

Realização de uma estrutura dimensionada com modelos escora-tirante



Joaquim Carvalho¹



Alberto Ribeiro¹

RESUMO

Apresenta-se uma estrutura concebida em intensa comunicação com a arquitectura. O essencial deste projecto consiste em conseguir que cerca de metade do volume do edifício fique suspenso em consola. Os volumes suspensos são apoiados em quatro paredes permitindo equilibrar uma consola de 8.0 m.

No desenvolvimento do projecto e em concordância com a arquitectura as paredes foram vazadas em áreas de grande dimensão para permitir não só a circulação interior como a comunicação com o exterior.

O modelo escora-tirante mostra-se de grande utilidade no desenvolvimento de projectos e tanto o modelo de elementos finitos como a própria obra confirmam a sua adequação no dimensionamento desta estrutura.

PALAVRAS-CHAVE

Modelos escora-tirante;
Consolas de grande vão;
Paredes estruturais vazadas

¹ TDP Projecto e Fiscalização Lda, 4710-384 Braga - geral@tdpbraga.com

1. INTRODUÇÃO

Na elaboração de projectos de estruturas com alguma complexidade há a tendência para utilizar ferramentas igualmente complexas que garantam a fiabilidade da estrutura.

Neste artigo, apresenta-se o projecto de uma habitação unifamiliar executada em Braga, em que apesar da complexidade da arquitectura proposta foi possível encontrar um modelo simples para o cálculo estrutural.

A utilização de modelos simplificados permitem em tempo útil responder às exigências da arquitectura no desenvolvimento do projecto sem comprometer a componente económica.

Para a realização do projecto foi adoptado um modelo de escora-tirante [1]. Este permitiu a modelação de quatro paredes estruturais em betão branco aparente, que comportam a quase totalidade das acções envolvidas. O modelo foi posteriormente validado pela comparação com os resultados obtidos numa modelação em elementos finitos, com elementos de casca.

A habitação apresenta no presente momento a estrutura concluída e preparada para receber os acabamentos. O acompanhamento da execução da estrutura permitiu garantir a conformidade com o projecto e posteriormente a comparação do comportamento esperado e o observado.

2. DESENVOLVIMENTO DO PROJECTO

O terreno para a implantação da habitação unifamiliar situa-se numa encosta acentuada, com vista privilegiada sobre a cidade de Braga. No programa base do projecto de arquitectura pretendia-se que a habitação apresentasse uma configuração independente do terreno, promovendo a envolvente e a ligação com as vias de acesso sem que isso representasse a edificação de vários pisos. Com base nesta premissa, surgiu de forma natural o conceito de apenas apoiar uma pequena parte do corpo habitacional, na zona de maior cota junto à via que lhe dá acesso. A parte remanescente desenvolver-se-ia em balanço, formando uma consola de grande vão.

Na fase de estudo prévio realizou-se um estudo da exequibilidade da solução acima descrita, no qual foi sugerido o uso de três paredes de fachada, e de uma outra parede interior paralela. Na figura 1 apresenta-se a planta do piso 0, identificando os alinhamentos das paredes estruturais que se tornariam nos elementos fundamentais para garantir o equilíbrio da estrutura.

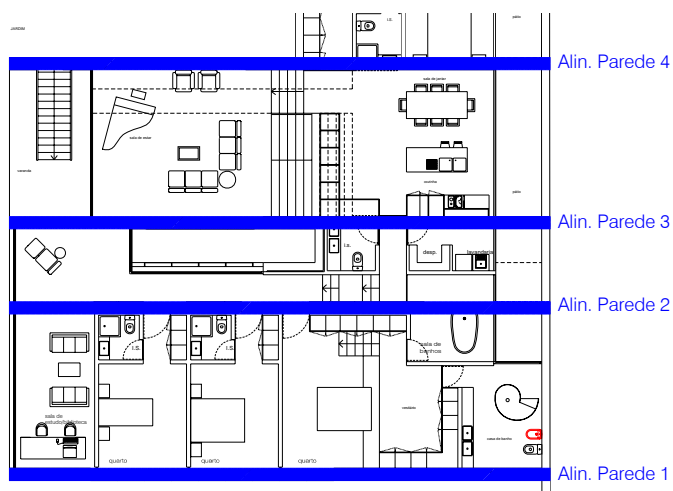


Figura 1. Planta do piso 0 com indicação dos alinhamentos das paredes estruturais.

