

# ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS

*J. Mendonça Santos, L. Sutherland e C. Guedes Soares*

Unidade de Engenharia e Tecnologia Naval, Instituto Superior Técnico,  
Lisboa, Portugal

[jmendoncas@mar.ist.utl.pt](mailto:jmendoncas@mar.ist.utl.pt), [leigh@mar.ist.utl.pt](mailto:leigh@mar.ist.utl.pt), [guedess@mar.ist.utl.pt](mailto:guedess@mar.ist.utl.pt)

## Resumo

Dada a complexa micro – estrutura e variabilidade dos materiais compósitos, que em aplicações navais são frequentemente produzidos manualmente, é imperativo a obtenção de propriedades mecânicas precisas para qualquer modelação numérica ou analítica dos mesmos. Qualquer pequena alteração nos materiais constituintes e/ou no processo de fabrico de compósitos pode induzir grandes variações, pelo que não se encontram disponíveis publicações relevantes e bases de dados de experimentação extensiva nesta área.

Para satisfazer a necessidade de caracterização das propriedades mecânicas de compósitos foi desenvolvida uma plataforma de testes, uma máquina mecânica servo – hidráulica cujo desenho modular permite realizar uma gama de ensaios mecânicos quase ilimitada, e.g. desde testes de espécimes muito pequenos até testes de componentes à escala, com carregamentos estáticos ou dinâmicos.

Já foram efectuados testes de indentação, altamente exigentes, com resultados excelentes, assim como testes de impacto e testes de flexão de vigas em sanduíche utilizados na construção de iates. Estes resultados são aqui apresentados, assim como a próxima etapa de desenvolvimento da plataforma de ensaios.

## 1 Introdução

Os materiais compósitos têm vindo, já há algum tempo, a ser utilizados como materiais de construção em praticamente todas as indústrias. Os materiais compósitos mais recorrentemente utilizados na indústria naval são os plásticos reforçados a fibra de vidro (PRFV). Estes são hoje em dia um material aceite e utilizado em múltiplas e variadas aplicações em diferentes

tipos de navios, dominando na área de recreio, sendo utilizados extensivamente em navios de pesca e militares e cada vez mais em navios comerciais. Elevados valores de resistência mecânica e rigidez conjugadas com baixo peso estrutural, resistência química e ambiental, facilidade de obtenção de estruturas com formas complexas, entre outros factores contribuíram para o aumento do uso de PRFV na construção naval.

O projecto e dimensionamento de estruturas em compósitos são significativamente diferentes do caso em que se utilizam materiais de construção “convencionais” dada a não – homogeneidade, anisotropia e praticamente ausência de plasticidade características dos materiais compósitos reforçados a fibra, e, conseqüentemente, requerem do projectista rigor e atenção congruentes, começando pela determinação das propriedades mecânicas dos materiais a utilizar. As propriedades estruturais de compósitos são determinadas pelos materiais constituintes (fibra e matriz) e, em larga escala, e muito mais que noutro tipo de materiais, pelo próprio processo de fabrico.

Dada a complexa micro – estrutura e variabilidade dos materiais compósitos, que em aplicações navais são frequentemente produzidos manualmente, é imperativo a obtenção de propriedades mecânicas precisas para qualquer modelação numérica ou analítica dos mesmos. Qualquer pequena alteração nos materiais constituintes e/ou no processo de fabrico de compósitos pode induzir grandes variações, pelo que não se encontram disponíveis publicações relevantes e bases de dados de experimentação extensiva nesta área.

## **2 A Plataforma de Ensaios**

A investigação do comportamento de componentes estruturais em materiais compósitos reforçados por fibra, com especial incidência na área de impacto, desenvolvida na Unidade de Tecnologia e Engenharia Naval (UETN) do Instituto Superior Técnico exigia, naturalmente, a obtenção de propriedades estruturais dos materiais estudados.

Para satisfazer a necessidade de caracterização das propriedades mecânicas de compósitos foi desenvolvida uma plataforma de testes, uma máquina mecânica servo – hidráulica cujo desenho modular permite realizar uma gama de ensaios mecânicos quase ilimitada, e.g. desde testes de espécimes muito pequenos até testes de componentes à escala, com carregamentos estáticos ou dinâmicos.

