

ESTUDO DO GANHO ENERGÉTICO ASSOCIADO À CONSTRUÇÃO DE UMA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR COM RECURSO A MATERIAIS NATURAIS NO CONTEXTO PORTUGUÊS

António Murta¹; Carlos Teixeira¹; Humberto Varum²; Isabel Bentes¹; Jorge Pinto³

¹ ECT, Departamento de Engenharias. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD). Quinta de Prados. 5001-801 Vila Real. Portugal, c.e.: murtadesigns@yahoo.com.br; cafonso@utad.pt; ibentes@utad.pt;

² Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Aveiro (UA). Campus Universitário de Santiago. 3810-193 Aveiro. Portugal, c.e.: hvarum@ua.pt

³ ECT, Departamento de Engenharias. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD). Quinta de Prados. 5001-801 Vila Real. Portugal, c.e.: tiago@utad.pt

Palavras-chave: ganho energético, sustentabilidade, materiais naturais

RESUMO

Em Portugal a indústria de construção habitacional tem recorrido essencialmente às estruturas de betão armado e de alvenaria de tijolo cerâmico. As estruturas metálicas, de madeira e de alvenaria de pedra têm tido expressão reduzida neste sector da construção e são muito pontuais as aplicações da terra crua como solução construtiva, desenvolvidas por técnicos e empresas particularmente interessadas nestes materiais.

Por sua vez, tem havido uma crescente sensibilização de todos os agentes envolvidos no sector da construção civil para aspectos relacionados com o equilíbrio do meio ambiente e com a sustentabilidade neste sector. É neste contexto que este trabalho de investigação se insere, estudando soluções construtivas sustentáveis recorrendo ao uso de materiais de construção naturais. Para o efeito, foi estudada uma habitação unifamiliar com uma tipologia típica para duas soluções estruturais: uma estrutura porticada pilar-viga de betão armado e lajes aligeiradas pré-fabricadas (designada neste trabalho por solução tradicional); uma solução estrutural à base de materiais naturais (designada aqui por solução sustentável). A solução estrutural com recurso a materiais naturais estudada é definida por paredes resistentes de adobe e estrutura de madeira nos pavimentos e cobertura. Estas duas soluções estruturais são comparadas em termos de estimativas de custo, parâmetros de gasto energético e do teor de emissão de CO₂ associados à produção dos materiais e à própria construção tendo-se verificado que a solução sustentável é mais vantajosa no que diz respeito a estes três aspectos.

1. INTRODUÇÃO

Os principais tipos de técnicas construtivas usadas em Portugal que recorriam à terra crua foram a taipa, o adobe e o tabique. Estas técnicas caíram em desuso aquando do aparecimento do betão armado e das alvenarias de tijolo cerâmico.

Os blocos de adobe são fabricados essencialmente à base de terra crua, moldada em moldes de madeira e secos ao sol. Após a moldagem segue-se o processo de secagem destes blocos. A secagem é natural. Os blocos de adobe podem ser fabricados com diferentes dimensões, tipos de solo e eventualmente podem incluir fibras naturais ou algum ligante, como por exemplo a cal [1].

No âmbito nacional, a reutilização dos materiais e a aplicação de materiais naturais tem um obstáculo complementar que é a limitada legislação existente, o que limita a sua utilização corrente nas construções. A regulamentação relativa às alvenarias estruturais [2] tem cerca de 50 anos. Esta poderá ser a razão porque este tipo de construção é frequentemente preterido em relação às outras soluções estruturais e, em particular, por soluções de betão armado. Com o surgimento dos Eurocódigos estruturais, e particularmente com o Eurocódigo 6 [3] dedicado às estruturas de alvenaria, a construção com materiais naturais terá certamente um novo fôlego.

Paralelamente, a obtenção dos materiais correntes na construção portuguesa requerem bastante energia durante as várias fases (extracção, transporte, transformação, aplicação, demolição e eliminação ou reciclagem), associada a uma libertação de gases nocivos para a atmosfera.

O que se pretende estudar neste trabalho é a viabilidade de aliar a aplicação de materiais naturais, de fácil obtenção perto do local de construção, a métodos construtivos que requeiram pouca energia na sua aplicação e, implicitamente, um baixo teor de emissão de gases para a atmosfera.

É neste sentido que se estudou a aplicação do solo em adobes de terra crua para a construção de habitações unifamiliares correntes.