Uma vez apresentada a solução estrutural foi elaborado o projecto base de arquitectura no qual eram incorporadas as quatro paredes. A figura 2 apresenta duas imagens do projecto base de arquitectura.



Figura 2. Imagens 3D do projecto base de arquitectura.

Em concordância com a arquitectura foram estudadas várias hipóteses de aberturas de modo a satisfazer as necessidades arquitectónicas sem prejudicar o funcionamento estrutural. Com base num modelo simples de escora-tirante foram identificadas zonas de tracção sendo possível impor um “caminho” para as forças e disponibilizar zonas para serem vazadas. Alguns dos elementos traccionados foram realizados em perfis metálicos. Na figura 3 representam-se as paredes estruturais definitivas.

As vantagens mecânicas de uma parede contínua relativamente a uma parede vazada são evidentes, no entanto, do ponto de vista da arquitectura as aberturas são inevitáveis visto que é necessário garantir uma confortável circulação interior assim como permitir a comunicação com o exterior.

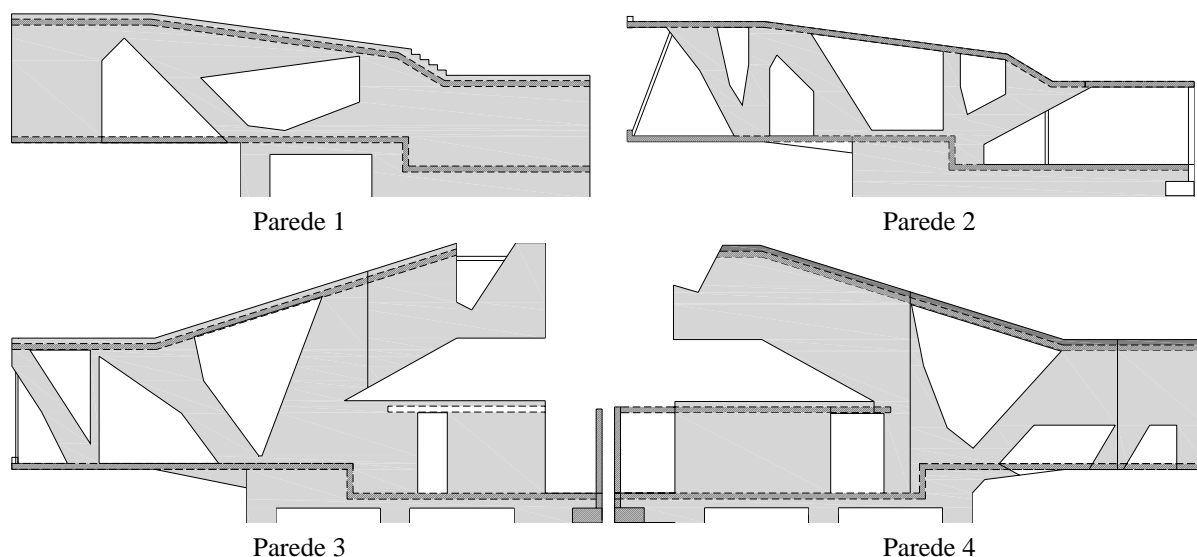


Figura 3. Paredes estruturais.

3. DIMENSIONAMENTO

As paredes foram dimensionadas com base em modelos escora-tirante recorrendo a software específico. Em alguns casos as escoras foram levadas ao limite da sua capacidade resistente. Na figura 4 representam-se os ratios das tensões para os elementos estruturais verticais.

