

Monitoramento de Movimentações Verticais em Edificações

Alysson Rodrigo Andrade ¹
 Fabiano Ventura Santos ²
 Prof. Cláudio C. Zimmermann ³

¹ Eng. Civil, Mestrando do Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFSC
 R. Laélia Purpurata, 340 - Saco Grande I.
 88030-300 Florianópolis SC
 ✉ alysson.andrade@bol.com.br

² Eng. Civil, Autônomo
 Av. Luís de Camões, 491 - Coral
 Fone: 0(xx) 49 225-0339
 88523-000 Lages SC
 ✉ fventura@iscc.com.br

³ Eng. Civil, Mestre em Engenharia
 Departamento de Engenharia Civil
 Universidade Federal de Santa Catarina
 Campus Universitário, Centro Tecnológico, Trindade, C.Postal 476
 88040-900 Florianópolis SC
 ✉ zimmermann@ecv.ufsc.br

Conteúdo	<ul style="list-style-type: none"> 1 Introdução 2 Objetivos <ul style="list-style-type: none"> 2.1 Geral 2.2 Específicos 3 Justificativa 4 Metodologia <ul style="list-style-type: none"> 4.1. Análise de Projetos <ul style="list-style-type: none"> 4.1.1. Laudos de Sondagem 4.1.2 Projetos Estrutural e Arquitetônico. 4.2 Histórico da Construção 4.3 Escolha dos Pontos a Serem Monitorados 4.4 Materialização dos Pontos de Acompanhamento 4.5 Nivelamento Geométrico 4.6 Verificação da Verticalidade 4.7 Nivelamento de piso e laje 4.8 Mapas de Fissuras 4.9 Análise dos dados 4.10 Reforço de Fundação e Recuperação Estrutural da Edificação 5 Considerações Finais 6 Bibliografia
-----------------	---

Resumo : O solo, o elemento de fundação e a superestrutura de uma edificação formam uma unidade, devendo portanto, ser considerados como um todo. A interação entre estes elementos é tão complexa que acarretou em um atraso no desenvolvimento científico da engenharia de fundações quando relacionada à engenharia estrutural propriamente dita. Esta dificuldade reflete-se também nos projetos de fundações que requerem métodos de abordagem diferentes dos usualmente empregados no cálculo estrutural. Tendo em vista as dificuldades referentes à realização de projetos eficazes na área de fundações, sabe-se hoje em dia, que problemas relativos à recalques de alicerces são comuns. Todavia, em grande parte destes casos não realiza-se um estudo mais detalhado do problema, pois há um receio generalizado por parte das empresas em declarar a ocorrência de tal patologia em uma de suas obras. Contudo, existem situações em que o sigilo torna insustentável devido a magnitude dos recalques. Nestas recorre-se geralmente a profissionais habilitados a mensurar a gravidade do problema, e se necessário, intervir junto a estrutura em questão. Dessa forma, estudos topográficos aprimorados, seguidos de sua correta interpretação são ferramentas indispensáveis para a análise em questão, o monitoramento continuado, pela Topografia, da edificação ou parte dela, pode proporcionar informações valiosas para a detecção do fenômeno atuante, bem como a magnitude e a velocidade das deformações produzidas. A análise conjunta das informações oriundas do monitoramento, da geotecnia e da estrutura trás segurança à elaboração de projetos de recuperação estrutural das edificações comprometidas. O presente trabalho tem por objetivo monitorar um recalque diferencial em uma edificação localidade de Tijucas-SC, e através da medição e acompanhamento de recalques diferenciais, flambagens de pilares além mapeamento da evolução das trincas e fissuras encontradas nas paredes da mesma. Além disto, a análise dos dados obtidos por Topografia, servirá de subsídio para verificar a gravidade da patologia em estudo e analisar uma alternativa de solução tecnicamente viável para o problema.

Abstract : The soil, the foundation element and the structure of a construction form an unit, owing therefore, to be considered as a whole. The interaction among these elements is so complex that carted in a delay in the scientific development of the engineering of foundations when related properly to the structural engineering dictates. This difficulty is also reflected in the projects of foundations that usually request approach methods different from the employees in the structural calculation. Tends in view the referring difficulties to the accomplishment of effective projects in the area of foundations, it is known nowadays, that relative problems to you press down it of foundations they are common. Though, in a large part of these cases he/she doesn't take place a detailed study of the problem, because there is a fear generalized on the part of the companies in declaring the occurrence of such pathology in one

of its works. However, situations exist in that the secret turns unsustainable due to size of the you press down. In these it is generally run over the professionals paymasters the measure the gravity of the problem, and if necessary, to intervene structure close to in subject. In that way, studies topographical perfected, followed by its correct interpretation are indispensable tools for the analysis in subject, the continuous control, for the Topography, of the construction or it leaves of her, it can provide valuable information for the detection of the phenomenon action, as well as the size and the speed of the produced deformations. The whole analysis of the information originating from of the control, of the geotecnia and of the structure back safety to the elaboration of projects of structural recovery of the committed constructions. The present work has for objective to monitor one it presses down diferencial in a construction place of Tijucas-SC, and through the mensuration and accompaniment of you press down you differentiate, displaced of pillars beyond control of the evolution of the trines and fissures found in the walls of the same. Besides, the analysis of the data obtained by Topography, will serve as subsidy to verify the gravity of the pathology in study and to analyze a solution alternative technically viable for the problem. Besides, the analysis of the data obtained by Topography, will serve as subsidy to verify the gravity of the pathology in study and to analyze a solution alternative technically viable for the problem.

1 Introdução

O solo, as fundações e a superestrutura de uma edificação, formam uma unidade devendo portanto, ser considerados como um todo. A interação entre estes elementos é tão complexa que acarretou em um atraso no desenvolvimento científico da engenharia de fundações quando relacionada à engenharia estrutural propriamente dita. Esta dificuldade reflete-se também nos projetos de fundações que requerem métodos de abordagem diferentes dos usualmente empregados no cálculo estrutural.

A fundação corretamente projetada deve suportar as cargas que atuam sobre elas, distribuindo-as de modo satisfatório sobre a superfície de contato na qual se apoia. Esta distribuição não deve gerar tensões que possam provocar ruptura na massa de solo, em que a fundação se apoia, bem como inclinações e recalques significativos ao conjunto estrutural.

