

**XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E
PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009**

NATUREZA DO TRABALHO: PERÍCIA

***APLICAÇÃO DA MODELAGEM EM ELEMENTOS FINITOS EM
PERÍCIAS ENVOLVENDO A ÁREA DE GEOTECNIA***

RESUMO:

O presente trabalho expõe os procedimentos utilizados no âmbito de duas perícias judiciais que objetivavam a apuração donexo causal dos danos ocasionados nas construções dos autores. Os casos se referiam a problemas de geotecnia os quais demandaram modelagem em elementos finitos para elucidação da matéria.

Palavras-chave: *geotecnia, elementos finitos, danos construtivos.*

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

1 - INTRODUÇÃO

Com certa freqüência, o perito judicial se depara com perícias que envolvem a área de geotecnia, tais como a apuração das causas do colapso de um muro de arrimo, recalques das fundações de uma residência, ruptura de barragens, deslizamentos de encostas, etc.

As perícias de geotecnia, por frequentemente envolverem situações onde a ruptura já se efetivou, constituem um campo aberto à aplicação dos métodos de retroanálise e, em decorrência, da modelagem computacional.

Nesse sentido, o jurisperito, por ocasião das diligências periciais, pode caracterizar perfeitamente as características da ruptura ocorrida, calibrar os parâmetros do modelo e proceder à retroanálise, confrontando-se os parâmetros obtidos deste procedimento com aqueles adotados em projeto, utilizando-se, por exemplo, de métodos probabilísticos nos moldes daqueles apresentados por Santos (2007).

Mesmo em situações onde não é feita a retroanálise propriamente dita, a modelagem computacional pode viabilizar a contemplação de vários cenários em um curto espaço de tempo, o que é desejável em se tratando de perícias de engenharia.

Destarte, o presente artigo apresenta a utilização de modelagem em elementos finitos utilizada no âmbito de duas perícias de engenharia que objetivavam apurar problemas relacionados à geotecnia.

2 – O PRIMEIRO PROBLEMA: DANOS EM IMÓVEL CAUSADOS POR CONSTRUÇÃO VIZINHA

2.1 – CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA:

2.1.1 – Dos imóveis vistoriados

O presente trabalho se refere a uma perícia de engenharia para apuração das causas dos danos ocorridos em um imóvel residencial na cidade de Americana/SP, no âmbito de uma Ação Ordinária de Indenização.

O autor alegava que a construção de um prédio comercial no terreno vizinho teria provocado os danos existentes no imóvel, informando haver falhas construtivas.

A empresa requerida contestou a demanda, informando que os danos observados no imóvel do autor decorriam, em sua maioria, de seu uso e de falta de manutenção.

O problema já havia sido abordado em perícia anterior em processo de Produção Antecipada de Provas, na qual a jurisperita atribuiu como nexos causais dos danos no imóvel dos autores a sobreposição dos bulbos de tensão, conforme o croqui a seguir:

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

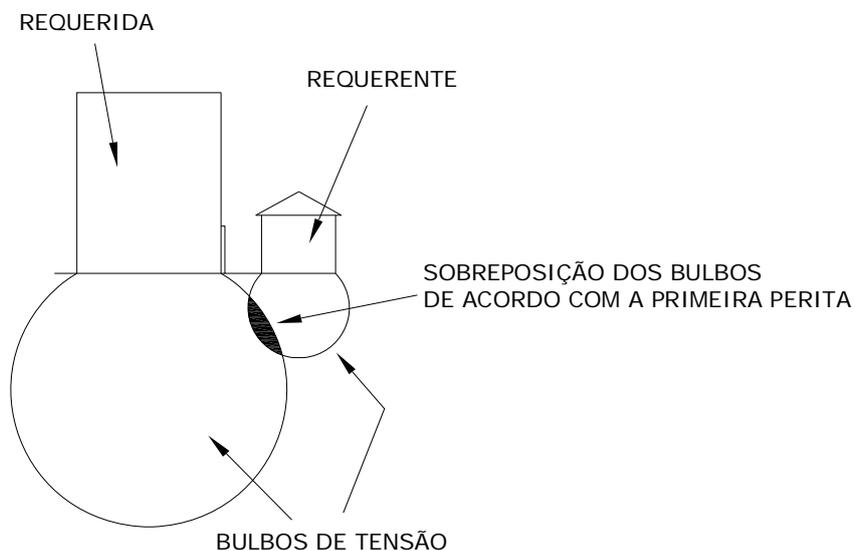


Figura A – Causa dos danos no imóvel do autor, segundo a primeira perícia.

As figuras apresentadas a seguir ilustram o que foi observado por ocasião da vistoria pericial.



Figura 01 – Identificação da residência do autor e do prédio da ré.

**XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E
PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009**



Figura 02 – Divisa entre os imóveis do autor (à direita) e do réu (à esquerda).

2.1.2 – Dos danos constatados no imóvel

Da vistoria empreendida foi possível constatar uma série de danos no imóvel do autor, os quais se caracterizaram por fissuras, trincas e rachaduras com configurações diversas e afundamento do piso do imóvel, problemas esses que remanesciam desde a construção feita pela empresa requerida.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009



Figura 03 – Trinca vertical na alvenaria externa, onde identificado.

#



Figura 04 – Detalhe da trinca observada na foto anterior.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009



Figura 05 – Trecho do piso lateral externo da residência do autor reparado pela ré.



Figura 06 – Trinca diagonal em parede transversal do imóvel do requerente, no sentido do imóvel do réu.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009



Figura 07 – Trinca longitudinal no piso da sala, delimitando a região onde houve afundamento.



Figura 08 – Rachadura vertical sobre o vão de porta.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009



Figura 09 – Fissura sub-vertical em parede transversal, onde identificado.



Figura 10 – Rachadura em parede transversal, onde identificado.

As fissuras, trincas e rachaduras se apresentaram sem uma configuração única, ora apresentando-se verticais, ora dispostas na direção diagonal, com aberturas diversas.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

Característica comum à boa parte das fendas é o aspecto escamado das mesmas (trincas de cisalhamento), denotando a tentativa da alvenaria de resistir aos deslocamentos impostos, sem sucesso.

As fissuras existentes nas paredes transversais da residência vistoriada denunciam a ocorrência de *distorções angulares* das mesmas, as quais são danos tipicamente relacionados a recalques diferenciais das fundações, provocados por desbalanceamento de carga, escavações e outros fatores. A figura a seguir, apresentada por ALONSO (1991), expõe o mecanismo de formação de trincas de distorção.

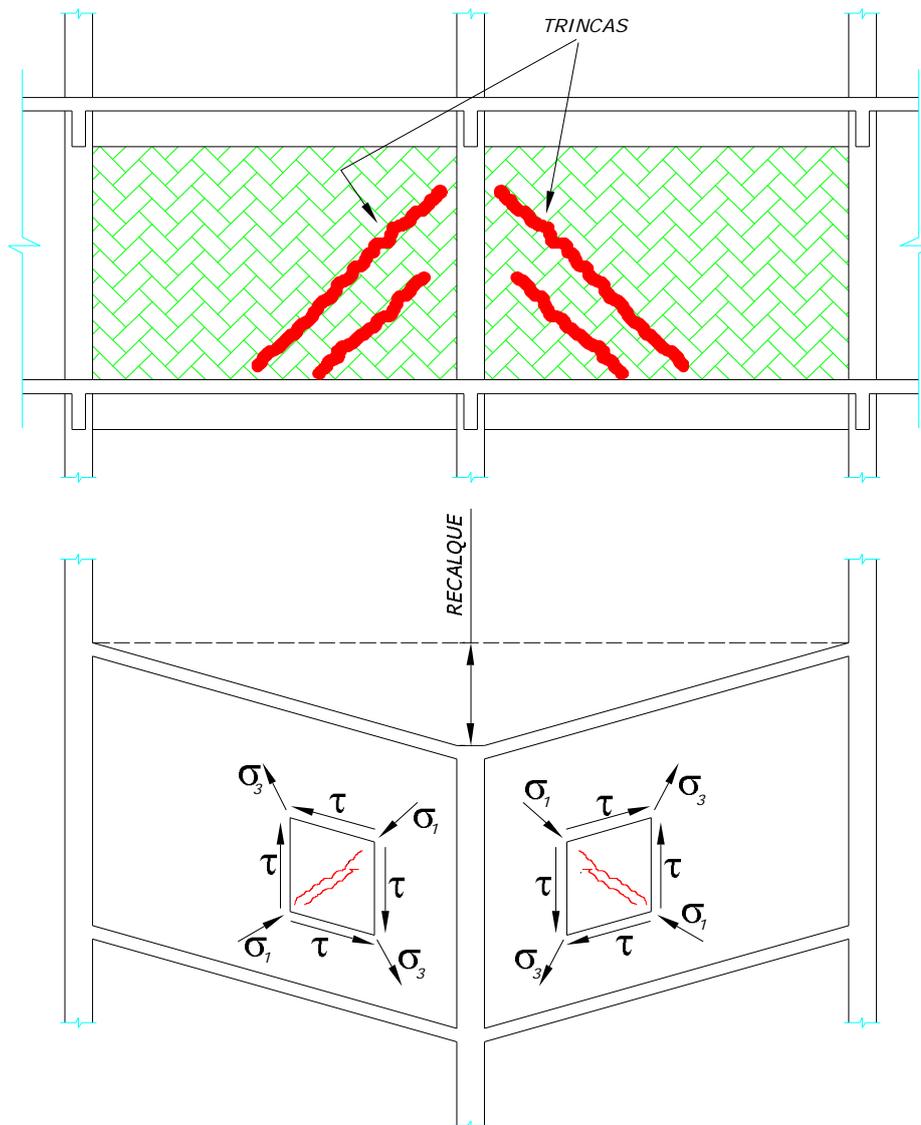


Figura 11 – Tensões decorrentes de recalque de apoio.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

Da figura acima, observa-se que o recalque diferencial provoca o aparecimento de tensões de compressão (σ_1), tensões de tração (σ_3) e de tensões cisalhantes (τ). São as tensões de tração que provocam o aparecimento de fissuras na direção diagonal (direção da tensão principal maior).

A figura a seguir evidencia o estado de tensões estabelecido na parede transversal da sala pelos recalques de apoio.