Para o efeito foi definida uma tipologia corrente de habitação unifamiliar para a qual foram estudadas duas soluções estruturais, uma solução tradicional e uma solução sustentável. A solução tradicional é do tipo pilar-viga de betão armado com lajes aligeiradas de vigotas pré-esforçadas nos pavimentos e também lajes maciças em certos elementos como varandas e escada e, alvenarias de tijolo cerâmico. A solução sustentável é do tipo paredes resistentes de adobes e pavimentos de madeira. Para cada uma destas duas soluções foram quantificados e comparados o custo de construção, o gasto energético e a emissão de gases nocivos para a atmosfera permitindo concluir que a solução estrutural sustentável é mais vantajosa a nível económico e ambiental.

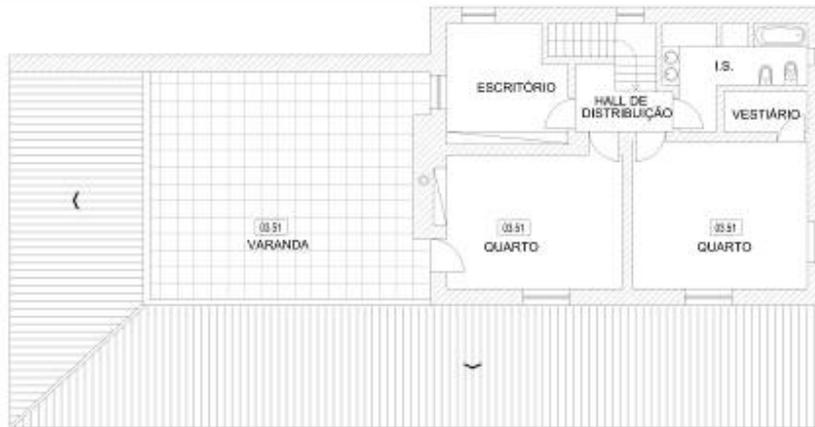
Espera-se com estes resultados re-estimular a aplicação de materiais naturais na construção civil.

2. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO ESTUDADO

Neste estudo foi adoptada uma tipologia de habitação unifamiliar adequada a um agregado familiar composto por 3 a 4 pessoas, e que é o mais procurado no mercado português, actualmente. A figura 1 mostra as plantas do edifício.



b) Piso 0



b) Piso 1
Figura 1: Plantas de arquitectura

Os espaços foram distribuídos por dois pisos considerando que a utilização do piso térreo (piso 0) é essencialmente do tipo social e que a utilização do piso superior (piso 1) é essencialmente do tipo privado. As áreas brutas de construção dos pisos 0 e 1 são 288.50 m² e 168.50 m², respectivamente.

O piso 0 é constituído por uma sala de estar, uma sala de jantar, uma cozinha, uma zona de arrumos, instalações sanitárias, hall de entrada e corredor, existindo um alpendre que se desenvolve ao longo de duas fachadas do edifício. No piso 1 existem dois quartos (um deles com vestiário privativo), um escritório, instalações sanitárias, hall de distribuição e uma varanda.

A ligação entre pisos é efectuada por uma escada que liga o hall de entrada ao hall de distribuição. A cobertura, ao nível do piso 1, é inclinada, com revestimento em telha cerâmica e a cobertura do piso 2 é horizontal, não acessível, com revestimento de seixo rolado. A entrada tem uma orientação voltada a Este.

Geograficamente, o edifício estudado foi idealizado para ser implantado na região centro de Portugal, na zona litoral mais concretamente, no concelho da Figueira da Foz, distrito de Coimbra.

3. ESTUDO E MÉTODOS

Para o dimensionamento da solução estrutural tradicional, utilizaram-se programas de cálculo automático comerciais.

Os pilares e as vigas foram representados pelos seus eixos e são definidos estruturalmente por elementos de barra. A estes elementos estão associadas as características geométricas e mecânicas que importam no cálculo e no dimensionamento, como é o caso do tipo de secção transversal e do módulo de elasticidade do material. O programa de cálculo utilizado permite efectuar uma análise dinâmica modal com avaliação prévia dos vários modos de vibração e a determinação da resposta da estrutura com modelação da acção sísmica através de espectros de resposta.

Na quantificação da acção do vento é utilizado o prescrito no [2] considerando a acção do vento como estática. Esta quantificação é feita de modo automático pelo programa de cálculo após indicação da zona e da rugosidade associada ao local de implantação do edifício, bem como das dimensões do edifício em planta.