No projeto das fundações, deve-se tomar um cuidado especial no tamanho e forma das fundações diretas, na existência de camadas profundas muito deformáveis e no adensamento de aterros a serem lançados entre outros.

Atualmente o principal problema à ser enfrentado pelo engenheiro civil na execução de um bom projeto de fundações reside na realização prévia de um bom estudo geotécnico, visando identificar os materiais que constituem o subsolo em questão. Quando estas investigações são insuficientes tem-se frustradas as expectativas de baixo custo para a realização de determinadas obras. MOHR (1943), em um de seus trabalhos pioneiros sobre a exploração do subsolo concluiu:

"É evidente que os projetos de fundações baseados em condições desconhecidas do subsolo, assim como especificações de serviços a serem executados sobre materiais desconhecidos, são motivos certos para se criar discussões entre as partes de um contrato de obras. É incrível que um engenheiro se exponha a determinada situação, mas isto é um fato que ocorre diariamente".

Tendo em vista as dificuldades acima abordadas referentes à realização de projetos eficazes na área de fundações, sabe-se hoje em dia, que problemas relativos à recalques de alicerces são comuns. Todavia, em grande parte destes casos não realiza-se um estudo mais detalhado do problema, pois há um receio generalizado por parte das empresas em declarar a ocorrência de tal patologia em uma de suas obras. Contudo, existem situações em que o sigilo se torna insustentável devido a magnitude dos recalques. Nestas recorre-se geralmente a profissionais habilitados a mensurar a gravidade do problema, e se necessário, intervir junto a estrutura em questão. Dessa forma, os estudos topográficos seguidos de sua correta interpretação são ferramentas indispensáveis, pois nos fornecem certezas a respeito de fenômenos, os quais, a estrutura esteja sendo submetida. Possibilitando as devidas recuperações de edificações comprometidas pelo recalque.

2 Objetivos

2.1 Geral

O presente trabalho tem por finalidade monitorar um recalque diferencial em uma edificação localizada na cidade de Tijucas-SC, e através da análise dos dados obtidos verificar a gravidade da patologia em estudo e analisar uma alternativa de solução proposta para o problema. Esta solução deverá apresentar-se sob forma de um projeto de recuperação economicamente viável e tecnicamente seguro para os fins a que se destina a obra.

A partir de um estudo que envolva todas as diretrizes pertinentes a execução da obra, visa-se através deste, apontar as principais causas e as possíveis consequências em que a patologia verificada poderia acarretar futuramente, caso não houvesse uma intervenção corretiva na estrutura em questão.

2.2 Específicos

Com a finalidade de se obter grande precisão nas conclusões utiliza-se neste diversas técnicas para o levantamento dos dados a fim de se ter uma interpretação clara e segura do problema.

Abaixo estão relacionadas as técnicas topográficas a serem utilizadas e os objetivos individuais que alcançar-se-ão :

- Monitorar recalques diferenciais: Estes serão mensurados a partir de uma referência de nível e pontos fixos introduzidos na estrutura da edificação em questão;
- Mapear as fissuras: Através do mapeamento de fissuras localizadas em paredes de alvenaria, vigas lajes e pilares busca-se avaliar a estabilidade da estrutura em um determinado intervalo de tempo;
- Verificar o prumo: Através da verificação de prumo analisa-se a verticalidade de pontos críticos na estrutura, (pilares), mensurando a amplitude da flambagem neste ocorrido e constatando o seu desenvolvimento no período em estudo;
- Estudar os dados referentes ao projeto inicial da obra e histórico referente à execução da mesma visando revelar a natureza do problema em questão sob o ponto de vista da Engenharia;
- Levantar todos os problemas ocorridos na edificação advindos da patologia principal "quantificando-os", e estimando suas proporções na falta de uma subsequente intervenção;

- Auto-analisar a metodologia empregada no nivelamento e apresentar as aferições anteriormente realizadas, quando do início da constatação do problema, **confrontando-as** e indicando outros caminhos que possibilitem conclusões melhores;
- Compilar os dados obtidos no monitoramento tornando-os funcionais à formulação de uma solução para o problema.
- Verificar o desempenho da solução apresentada na prática, levantando aspectos positivos e negativos;

3 Justificativa

A realização deste trabalho é de fundamental importância para futuros estudos de Engenharia que venham de encontro aos tópicos aqui abordados.

Verifica-se no presente trabalho a grande magnitude e complexidade que envolve o estudo de patologias dentro da Engenharia. A grande gama de conteúdos aqui implícita se torna de fundamental importância na recuperação de problemas relativos a recalques. Entende-se que somente a partir de uma análise aprofundada representa-se a exata amplitude do problema. Desta maneira, o correto monitoramento seguido de apropriadas intervenções estruturais vêm implicar diretamente na segurança do usuário, seu bem estar, ou simplesmente na não desvalorização de seu imóvel, decorrente de eventuais recalques na obra.

A análise de projetos, laudos de sondagem e forma de execução podem trazer à tona problemas mais graves do que os aferidos até então. Estes procedimentos servem também como alerta preventivo às edificações similares futuramente desenvolvidas.

A busca por patologias similares em outras construções deve trazer dados complementares certamente relevantes no estudo de situações semelhantes. Assim como o presente trabalho poderá servir como acervo para outros estudos na área.

Finalmente, apresenta-se aqui a incumbência máxima do Engenheiro Civil. De criar, sob condições adversas, alternativas para a solução de problemas, após o estudo das peculiaridades que envolvam os mesmos.

4 Metodologia

4.1. Análise de Projetos

Com o objetivo de se elaborar um parecer técnico com grande confiabilidade procurou-se ter um conhecimento de todas as ciências da Engenharia envolvidas neste problema. Dessa forma realizou-se uma análise dos projetos visando uma interação da Topografia com a Mecânica dos Solos e Estruturas. A interpretação do conjunto destas informações possibilitou uma avaliação segura e eficiente do comportamento da edificação ao longo do período em estudo.