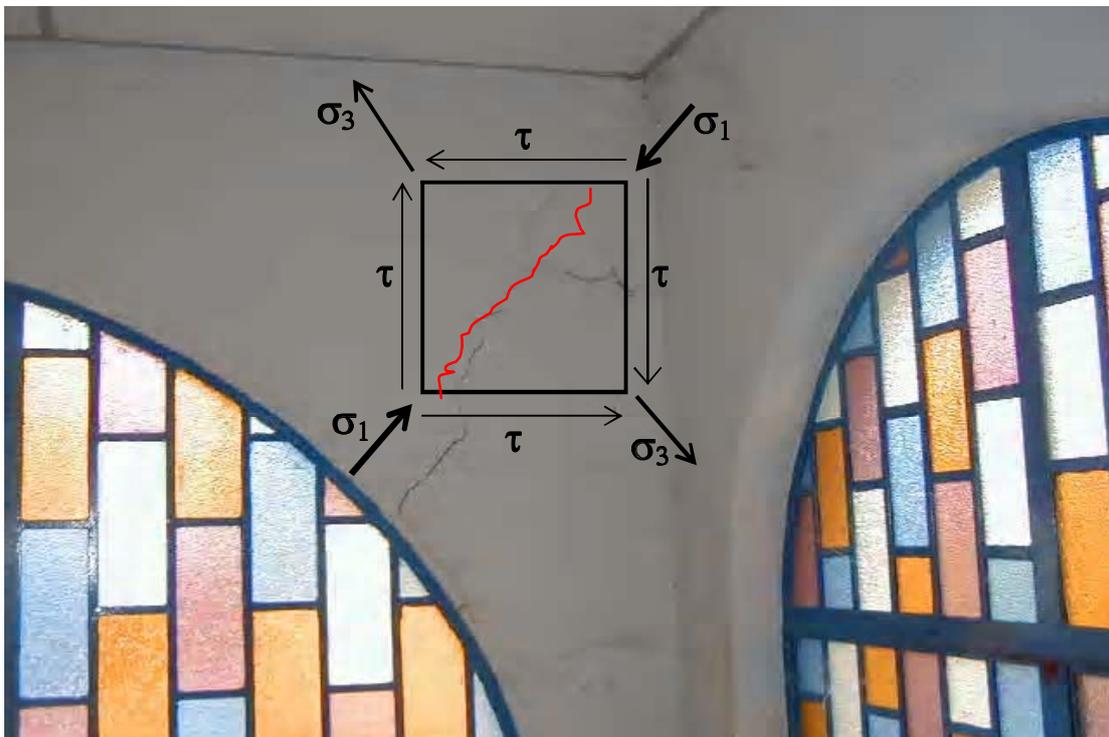


Figura 12 – Representação das tensões estabelecidas na parede em decorrência do recalque de apoio.

O afundamento constatado na porção lateral esquerda do imóvel do autor evidencia a ocorrência de recalques de apoio, dando fundamento físico às fissuras observadas.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

2.2 – DA MODELAGEM EFETUADA

O presente item apresentará a estratégia utilizada na perícia para apuração do provável nexos causal dos danos observados no imóvel do autor. Tendo em vista as alegações do requerente e as conclusões alcançadas no Laudo Pericial do processo de Produção Antecipada de Provas, a equipe da perícia da Ordinária de Indenização traçou a seguinte marcha de verificação:

- (i) Obtenção da carga do pilar mais solicitado do prédio da ré e que esteja localizado junto à divisa com o imóvel do autor;
- (ii) Obtenção do bulbo de tensões para a sapata isolada que apoiava esse pilar;
- (iii) Verificação da movimentação do talude em decorrência das escavações promovidas pela requerida, por ocasião da construção do prédio de sua propriedade.

O trabalho desenvolvido segue apresentado nos tópicos posteriores.

2.2.1 – Modelagem computacional do prédio da requerida:

De posse das plantas de estrutura do imóvel do requerido cujas cópias estavam juntadas nos autos foi possível obter a carga nas sapatas mais próximas do imóvel do autor através da modelagem com o software específico de geotecnia e análise estrutural, como exposto a seguir:

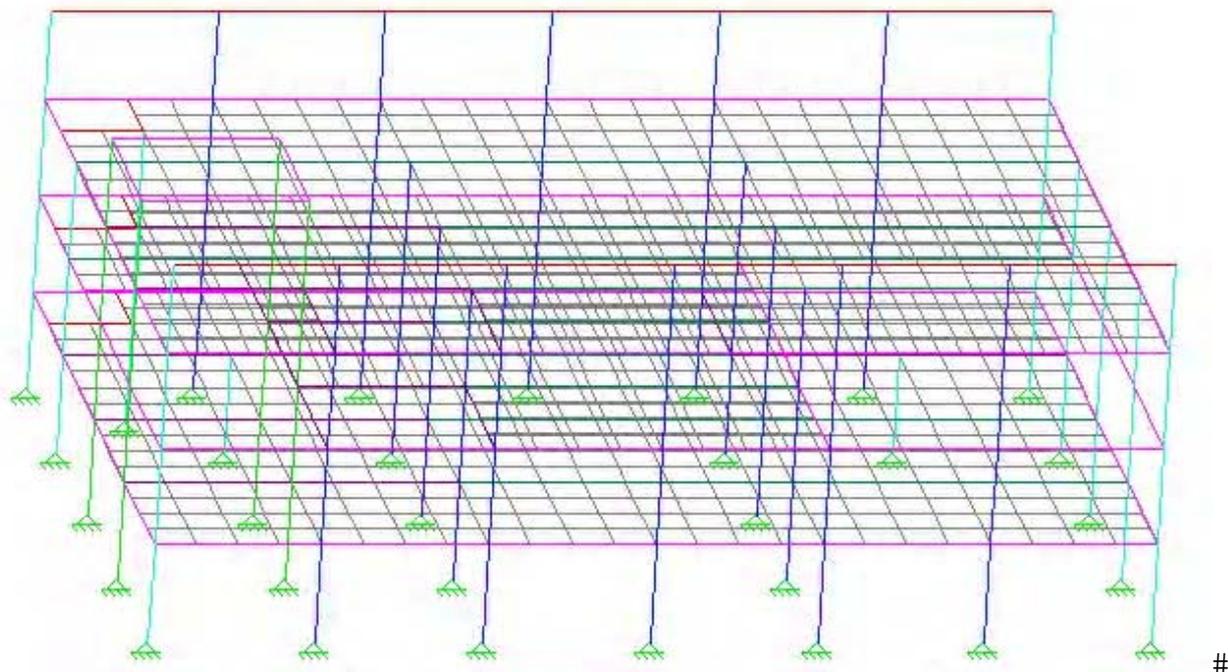


Figura 13 – Lançamento da estrutura em modelo tridimensional.

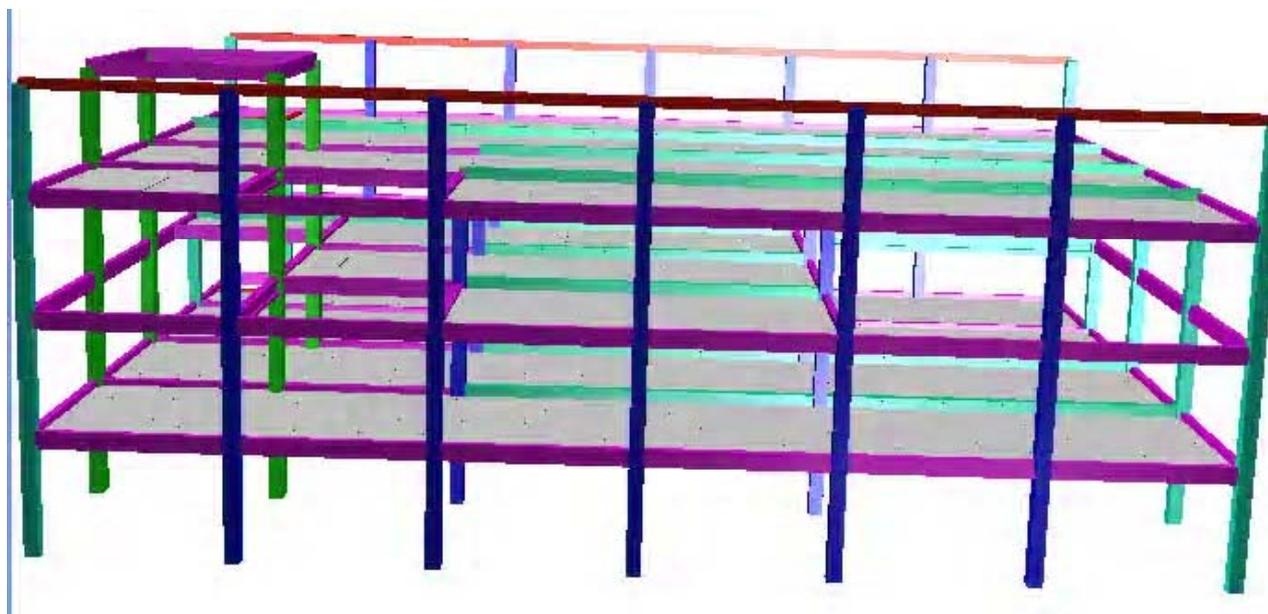


Figura 14 – Vista renderizada da modelagem.

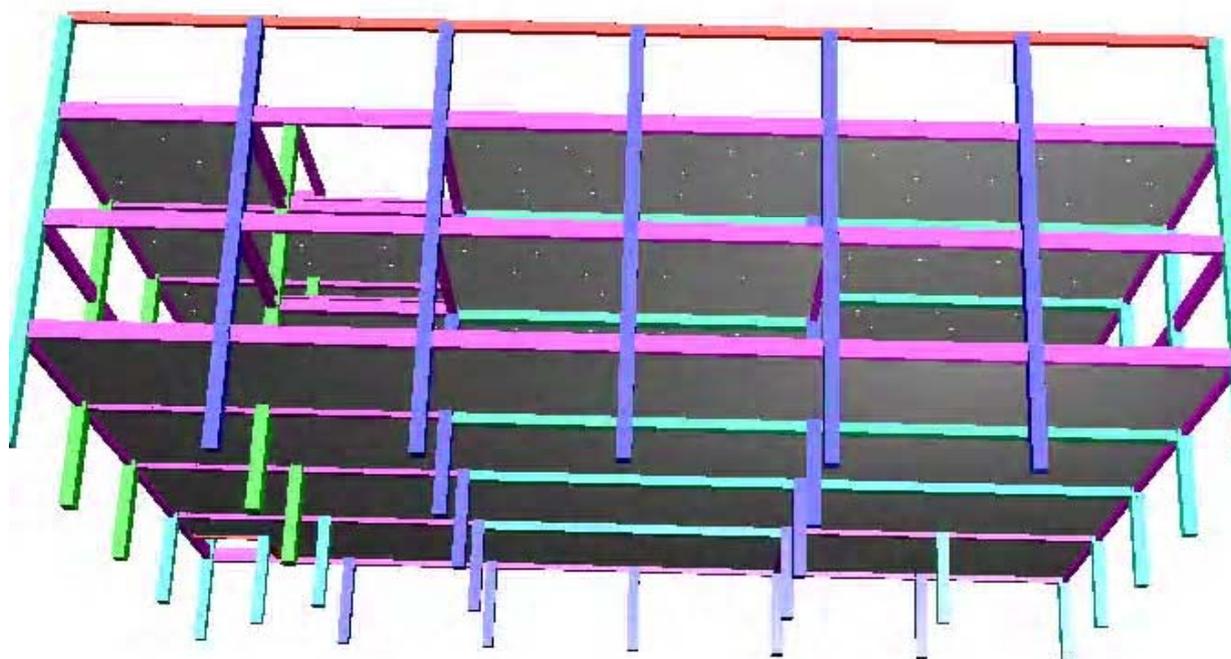


Figura 15 – Vista inferior.