O projecto geral da plataforma de ensaios foi realizado considerando que esta deveria:

- Ser facilmente adaptável a diferentes configurações ou tipos de ensaio;
- Permitir a realização de ensaios numa ampla gama de dimensões, desde os pequenos provetes à escala de componentes estruturais;
- Contemplar a realização de ensaios quase estáticos e de fadiga;
- Ser adequada ao ensaio de metais e dos materiais compósitos mais comuns;
- Ter o máximo de rigor possível;
- Exigir um investimento relativamente baixo;

Nestas condições, considerou-se que uma plataforma de actuação servo-hidráulica seria a melhor solução de compromisso. Foi projectado um sistema modular constituído por três partes principais: uma estrutura física rígida de suporte, um circuito hidráulico de potência e actuação e uma unidade de aquisição e controlo. As bombas fornecem a energia hidráulica necessária ao movimento de um cilindro, cujo controlo é efectuado por acção de uma servoválvula. O controlador projectado é do tipo proporcional simples por realimentação directa da posição ou da carga aplicada pelo cilindro. O actuador e o componente, bem como os suportes necessários, são fixos à estrutura principal de acordo com a configuração de cada ensaio, em particular. O sistema concebido desta forma tem as seguintes vantagens:

- A natureza modular resulta num elevado nível de adaptabilidade geral do sistema;
- A servoválvula hidráulica confere um elevado grau de precisão no movimento;
- A unidade de aquisição e controlo pode consistir em programas adequados a correr num PC relativamente comum;
- A tecnologia hidráulica está bastante acessível e normalizada e o equipamento não é muito dispendioso.

A ampla gama de requisitos gerais considerados no projecto da plataforma significa que existem muitos compromissos de engenharia que são inevitáveis. No entanto, a natureza modular do sistema permite que a própria

plataforma seja alterada de acordo com o tipo de ensaio realizado, facilitando a resolução de alguns desses compromissos. O objectivo inicial consistiu em integrar e colocar o sistema em funcionamento mesmo com uma configuração relativamente rudimentar e melhorá-lo e aperfeiçoá-lo posteriormente, consoante era ganha experiência e pela qualidade dos resultados obtidos. O próximo passo consistiu na extensão das capacidades do sistema, permitindo novas configurações e implementando melhorias nos programas utilizados e equipamentos.

## 2.1 Estrutura Física

A estrutura física da plataforma de ensaios é do tipo “pórtico” simples, de baixo custo, para ser usada como primeira plataforma de testes, uma vez que após a sua activação inicial e ensaio, outros tipos de estrutura ou suporte mais complexos podem ser facilmente produzidos e instalados. Contudo, esta plataforma, cujo esquema e foto são apresentados na Figura 1, foi concebida cuidadosamente, no sentido de permitir a execução de diferentes tipos básicos de teste, tais como tensão, compressão, flexão, entre outros.

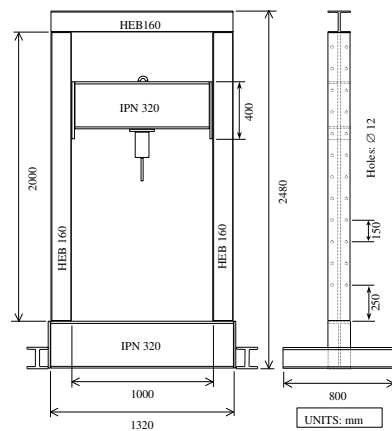


Figura 1 Esquema e Imagem da Plataforma de Ensaios

Uma viga central é aparafusada às colunas laterais usando uma série de furos equidistantes, que permitem a variação do espaço disponível para teste. O cilindro hidráulico está normalmente fixo a esta viga central e o suporte com o componente de teste, fixo à base da estrutura. No entanto, podem ser usadas diferentes configurações, fixando o actuador hidráulico e/ou o

componente para teste noutros locais da plataforma, ou usando diferentes suportes, que podem ser produzidos logo que forem necessários.

Considerou-se uma carga máxima de projecto de 25 ton., aplicada a meio vão, para uma deformação máxima admissível de 0.05 mm. Para evitar danos mais graves no equipamento, em caso de ocorrência de sobrecarga, o projecto foi efectuado no sentido de dar a preferência de falha aos parafusos que ligam a viga central às colunas laterais. Todas as outras ligações são efectuadas por soldaduras para resistir melhor aos efeitos dos ensaios de fadiga.

## 2.2 *Circuito Hidráulico*

O sistema hidráulico é composto por duas partes distintas: o circuito de alimentação hidráulica e o circuito de controlo e actuação.

O circuito de alimentação fornece a potência hidráulica necessária à operação da plataforma e deverá manter uma pressão aproximadamente constante, permitindo um melhor desempenho na utilização da servoválvula. Foi seleccionada uma pressão de serviço de 210 bar para permitir o uso de componentes hidráulicos normalizados e menos dispendiosos. O circuito de alimentação hidráulica pode ser visto nas fotos da Figura 2.