4.1.1. Laudos de Sondagem

Em novembro de 1996 foram executados 08 (oito) perfurações conforme croqui a ser apresentado. Estes foram realizados com a utilização do "Standart Penetration Test" - SPT com tubos de revestimento interno de 66,5 milímetros e externo de 76,2 milímetros. O amostrador utilizado possuía diâmetro interno de 34,9 milímetros e externo de 50,8 milímetros.

A resistência do solo foi medida pelo número de golpes necessários a cravação de 45 centímetros (3x15cm) do amostrador. A penetração do amostrador foi provocada pela queda de um peso de 65 kg a uma altura constante de 75 centímetros.

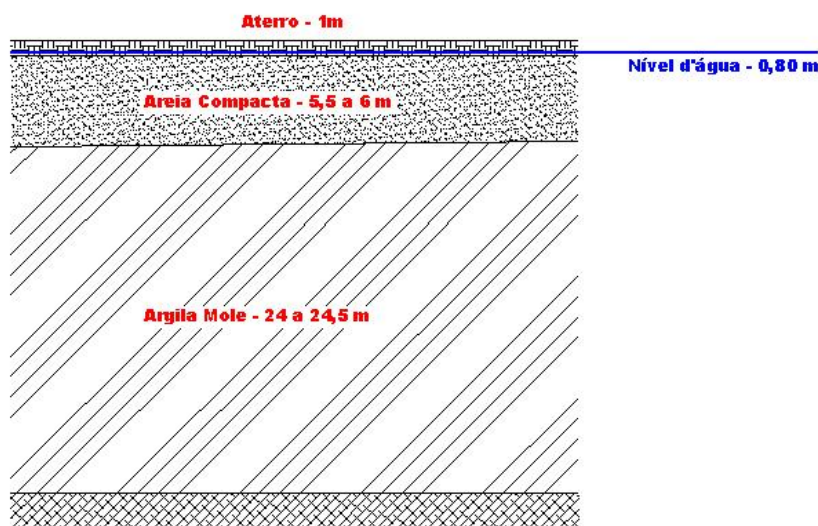


Fig. 1 : Corte Geológico do Terreno

4.1.2 Projetos Estrutural e Arquitetônico.

A análise dos projetos Estrutural e Arquitetônico proporcionou um melhor conhecimento das peculiaridades da edificação. Dessa forma realizou-se um planejamento para execução dos trabalhos topográficos e de recuperação do prédio.

4.2 Histórico da Construção

Além dos dados de projeto procurou-se fazer um levantamento da maneira pela qual a edificação em questão foi executada. Após o relato de pessoas que presenciaram a fase construtiva do prédio pode-se concluir que:

- Em maio de 1997 a obra estava concluída após sete meses de serviço. Cerca de três meses depois verificou-se o aparecimento das primeiras trincas e, concomitantemente o alerta para a ocorrência de um possível problema de recalque na edificação principalmente no pilar 12*.

- Na linha onde localizam-se os pilares P12, P25 e P41 existia um pequeno córrego que foi aterrado para a construção do edifício. Desta maneira, o perfil estratigráfico do solo na região que abrange estes pilares não apresenta a camada resistente que verifica-se nos laudos de sondagem, ficando assim, os referidos pilares assentes sobre o solo do aterro.

- Algum tempo antes da construção deste edifício havia sido concluído nas proximidades um outro prédio semelhante que também teria pilares apoiados sobre o córrego. Entretanto, intervenções imediatas no projeto estrutural, como aumento da área das sapatas, fizeram com que o edifício estagnasse, não desenvolvendo problemas significativos de recalque.

- O nível de lençol freático encontrado era de 80 centímetros e na realização da concretagem não houve a retirada da água presente nas formas.

- Na tentativa de minimizar o problema da baixa capacidade de suporte do solo encontrado junto ao antigo córrego ,utilizou-se equivocadamente, dois tubos de concreto sobrepostos, com um metro e meio de diâmetro por um metro de altura, preenchidos por concreto ciclópico, em lugar das sapatas S12, S25, S41, S42, S59, S72, S71 (numeração conforme projeto original). Com isso, a área da base destas sapatas foi diminuída e a carga transmitida ao solo passou a ser muito maior, devido ao grande volume de concreto utilizado, conforme comparação mostrada na tabela abaixo para o pilar 12. *Obs: Os croquis de locação dos pilares além de outros serão apresentados posteriormente.

Tabela 1 - Alterações no Projeto Inicial

	Projeto original	Alteração executada
Área da base (m²)	1,96	1,76
Volume de concreto (m³)	0,50	3,50
Peso da sapata (KN)	1,25	8,75

4.3 Escolha dos Pontos a Serem Monitorados

Segundo Zimmermann et alli (1996), cabe ao engenheiro de estruturas, a definição dos pontos críticos a monitorar, tendo em vista o comportamento estrutural da edificação. Cada projeto estrutural possui sua concepção de cálculo e portanto apresenta peculiaridades diversas em função da memória de cálculo. Dessa forma, a correta orientação quanto aos pontos a serem observados é fator que otimiza e proporciona maior segurança aos trabalhos de monitoramento.

Para a determinação dos pontos a monitorar considerou-se o posicionamento do pilar em que o recalque era crítico e visualmente notável e, além deste monitorou-se também os pilares adjacentes ao primeiro, assim como todos aqueles onde foi possível obter uma perfeita visualização sem necessidade de mudança de estação.

Para determinar-se o ponto que serviria de referência de nível foram levados em conta alguns aspectos:

- O ponto deve-se localizar fora da área de influência do recalque;
- O ponto deve-se localizar em posição tal que não seja necessário o transporte de nível (mudança de estação);

É necessário ressaltar que o ideal seria um ponto em outra edificação isenta de recalque para servir como RN , mas como para este caso percebe-se facilmente que o recalque esta ocorrendo apenas em uma região bem delimitada e que para localizar o RN em edificações vizinhas seriam necessárias mudanças de estação optou-se então por usar um pilar distante da área problemática como RN.

Para a realização dos cálculos de recalques arbitrou-se o valor 1.000,00 mm como sendo a cota para referência de nível.