#

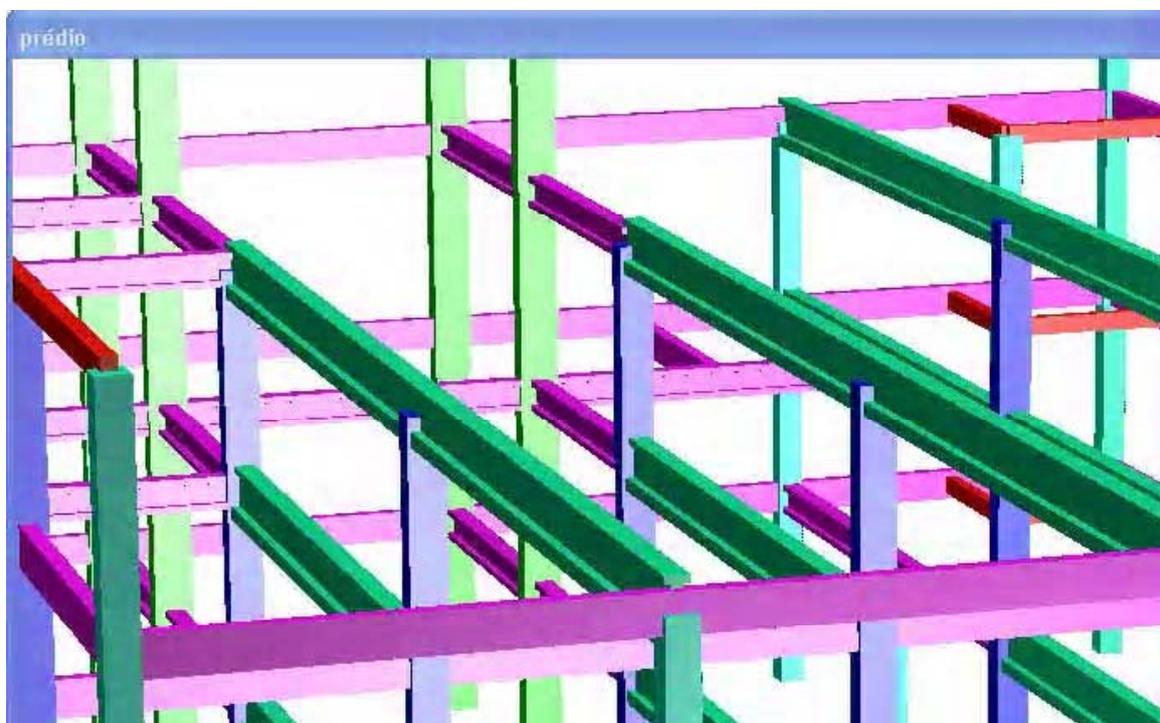


Figura 16 – Mais detalhes do modelamento do prédio da requerida.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

Por se tratar de um edifício em estrutura pré-moldada, o projeto estrutura mencionava todas as seções dos pilares, vigas e lajes utilizadas, de forma que a introdução das cargas oriundas do peso próprio foi feita automaticamente pelo software (vide Figura 17).

As sobrecargas de utilização também constavam do projeto estrutural juntado nos autos, tendo sido inseridas no modelo mediante carga distribuída sobre os elementos finitos que compunham as lajes.

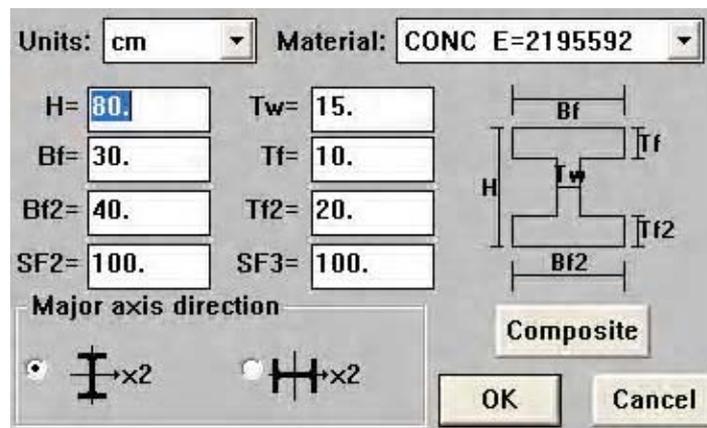


Figura 17 – Exemplo de viga com seção “I” introduzida na modelagem.

Em conjunto com a superestrutura foram modeladas as fundações do prédio, as quais eram constituídas por sapatas isoladas, tendo em vista a boa capacidade de suporte do terreno na cota de apoio das mesmas (aproximadamente 3,50 metros abaixo do nível da rua).

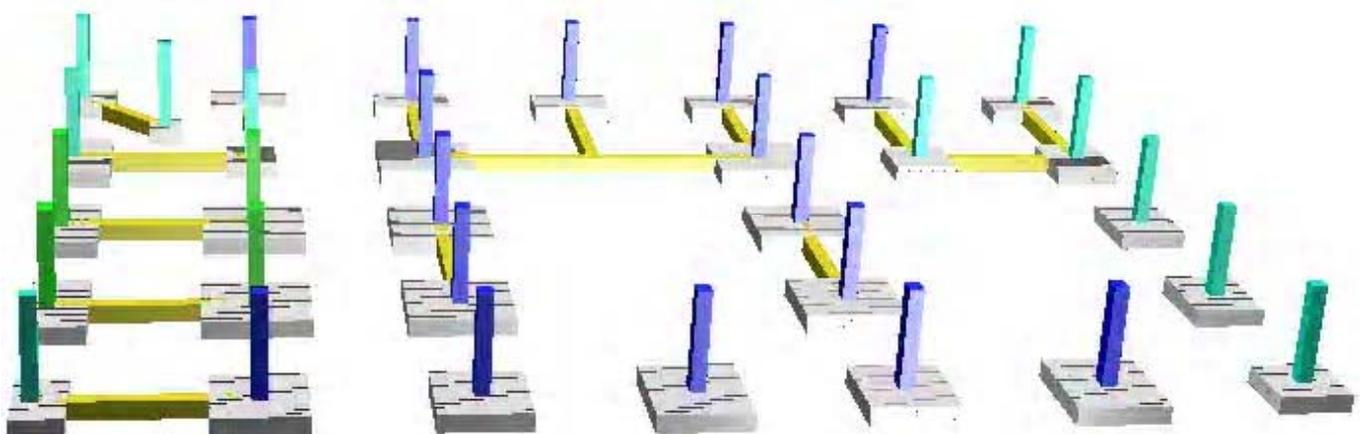


Figura 18 – Sapatas isoladas introduzidas na modelagem. Nota-se as vigas alavanca dos pilares situados junto às divisas.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

Considerando-se as cargas de peso próprio (concreto com peso específico de 2500kgf/m³) e as sobrecargas especificadas nas plantas juntadas aos autos, obteve-se as seguintes reações nos apoios:

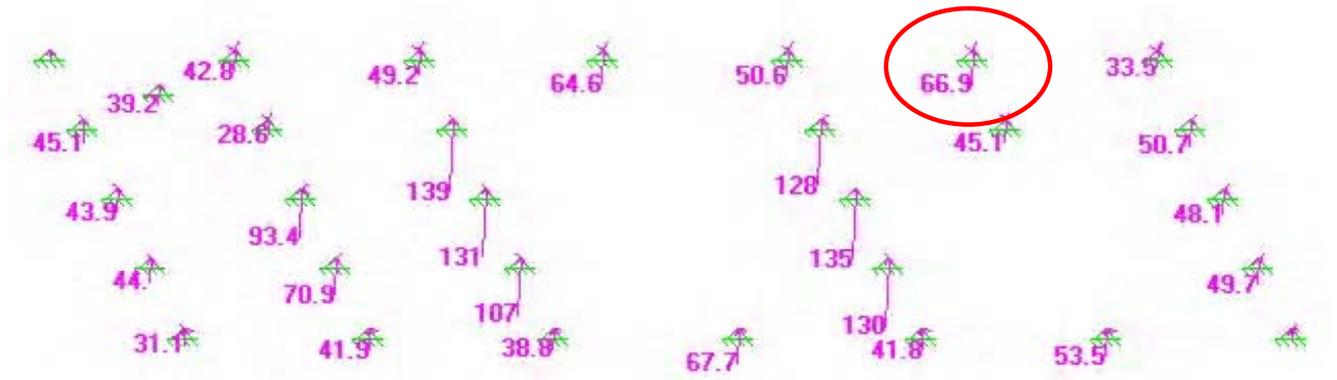


Figura 19 – Reações nos apoios da superestrutura. O pilar mais carregado junto à divisa com o imóvel do autor está identificado em vermelho.

2.2.2 – Obtenção do acréscimo de tensão no terreno em decorrência da construção da ré:

Uma vez obtida a carga no pilar mais solicitado junto à divisa com o imóvel do autor (66,9tf), pode a equipe da perícia avaliar qual a tensão máxima atuante sobre o terreno. Para tanto, o solo foi modelado como um conjunto de molas lineares independentes (molas de Winkler), cuja rigidez foi dada por:

$$K = k_v * A$$

Onde:

- K = rigidez da mola de Winkler, em kgf/m;
- A = área do elemento finito;
- k_v = coeficiente de reação vertical do solo, estimado pela equação de De Mello conforme segue:

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

$$k_v = (0,7 \text{ a } 5,0) \cdot N_{spt} \text{ (tf/m}^2\text{/cm)}$$

$$k_v = 3000 \text{tf/m}^3 \text{ (estimado com base no perfil de sondagem)}$$

Introduzindo-se as molas de Winkler, obteve a equipe da perícia uma tensão média de 18tf/m².

Com essa tensão e de posse das dimensões da sapata considerada (2,50m x 1,50m), pode-se simular os recalques na região da residência do Autor através de modelagem, como mostra a figura a seguir:

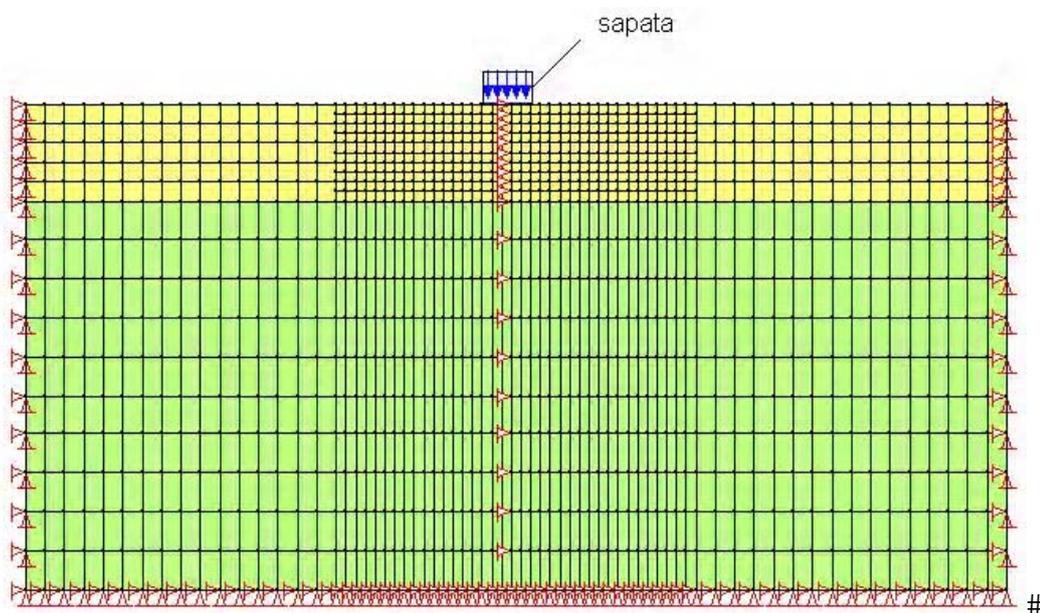


Figura 20 – Modelo elástico-linear do solo sob a sapata do prédio do requerido mais próxima ao imóvel do autor.