*Figura 2 Circuito de Alimentação Hidráulica*

O aquecimento excessivo traduz-se num desperdício de energia e na degradação do fluido hidráulico, comprometendo a operacionalidade e reduzindo a vida útil do próprio fluido e da servoválvula. Logo, no sentido de evitar os efeitos indesejáveis de sobreaquecimento, o caudal de fluido hidráulico fornecido pela central de alimentação deverá ser tão próximo quanto possível do caudal consumido pelos movimentos do cilindro e servoválvula. No entanto, existe o problema associado ao facto de ser

impossível definir a necessidade de caudal de fluído porque esta varia significativamente com a natureza do ensaio (pequeno ou grande deslocamento, estático ou de fadiga, em frequência, etc.).

A solução adoptada foi o uso de uma bomba de caudal constante, com uma válvula de descarga ou by-pass (que descarrega o fluído hidráulico para o tanque quando não é consumido pelo cilindro) e um acumulador para suavizar as descargas e vibração das bombas. O uso deste acumulador também permite aumentar o caudal disponível de fluído, ainda que por pequenos períodos de tempo.

No sentido de tornar o sistema mais flexível e aproximar o caudal produzido do caudal consumido, foram instaladas duas bombas em paralelo, de 6 e 12 litros por minuto (lpm). Assim, por selecção de cada uma das bombas individualmente ou ambas em simultâneo, é possível atingir os caudais máximos de 6, 12 ou 18 lpm.

### 2.3 Aquisição de Dados e Controlo

O sistema de aquisição de dados e controlo da plataforma de testes encontra-se representado esquematicamente na Figura 3.

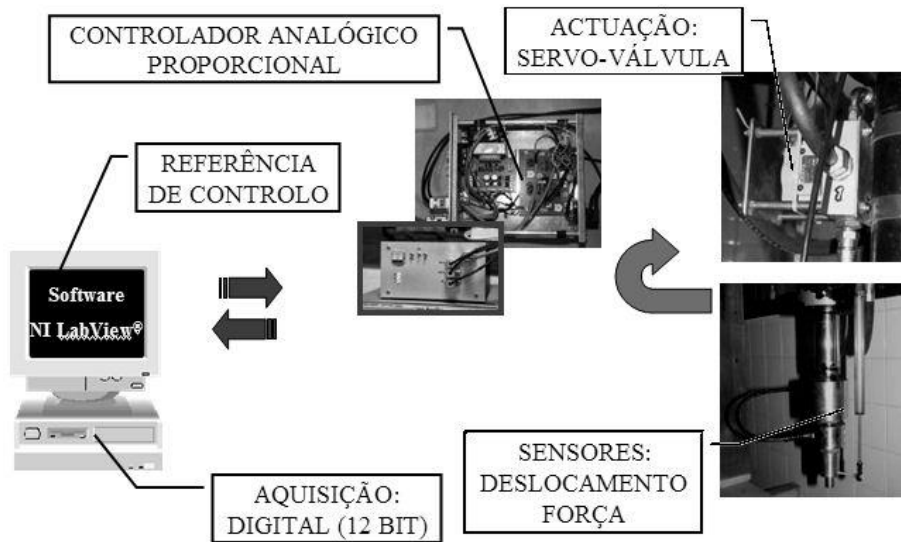


Figura 3 Esquema de Sistema de Aquisição de Dados e Controlo

A cadeia de controlo é composta pelo sensor de posição linear e célula de carga (estão disponíveis duas células de carga de 0.5 e 6 ton consoante as

exigências do ensaio a realizar), amplificadores, filtros analógicos, controlador e a servoválvula hidráulica de actuação.

No decorrer dos ensaios o deslocamento e força são lidos pelo sensor de posição e célula de carga respectivamente. Estes sinais, após amplificação, são conduzidos para aquisição e registo. Estes são então comparados com os sinais de entrada e o controlador faz actuar a servoválvula hidráulica em conformidade.

Uma descrição pormenorizada da configuração, elementos e funcionamento da plataforma, assim como o processo de activação da mesma pode ser encontra em Sutherland e Guedes Soares (2004) e Rodrigues, Sutherland e Guedes Soares (2003).

### 3 Exemplos de Aplicação

Como referido anteriormente, a plataforma de ensaios permite a realização de uma vasta gama de ensaios mecânicos quer estáticos quer dinâmicos: tracção, compressão, flexão, corte interlaminar, indentação, impacto e fadiga. Na Figura 4 podem ver-se provetes de ensaios de flexão e corte (flexão viga – curta), já realizados na plataforma de ensaios.