4.4 Materialização dos Pontos de Acompanhamento

Como as leituras deveriam ser feitas sempre nos mesmos pontos tornou-se necessária a materialização destes na estrutura.

Uma hipótese para a demarcação dos pontos em questão seria com lápis, sendo esta descartada imediatamente devido à possibilidade de remoção das marcas por intempéries e/ou vandalismo.

Esta demarcação também poderia ser realizada através da fixação de pinos na estrutura com o uso de uma pistola pneumática, entretanto devido a momentânea indisponibilidade de tal equipamento e aos danos que a cravação dos pinos fatalmente acarretaria na estrutura optou-se por outra alternativa não tão eficaz. Mas ainda confiável e bastante viável para o uso neste trabalho abaixo apresentada.

Foram feitos furos nos pilares a uma altura confortável para as leituras através de uma furadeira de alto impacto com broca de vídea (própria para o uso em concreto armado). Nestes furos introduziu-se buchas de plástico com 5 milímetros, posteriormente acresceu-se a estas parafusos comuns. Verificou-se a indeslocabilidade destes na estrutura para que não houvesse desvios entre duas medições e teve-se ainda o cuidado de introduzi-los a uma mesma profundidade de forma que a cabeça dos parafusos não resultassem em diferenças de altura quando envoltos pela régua metálica. Esta alternativa mostrou-se não só econômica como0 altamente satisfatória.

4.5 Nivelamento Geométrico

A metodologia utilizada neste trabalho para o cálculo de recalques fundamentou-se no nivelamento geométrico de pinos colocados nos pilares da edificação para acompanhamento da evolução do recalque parcial em determinados pontos da estrutura.

Para a realização das leituras determinou-se o melhor local para instalação do nível N3, procurando-se visar todos os pilares de interesse utilizando uma única estação. A fim de utilizar-se sempre o mesmo ponto para a instalação do aparelho cravou-se um

piquete no local escolhido quando da primeira leitura.

As leituras eram feitas visando-se uma régua metálica centimétrica, tomando-se os devidos cuidados com o nivelamento do aparelho e verticalidade da régua, em cada ponta foram realizadas cerca de cinco leituras, sendo que a média aritmética era registrada na caderneta de campo.

A cada visita à edificação além das cotas aferidas para cada pilar em observação, anotava-se também, informações sobre fatores que poderiam influenciá-las, como vibrações próximas e condições climáticas do respectivo dia (temperatura, intensidade do vento, umidade).

Após os serviços de campo realizava-se o cálculo dos recalques e suas velocidades. Os recalques parciais são expressos em milímetros e determinam as variações de níveis, relativos a primeira medição, dessa forma, são obtidos pela diferença de cota entre uma leitura e sua antecessora. Sendo que estas leituras são a média aritmética das leituras feitas em campo.

O somatório dos recalques parciais desde a primeira medição representa o recalque total que apresenta-se na mesma unidade de medida. Com estes dados e o intervalo de tempo entre as medições realizadas pode-se chegar a velocidade de recalque representadas pela unidade ($\mu\text{m}/\text{dia}$). A seguir apresenta-se as planilhas de cálculo com os valores de recalques e velocidades para o caso em estudo.

Tabela 2 - Cotas da Primeira Leitura (01.07.99)

Pontos	Data 01.07.99
	Leitura n 1
	Cota Referência (cm)
RNA	1000,000
P08	998,104
P09	998,103
P10	998,381
P11	997,754
P12	992,010
P25	993,511
P41	996,027

Tabela 3 - Dados da Segunda Leitura (09.07.99)

Pontos	Data 09.07.99	DTp=d 8	DTt=d 8	Dias 8
	Leitura n 2	Recalque Parcial (mm)	Recalque Total (mm)	Velocidade de Recalque ($\mu\text{m} / \text{dia}$)
	Cota Observada (cm)			
RNA	1000	0,000	0,000	0,00
P08	998,087	-0,170	-0,170	-21,25
P09	998,089	-0,140	-0,140	-17,50
P10	998,36	-0,210	-0,210	-26,25
P11	997,724	-0,300	-0,300	-37,50
P12	991,943	-0,670	-0,670	-83,75
P25	993,475	-0,360	-0,360	-45,00
P41	996,000	-0,273	-0,273	-34,12

Tabela 4 - Dados da Terceira Leitura (11.08.99)

Pontos	Data 11.08.99	DTp=d 33	DTt=d 41	Dias 41
	Leitura n 3	Recalque Parcial (mm)	Recalque Total (mm)	Velocidade de Recalque ($\mu\text{m} / \text{dia}$)
	Cota Observada (cm)			
RNA	1000,000	0,000	0,000	0,00
P08	998,086	-0,010	-0,180	-4,39
P09	998,077	-0,120	-0,260	-6,34
P10	998,323	-0,370	-0,580	-14,15
P11	997,677	-0,470	-0,770	-18,78
P12	991,835	-1,080	-1,750	-42,68
P25	993,384	-0,910	-1,270	-30,98

P41	995,945	-0,547	-0,820	-20,00
-----	---------	--------	--------	--------

Tabela 5 - Dados da Quarta Leitura (21.09.99)

Pontos	Data 21.09.99	DTp=d 41	DTt=d 82	Dias 82
	Leitura n 4 Cota Observada (cm)	Recalque Parcial (mm)	Recalque Total (mm)	Velocidade de Recalque ($\mu\text{m} / \text{dia}$)
RN A	1000,000	0,000	0,000	0,00
P08	998,092	0,057	-0,123	-1,50
P09	998,084	0,073	-0,187	-2,28
P10	998,326	0,027	-0,553	-6,75
P11	997,673	-0,042	-0,812	-9,90
P12	991,827	-0,082	-1,832	-22,34
P25	993,380	-0,043	-1,313	-16,02
P41	995,943	-0,022	-0,842	-10,26

Tabela 6 - Dados da Quinta Leitura (11.11.99)