Foram elaboradas algumas folhas de cálculo em Excel para a verificação e análise dos resultados obtidos através do programa de cálculo automático. Estas folhas de cálculo foram também utilizadas para o dimensionamento de alguns elementos estruturais isolados, tal como vãos de escada.

Para a solução sustentável e atendendo à inexistência de programas de cálculo automático de dimensionamento de alvenarias de adobe, foram desenvolvidas folhas de cálculo em Excel para este efeito, recorrendo ao disposto nos códigos [2, 3].

Para o dimensionamento dos elementos estruturais de madeira (pavimentos e escadas) recorreu-se ao disposto no Eurocódigo 5 [4] e elaboraram-se também folhas de cálculo específicas em Excel.

4. SOLUÇÃO TRADICIONAL

4.1 Considerações gerais

Para o edifício em estudo, e de acordo com [5], foi considerado um betão do tipo C25/30 em todos os elementos em contacto com o terreno e um betão C20/25 para os restantes elementos estruturais (pilares, vigas, escadas e sapatas). O aço considerado nas armaduras correntes foi o aço S400NR e nas armaduras electrossoldadas o aço S500EL, de acordo com o [6]. As paredes exteriores serão duplas em alvenaria de tijolo cerâmico, tendo o pano exterior 0.15 m e o pano interior 0.22 m de espessura, argamassadas nas juntas. Entre os dois panos de parede considerou-se uma caixa-de-ar com 0.10 m de espessura e com isolamento térmico em poliestireno extrudido de 0.05 m de espessura. As paredes interiores são panos simples de alvenaria de tijolo cerâmico de 0.15 m de espessura argamassadas nas juntas.

4.2 Análise estrutural

Para a análise estrutural do edifício foi necessário quantificar inicialmente as acções a considerar e estimar os seus valores nos elementos estruturais. A acção permanente considerada corresponde ao peso próprio dos elementos estruturais e não estruturais e como acções variáveis foram consideradas a sobrecarga, o vento e o sismo.

Para o peso próprio dos elementos estruturais consideraram-se os pesos específicos de referência, 78.50 kN/m³ para o aço, 24.00 kN/m³ para o betão simples e 25.00 kN/m³ para o betão armado. O peso das paredes divisórias considerou-se 0.50 kN/m³ visto que essas paredes são praticamente todas coincidentes nos dois pisos e aquelas que não estavam alinhadas foram alvo de um dimensionamento específico. Para o revestimento dos pisos e da cobertura considerou-se 2.00 kN/m² e 3.00 kN/m², respectivamente.

Para as sobrecargas de utilização, e segundo o descrito no [2] considerou-se 2.00 kN/m² para as zonas habitáveis, 1.00 kN/m² para os terraços não acessíveis e 3.00 kN/m² para zonas de acesso. Para a acção do vento, e segundo [2], considerou-se a localização do edifício na zona B e rugosidade do tipo II. Para a acção sísmica, e segundo o [2], considerou-se a zona sísmica C, o terreno do tipo II, o coeficiente de sismicidade de 0.50, o coeficiente de amortecimento de 5% e coeficiente de comportamento de 2.0.

Para o valor da capacidade resistente dos solos sob as fundações considerou-se 200 kPa.

Após a quantificação das acções, procedeu-se às verificações da segurança da estrutura. Para o efeito, todas as secções dos elementos estruturais foram dimensionadas de forma a verificar os estados últimos de resistência e os estados limites de utilização, adoptando-se as disposições preconizadas no [6].

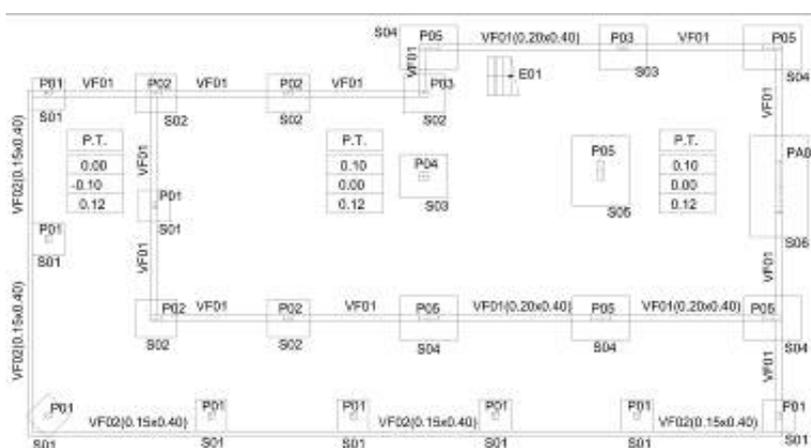
Para o dimensionamento dos pavimentos, realizados em lajes maciças de betão armado, desenvolveu-se o cálculo destas lajes com recurso a um programa de cálculo espacial, que permite contemplar as singularidades das lajes, como aberturas ou recortes, permitindo ainda simular diversos tipos de apoio de laje.