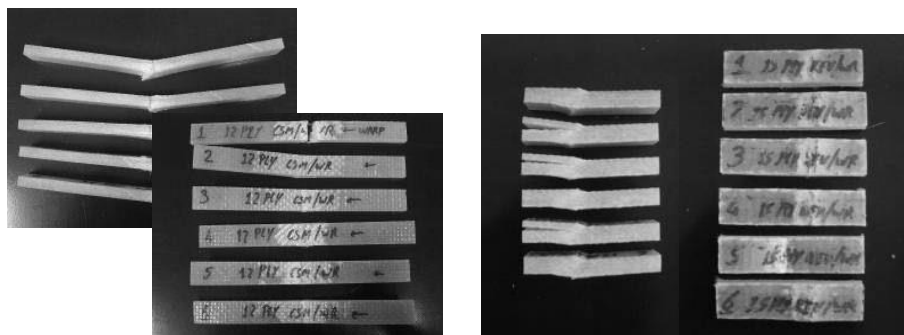


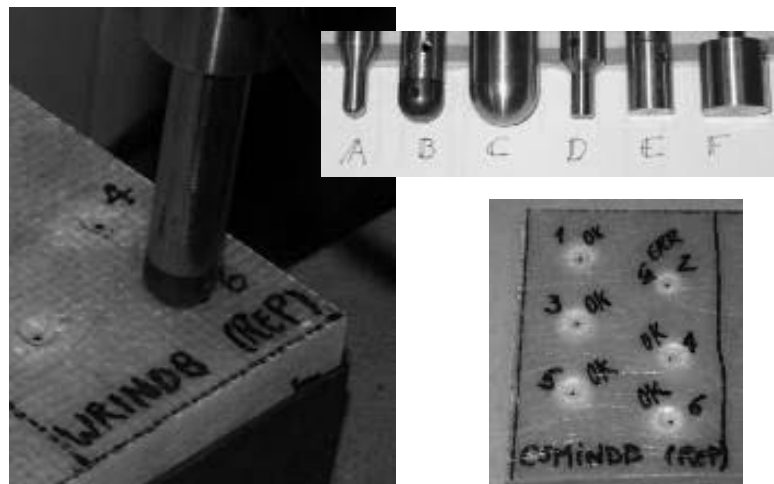
Figura 4 Ensaio de Flexão e Corte (Flexão Viga – Curta)

A investigação feita na UETN do comportamento mecânico de materiais compósitos incide fortemente no estudo de impacto em PRFV. Assim sendo, a grande maioria dos ensaios realizados encontram-se ligados directa (ensaio de impacto e indentação) ou indirectamente (caracterização de propriedades estruturais) a essa área. Não obstante já foram realizados vários tipos de testes na plataforma de ensaios, fadiga inclusive, com o objectivo de testar as potencialidades da mesma.

Como exemplos de aplicação são apresentados, ainda que em pouco detalhe, ensaios de indentação e impacto (quasi – estático) em PRFV. Mais informação e descrições mais pormenorizadas destes tipos de ensaios e discussão de resultados podem ser encontrados em vários trabalhos de Sutherland e Guedes Soares. É também apresentado um trabalho recente de caracterização de propriedades mecânicas de compósitos em sanduíche utilizados na construção de um iate, cujo projecto envolveu a UTEN.

### 3.1 *Ensaio de Indentação*

O estudo do fenómeno de indentação é necessário à modelação da resposta ao impacto de peças laminadas de compósitos utilizados na indústria naval, uma vez a resposta ao impacto é composta por deflexão e indentação devido à força de contacto. Em compósitos marítimos a indentação pode mesmo assumir valores consideráveis na resposta de placas de rigidez elevada, reforçando a necessidade de efectuar ensaios de indentação para modelar correctamente a resposta ao impacto.



*Figura 5 Ensaio de Indentação, Indentadores e Provetes Pós – Ensaio*

Na Figura 5 pode ver-se uma imagem de um ensaio de indentação realizado na plataforma de ensaios, a gama de indentadores disponíveis e um provete pós – teste. Neste tipo de ensaio o indentador é “encostado” ao provete (apoiado numa superfície bastante rígida) sobre o qual posteriormente actua, imposta uma razão tempo/deslocamento constante no processo de penetração da superfície. A força e deslocamento são medidos recorrendo à célula de



carga e ao sensor de posição que são posteriormente tratados (filtrados) e devidamente analisados. A Figura 6 mostra um exemplo de resultados em bruto (não – filtrados) de um ensaio de indentação (gráfico à esquerda) e um gráfico comparativo de valores de indentação para diferentes tipos de laminados e diâmetros de indentedor. Estes dados/resultados foram retirados de Sutherland et al (2004).

