há uma camada de solo constituída por silte arenoso, com presença de mica, com pedregulhos de dimensões variáveis, duro, de cor vermelha e amarela variegado e NSPT a cerca de 30 golpes/30 centímetros.

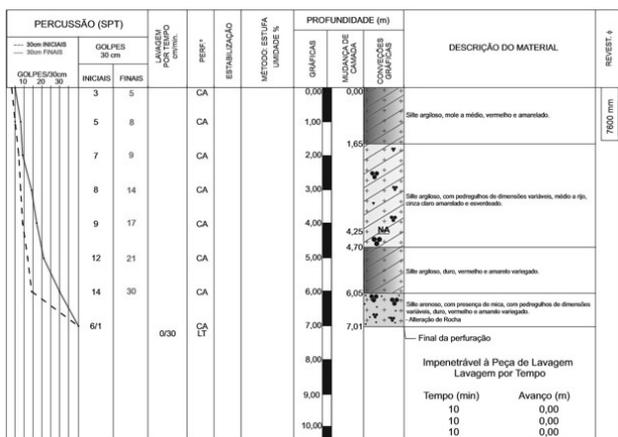


Figura 2. Sondagem 50.

4 Resultados Das Medições De Recalques

Foram realizadas 6 medições de recalque com a utilização de 10 pinos (K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T) locados em pontos diferentes na estrutura como representado na figura 3.

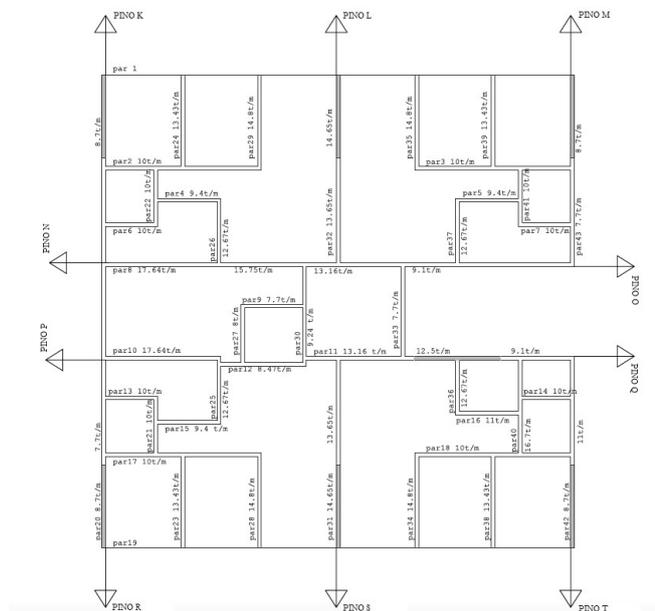


Figura 3. Locação de pinos na fundação.

Estas medições ocorreram entre os dias 13/02/2015 e 19/05/2015, durante esse período a edificação era construída, assim seu peso era aumentado, como mostra a tabela 1. Consta-se que na leitura L1 a fundação recebia um peso de 7600 kN, e na leitura L6, com a estrutura já concluída, se nota que a fundação recebia uma carga de 17000 kN. E acompanhando as cargas, os recalques também foram aumentando ao longo do tempo.

Observa-se na tabela 1 e a figura 4 dos recalques totais, que na leitura L2 o menor recalque aconteceu no pino S no valor de 2,27 mm, e o maior ocorreu no pino O, na grandeza de 4,52mm. Em geral, os recalques geralmente seguiam uma mesma média entre si, não variando mais de 3mm de um para outro em todas as leituras.

Para os dados analisados a edificação oscila por um tempo, e após um dado número de medições de recalques a construção estabiliza e para de recalcar.

Separando os pares em 2 grupos, é possível perceber que os pinos K, L, M, S e T (grupo 1) recalçaram bem menos que a média geral da estrutura, já os pinos N, O, P, Q, R (grupo 2) tiveram um grau de recalque bem mais elevado. Tais valores foram visíveis ao observar que as curvas do grupo 1 são bem mais acentuadas para baixo e as do Grupo 2 tendem a ter os pontos máximos muito a cima.