Os pavimentos dos pisos serão maioritariamente realizados com lajes aligeiradas de vigotas pré-esforçadas. Estes pavimentos têm um funcionamento unidireccional, previsto para resistir essencialmente a momentos flectores positivos. Admite-se contudo a continuidade destes pavimentos, desde que, os momentos flectores negativos obtidos por cálculo elástico sejam redistribuídos, considerando-se normalmente apenas 50% do valor desses momentos flectores. Esses momentos flectores são resistidos por armaduras passivas. Quando os momentos flectores negativos apresentam um valor significativo opta-se por um maciçamento. O apoio destes pavimentos faz-se directamente em vigas.

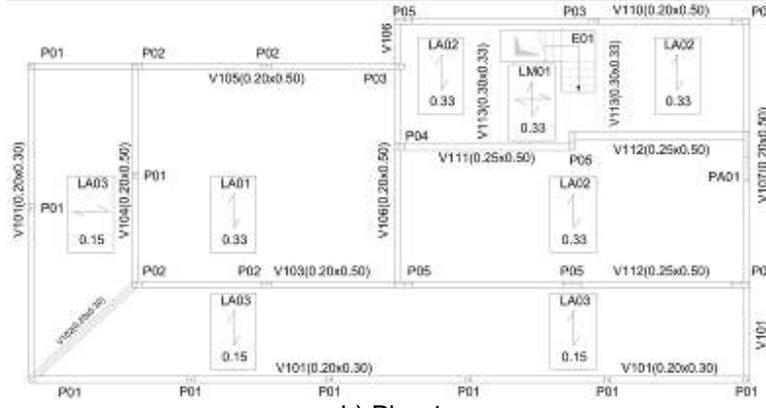
Dada a ausência de esforços axiais de relevo nas vigas, as suas armaduras foram calculadas à flexão simples e ao esforço transversal. Por sua vez, os pilares foram dimensionados tendo em conta que estão sujeitos à flexão desviada composta e também foram considerados os efeitos de segunda ordem.

Para a fundação dos pilares previu-se a execução de sapatas isoladas. Dado que na base dos pilares não existem momentos flectores significativos, não foi necessário considerar a realização de vigas de equilíbrio capazes de equilibrar as excentricidades geradas. Nas situações em que os lintéis de fundação têm apenas a função de contraventamento, impedindo deslocamentos relativos dos elementos de fundação, não se procedeu a nenhum cálculo especial.

Após o dimensionamento da solução estrutural tradicional adoptada para o edifício em estudo chegou-se aos resultados expostos nas figuras 2 e 3. Com os resultados de dimensionamento foi possível efectuar a medição de todos os materiais necessários, bem como estimar o custo de construção inerente, o gasto energético e o teor de emissão de CO₂, resultados expostos na tabela 1.



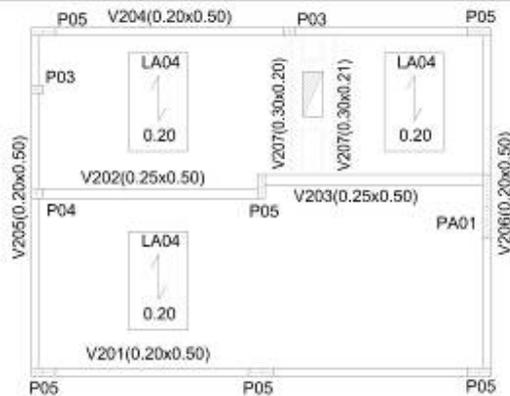
a) Fundações



b) Piso 1

- LEGENDA:**
 S - Sapata
 VF - Viga de fundação
 PT - Pavimento Terreo
 P - Pilar
 PA - Parede
 V - Viga
 LA - Laje aligeirada
 LM - Laje maciça
 E - Escada