Pontos	Data 11.11.99	DTp=d 51	DTt=d 133	Dias 133
	Leitura n 5 Cota Observada (cm)	Recalque Parcial (mm)	Recalque Total (mm)	Velocidade de Recalque ($\mu\text{m} / \text{dia}$)
RN A	1000	0,000	0,000	0,00
P08	998,085	-0,067	-0,190	-1,43
P09	998,08	-0,043	-0,230	-1,73
P10	998,297	-0,287	-0,840	-6,32
P11	997,541	-1,318	-2,130	-16,02
P12	991,171	-6,558	-8,390	-63,08
P25	992,825	-5,547	-6,860	-51,58
P41	995,718	-2,248	-3,090	-23,23

Tabela 7 - Dados da Sexta Leitura (22.11.99)

Pontos	Data 22.11.99	DTp=d 11	DTt=d 144	Dias 144
	Leitura n 6 Cota Observada (cm)	Recalque Parcial (mm)	Recalque Total (mm)	Velocidade de Recalque ($\mu\text{m} / \text{dia}$)
RN A	1000,000	0,000	0,000	0,00
P08	998,060	-0,255	-0,445	-3,09
P09	998,024	-0,560	-0,790	-5,49
P10	998,254	-0,435	-1,275	-8,85
P11	997,492	-0,492	-2,622	-18,21
P12	991,148	-0,233	-8,623	-59,88
P25	992,814	-0,108	-6,968	-48,39
P41	995,717	-0,010	-3,100	-21,53

Pode-se melhor visualizar o fenômeno através dos gráficos a seguir.

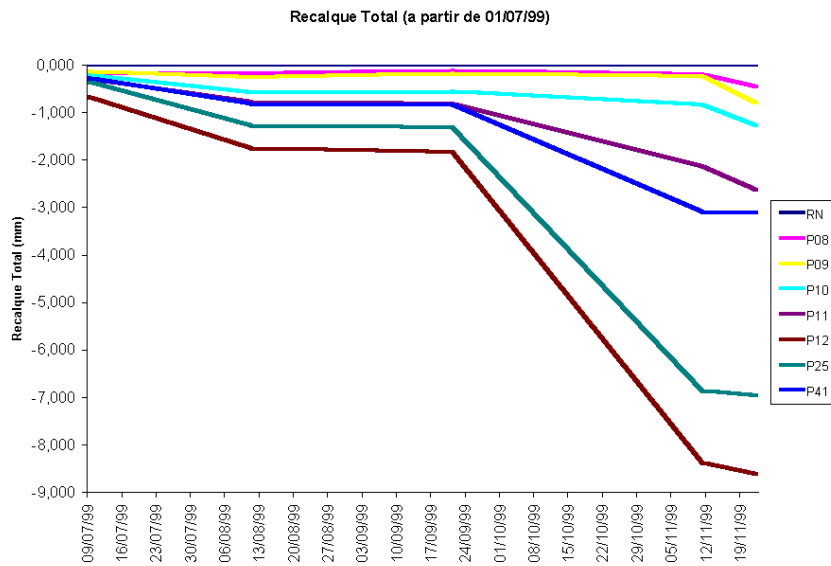


Fig. 2 : Gráfico dos Recalques Totais a Partir de 01/07/99

4.6 Verificação da Verticalidade

Outro aspecto que teve-se o cuidado de apurar foi a verticalidade da estrutura, uma vez que com a movimentação da fundação ocorreu também a flambagem do pilar.

A flambagem foi aferida tomando-se como eixo vertical uma reta passando pelo ponto extremo da curvatura do pilar e, através do teodolito, medindo-se a distância este eixo vertical e a estrutura do edifício. A Tabela 08 apresenta os valores das leituras nos pontos A, B, C, D, e E, mostrados na Figura 03.

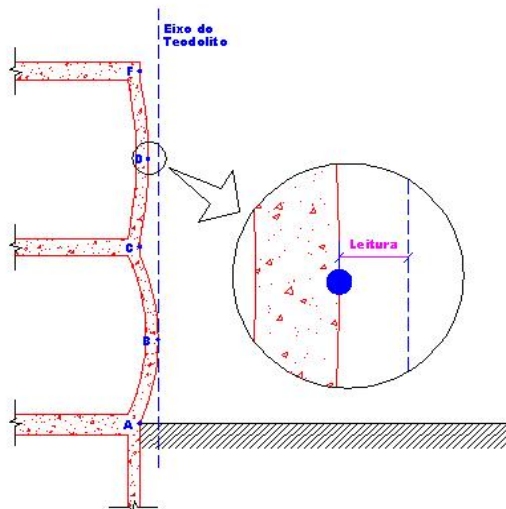


Fig. 3 : Esquema de Controle da Flambagem

Tabela 8 - Flambagem do Pilar P12

Flambagem do Pilar P12 (mm)				
	09.07.99	11.08.99	21.09.99	11.11.99
E	2,15	2,10	2,14	2,40
D	0,52	0,49	0,47	0,65
C	2,47	1,91	2,02	2,22

B	0,00	0,00	0,00	0,00
A	1,85	1,85	1,76	1,90

4.7 Nivelamento de piso e laje

A fim de obter-se maiores detalhes sobre a real situação do cedimento já ocorrido na estrutura foi realizado um nivelamento geométrico de piso e laje, junto aos pilares do edifício, visando pontos no interior do mesmo. Para tal levantamento foram utilizados o nível N3 e a mira de invar.

As leituras de todos os pontos aferidos foram subtraídas do ponto que apresentou menor variação dentre todos os visados, desta forma, pôde-se obter valores para o recalque da laje do primeiro pavimento e do piso (armado). O croqui do Anexo 02 trará a localização dos pontos visados.