#

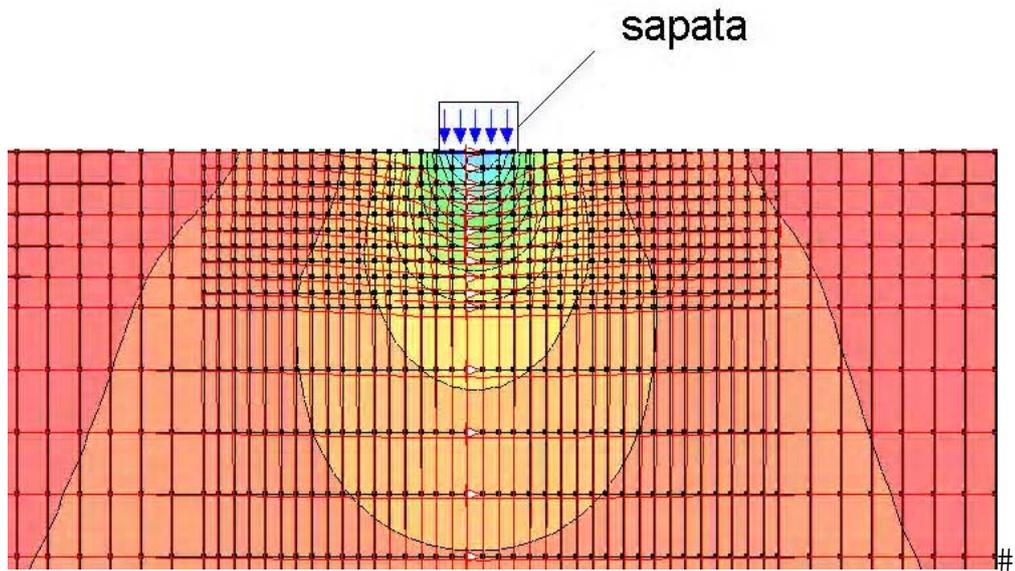


Figura 21 – Representação dos deslocamentos verticais provocados pela sapata.

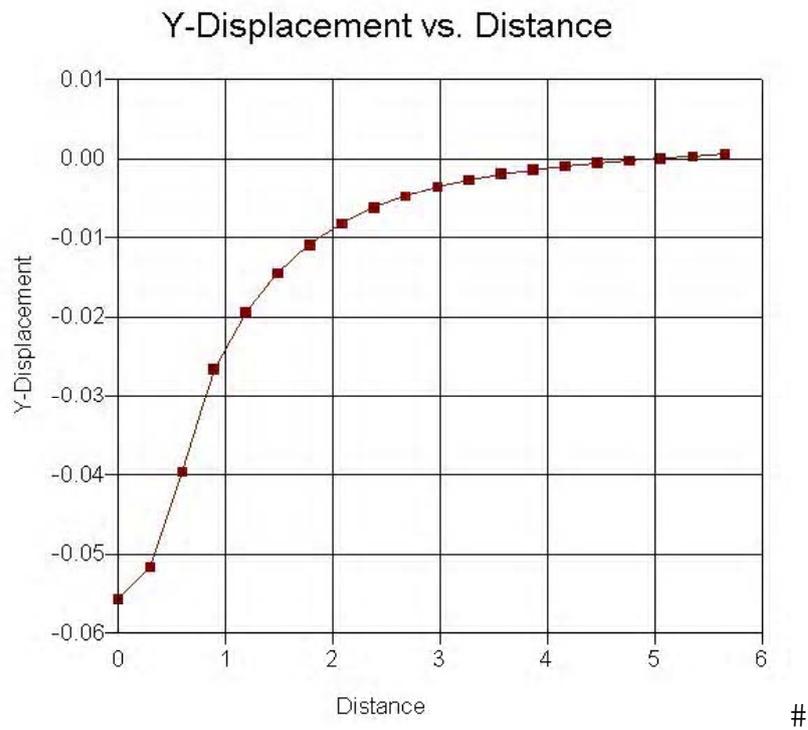


Figura 22 – Recalque do terreno em função da distância ao eixo da sapata.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

Observa-se que os recalques passíveis de provocar danos em alvenaria (cerca de 2,0cm) limitam-se a uma região distante de cerca de 1,50m da sapata considerada.

No caso em tela, o alicerce do autor, que dista mais de 2,0m da sapata considerada, seria pouco influenciado pelos recalques desta última.

Não há que se falar também em sobreposição de bulbos de tensão, como apontava o Laudo Pericial da Produção Antecipada, haja vista que o bulbo de tensões da sapata mais próxima do imóvel do Requerente sequer se aproxima de seu alicerce, como mostra a figura a seguir:

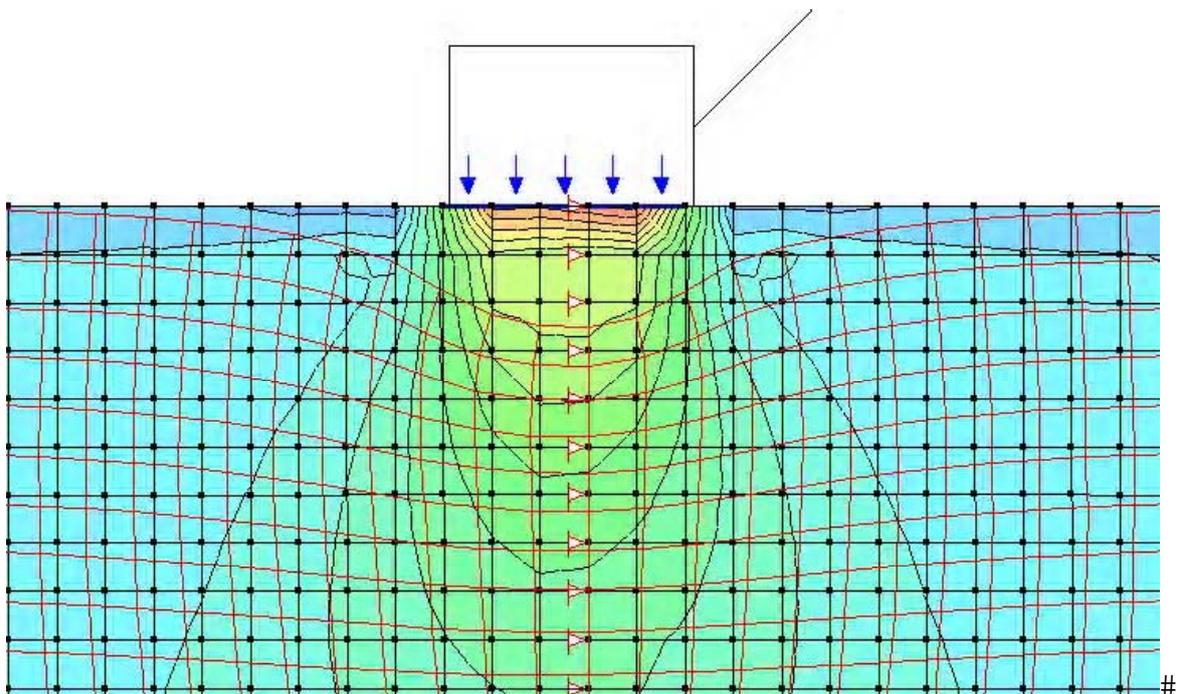


Figura 23 – Delimitação do bulbo de tensões.

Destarte, das análises levadas a efeito, ***restou consignado que a causa dos recalques observados no imóvel do autor não decorreram do acréscimo de carga provocado pela construção do prédio do requerido.***

2.2.3 – Das escavações efetuadas pela requerida:

Também procedeu a equipe da perícia à investigação dos possíveis efeitos da escavação promovida pelo réu ao prédio do autor. Como preconizava o projeto de muro de arrimo juntado aos autos, e confirmados pelos relatos obtidos por ocasião da diligência, houve necessidade de se estabelecer um desnível de 3,50m entre o piso do imóvel do autor e do réu.

Para contenção do citado desnível, o requerido concebeu um muro de arrimo com paramento em blocos de concreto, sapata em concreto e brocas.

Conforme informação do assistente do requerido, o muro foi executado na forma de “cachimbos” (trechos alternados), de metro em metro. Tal informação não pode ser confirmada nem mesmo em projeto, haja vista que o mesmo não faz qualquer menção das juntas construtivas. Pela própria distância entre pilares consecutivos (2,97m segundo o projeto), a equipe da perícia entendeu como improvável que a construção em trechos alternados de 1,0 metro tenha de fato se efetivado.

De qualquer forma, qualquer escavação provoca alteração do estado de tensões no terreno, decorrendo na movimentação do terrapleno no sentido do corte efetuado.

Para simular esse efeito, a perícia recorreu novamente à modelagem por elementos finitos, como mostra a figura abaixo:

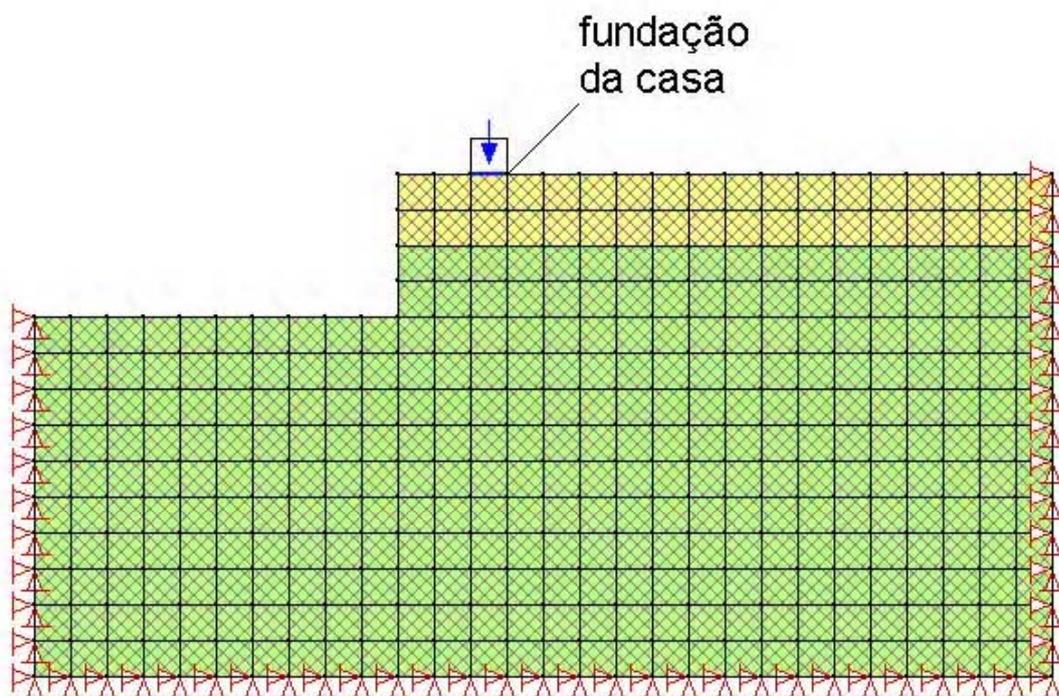


Figura 24 – Simulação da escavação.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

Para o modelo supra, a perícia considerou os seguintes parâmetros (estimados com base na sondagem cuja cópia estava juntada nos autos).