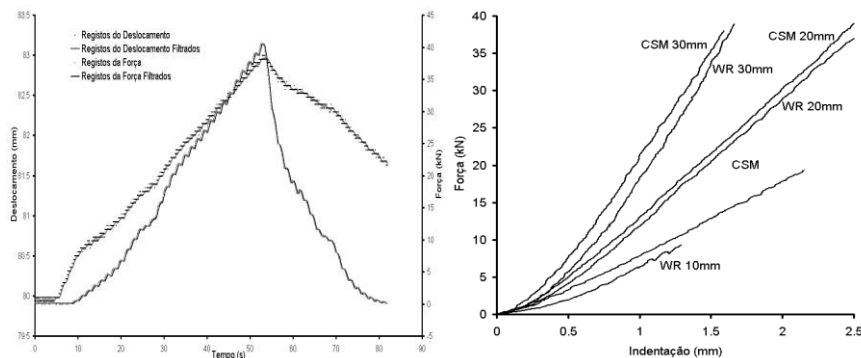


Figura 6 Dados e Resultados de Ensaio de Indentação

### 3.2 Ensaio de Impacto (Quasi – Estático)

Apesar das inúmeras vantagens dos PRFV, estes apresentam uma fraqueza conhecida: a sua susceptibilidade a dano por impacto, especialmente em impactos normais ao plano do laminado. Isto deve-se à natureza frágil das fibras de reforço, à falta de reforço através da espessura do laminado e a relativamente baixa resistência ao corte interlaminar destes materiais.

Impactos podem ocorrer durante o processo de construção (ex.: queda de ferramentas sobre os laminados ou impactos na movimentação de blocos ou do próprio casco) e durante a vida operacional do navio (ex.: colisões com embarcações, objectos flutuantes ou cais de amarração). O dano devido ao impacto resulta em fissuras e degradação da matriz, danos na superfície, fractura das fibras de reforço e delaminação interna, reduzindo significativamente a capacidade do material resistir a carregamento, com a agravante de muitas vezes não ser visível. O mecanismo deste tipo de dano depende de uma série de factores, é bastante complexo e interactivo e, por isso, extremamente difícil de modelar. Pelas razões atrás citadas é evidente a importância do estudo e experimentação da resposta ao impacto nos materiais compósitos.

É aqui dado um exemplo de um ensaio de impacto quasi – estático, um ensaio de impacto de baixa velocidade, em oposição a um ensaio de alta

velocidade do tipo balístico. Este tipo de ensaios (quasi – estático) é realizado com vista ao estudo das deflexões da placa (uma das partes da resposta a um impacto) dado que a baixa velocidade permite, em teoria, contabilizá-las. De facto este fenómeno não será tão simples como exposto atrás, podendo existir efeitos extensionais e inerciais. Estes efeitos são, no momento, um dos objectos de estudo na actividade de investigação dos autores.

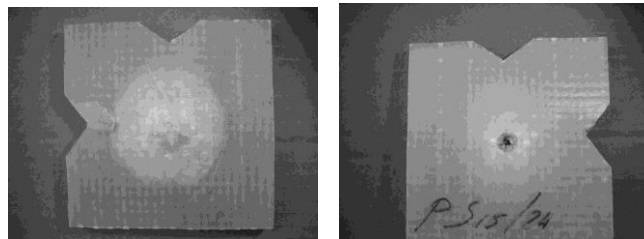


Figura 7 Provetes Testados num Ensaio de Impacto

O provete retratado na Figura 7 foi sujeito a um ensaio de impacto quasi – estático em que o mesmo é fixado num encastramento circular à semelhança dos provetes ensaiados numa máquina de impacto, conforme descrito em Guedes Soares (2000) e Sutherland e Guedes Soares (2004), dado que estes testes foram conduzidos no seguimento desses trabalhos. O gráfico da Figura 8 mostra curvas de força – deslocamento provenientes de tais ensaios.