Tabela 9 - Nivelamento da Laje (Teto)

Ponto	11/11/99	
	Leitura na Mira	Diferença de Nível em Relação ao Ponto 10 (cm)
1	130,661	-6,205
2	133,104	-3,762
3	125,085	-11,781
4	127,782	-9,084
5	133,653	-3,213
6	136,620	-0,246
7	135,622	-1,244
8	134,655	-2,211
9	134,045	-2,821
10	136,866	0,000

Tabela 10 - Nivelamento do Piso

Ponto	Leit.1 - 01/07/99		Leit.2 - 11/11/99		Diferença Leituras (cm)
	Leitura na Mira	Diferença de Nível (cm)	Leitura na Mira	Diferença de Nível (cm)	
1	162,831	3,258	159,980	3,635	0,377
2	160,400	0,827	157,351	1,006	0,179
3	167,364	7,791	164,600	8,255	0,464
4	167,413	7,840	165,540	9,195	1,355
5	162,608	3,035	159,720	3,375	0,340
6	160,552	0,979	157,250	0,905	-0,074
7	159,041	-0,532	155,937	-0,408	0,124
8	159,063	-0,510	155,800	-0,545	-0,035
9	159,328	-0,245	156,138	-0,207	0,038
10	159,573	0,000	156,345	0,000	0,000

4.8 Mapas de Fissuras

A evolução dos recalques diferenciais pode ser notada não só através de sua mensuração, mas também através das consequentes fissuras que as movimentações da fundação causam na alvenaria e na superestrutura do edifício.

O método utilizado para acompanhar o desenvolvimento das fissuras apresentadas nas vigas, lajes, pilares e paredes foi o mapeamento de fissuras. Com o auxílio de uma trena registrou-se o quadro fissuratório de cada parede quando da primeira visita ao edifício. Nas visitas seguintes os mapas eram comparados à situação atual da parede e então eram registradas as alterações identificadas. Os mapas apresentam-se no anexo 03.

Analisando-se os formatos e direções das fissuras pode-se concluir quais são as áreas da edificação que mais sofreram com a movimentação dos elementos de fundação e que deverão ser alvo de um acompanhamento mais rigoroso ou uma posterior recuperação.

4.9 Análise dos dados

Mediante o nivelamento geométrico realizado durante o período de 01/07/99 a 21/11/99 referente ao recalque na edificação pode-se considerar que no início dos trabalhos topográficos o pilar 12, apresentava um recalque total de aproximadamente **58 mm** conforme nivelamento anteriormente realizado. Este já apresentava uma flambagem acentuada, com a presença de fissuras a uma altura de

1,20 m do baldrame, e uma grande lesão no ponto onde ele está engastado com a viga do primeiro pavimento. As janelas tipo maximar localizadas junto ao pilar já não abriam com facilidade, sendo que uma destas apresentava o vidro quebrado, e as alvenarias apresentavam algumas fissuras a 45°, além de blocos cerâmicos, tijolos, cisalhados. Pequenas fissuras apareciam junto a laje de cobertura e observava-se algumas manchas provocadas por infiltrações. Entretanto, não haviam fortes indícios de que outros apoios da estrutura estivessem sofrendo processo de recalque.

No transcorrer das medições o levantamento dos dados referentes a execução das fundações mostraram-se de suma importância na confirmação e pleno entendimento dos resultados obtidos.

Sabe-se que o acompanhamento da abertura de fissuras constitui um recurso simples e expedito, porém a cada nova visita a obra o surgimento de trincas características nas alvenarias localizadas junto aos pilares P12, P25, P41 nos dois pavimentos confirmavam os resultados apresentados pelo acompanhamento feito.

Desde o início dos trabalhos com o nível N3, os resultados apresentaram um recalque diferencial no P12 em relação aos outros pontos acompanhados, todavia, os pilares P11, P25 e P41 em nenhuma das aferições deixaram de apresentar recalques significativos. Contudo, o grande afastamento entre a alvenaria e o pilar P11, as fissuras que seccionavam o baldrame junto a este pilar, além do conhecimento prévio de que sua sapata de suporte estava assente sobre a areia, leva-nos a conclusão de que o recalque verificado neste ponto foi consequência de uma força externa que o pilar P12 estaria exercendo sobre ele através da cinta de concreto armado do baldrame. O mesmo raciocínio aplica-se na interpretação dos dados obtidos para os pilares P10, P09 e P08 que apresentam valores de recalque menores conforme seu afastamento do pilar P12.

As velocidades de recalque iniciaram muito elevadas, chegando a 83,75 $\mu\text{m}/\text{dia}$ para o pilar P12 após o primeiro intervalo de leitura. Posteriormente verificou-se uma desaceleração do processo de cedimento em todos os pontos, isto é, queda na velocidade, até a medição do dia 21/09/99, data na qual os pontos P08, P09 e P10 apresentaram elevações menores que um décimo de milímetro, provavelmente em função de algum erro cometido no nivelamento, tendo em vista a forte incidência de vento que verificava-se neste dia, e a subsequente dificuldade da equipe em nivelar a bolha bipartida do nível N3.

4.10 Reforço de Fundação e Recuperação Estrutural da Edificação

Em 1999, o edifício completou três anos desde sua implantação, diante do iminente perigo de colapso da estrutura tornou-se inadiável a recuperação da estrutura visando garantir sua estabilidade e segurança.

Desta forma, os serviços de reforço da fundação foram designados a uma determinada empresa que solicitou a realização de novos furos de sondagem, junto ao pilar P12. Posteriormente, partiu-se para a análise do projeto de reforço de fundações.

A solução proposta abrangeu apenas o pilar P12 e seu respectivo elemento de fundação. Objetivando evitar maiores danos à estrutura durante o período de recuperação da mesma realizou-se um escoramento da área afetada, isto porque em seguida iniciou-se a cravação de estacas metálicas em perfil "I" de 10", em dois pontos equidistantes do pilar P12. Estes perfis metálicos com comprimento de 2,5m foram cravados e devidamente soldados uns aos outros, até atingir uma profundidade de 32 m. Após a cravação fixou-se um caixão metálico também em perfil "I", com 10" sobre as estacas envolvendo o P12 abaixo da linha do baldrame.

Após estas operações o posicionamento da viga metálica apresentava uma folga de 5 cm em relação ao baldrame, este espaço foi posteriormente preenchido por cunhas metálicas.

Com o novo elemento de fundação concluído, iniciou-se a remoção de paredes e esquadrias adjacentes ao P12 nos dois andares do edifício.

A execução do bloco de concreto armado em torno do caixão metálico foi feita com concreto fck = 21Mpa. O pilar P12 passou por uma escarificação a fim de eliminar-se partículas soltas em contato com a área a recuperar, nesta etapa encontrou-se o ponto de engastamento entre o pilar e as vigas do primeiro e segundo pavimentos em péssimo estado, o concreto nestes pontos só apresentava seus agregados graúdos recobertos por um pó, resultado da desagregação do cimento e areia. As ferragens, no entanto, não apresentavam sinais de corrosão.