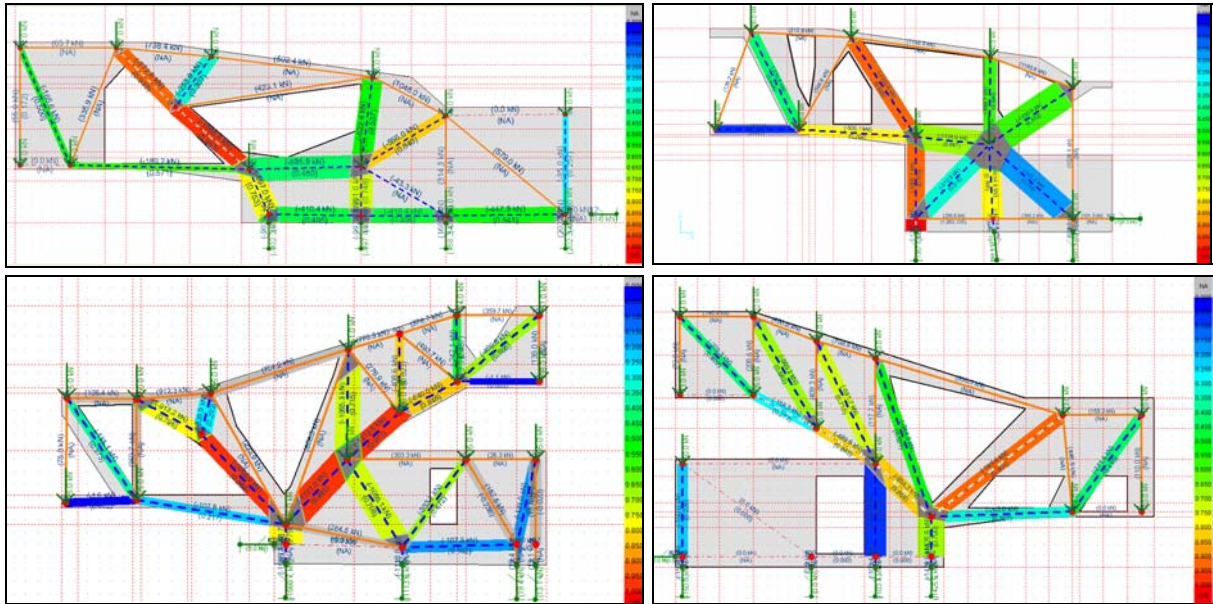


Figura 4. Modelos escora-tirante para as paredes estruturais; ratio das tensões nas escoras.

O modelo escora-tirante, pela sua simplicidade é uma ferramenta de grande utilidade no dia-a-dia do projecto de estruturas, mas convém não esquecer que é um modelo de equilíbrio e portanto não considera, directamente, as condições de compatibilidade. Neste projecto [2] em particular surgiu a dúvida se o modelo escora-tirante era suficiente para o correcto dimensionamento, atendendo à existência de escoras com inclinação considerável (na parede 1 em maior evidência), e às aberturas adjacentes de grande dimensão a limitar a largura da escora.

A maior inclinação das escoras poderia induzir uma componente de flexão, não prevista no modelo de escora-tirante. Assim, o modelo de escora-tirante é validado pela comparação das tensões obtidas num modelo em elementos finitos, realizado posteriormente, ver figura 5.

Em particular foi analisada a escora de grande inclinação da parede 1 onde o ratio das tensões se apresentavam próximas da unidade.

A cota do terreno que oferece condições mecânicas para a adopção de fundações directas, aferido por ensaios geotécnicos, obrigou à adicionar elementos laminares para o apoio das paredes.

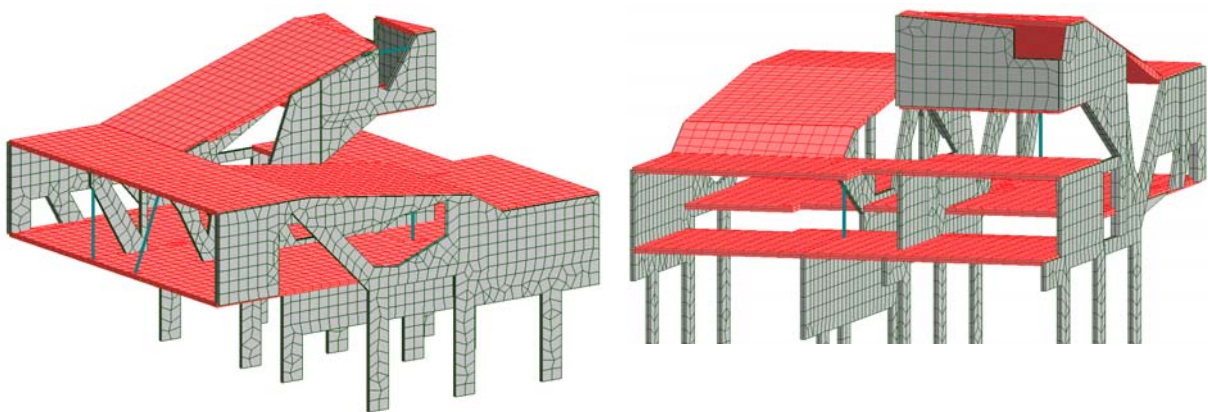


Figura 5. Imagens 3D do modelo final em elementos finitos.