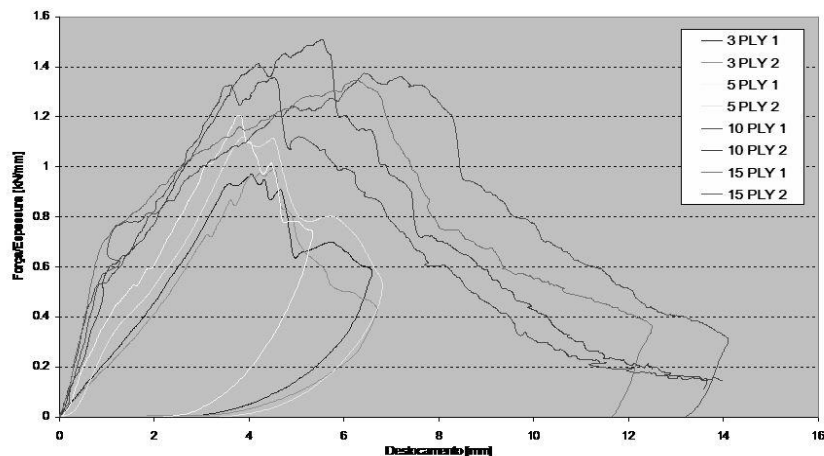


Figura 8 Ensaio de Impacto: Curvas Força/Espessura – Deslocamento

### 3.3 *Ensaio de Caracterização de Propriedades Mecânicas de Compósitos em Sanduíche*

#### 3.3.1 Iate em Compósitos em Sanduíche

Uma equipa da UETN esteve envolvida no projecto de um iate construído em compósitos em sanduíche, nomeadamente no dimensionamento estrutural do mesmo ( a Figura 9 apresenta uma imagem de uma análise de elementos finitos parte integrante desse projecto).



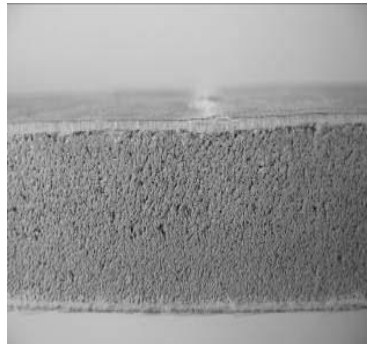
*Figura 9 Imagem de Análise de Elementos Finitos e Foto de Processo de Vácuo na Construção*

O iate foi projectado num compromisso de ser uma embarcação para saídas de lazer de curta distância e ser capaz de participar em provas de competição em águas costeiras. Com o objectivo de construir um iate o mais leve possível, optou-se por utilizar uma estrutura em sanduíche. A sanduíche consiste em laminados de resina epoxy/vidro tipo E (camada exterior de “woven roving” (WR) e restantes camadas de unidireccional) nas faces e um núcleo de PVC. A sequência de empilhamento das várias camadas constituintes da sanduíche encontra-se na tabela da Figura 10, assim como uma fotografia de pormenor da sanduíche real. Foi utilizado o processo de vácuo na construção do iate, sendo o casco completamente laminado e posteriormente foi aplicado vácuo que permite remover a resina em excesso do laminado (ver Figura 9).

Numa fase do dimensionamento estrutural do iate (uma descrição detalhada do mesmo pode ser encontrada em Machado Santos et al (2004)), as propriedades da sanduíche foram estimadas recorrendo à teoria clássica de laminados (TCL) em que se assume que cada camada se encontra num estado de tensão bidimensional. A necessidade de ter disponíveis valores

mais precisos das propriedades estruturais levou a que se realizassem testes de caracterização de propriedades mecânicas da sanduíche utilizada na construção, nomeadamente foram realizados ensaios de flexão (3 pontos).

Resina + Reforço		Peso [g/m <sup>2</sup> ]
Epoxy E-Glass	Woven Roving	270
"	Uni@0°	300
"	Uni@90°	"
"	Uni@-45°	"
"	Uni@+45°	"
Klegecell	PVC	90/200 [kg/m <sup>3</sup> ]
Epoxy E-Glass	Uni@+45°	300
"	Uni@-45°	"
"	Uni@90°	"
"	Uni@0°	"
"	Woven Roving	270



*Figura 10 Constituintes e Imagem de Pormenor da Sanduíche*

### 3.3.2 Ensaio de Flexão (3 Pontos)

Os provetes ensaiados são provenientes das aberturas feitas nas anteparas do iate construído. Foi testado um total de 6 provetes cujas dimensões estão de acordo com o standard de testes de flexão de sanduíches da ASTM (utilizados em todos os testes realizados na plataforma de ensaios). A Figura 11 ilustra o aparato de tais testes (em conformidade com as exigências dos standards da ASTM).



*Figura 11 Aparato dos Ensaios de Flexão (3 Pontos) de Compósitos em Sanduíche*

Um dos principais objectivos deste tipo de ensaio em compósitos em sanduíche é a obtenção da rigidez à flexão dos laminados das faces, uma vez que as propriedades do núcleo são conhecidas do fabricante e assumidas como correctas, ainda que durante o processo alguma parte do núcleo possa ter sido impregnada de resina, tornando-se mais rígida e alterando as propriedades ao longo da sanduíche. Assim sendo os testes concentraram-se na determinação das propriedades mecânicas dos laminados das faces, sendo possível a comparação com os resultados estimados durante o dimensionamento.