- solo 1 (amarelo):
E (módulo de elasticidade): 5000kPa;
c (coesão) = 5kPa;
f (ângulo de atrito) = 20°
constante de Poisson = 0,45
- solo 2 (verde):
E (módulo de elasticidade): 10000kPa;
c (coesão) = 10kPa;
f (ângulo de atrito) = 30°
constante de Poisson = 0,45

Os solos foram idealizados seguindo um modelo “elasto-plástico”. Os resultados obtidos podem ser vistos na figura a seguir:

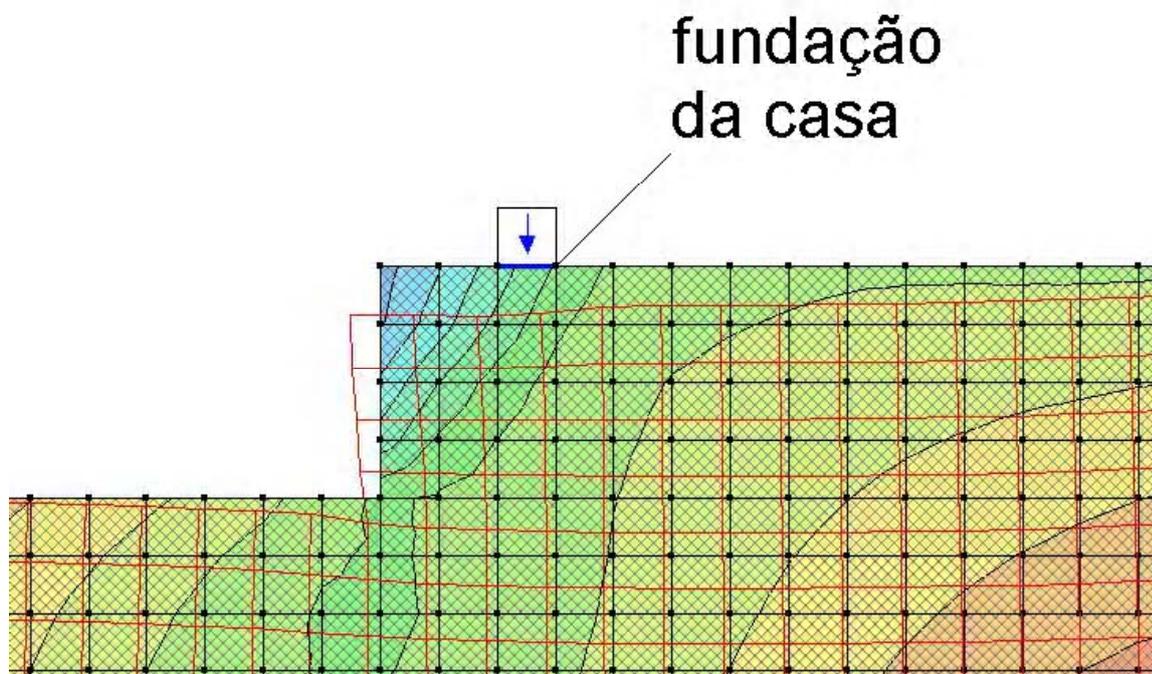


Figura 25 – Deformada do maciço, em função da escavação.

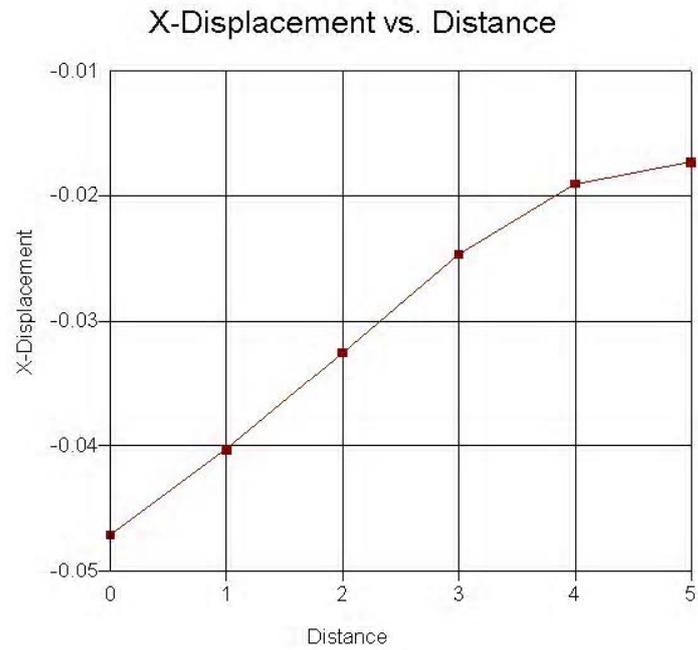


Figura 26 – Deslocamento horizontal em função da distância da escavação.

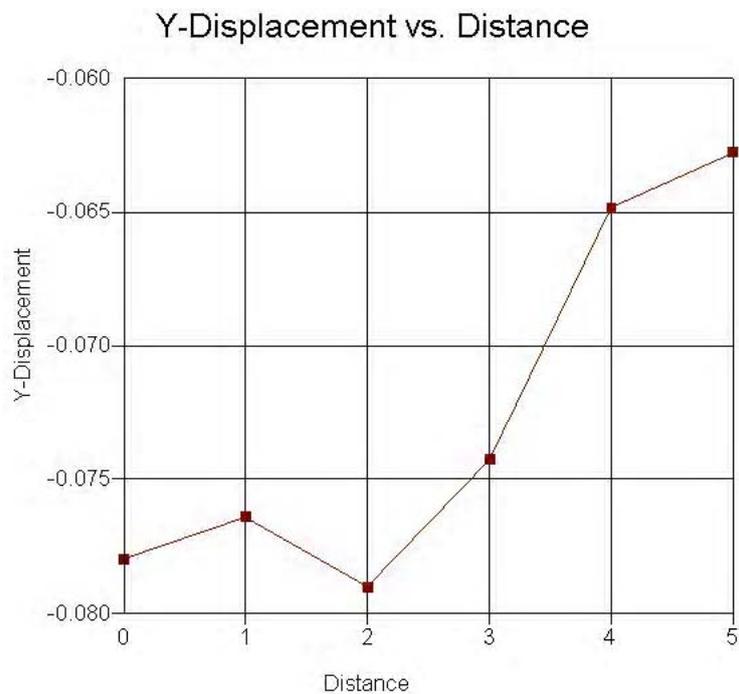


Figura 27 – Deslocamento vertical em função da distância à escavação.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

Dos gráficos observa-se que, de fato, a escavação promovida pelo requerido induz a movimentações consideráveis no terreno, tanto verticais, quanto horizontais.

2.3 – CONCLUSÕES ALCANÇADAS NESTA PRIMEIRA PERÍCIA

Com base em todo o exposto, ***a equipe da perícia concluiu que os danos concentrados na porção esquerda do imóvel do requerente, tipicamente associados a recalques de terreno, como o afundamento do piso e as trincas nas paredes transversais à escavação, foram ocasionados pela escavação do terreno da requerida por ocasião das obras de construção do prédio de sua propriedade,***

Além disso, restou consignado no Laudo uma postura inadequada da requerida ao não proceder à vistoria de confrontantes da obra, como preconizava a NBR 12722, procedimento este que daria subsídio à inequívoca delimitação dos danos previamente existentes no imóvel do autor.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

3 – O SEGUNDO PROBLEMA: DANOS EM METALÚRGICA CAUSADOS POR VAZAMENTOS EM TUBULAÇÃO DE CONCESSIONÁRIA DE SERVIÇOS PÚBLICOS

3.1 – CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA:

3.1.1 – Preliminares

A perícia de engenharia ora em comento se presta à constatação de danos ocorridos em um imóvel industrial na cidade de Americana/SP, no âmbito de uma Produção Antecipada de Provas, bem como visa à apuração das causas dos mesmos.

A autora alegava que o prédio de sua propriedade percebeu uma série de dados de construção civil em razão de vazamento ocorrido em tubulação da requerida, uma concessionária de serviços públicos de coleta, afastamento e tratamento de esgotos.

O imóvel da autora vinha configurado por um prédio industrial o qual, segundo o estudo “Valores de Edificações de Imóveis Urbanos – IBAPE/SP-2002”, podia ser enquadrado como “Galpão – padrão médio” (tipologia predominante), com áreas acessórias de escritórios. No imóvel retro descrito funcionava uma conhecida metalúrgica.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

As figuras apresentadas a seguir identificam o imóvel objetivado.



Figura 28 – Vista da rua onde se localiza a indústria vistoriada, apontada na foto.



Figura 29 – Divisa entre os imóveis do autor (à direita) e do réu (à esquerda).

3.1.2 – Dos danos constatados no imóvel

Da vistoria empreendida foi possível constatar uma série de danos no imóvel da autora, os quais se caracterizaram por fissuras, trincas e rachaduras com configurações diversas, tanto em paredes quanto em pisos. Também foi constatado afundamento do piso.

A autora aduzia que fez algumas reparações no imóvel, em particular a introdução de estacas de reação (tipo Mega) para reforço de fundações e reparação de parte do piso.



Figura 30 – Permite observar o afundamento ocorrido pela trinca junto ao piso, onde identificado.

#

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

#



Figura 31 – Detalhe da trinca observada na foto anterior.



Figura 32 – Portão voltado para a rua Caiapós, onde foi verificado o afundamento do terreno.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

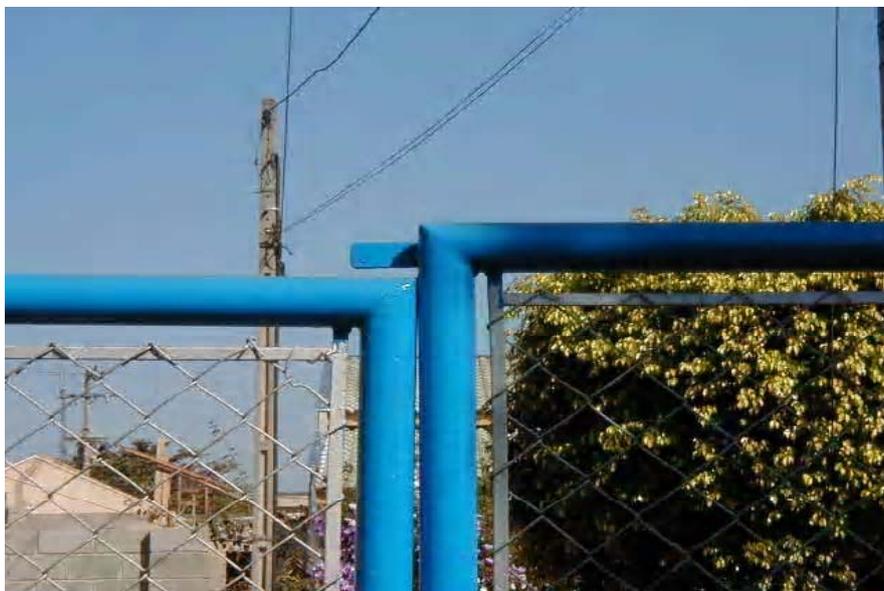


Figura 33 – Evidencia o afundamento verificado na porção esquerda.