A modelação em elementos finitos de toda a estrutura permitiu concluir que a escora da parede 1, mais comprimida observada no modelo escora-tirante, estava sujeita a algumas tracções na zona da base, com tensões próximas da tensão de fendilhação, não sendo, portanto, justificável a colocação de armadura superior à mínima prevista. Na directa comparação dos modelos, foi possível constatar que, em geral, as escoras identificadas no modelo escora-tirante com elevado ratio de tensão ofereciam uma

reserva de segurança superior. Na figura 6 apresentam-se qualitativamente os resultados obtidos para as 4 paredes na modelação em elementos finitos.

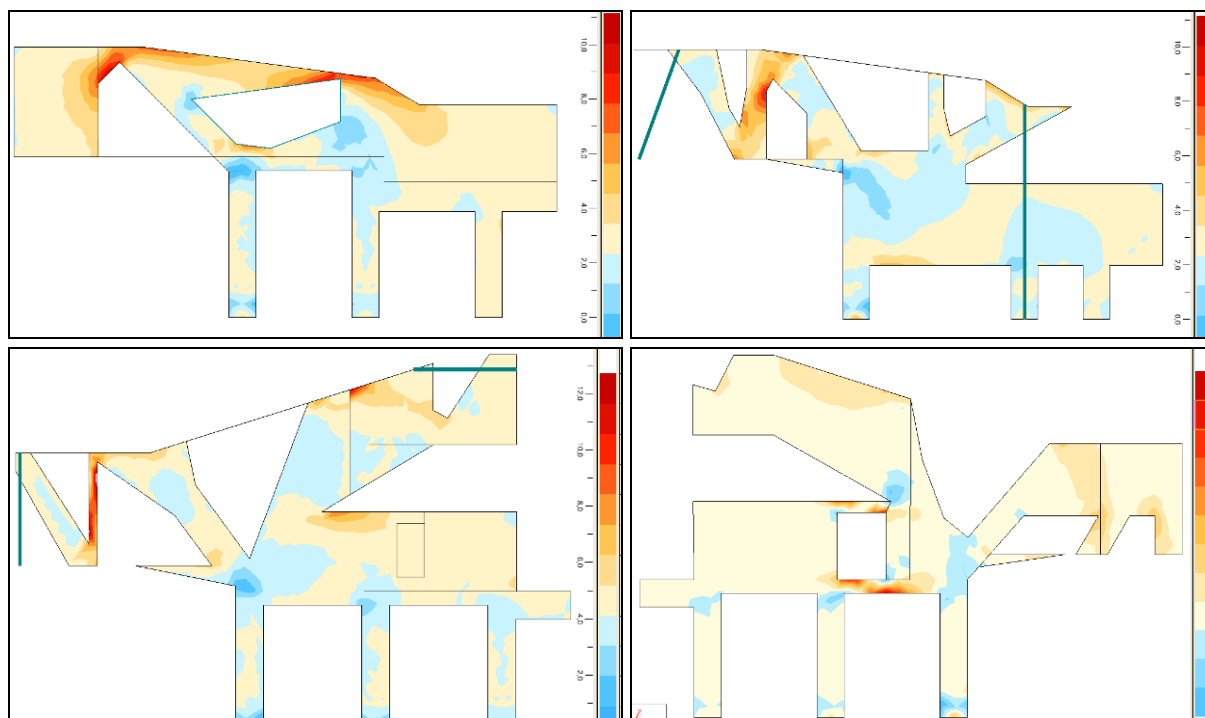
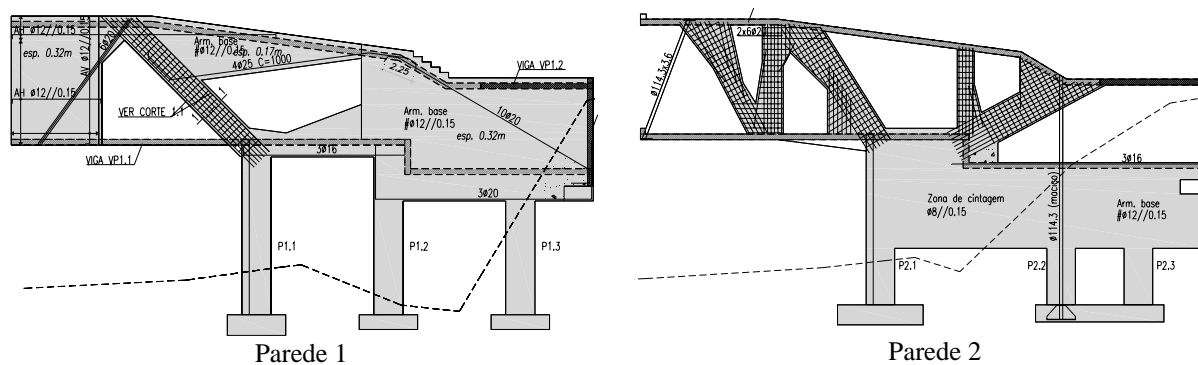