Tabela 1. Recalque total.

PESO (t)	760	1800	1700	1700	1700	1700
Leitura	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Datas	13/2	03/3	17/3	31/3	16/4	19/5
K	0,00	2,76	4,03	5,52	6,68	5,53
L	0,00	3,15	4,62	6,78	7,28	6,32
M	0,00	3,56	4,64	6,80	7,58	6,62
N	0,00	3,86	6,08	6,70	7,82	6,61
O	0,00	4,52	6,01	6,08	8,22	7,38
P	0,00	4,24	6,48	6,89	7,34	6,77
Q	0,00	4,50	6,96	7,20	7,86	7,20
R	0,00	4,29	7,27	6,88	8,05	6,75
S	0,00	2,27	4,66	6,16	6,30	4,66
T	0,00	2,83	4,41	5,97	7,00	5,57

É possível notar que o recalque absoluto máximo alcança o valor de 8 mm para a penúltima medição, porém o fato interessante é que na última o valor do recalque foi reduzido, e isto ocorre em todos os pinos. Esta característica que levou-se acreditar no movimento oscilatório da edificação, e a partir disto foram feitos os gráficos de recalques diferenciais, que comprovaram as oscilações.

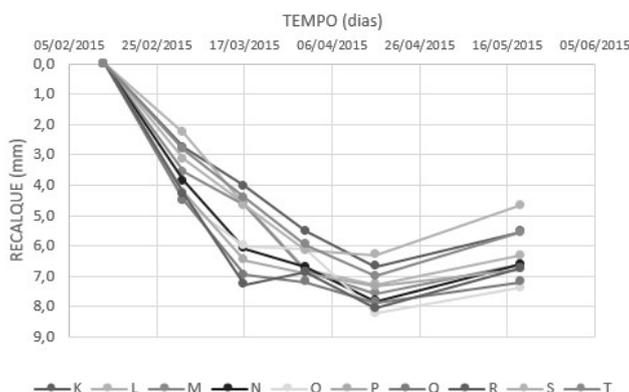


Figura 4. Gráfico esquemático dos recalques totais.

4.1 Análise dos Recalques Diferenciais

Para verificar o recalque diferencial, foram feitas todas as combinações possíveis de pares de pinos da obra, o que possibilitou a criação dos gráficos referentes a essa variação.

Ao analisar os gráficos de recalque diferencial com o tempo, foi observado que alguns pares apresentam comportamento oscilatório mais que os outros, fato que pode ser expresso comparando os pares Q-R e P-Q conforme exibidos nas figura 5 e 6 respectivamente.

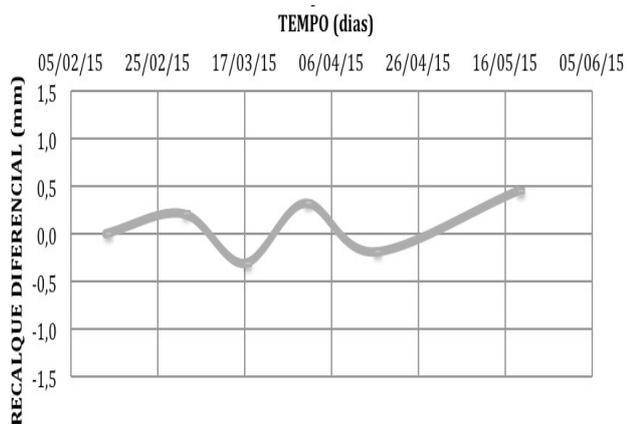


Figura 5. Gráfico de recalque diferencial entre pinos Q-R.