Figura 34 – Rachadura vertical na interface alvenaria/pilar.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009



Figura 35 – Trinca escamada na fachada do prédio voltada para a rua Caiapós.



Figura 36 – Área interna da metalúrgica vistoriada.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009



Figura 37 – Ponto onde foi inserida uma estaca de reação para reforço.



Figura 38 – Trinca no piso de concreto em área interna.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009



Figura 39 – Trinca diagonal em alvenaria interna da fábrica.



Figura 40 – Trinca vertical em outro ponto do imóvel.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009



Figura 41 – Trincas observadas na interface pilar/alvenaria (à esquerda) e no piso de concreto (à direita).



Figura 42 – Evidencia a movimentação da estrutura pelo deslocamento da estrutura do telhado, onde identificado.

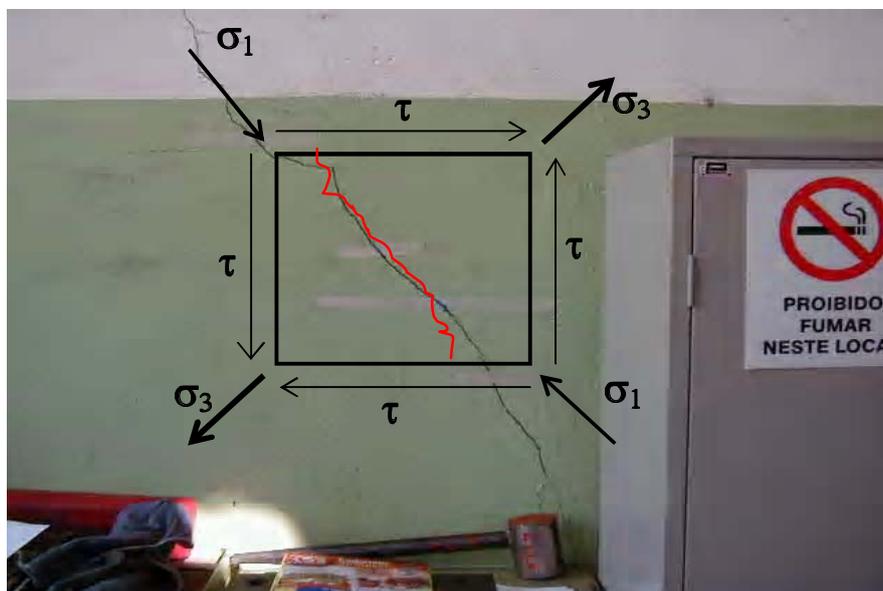


Figura 43 – Trinca diagonal observada no vestiário da metalúrgica vistoriada. Sobrepe-se à foto uma figura representativa do estado de tensões decorrentes do recalque.

As fissuras, trincas e rachaduras se apresentaram sem uma configuração única, ora apresentando-se verticais, ora dispostas na direção diagonal, com aberturas diversas.

Característica comum à boa parte das fendas é o aspecto escamado das mesmas (trincas de cisalhamento), denotando a tentativa da alvenaria de resistir aos deslocamentos impostos, sem sucesso.

Assim como na perícia anteriormente apresentada, as fendas diagonais constatadas no imóvel da autora são danos típicos de distorções das alvenarias, as quais normalmente estão associadas a recalques diferenciais.

Ficou patente por ocasião das vistorias empreendidas que os danos observados no imóvel da autora se concentram em uma região próxima do ponto de vazamento da tubulação de esgotos da requerida, fato ocorrido pouco antes do aparecimento das trincas. A Figura 23 evidencia a posição de concentração dos danos e o ponto de vazamento.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009



Figura 44 – Posição relativa do ponto de vazamento e da área de concentração de danos.

A figura a seguir apresenta o ponto onde ocorreu o vazamento reparado pela concessionária.



Figura 45 – Delimitação da área onde ocorreu o vazamento, reparado pela requerida.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

3.2 – DA MODELAGEM EFETUADA

O presente item apresentará a estratégia utilizada na perícia para apuração do provável nexa causal dos danos observados no imóvel da autora. Tendo em vista as alegações do requerente, a equipe da perícia traçou a seguinte marcha de verificação:

- (i) Verificação da tensão máxima ocasionada pela construção da requerida no solo de suporte;
- (ii) Comparação da tensão máxima com a tensão admissível;

O trabalho desenvolvido segue apresentado nos tópicos posteriores.

3.2.1 – Modelagem computacional do prédio da autora:

De posse do material fornecido pela requerente (plantas arquitetônicas), bem como do levantamento da estrutura feito in-loco pela equipe da perícia, foi possível proceder à modelagem do edifício da autora, como exposto a seguir:

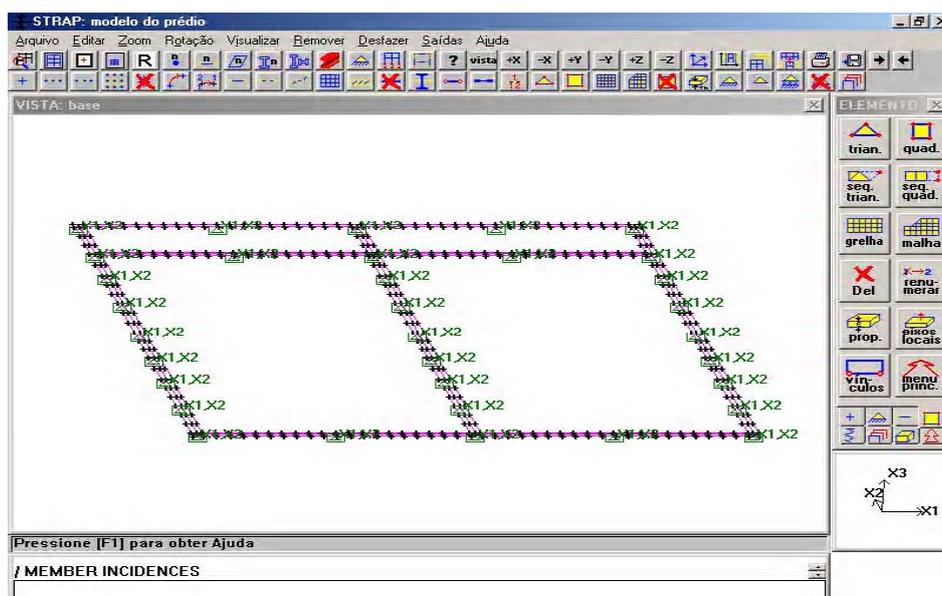


Figura 46 – Modelagem do alicerce em software de análise estrutural, pelo método dos elementos finitos.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

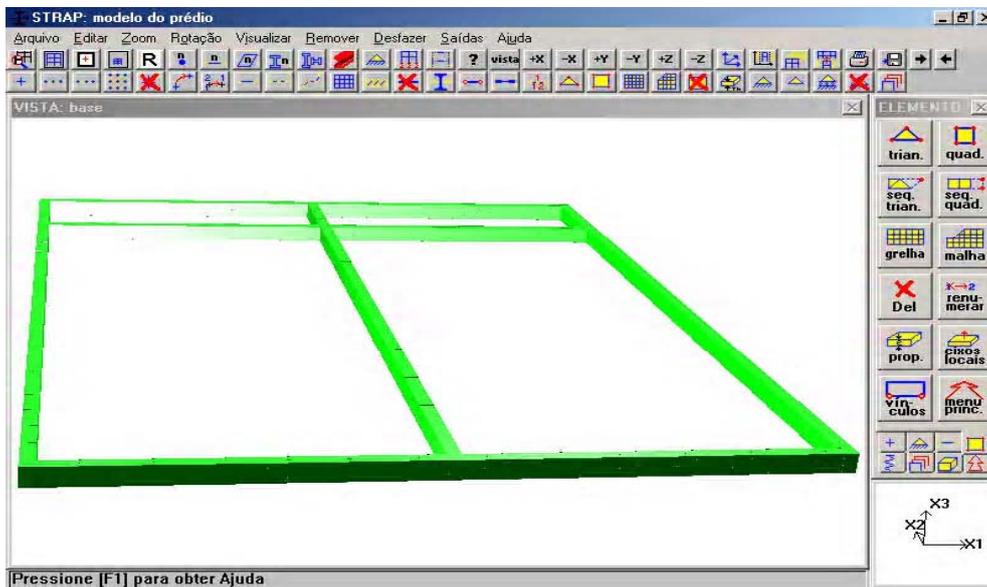


Figura 47 – Vista renderizada da modelagem dos alicerces.

Também fizeram parte da modelagem os pilares, vigas, alvenaria e cobertura do prédio, conforme figuras que se seguem:

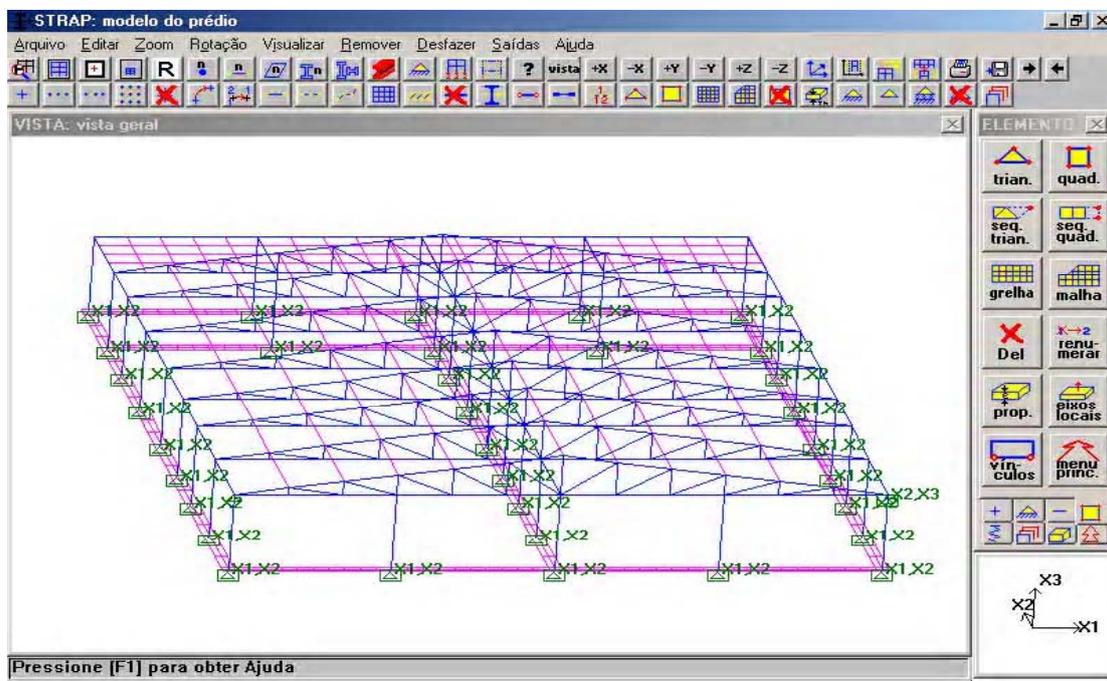


Figura 48 – Modelagem do prédio onde se situam o maquinário e a manutenção.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