- MATERIAIS:**
 Betão em fundações - B25/30
 Betão no restante - B20/25
 Aço em varão - A400NR
 Aço em malha - A500EL



c) Cobertura

Figura 2: Plantas estruturais da solução tradicional

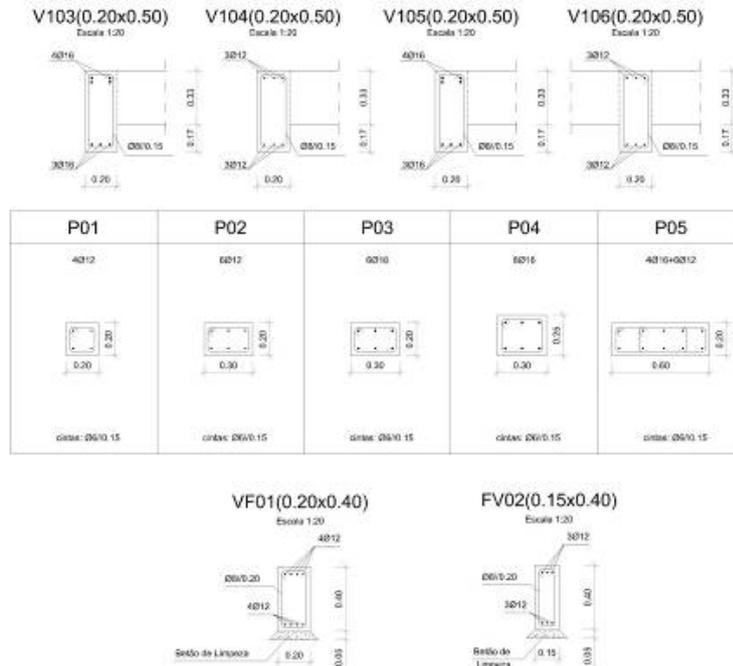


Figura 3: Pormenores estruturais da solução tradicional

Material	Unidade	Quantidade	Custo (€)	Gasto (MJ)	Emissão (CO ₂)
Betão	m ³	156	10690	397582	246963
Aço (S400)	m ²	457	4536	1022858	463581
Argamassa	kg	59100	1477	85311	42555
Elementos cerâmicos	kg	1109650	3296	327956	167439

Tabela 1 – Quantidades totais por material para a solução tradicional

5. SOLUÇÃO SUSTENTÁVEL

5.1 Considerações gerais

Para a solução estrutural sustentável, procedeu-se a um pré-dimensionamento dos elementos estruturais admitindo as dimensões mínimas admissíveis para todos estes elementos de acordo com o preconizado em [3, 4]. Posteriormente, dimensionaram-se todos estes elementos utilizando folhas de cálculo em Excel especialmente desenvolvidas.

As paredes resistentes são concebidas em adobe com uma resistência à compressão de 3.0 MPa e juntas com argamassa de assentamento da classe M3, de acordo com [3].

Para o pavimento do piso 1, para a cobertura e para as escadas foram consideradas vigas e soalho em madeira de pinho *pinus pinaster* da classe C22, de acordo com [4].

As fundações das paredes resistentes foram materializadas por lintéis de fundação contínuos de betão da classe C25/30 e com aço S400.

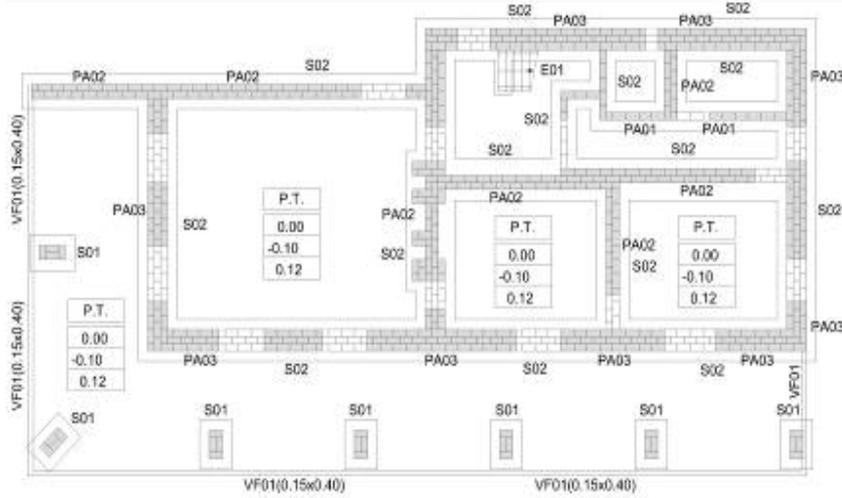
5.2 Análise estrutural

A análise estrutural efectuada à solução sustentável seguiu os procedimentos referidos anteriormente e para a solução tradicional. O peso específico dos blocos de terra crua foi considerado de 20.00 kN/m³, da madeira de 4.00 kN/m³, do revestimento dos pisos e da cobertura considerou-se de 2.00 kN/m² e de 3.00 kN/m², respectivamente. As restantes de acções são análogas às definidas e quantificadas na secção anterior.