Figura 6. Esforços de membrada obtidos pelo método dos elementos finitos.

4. DISPOSIÇÃO DA ARMADURA

A definição da geometria de um modelo escora-tirante apresenta implicitamente o “caminho” das forças, indicando a disposição de armadura compatível com o modelo.

Na figura 7 apresenta-se a disposição de armaduras que constam no projecto. Para além da armadura necessária aos tirantes as paredes apresentam no geral uma armadura de base de controlo de fendilhação.



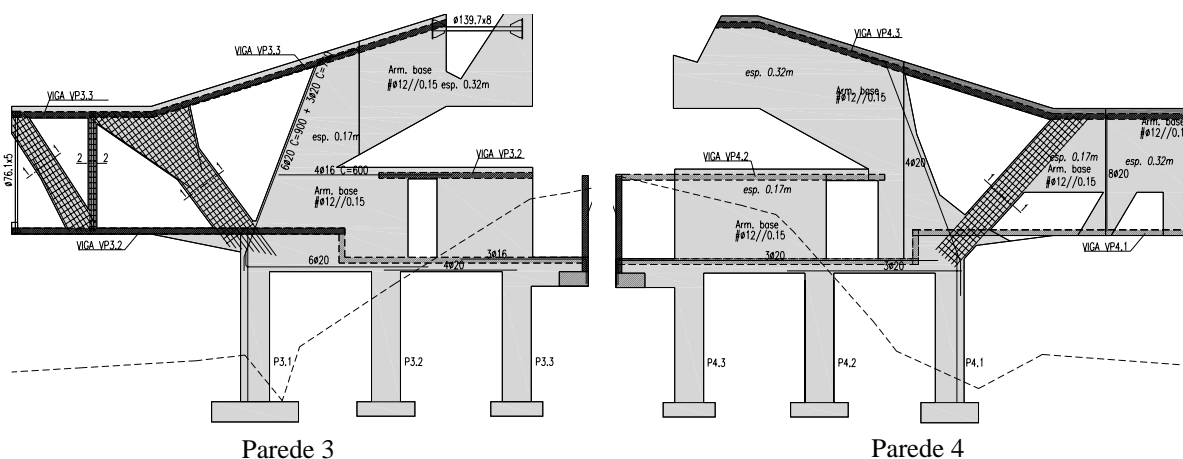


Figura 7. Disposição das armaduras nos elementos estruturais verticais.

5. REALIZAÇÃO

A complexidade da estrutura proposta compeliu a um acompanhamento continuado para, em consonância com a fiscalização se esclarecessem todas as dúvidas e se garantisse a qualidade de execução requerida, em particular na realização dos nós considerados no modelo. De um modo geral a colocação da armadura em obra obedeceu à pormenorização da armadura estipulada no projecto.

A obra encontra-se no presente momento em estado de preparação para execução de acabamentos. Antes da operação de descimbramento da parte da consola de 8.0 m foram colocados 16 alvos para serem controlados com uma estação total de grande precisão.

O maior deslocamento vertical esperado, segundo o modelo de elementos finitos para a solicitação do peso próprios da estrutura, era de 5.0 mm no ponto inferior da consola na parede 1. O valor do deslocamento medido nesse ponto, aquando o descimbramento, foi inferior a 2.0 mm.

Da figura 8 à 14 apresenta-se fotografias das várias fases de execução e das paredes modeladas.