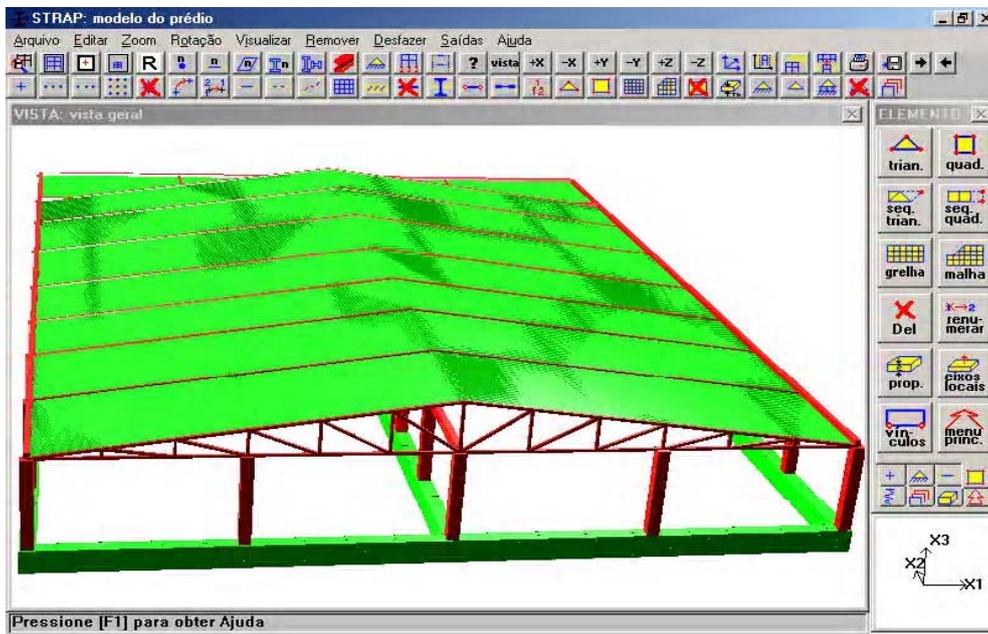


Figura 49 – Vista renderizada do modelo completo.

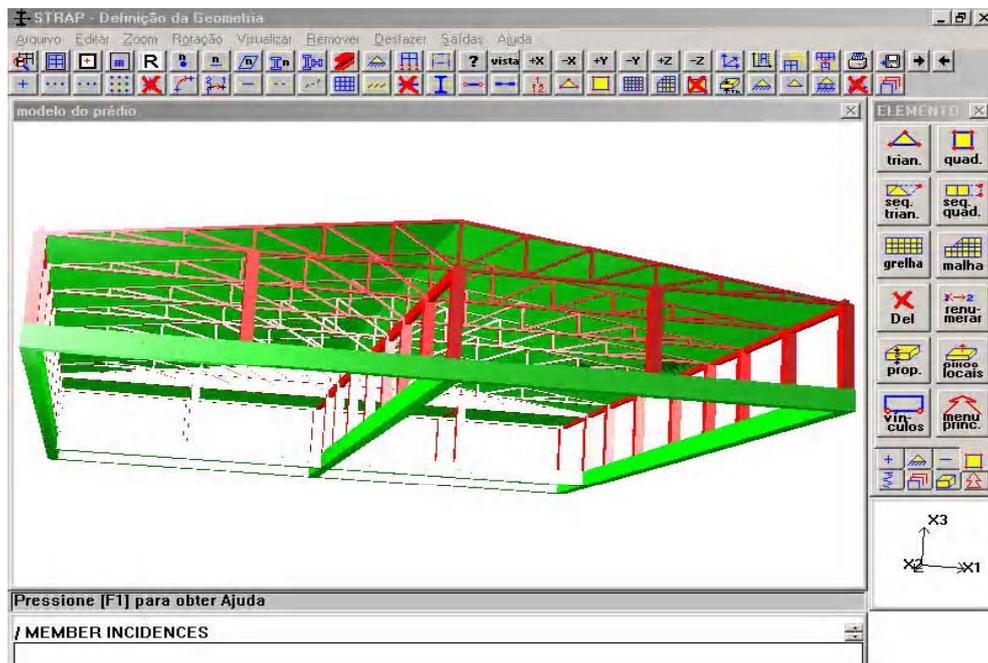


Figura 50 – Vista inferior da modelagem.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

3.2.2 – Cargas consideradas:

Após o lançamento da geometria do problema, foram lançadas as cargas no modelo. Para tanto, os seguintes dados foram considerados:

- Peso específico do concreto = 2500kgf/m^3 ;
- Carga da cobertura = 100kgf/m^2 ;
- Carga dos alicerces = 750 kgf/m ;
- Cargas de vento, considerando uma velocidade básica do vento de 40m/s , região plana, classe B, fator probabilístico unitário (cf. NBR 6123).
- Alicerces de 50cm de base;
- Estrutura do telhado executada em madeira;
- Telhas da cobertura em fibrocimento;

De posse de tais informes, fez-se o lançamento das cargas no modelo, conforme segue:

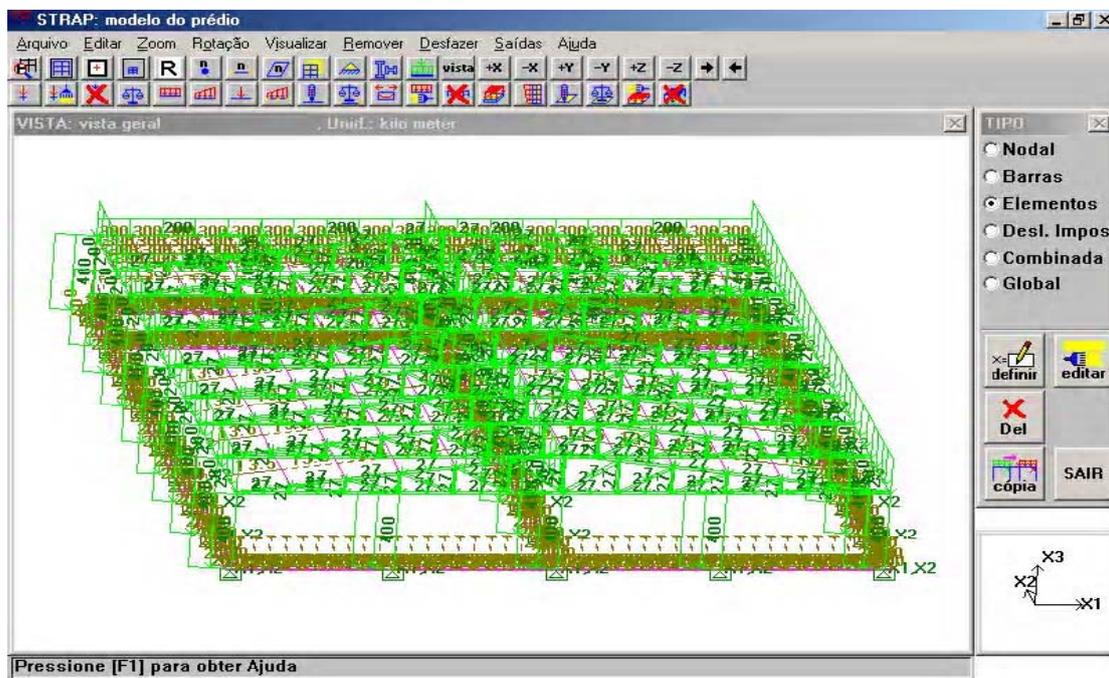


Figura 51 – Colocação das cargas de peso próprio.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

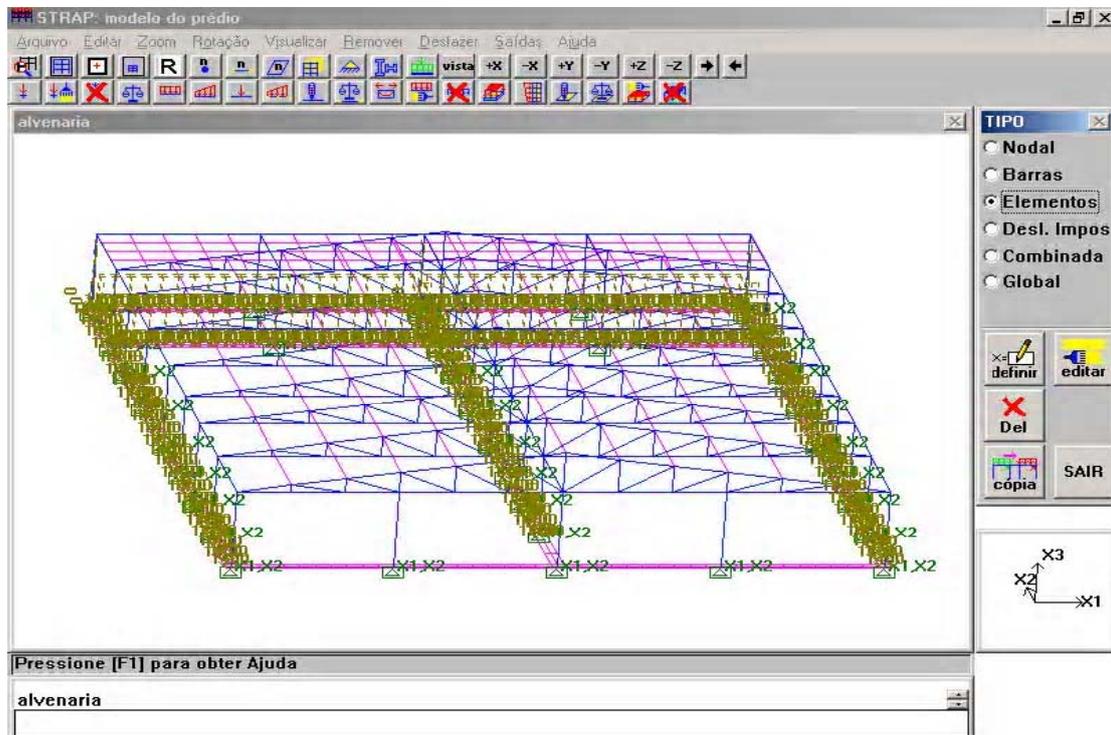


Figura 52 – Cargas de peso próprio das alvenarias.

3.2.3 – Cálculo do modelo:

Para que o cálculo pudesse ser levado a efeito, fez-se uma simulação do comportamento do solo mediante um conjunto de molas elásticas lineares, conhecidas como “molas de Winkler”. As rigidezes de cada mola foram calculadas automaticamente pelo programa, bastando-se o conhecimento do coeficiente de reação vertical do solo local.