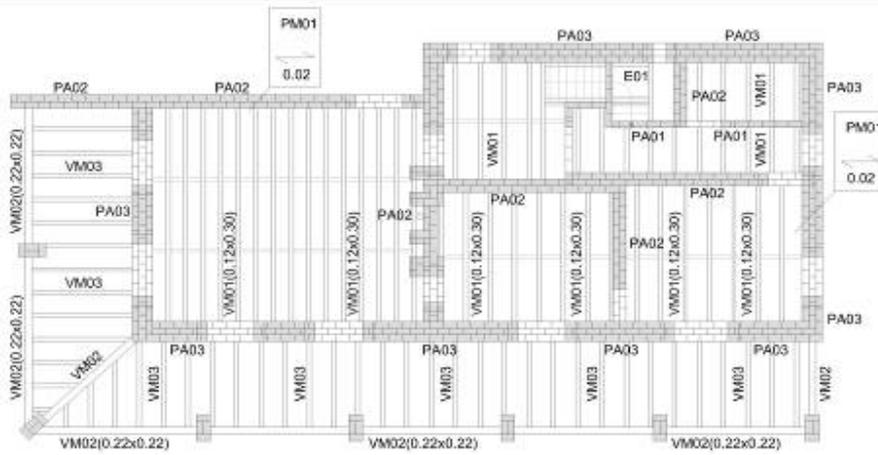
Para o dimensionamento dos pavimentos realizados em soalho e vigas de madeira e, dada a ausência de esforços axiais de relevo nas vigas de pavimento, as suas dimensões foram calculadas à flexão simples e ao esforço transversal. Para isso, foi desenvolvida e utilizada uma folha de cálculo em Excel utilizando o prescrito no [4]. O apoio destes pavimentos faz-se directamente nas paredes resistentes de adobe.

Por sua vez, as paredes de adobe foram dimensionadas tendo em conta o especificado em [3, 2] e recorrendo a uma folha de cálculo em Excel desenvolvida para o efeito.

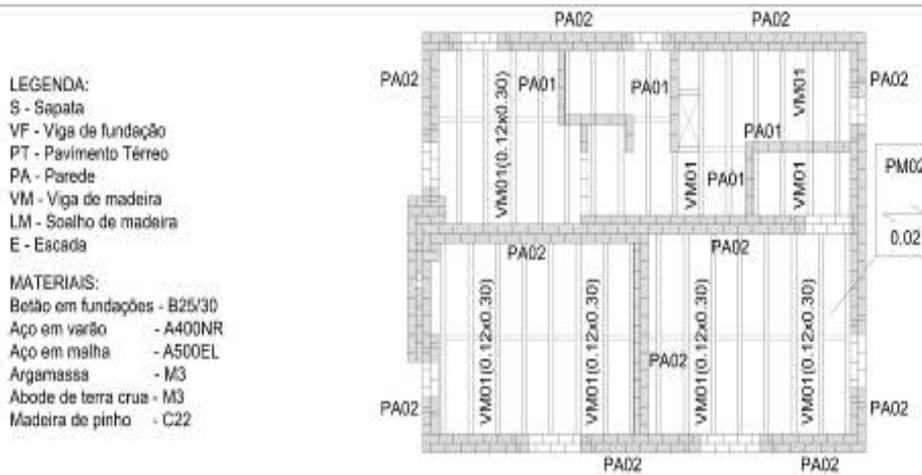
Após o dimensionamento da solução estrutural sustentável adoptada para o edifício em estudo chegou-se aos resultados expostos nas figuras 4 e 5. Com estes resultados foi possível quantificar os materiais inerentes à construção desta solução e estimar o seu custo, o gasto energético e o teor de emissão de CO₂. Estes resultados apresentam-se na tabela 2.