O projeto inicial previa um reforço para o pilar P12 através do aumento de suas duas faces exteriores usando ganchos metálicos com ϕ 5mm funcionando como estribos para três barras extras com ϕ 12,5mm. Contudo, após a escarificação do pilar, o engenheiro responsável pela execução optou por recuperá-lo aumentando todas as suas faces em 7,5cm, deixando, portanto, o pilar recuperado com seção 35 x 35 cm.

A concretagem do reforço no pilar P12 foi precedida por uma aplicação de SIKADUR 32, a fim de se obter uma melhor aderência nos pontos de ligação entre o concreto velho e o novo.

Os outros elementos estruturais que apresentavam trincas (vigas, lajes e pilares adjacentes) passaram por uma rápida escarificação e subsequente fechamento de suas fissuras com aplicação de resina epóxi.

As paredes demolidas foram reconstruídas, porém, devido ao recalque excessivo, foi necessária uma camada de regularização sob a alvenaria, podendo-se assim, executar as alvenarias niveladas em relação às outras paredes do edifício. Nas demais paredes atingidas foram substituídas apenas as capas dos tijolos cerâmicos que apresentavam-se rompidas.

5 Considerações Finais

Sabe-se que a perfeição nos resultados de um levantamento topográfico é quase impossível de ser obtida, devido ao grande número de variantes que podem vir a influenciar na obtenção dos dados. Contudo, pode-se obter resultados suficientemente representativos para efeito de uma análise, tomando-se alguns cuidados na fase de monitoramento.

Os equipamentos com os quais executou-se as medições não deixaram nada a desejar, possibilitando plena confiança nos resultados apresentados, entretanto, propõe-se algumas alterações na metodologia neste implementada, idealizando uma aferição ainda mais precisa e representativa em monitoramentos futuros, que porventura venham embasar-se no presente trabalho.

A escolha da referência de nível deve-se dar em função do posicionamento dos pontos a serem monitorados, dessa forma, pode-se instalar o aparelho de forma que este fique equidistante de todos os pontos visados, distribuindo um possível erro do aparelho. Nas aferições aqui aplicadas isto não foi possível pois, decidiu-se visar os pilares adjacentes ao P12 em ambas as fachadas que tinham

este pilar em comum, sem realizar mudanças no posicionamento do nível.

Observou-se durante as medições a necessidade de uma maior proximidade do RN ao aparelho, facilitando assim, as visadas no ponto. Todavia, admite-se que poderia se ter visado mais de um RN, de modo a verificar a confiabilidade destas visadas.

A cravação de pinos na estrutura para o controle de recalque implicaria em uma maior segurança no que se refere a indeslocabilidade dos marcos, para trabalhos onde houver a necessidade de se materializar os pontos a uma maior profundidade, conferindo maior estabilidade durante o período de monitoramento. Entretanto, em casos similares ao aqui apresentado os instrumentos e a solução aplicada são perfeitamente eficazes. Diante disso cabe ao engenheiro civil a análise da relação custo-benefício para cada situação, podendo-se ainda criar novas alternativas que venham surtir melhores efeitos.

Com referência as leituras de recalque realizadas neste, deve-se salientar a grande dificuldade encontrada no dia 21/09/99 devido a incidência de vento forte no local, fato que pode ter acarretado certa imprecisão nos dados aferidos, tanto pela dificuldade em nivelar a bolha bipartida, quanto pela oscilação da régua metálica. Nestas situações é prudente executar-se um maior número de medidas (em torno de dez) em cada ponto visado a fim de se obter uma média bem representativa dos valores mensurados. Pode-se ainda descartar os valores mais dispersos, melhorando a média aritmética.

A régua utilizada foi de grande serventia na execução dos trabalhos mas, lembra-se que para melhorar a qualidade das visadas foi preciso na maioria das vezes usar dispositivos que viessem a uniformizar a luminosidade incidente sobre a régua.

Outro fator relevante durante o período de acompanhamento foram as chuvas, que além de influenciar diretamente no processo de recalque da estrutura, impossibilitaram a realização de medições imediatamente anteriores e posteriores à cravação das estacas metálicas, permitindo uma melhor caracterização das velocidades de recalque neste intervalo de tempo.

As leituras foram executadas preferencialmente por uma mesma pessoa, padronizando, assim, o tangenciamento sobre valores exatos visados na régua metálica, através do nível N3 (Figura 04).

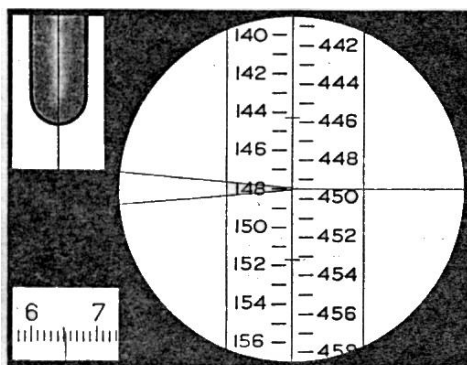


Fig. 4 : Tangenciamento das Medidas no Nível

Um aspecto muito importante para o êxito do levantamento foi a realização das medições sempre no período da manhã onde verificava-se temperaturas próximas dentre as diversas visitas, dificultando o aparecimento de erros nos dados em função do trabalho de retração e dilatação da estrutura.

A verificação de flambagem realizada apresentou resultados bem significativos para a análise da patologia, contudo, considera-se que uma ideal conduta é tomar como referência um marco vertical estável fora da edificação. No caso aqui apresentado, a curvatura localizada no pilar P12 (pavimento térreo), em que tangenciou-se a **linha vertical** do teodolito não é usual, pois, no caso de uma rotação dos elementos estruturais junto ao pilar P12 (ocorrência esta perfeitamente possível), resultaria em distorções nas grandezas dos valores obtidos.

O nivelamento de piso e laje aqui executados com nível N3 e mira de invar satisfaz plenamente as necessidades de se obter a magnitude do recalque total antes do início do monitoramento e após a conclusão dos trabalhos, tornando-se mais um dado confiável para a análise do fenômeno, mesmo que este venha a abranger incorreções oriundas da fase construtiva da obra.