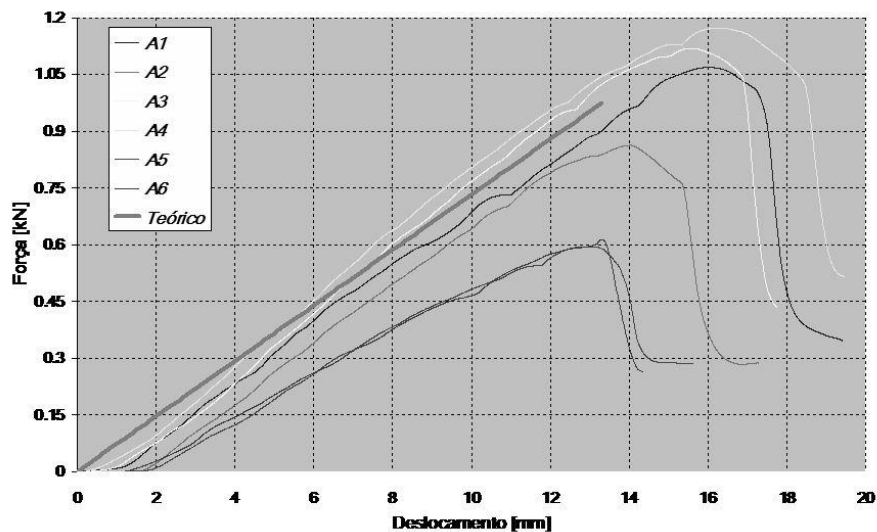


Figura 12 Curvas de Força – Deslocamento: Comparação com Modelo Teórico

As Figuras 13 e 14 mostram os resultados provenientes dos ensaios de flexão dos compósitos em sanduíche. A primeira mostra um gráfico das curvas experimentais força – deslocamento em que é feita uma comparação com uma curva teórica em que a rigidez à flexão das faces utilizada foi a estimada usando a TCL. A curva teórica só pode, no entanto, ser utilizada para comparação da fase de comportamento linear da sanduíche, uma vez que o modelo dessa mesma curva é ele próprio linear de flexão de uma viga de secção composta (utilizado numa primeira análise e em conformidade com o standard da ASTM). Tendo esse facto em mente é possível ver na figura que os resultados experimentais e a solução teórica estão próximos para a maioria dos provetes. Na realidade apenas dois provetes apresentaram um desvio significativo do valor teórico, facto também patente na análise de

declive das curvas força – deslocamento e de valores de deslocamento e força máximos (ver Figura 14) que demonstram que esses provetes apresentaram resistência algo inferior à média.

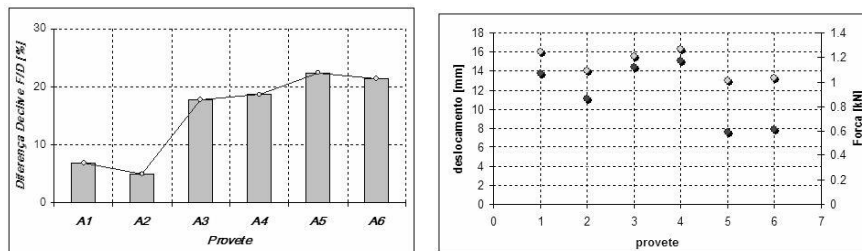


Figura 13 Análise de Declive e Valores de Deslocamento e Força Máximos

Esse desvio pode ser possivelmente explicado pela diferença de modo de falha identificado no decorrer dos ensaios. Para a maioria dos provetes o modo de falha consistiu em primeiro ocorrer dano na fibra da face à compressão (sob o indentedor) que é, inclusive, audível durante os ensaios e só depois se verifica o colapso da viga. No caso dos provetes 5 e 6 a viga colapsou imediatamente a uma carga inferior à média e sem dano aparente na fibra do laminado das faces. Uma explicação para a diferença no modo de falha pode residir no processo de aplicação de vácuo, ou seja, nos provetes menos resistentes é visível as faces e mesmo o núcleo serem mais claros que as dos restantes provetes (ver Figura 12), indicando um provável excesso de pressão no processo de vácuo resultando numa remoção exagerada de resina.