a) Fundações
 b)



b) Piso 1



c) Cobertura

Figura 4: Plantas estruturais para a solução sustentável

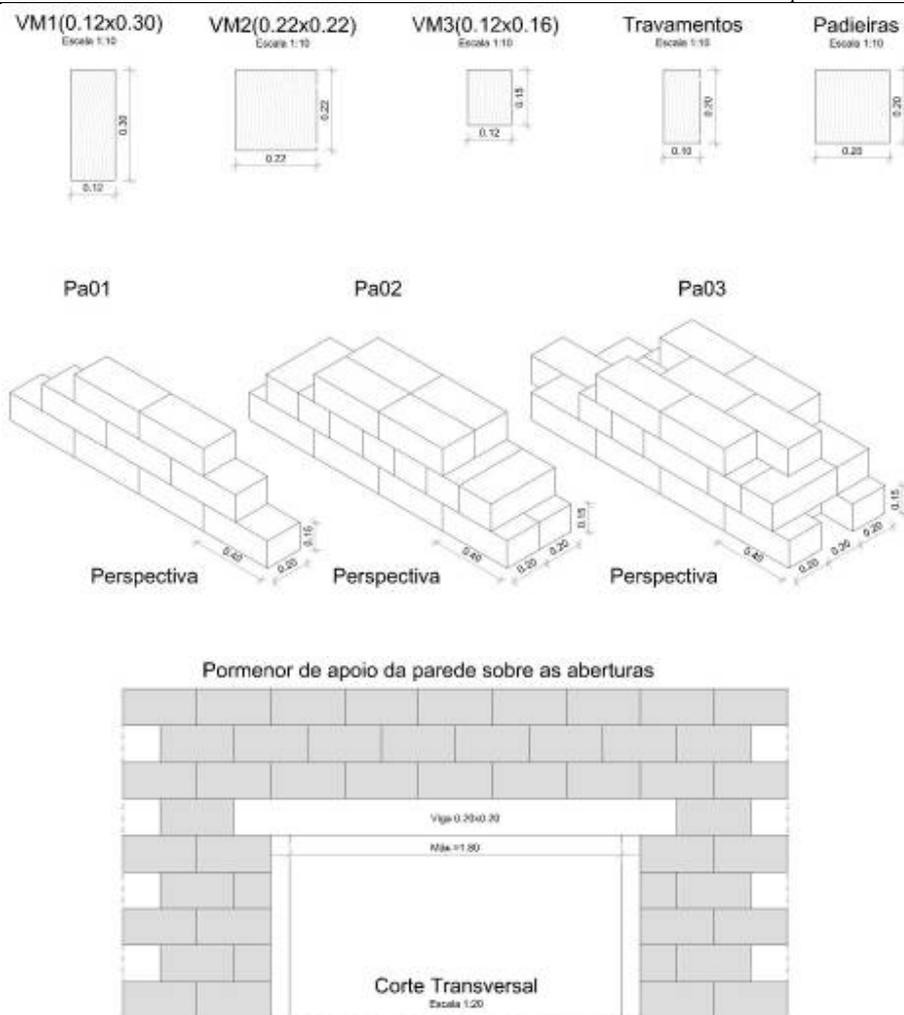


Figura 5: Pormenores estruturais e de construção para a solução sustentável

Material	Unidade	Quantidade	Custo (€)	Gasto (MJ)	Emissão (CO ₂)
Betão	m ³	118	6463	300154	37513
Aço (S400)	M ²	80	2223	303056	24030
Argamassa	kg	103680	2592	149667	19899
Adobe de terra crua	m ³	216	3780	2592	181
Madeira de pinho	kg	13578	4752	28785	2702

Tabela 2 – Quantidades totais por material para a solução sustentável

6. ANÁLISE DE RESULTADOS

6.1 Custo de construção

A análise económica das duas soluções estruturais foi efectuada aplicando valores de custos unitários correntes no mercado português às quantidades de cada material obtendo-se deste modo os custos que aparecem nas tabelas 1 e 2. Os custos totais para a construção das soluções estruturais tradicional e sustentável foram estimados em 20 000 € e 19 810 €, respectivamente.

6.2 Gasto energético

A análise energética das duas soluções estruturais foi efectuada aplicando os valores de consumo energético às quantidades de materiais estimadas anteriormente. Os valores de consumo energético unitários foram determinados recorrendo a uma base de dados internacional [7] capaz de enumerar todos os gastos energéticos contemplando todo o ciclo de vida útil do material (desde a extracção da matéria-prima até ser considerado como resíduo). Obtiveram-se desta forma os gastos energéticos por material, indicados nas tabelas 1 e 2. Para as soluções estruturais tradicional e sustentável obtiveram-se, então, os gastos energéticos totais de 1 833 707 MJ e 784 253 MJ, respectivamente.