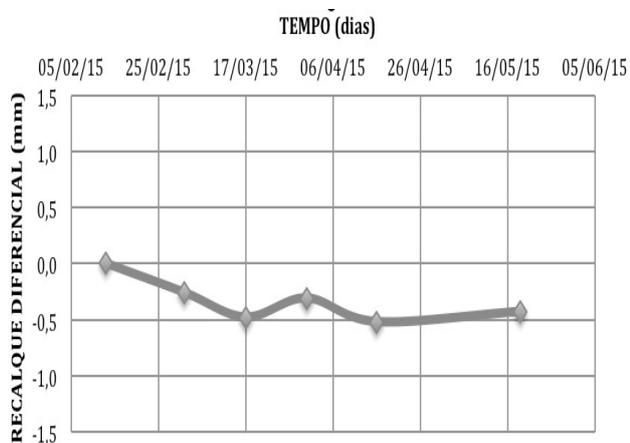


Figura 6. Gráfico de recalque diferencial entre pinos P-Q.

Também pode-se observar que existem curvas nos gráficos em que não se verificam o comportamento oscilatório, porém o recalque diferencial atinge um valor absoluto mais alto, conforme o par K-T, representado na Figura 7.

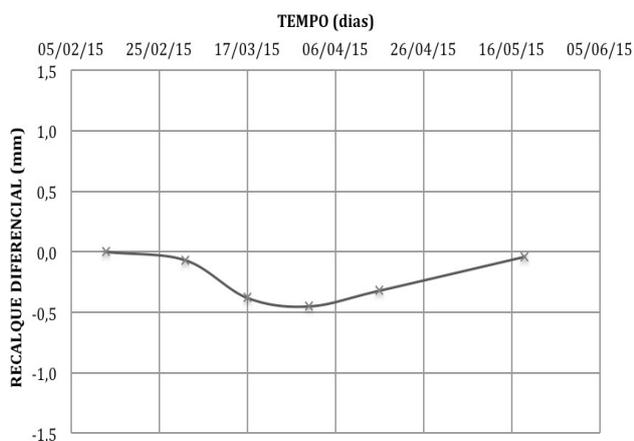


Figura 7. Gráfico de recalque diferencial entre pinos K e T.

Como apresentados anteriormente os gráficos referentes ao recalques diferenciais entre os pares Q-R e P-Q, mostram um movimento de oscilação bem típico, lembrando o formato de uma curva senoidal.

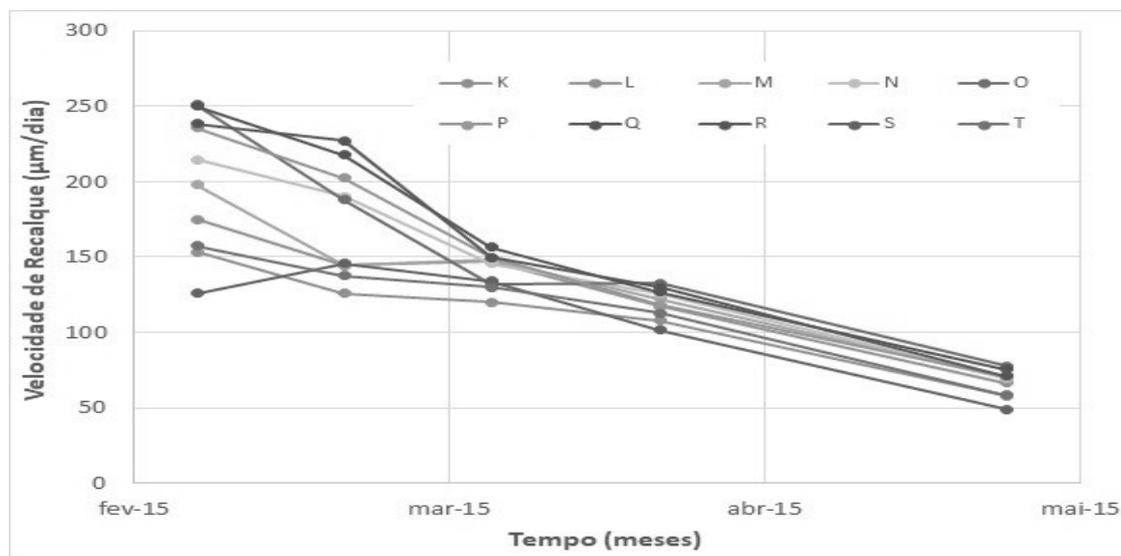


Figura 8. Gráfico de Velocidade de recalque x Tempo.