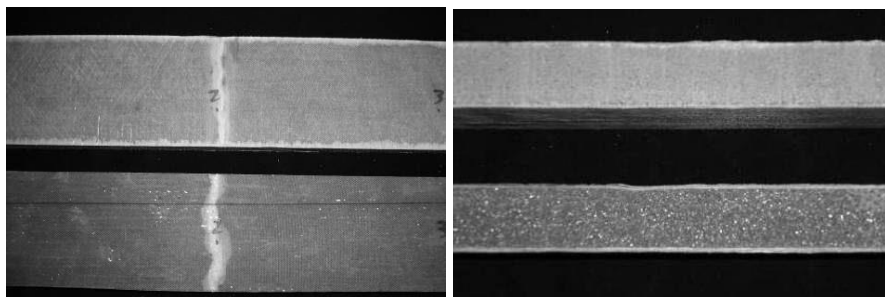


Figura 14 Comparação de Modo Falha de Provetes Testados

No entanto as breves conclusões tiradas destes ensaios relativamente aos resultados obtidos são meras hipóteses. Serão necessários mais ensaios

experimentais para validá-las, assim como a utilização de modelos mais sofisticados para comparação de resultados que tenham em conta, por exemplo, a indentação provocada pelo rolo de flexão (ver Figura 15) que tem um papel importante em estruturas em sanduíche.



*Figura 15 Pormenor do Indentador no Ensaio de Flexão (3 Pontos)*

Não obstante os resultados obtidos permitiram validar e depositar alguma confiança nas propriedades estimadas e empregues no dimensionamento do iate.

#### **4 Conclusões**

A plataforma de ensaios opera em boas condições, superando as expectativas iniciais de projecto mesmo quando ainda era utilizada uma configuração muito conservativa e pouco eficiente. Têm sido obtidos resultados com muito boa qualidade nos ensaios com grandes deslocamentos, assim como naqueles que exigem um elevado grau de precisão. Já foram efectuados testes de indentação (grandes entregas de força com pequenos deslocamentos), altamente exigentes, com resultados excelentes, demonstrando o potencial da plataforma.

Quando comparado com as alternativas comerciais disponíveis, verifica-se que o custo final deste projecto é mais reduzido e que permite soluções mais adaptáveis. Neste contexto e pelo facto de esta não ser a área de especialização dos investigadores envolvidos, considera-se que o projecto deste sistema de testes é um sucesso.

## 5 Referências

- C. Borsellino, L. Calabrese and A. Valenza, (2004), “Experimental and Numerical Evaluation of Sandwich Composite Structures”, *Composites Science and Technology*, Vol.64, Issues 10-11, pp. 1709-1715
- I. M. Daniel and J. L. Abot, (2000), “Fabrication, Testing and Analysis of Composite Sandwich Beams”, *Composites Science and Technology*, Vol.60, Issues 12-13, pp. 2455-2463
- J. Degrieck, (2000), “Some Critical Notes on Designing with Composites”, *The International HISWA Symposium on Yacht Design and Yacht Construction*
- H. Fukuda, (2004), “Evaluation of Bending Rigidity of CFRP Skin–Foamed Core Sandwich Beams”, *Journal of Sandwich Structures and Materials*, Vol.6
- C. Guedes Soares, (2000), “Impact Strength of Glass-Fibre Composites”, *Lightweight Construction – Latest Developments*, RINA
- Ya-Jung Lee and Cheng-Hsien Chung, (2003), “Study on the Mechanical Properties of Marine FRP Laminates”, *Journal of Composite Materials*, Vol.37, No. 11
- F. Machado Santos, J. Mendonça Santos, F. Duarte, C. Guedes Soares, (2004), “Finite Element Analysis of a 30ft one-off-racer-cruiser yacht”, *Proceedings of the I International Symposium on Yacht Design and Production (MDY '04)*, 25-26 March 2004, Madrid, pp. 267-278
- B. Rodrigues, L. Sutherland e C. Guedes Soares, (2003), “Projecto de um Sistema de Controlo Servo-Hidráulico para Ensaio de Materiais”, *Actas do VII Congresso de Mecânica Aplicada e Computacional (CMAC)*, Vol.3, pp. 1631–1640, 14–16 Abril, Évora 2003.
- S.A. Smith, L.L. Emmanwori, R.L. Sadler and K.N. Shivakumar, (2000), “Evaluation of Composite Sandwich Panels Fabricated using Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding”, *Bridging the Centuries with SAMPE's Materials and Processes*, 45th International SAMPE Symposium, Vol.45
- L. Sutherland e C. Guedes Soares, (2004), “Impact Characterisation of Marine Composites”, *5º Encontro Nacional da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões (APAET)*, 21-23 Janeiro, Coimbra 2004.
- L. Sutherland, F. M. Santos e C. Guedes Soares, (2004), “Indentação de Compósitos de Aplicação Naval”, *5º Encontro Nacional da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões (APAET)*, 21-23 Janeiro, Coimbra 2004.