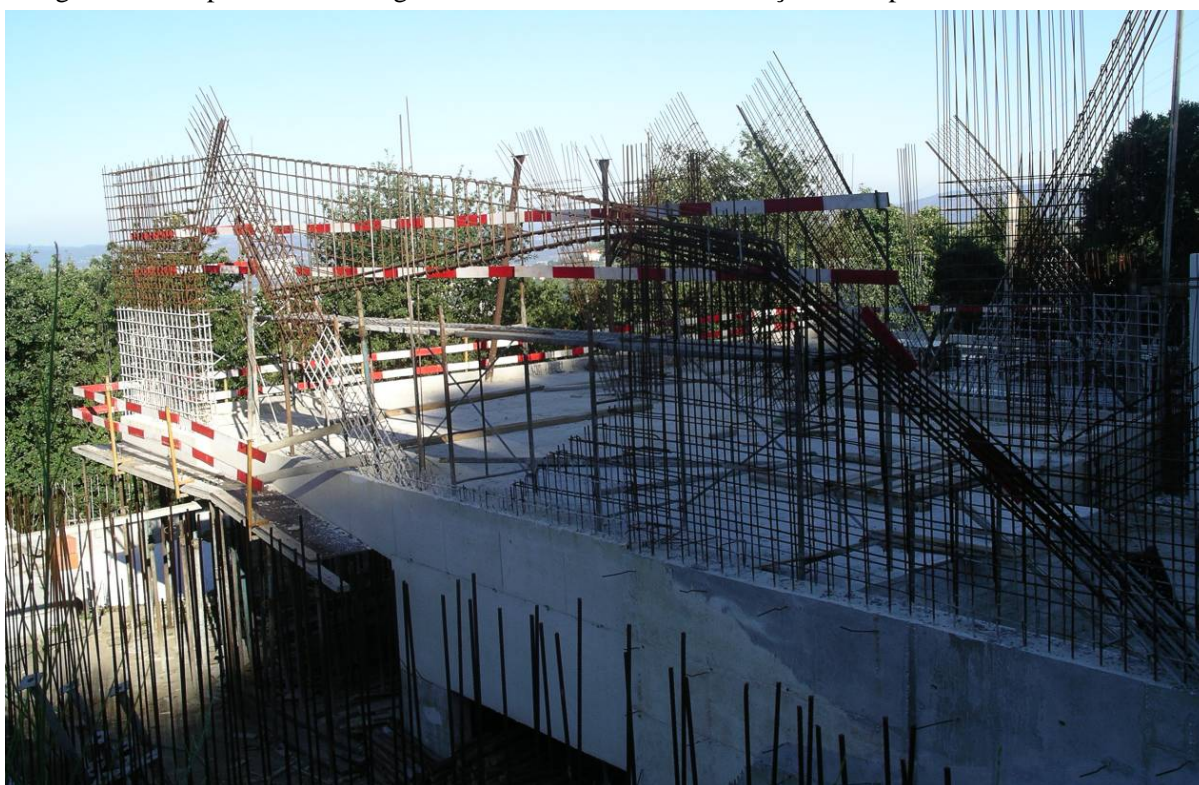


Figura 8. Realização da parede 1.



Figura 9. Parede 1 construída.



Figura 10. Realização da parede 2, 3 e 4.



Figura 11. Parede 2 construída.



Figura 12. Realização da parede 2 e 3.



Figura 13. Parede 3 construída.



Figura 14. Parede 4 construída.

6. CONCLUSÃO

O modelo de escora-tirante é validado para este projecto quer pela confrontação com os resultados obtidos no modelo em elementos finitos quer pela resposta da estrutura real.

Os deslocamentos observados no modelo em elementos finitos são superiores aos constatados em obra contudo no modelo utilizado não foram introduzidos alguns elementos que conferem uma maior rigidez global da estrutura.

REFERÊNCIAS/BIBLIOGRAFIA

[1] SCHLAICH, J. – Design and detailing of structural concrete using strut-and-tie models – Structural Engineer, Volume 69 nº6 – 19 MAR 1991

[2] PALINHOS, Manuel A.; CARVALHO, Joaquim; MATOS, Anabela; BRAGA, Eliano – Projecto de Estabilidade da habitação unifamiliar Requerido por Eng. Fernando Santos – 2006 – TDP Projecto e Fiscalização, LDA