As velocidades começam muito elevadas tendo em vista o padrão construtivo de paredes de concreto moldadas in loco, com formas basculantes. As edificações atingem suas alturas máximas muito rapidamente.

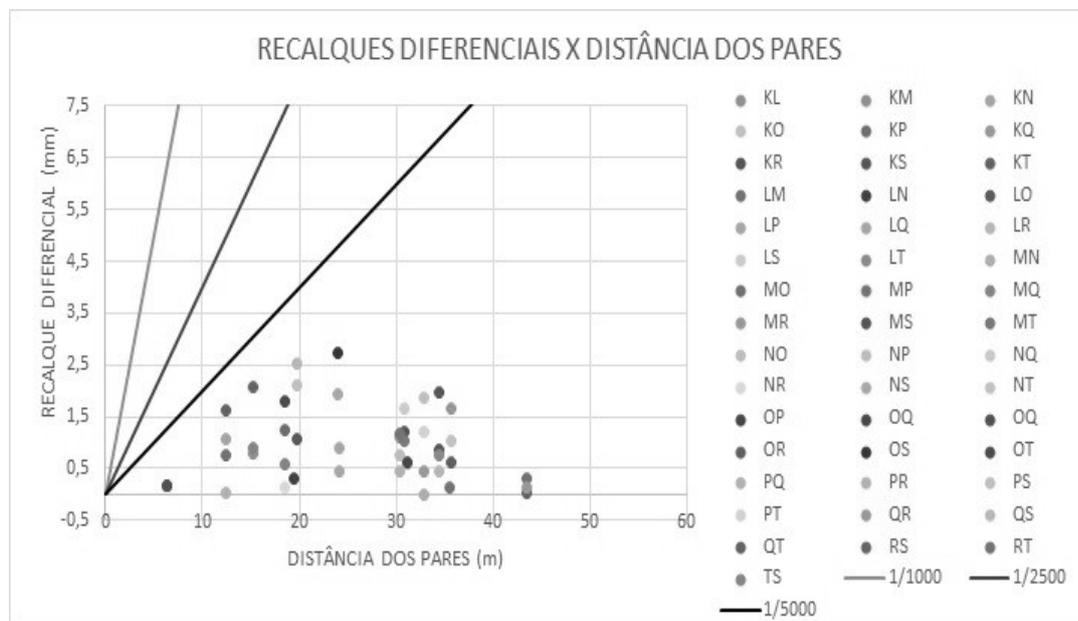


Figura 9. Gráfico de Recalques diferenciais x Distância dos pares

Foram calculadas as distorções angulares e foram obtidos valores muito baixos, abaixo de 1/5000, estando muito distante de limites comprometam o desempenho da estrutura.

5 Hipótese Considerada

Diante as diretrizes da física, encontra-se a velocidade angular de uma onda segundo a expressão (1).

$$\omega = (2\pi / T) = 2\pi f \quad (1)$$

Onde $f = 1/T$ é a frequência em Hertz (Hz) e ω é a velocidade angular em rad/s.

Determinou-se, através desta modelagem física, o período (T) dado em dias de oscilação da edificação. Esse período representa o tempo necessário para uma revolução completa do prédio, ver Figura 8 e Figura 9.