6.3 Emissão de CO₂

Analogamente à análise energética, a base de dados [7] fornece também a quantidade de gases nocivos libertados para a atmosfera por material. Neste estudo, esses gases nocivos estão convertidos em CO₂. Os teores de emissão de CO₂ relativos à construção tradicional e sustentável encontram-se indicados nas tabelas 1 e 2. Para as soluções estruturais tradicional e sustentável foram obtidos os valores totais de gases emitidos para a atmosfera de 920 539 CO₂ e 84 325 CO₂, respectivamente.

6.4 Comparação entre soluções

A tabela 3 apresenta os valores totais dos parâmetros usados na comparação das duas soluções estruturais (tradicional e sustentável) adoptadas para a construção da habitação unifamiliar tipo estudada neste trabalho. Esses valores foram já apresentados nas tabelas 1 e 2.

A tabela 3 permite facilmente observar que a solução estrutural sustentável apresenta valores dos três parâmetros de comparação que favorecem a sua escolha em detrimento da solução tradicional. De facto, a opção da solução estrutural sustentável permite uma redução do custo de construção de 1% uma redução do gasto energético de 57% e uma redução de emissão de CO₂ de 91%. Estes factos demonstram que a opção solução estrutural sustentável embora não seja significativa mais económica é sobretudo ambientalmente mais sustentável. Se fosse considerado o custo ambiental associado ao gasto energético e à emissão de CO₂ da solução tradicional o seu custo seria bastante relevante.

	Solução Tradicional	Solução Sustentável	Melhor Solução
Custo de construção	20 000 €	19 810 €	Sustentável
Gasto energético	1 833 707 MJ	784 253 MJ	Sustentável
Emissão de CO ₂	920 539 CO ₂	84 325 CO ₂	Sustentável

Tabela 3 – Comparação entre as soluções estruturais

7. CONCLUSÕES

Uma solução estrutural que usa essencialmente materiais naturais do tipo terra crua e madeira foi apresentada e desenvolvida neste trabalho para a construção de uma habitação unifamiliar tipo no contexto português e proposta como sendo uma alternativa à solução estrutural do tipo pilar-viga de betão armado e lajes aligeiradas pré-esforçadas mais correntemente usada.

Constatou-se que ainda existe alguma inexperiência na aplicação da regulamentação em vigor relativa ao dimensionamento deste tipo de materiais naturais assim como uma escassez de programas de cálculo automático comerciais para o dimensionamento de elementos estruturais concebidos com este tipo de materiais.

A comparação das duas soluções estruturais propostas neste estudo, tradicional e sustentável, demonstrou que a solução estrutural sustentável apresentada mostra-se claramente favorável, quer em termos económicos quer em termos ambientais. Este facto é revelador das vantagens associadas ao uso de materiais construtivos naturais no contexto português, em particular, ao uso de adobes na execução de paredes resistentes de habitações unifamiliares.

8. BIBLIOGRAFIA

Carvalho J., Pinto J., Varum H., Jesus A., Lousada J., Morais J.; “Construções em Tabique na Região de Trás-os-Montes e Alto Douro”. CINPAR 2008 – 4th International Conference on Structural Defects and Repair. Civil Engineering Department. University of Aveiro. Portugal. 2008. [1]

CEN, “Eurocódigo 5 – Projecto de Estruturas de Madeira – ENV 1995-1”. Bruxelas. 1998. [4]

CEN, “Eurocódigo 6 – Projecto de Estruturas e Alvenaria – ENV 1996-1”. Bruxelas. 1995. [3]

Decreto-Lei nº 235/85 de 31 de Maio. “Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes”. Portugal. 1985. [2]

Decreto-Lei nº 349-C/83 de 30 de Julho. “Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado”. Portugal. 1983. [6]

Base de Dados: Swiss Centre for Life Cycle Inventories Data V2.01. 2007. [7]

António Murta: Aluno do Mestrado em Engenharia Civil da UTAD

Carlos Teixeira: Assistente da ECVA da UTAD

António Murta: Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil, da UA

Isabel Bentes: Professor Auxiliar da ECT, do Departamento de Engenharias, da UTAD

Jorge Pinto: Professor Auxiliar da ECT, do Departamento de Engenharias, da UTAD