Com fulcro no perfil geológico típico da região de Americana, e de posse da equação desenvolvida por De Mello, especialmente para solos do Estado de São Paulo, também utilizada no caso anterior, a equipe da perícia pode apurar o valor do coeficiente de reação vertical, conforme o equacionamento a seguir:

$$K_v = 9,2N_{spt} - 21 \text{ (tf/m}^2\text{/cm)} \text{ (De Mello)}$$

$$N_{spt} = 6$$

$$K_v = 3400 \text{tf/m}^3$$

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

Lançando-se o valor supra obtido no software, tem-se as seguintes tensões nas molas de Winkler:

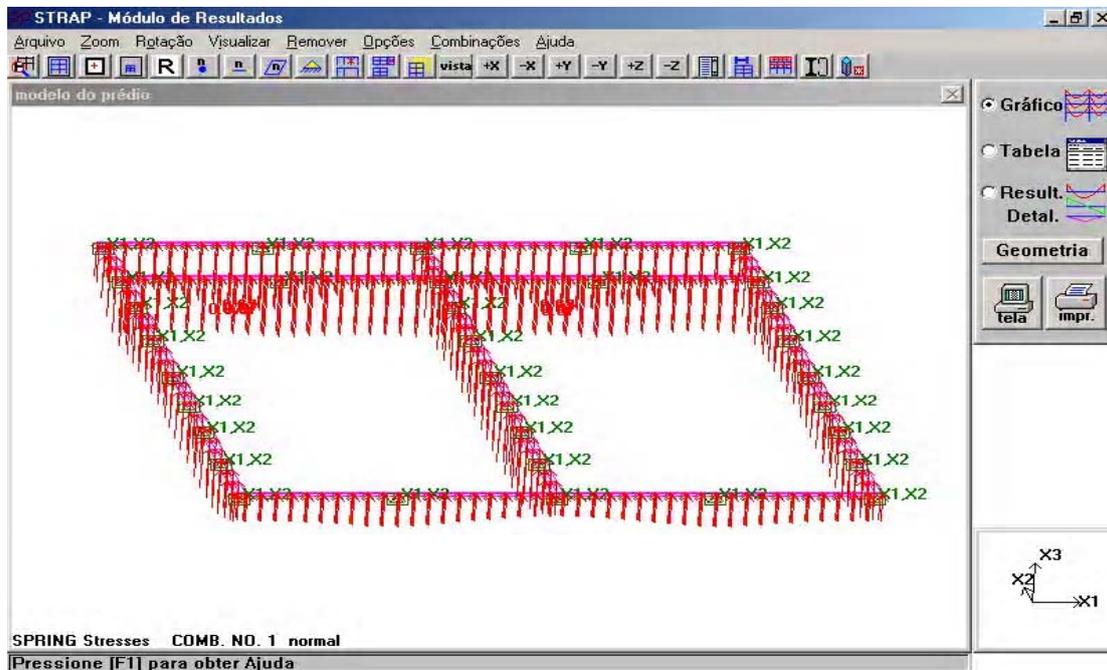


Figura 53 – Nota-se a boa distribuição das tensões no solo, sem “picos”.



Figura 54 – Máxima tensão obtida, a qual remonta em 0,67kgf/cm².

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

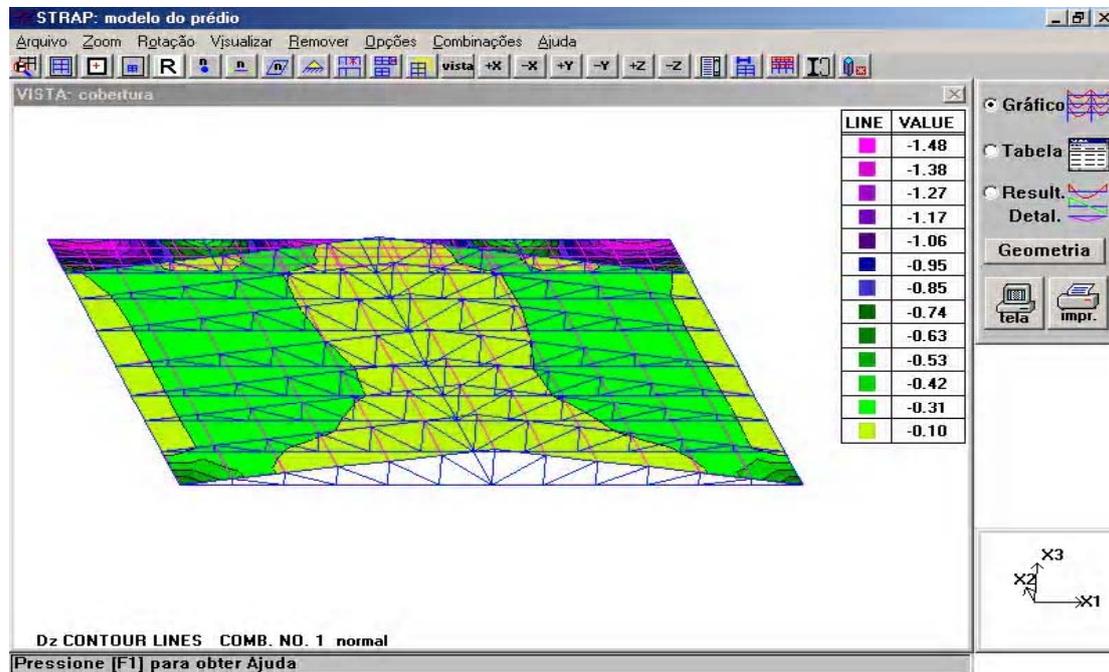


Figura 55 – Deslocamento teórico da cobertura (1mm).

Análise atenta acerca das figuras supra permitem concluir o que segue:

- As tensões máximas promovidas no solo, de $0,67\text{kgf/cm}^2$, são extremamente reduzidas. Sob este prisma, o alicerce estaria adequado até para argilas moles.
- O deslocamento teórico da cobertura redundou em valores entre 1mm e 3mm, ou seja, em condições normais, as tesouras do telhado teriam deslocamento nessa faixa de valores. No caso em tela, a equipe da perícia apurou que o deslocamento das tesouras do telhado foi da ordem de centímetros, conforme pode-se apurar pela Figura 42.

3.2.4 – Cálculo dos recalques:

Para obter a magnitude dos recalques provocados pelo peso próprio do imóvel, pode-se utilizar de formulação da Teoria da Elasticidade, apresentada de maneira simplificada:

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

$$r = \frac{q \cdot B \cdot I}{E}$$

Onde:

- r = recalque = ?
- q = tensão aplicada pela fundação;
- B = dimensão característica da fundação (menor dimensão) = 0,50m;
- E = módulo de elasticidade (argila mole/média) = 500.000kgf/m²;
- I = fator de influência = obtido da tabela abaixo:

Tipo de Placa	Rígida	Flexível	
		Centro	Borda
Circular	0,79	1,00	0,64
Quadrada	0,86	1,11	0,56
Retangular L/B =	2	1,17	0,75
	5	1,66	1,05
	10	2,00	2,54

Tabela 1 – Obtenção de I' (De Mello, 1975).

Com I' = 2,54 pode-se obter um valor aproximado para I utilizando a fórmula abaixo:

$$I = (1-v^2)I'$$

- v = coeficiente de Poisson = 0,5;

Então:

$$I = (1-0,5^2) \times 2,54 = 1,9$$

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

Substituindo-se os valores na equação do recalque, tem-se:

$$r = \frac{6700 \cdot 0,5 \cdot 1,9}{500.000} = 1,25\text{cm}$$

Nota-se que o recalque decorrente da construção é muito pequeno. Em outras palavras, **os danos observados no imóvel vistoriado têm origem em fatores extrínsecos de grande monta (grandes vazamentos, inundações, etc.), e não decorrem de falha da fundação..**

Como ensinam os festejados engenheiros Terzaghi e Peck, em trecho retirado da publicação Mecânica dos solos e suas aplicações (CAPUTO, 1973)

“A maioria das estruturas comuns, como edifícios de escritórios, prédios de apartamentos ou fábricas, pode resistir a um recalque diferencial de 2 cm entre duas colunas contíguas.”

O cálculo do recalque exposto anteriormente reforça a tese de que a casa, por si só, não seria capaz de gerar os recalques que provocam os danos no mesmo, haja vista que o *recalque absoluto* foi de 1,25cm. O *recalque diferencial* é, de praxe, menor que o recalque absoluto.

3.2.5 – Da tipologia do solo existente no local:

Conforme apurou a equipe da perícia, o tipo de solo existente na cidade de Americana, em particular na região onde se situa a fábrica vistoriada, se constitui em *solo colapsível*, em particular pela estrutura siltosa porosa e baixa grau de saturação.

Fundações executadas sobre este tipo de solo podem se comportar de maneira adequada por muito tempo, mas bruscamente podem sofrer um recalque diferencial considerável, devido ao repentino aumento do grau de saturação do solo. Geralmente, esse aumento da saturação advém da ruptura de encanamento de água ou esgoto, mas também pode ocorrer em época de chuvas intensas.

Como ensina o ilustre professor CINTRA (1998):

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

“São dois requisitos básicos para o desenvolvimento da colapsibilidade: uma estrutura porosa, caracterizada por um alto índice de vazios, e a condição não saturada, representada por um baixo teor de umidade. A estrutura porosa pode estar associada à presença de um agente cimentante que, aliada a uma sucção elevada, estabiliza o solo na condição parcialmente saturada, conferindo-lhe uma resistência aparente ou temporária”.

Assim sendo, nota-se que a penetração da água reduz as pressões negativas atuantes no mesmo (sucções que atraem as partículas de solo) e destrói a estrutura cimentícia característica, causando a redução da resistência e o brusco colapso.

Conforme FERREIRA ET AL (1998), no Brasil, os solos colapsíveis são representados geralmente por alúvios, colúvios e até solos residuais que passaram por uma intensa lixiviação. Sabe-se que o interior do Estado de São Paulo (inclusive a cidade de Americana) é característico pela forte incidência deste tipo de solo.

3.3 – CONCLUSÕES ALCANÇADAS NESTE CASO

Com base em todo o exposto, ***a equipe da perícia concluiu que os danos observados no imóvel da requerente, tipicamente associados a recalques de terreno, foram ocasionados pelo vazamento do esgoto da tubulação da requerida. As avarias foram potencializadas pelo tipo de solo existente no local (solo colapsível).***

4 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES GERAIS

O presente artigo apresentou as análises efetuadas e as conclusões alcançadas pela equipe da perícia em dois processos distintos, ambos relacionados a problemas geotécnicos.

O estabelecimento do nexu causal ficou bastante facilitado pelas modelagens computacionais efetuadas, as quais se coadunaram com o comportamento das estruturas conforme apurado nas vistorias.

Destarte, os autores recomendam a utilização de modelagem computacional criteriosa e calcada na boa técnica de engenharia para que seja possível fornecer robustos subsídios ao Juízo.

XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SP - 2009

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, U.R. (1991) – Previsão e controle das fundações, ed. Edgard Blucher, 2ª edição.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: *Forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro, 1988.

CAPUTO, H.P. (1973) – Mecânica dos solos e suas aplicações, Livros Técnicos e Científicos Editora, 2ª edição.

CINTRA, J.C.A. (1998) – Fundações em solos colapsíveis, editora RIMA, São Carlos, 1998.

DE MELLO, V.F.B. (1975) - Fundações e Elementos Estruturais Enterrados , apostila, ed. EPUSP-PEF.

FERREIRA, C.V. (1998) - Influência da inundação do solo no comportamento de estacas moldadas in loco, instrumentadas, em campo experimental de Bauru. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998, 160p.

SANTOS, M.S. (2007) – Inferência bayesiana na avaliação da segurança de estacas de deslocamento. Dissertação de mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica da Escola Politécnica da USP.