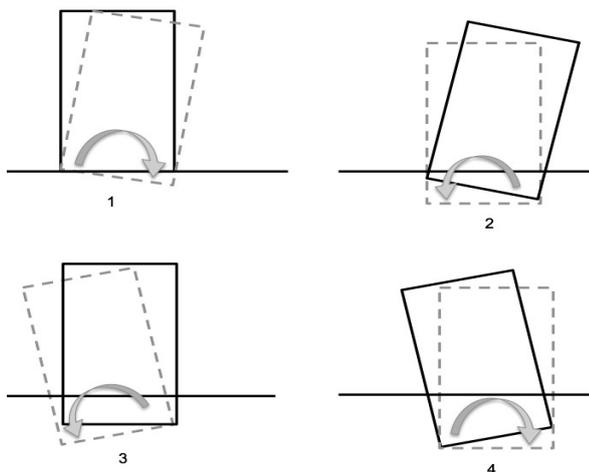


Figura 10. Definição de revolução em edificação.

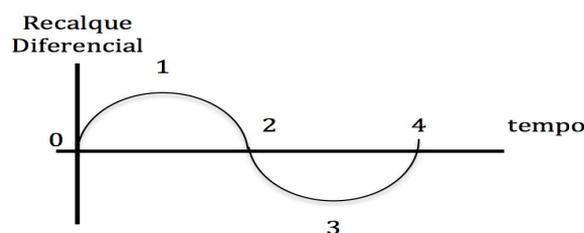


Figura 11. Gráfico de revolução de recalque em edificação.

A partir do período foi possível encontrar valores de frequência (inverso do período), e a velocidade angular que foi obtida com a finalidade de avaliar como a edificação recalca durante algum tempo.

No ponto 1, na Figura 8, é esquematizado o processo de recalque de uma edificação, onde é possível entender que o mesmo está ocorrendo para o lado direito durante um determinado tempo, em seguida no ponto 2 a edificação tende a voltar, ou seja, tende a recalcar novamente para o sentido oposto ao qual teria acontecido anteriormente, pelo fato de existir uma redistribuição das cargas. Assim, ela volta a se alinhar, porém abaixo do nível em que estava em sua partida, no ponto 1. Em seguida o ponto 3 representa que a edificação continua a recalcar, para o lado esquerdo, fazendo com que o processo anteriormente descrito aconteça novamente, porém agora no sentido oposto. Deste modo do ponto 3 para o ponto 4 a construção volta a ficar linear, porém em um novo nível em relação a cota do terreno.

Quando se analisa as Figuras 8 e 9, é possível perceber como funciona o movimento ocorrido pela estrutura. Onde entre os pontos 0 e 1 representados na Figura 9, equivale ao período mostrado no ponto 1 da Figura 8, que a edificação tende para o lado direito fazendo assim o gráfico ter um pico. Depois em um segundo período (do ponto 1 ao 2 da Figura 9) há o movimento contrário, que segue para a estabilidade, assim como é representado na Figura 8 o ponto 2. E em seguida o mesmo processo de recalque acontece só que agora para o lado oposto, com isso o gráfico repete o movimento, porém para baixo, criando um vale e voltando em seguida para a estabilidade, como representado nos pontos 3 e 4 da figura 9.

Todo esse processo mostra bem como se caracteriza esse movimento, que se chama de movimento oscilatório.

5.1 Parâmetros de oscilação

Como mostrado anteriormente, com o estudo dos dados determinou-se as curvas de oscilação dos recalques diferenciais. Com isso foi possível calcular o período (t), a frequência (f) e a velocidade angular (w). Para apresentar estes resultados criou-se uma tabela (tabela 2).

Baseado nos valores de frequência, período e velocidade angular determinou-se alguns valores médios que foram de $3 \times 10^{-7} \text{ Hz}$, 38 dias e $2,02 \times 10^{-6} \text{ rad/s}$ respectivamente.

Está também disposto na tabela uma coluna destinada a frequência em RPA, pois, é interessante a entendimento do que o movimento oscilatório representa para a edificação.