O controle do aumento das fissuras presentes na edificação, assim como toda atividade, deve ser realizado com o que de melhor se possa dispor em termos de instrumentação, no caso um fissurômetro. Todavia, este serviço não demonstra-se o mais importante para a verificação da amplitude dos recalques, mas sim para a correta interpretação destes.

Tendo em vista todos os aspectos pertinentes a patologia em questão, bem como o acompanhamento realizado, deve-se fazer algumas observações sobre a execução de obras em geral como também o projeto de recuperação aqui apresentado.

A prevenção de um futuro recalque na obra e a garantia de sua estabilidade poderiam ser asseguradas através de modificações no projeto e cuidados especiais durante a execução da obra. Porém, as mudanças realizadas não surtiram efeito positivo e vieram a acentuar o problema de recalque, inclusive, com risco de colapso da estrutura.

Os novos elementos de fundação (perfis metálicos) cravados objetivando suportar as cargas estruturais conferidas ao pilar P12 foram superdimensionados, para maior segurança, contudo, poderia obter-se um alívio de cargas através do seccionamento da sapata antiga, possibilitando minimizar os custos da solução aplicada utilizando perfis com menores seções.

Não descarta-se a possibilidade dos pilares P25 e P41 continuarem seu processo de recalque, pelo contrário, a totalidade dos sedimentos já aferidos nestes até então, bem como a análise dos seus demais dados, apontam para o mesmo quadro patológico, entretanto, o processo de acomodação da estrutura após nova configuração dos seus apoios é uma incógnita que deve ser cuidadosamente monitorada. Isto porque se os pilares P25 e P41 não apresentarem velocidades de recalque decrescentes, a edificação deverá sofrer nova intervenção. Lembrando-se que se faz necessário um bom acompanhamento topográfico, diagnosticando o problema, como um paciente que se trata de uma doença grave, apresenta um quadro de melhora, mas ainda não obteve a cura.

Ainda com relação a possíveis recalques após a execução do reforço de fundações pode-se recomendar que a recuperação de fissuras em toda a estrutura realize-se depois de um determinado da recuperação, evitando-se ter de refazer o serviço, evitando novas intervenções devidas à acomodação da estrutura. Por outro lado, para garantir a funcionalidade da edificação em questão imediatamente após sua recuperação, optou-se por realizar os fechamentos em definitivo, fato que deve ser aproveitado como

acompanhamento visual para verificar o êxito do reforço aplicado.

6 Bibliografia

- BELLINA, Willy. **Einführung in den Grunbau**. Verlag und Druck G. Braun, Berlim, 1951.
- BOWLES, J. E. **Foundation: analysis and design**. McGraw-Hill Kogakusha, 3ª edição, Tokyo, 1982.
- BUENO, Benedito de Souza et alii. **Capacidade de Carga de Fundações Rasas**. Editora Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, 1985.
- BURLAND, J. B. et alii. **Behaviour of foundations and structures**. Proc. IX Int. Conf. on soil Mech and Found. Eng., Vol II, Tokio, 1977.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações - Fundamentos**. Vol 1, Livros Técnicos e Científicos Editora, 6ª edição, Rio de Janeiro, 1987.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. Vol 2, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 3ª edição, Rio de Janeiro, 1977.
- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. **Foundation de maisons: Guide pratique pour la conception et l'exécution des foundations de constructions petites et moyennes**. Bruxelas, 1983.
- Coletânea. **Anais Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil**. Vol. 3, Florianópolis, 1996.
- COMASTRI, José Anibal; Tuler, José Cláudio. **Topografia - Altimetria**. Editora UFV, 3ª edição, Viçosa-MG, 1999.
- CRAWFORD, C. B. **Deformations due to foudation movements**. In: Seminar on Cracks, Movements and Joint in Buildings, Ottawa, 1970.
- CUNHA, A. J. P. et alii. **Acidentes Estruturais na Construção Civil**. Editora Pini, 1ª edição, Vol. 1, São Paulo, 1996.
- ESPARTEL, Lélis. **Curso de Topografia**. Editora Globo, 6ª edição, Porto Alegre, 1978.
- GRANT, R. J. T. et alii. **Differential settlement of buildings**. Journal of the Geotechnical Engineering Division ASCE, Vol. 100, n° GT.9, 1974.
- HACHICH, W. et alii. **Fundações - Teoria e Prática**. ABMS/ABEF, Editora Pini, 1996.
- HELENE, Paulo. **Manual para reforço, e proteção de estruturas de concreto**. Editora Pini, 2ª edição, São Paulo, 1992.
- LOCH, Carlos; CORDINI Jucilei. **Topografia Contemporânea: Planimetria**. Editora da UFSC, Florianópolis, 1995.
- MOHR, H. A. - **Exploration of Soil Condictions and Sampling Operations**. Havard University, Series n° 36, 1943.
- MORAES, M. da Cunha. **Estruturas de Fundações**. Ed. Mc Graw Hill do Brasil, 3ª edição São Paulo, 1976.
- REVISTA. **Téchne - Tecnologia da Construção**. N° 36, 37, 38. Editora Pini, São Paulo, 1998, 1999.
- SIMONS Noel E.; MENZIES Bruce K. **Introdução a Engenharia de Fundações**. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 1981.
- SKEMPTON, A. W.; PECK, R. B.; e MACDONALD, D. H. **Settlement analyses of six structures in Chicago and London**. Proc. I.C.E., Part 1, Vol. 4, 1955.
- THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios - causas, prevenção e recuperação**. Co-edição, Editora Pini, EPUSP, IPT; São Paulo, 1989.
- TSCHEBOTARIOFF, Gregory P. **Fundações Estruturas de Arrimo e Obras de Terra**. Ed. Mc Graw Hill do Brasil, Ltda, 1978.
- VARGAS, Milton. **Fundações de Edifícios**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2ª edição, São Paulo, 1982.
- VERÇOZA, Ênio José. **Patologia das Edificações**. Editora Sagra, Porto Alegre - RS, 1999.