Tabela 2. Tabela de Revolução, período e velocidade angular

PARES	T (dia)	f (Hz)	f (RPA)	ω (rad/s)
KO	38	3,0E-07	9,61	1,9E-06
KP	60	1,9E-07	6,08	1,2E-06
KQ	58	2,0E-07	6,29	1,3E-06
KR	36	3,2E-07	10,14	2,0E-06
KS	46	2,5E-07	7,93	1,6E-06
LM	32	3,6E-07	11,41	2,3E-06
LO	40	2,9E-07	9,13	1,8E-06
LP	38	3,0E-07	9,61	1,9E-06
LQ	36	3,2E-07	10,14	2,0E-06
LR	34	3,4E-07	10,74	2,1E-06
LS	28	4,1E-07	13,04	2,6E-06
MN	32	3,6E-07	11,41	2,3E-06
MO	34	3,4E-07	10,74	2,1E-06
MR	34	3,4E-07	10,74	2,1E-06
MS	30	3,9E-07	12,17	2,4E-06
NL	32	3,6E-07	11,41	2,3E-06
NO	54	2,1E-07	6,76	1,3E-06
NQ	60	1,9E-07	6,08	1,2E-06
NS	48	2,4E-07	7,60	1,5E-06
OP	54	2,1E-07	6,76	1,2E-01
OS	52	2,2E-07	7,02	1,2E-01
OT	44	2,6E-07	8,30	1,4E-01
PR	28	4,1E-07	13,04	2,6E-06
PS	48	2,4E-07	7,60	1,5E-06
PT	58	2,0E-07	6,29	1,3E-06
QR	30	3,9E-07	12,17	2,4E-06
QT	54	2,1E-07	6,76	1,3E-06
RS	28	4,1E-07	13,04	2,6E-06
SQ	44	2,6E-07	8,30	1,7E-06
ST	40	2,9E-07	9,13	1,8E-06
TM	28	4,1E-07	13,04	2,6E-06
TR	38	3,0E-07	9,61	1,9E-06
MEDIA	38	3,0E-07	9,61	2,0E-06

Levando em consideração a coluna referente a Frequência em RPA, pode-se tirar uma média de 9,61 RPA, o que significa que ocorreriam cerca de 9,61 revoluções por ano, porém como foi explicado anteriormente a fundação parou de recalcar bem antes disso, por volta de duas ou três revoluções de

oscilação em média.

6 Conclusões

- Observa-se tendência da edificação estudada em apresentar movimento oscilatório analisando seus recalques diferenciais.
- Verificou-se a hipótese dessa oscilação se comportar como um oscilador simples, regido por período e frequência constante.
- Definiu-se revolução, e como essa revolução pode ocorrer no edifício.
- A partir da hipótese considerada tornou-se possível obter os valores de oscilação da estrutura, período de revolução em dias, frequência de oscilação em Hz e RPA, e a velocidade angular.
- Salienta-se que a hipótese admitida não considerou o efeito do amortecimento. A partir de certo período de tempo, o comportamento oscilatório do edifício tendeu a diminuir, e os recalques se processam da maneira tradicional (para a presente obra).

Referências

- Buragohain, D.N., e Raghavan, N. (1977). *Interaction of Frames ~ ith Pile Foundations*, Proc. Of International Symposium on Soil-Structure Interaction, Roorkee, Vol.I, pp. 109-115.
- Gusmão Filho, A.D. (1990). *Estudo da Interação SoloEstrutura e sua Influência em Recalques de Edificações*. Tese de Mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990.
- Oliveira, P. E. S. (2013). *Análise de provas de carga e confiabilidade para edifício comercial na Região Metropolitana do Recife*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2013.
- Silva, R.A. da (2017). *Análise de provas de oscilação em fundação superficial do tipo radier em obra da região metropolitana do Recife*. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Civil, Centro de Ciências e suas Tecnologias, Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2017.