

PROJECTO E ACTIVAÇÃO DE UM PÓRTICO COM ACTUADOR HIDRÁULICO PARA ENSAIOS DE ESTRUTURAS

Sutherland, L. S.¹; Rodrigues, B. A.²; Guedes Soares, C.³

¹Bolseiro de Pós-Doutoramento, ²Bolseiro de Investigação, ³Professor Catedrático
Unidade de Engenharia e Tecnologia Naval, Instituto Superior Técnico
Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal
+351 218 417 468 / uetn@mar.ist.utl.pt



RESUMO

A necessidade de ensaios para investigação do comportamento de componentes estruturais em materiais compósitos reforçados por fibra, utilizados na construção naval, conduziu ao projecto de um pórtico de ensaios com actuador servo-hidráulico adaptável, a custo reduzido. Neste trabalho, descreve-se a abordagem adoptada no seu projecto, identificando todas as partes constituintes. Apresentam-se os resultados obtidos nos primeiros testes e ensaios realizados. Os problemas de funcionamento são identificados e descrevem-se as soluções implementadas. Os resultados obtidos superam as expectativas iniciais de projecto e permitem concluir que a plataforma opera com bons níveis de precisão para o seu custo final, especialmente quando comparado com as alternativas comerciais disponíveis.

1. INTRODUÇÃO

As propriedades dos materiais como o aço e o alumínio, por serem os materiais mais usados na indústria naval, encontram-se facilmente disponíveis e normalizados. Nas últimas décadas, a utilização dos materiais compósitos reforçados a fibra têm vindo a aumentar, devido à sua boa resistência a ambientes mais agressivos, a facilidade com que podem ser trabalhados em formas complexas e a elevada razão rigidez/massa. Estes materiais são dominantes na construção de embarcações de recreio e extensivamente usados na construção de navios de pesca e militares (Guedes Soares et al., 1990; Centeno et al., 2002). Os navios de alta velocidade, tais como ferries rápidos e navios patrulha, representam um papel cada vez mais importante na indústria naval e o uso de materiais leves, resistentes à corrosão e

previamente fabricados e moldados é ideal nesse tipo de aplicações.

Contudo, existe uma grande necessidade de dados relevantes e fidedignos em projecto, relativos ao comportamento mecânico de componentes deste tipo de material compósito (Guedes Soares et al., 2000). Isto acontece principalmente por quatro razões:

- a) A utilização generalizada dos materiais compósitos reforçados a fibra é relativamente recente, pelo que não estão disponíveis bases de dados provenientes de experimentação extensiva nesta área, como para outro tipo de materiais, como o aço, por exemplo;
- b) A natureza anisotrópica destes materiais significa que as propriedades têm que ser obtidas para cada direcção relevante, que depende da ordem e forma em que as várias camadas de material se encontram combinadas;

- c) O elevado número de combinações de materiais da fibra e da matriz, em diferentes quantidades, de tratamentos superficiais e de métodos e condições de produção, origina um número quase infinito de “materiais” distintos, com diferentes propriedades;
- d) O método de montagem manual, normalmente usado na indústria naval, significa que o material é produzido simultaneamente com o produto final. Isto é realizado em condições sub-óptimas e muitas vezes não controladas, o que dá origem a variações significativas nas propriedades do material resultante.

Por estas razões, o ensaio de componentes é regularmente necessário para verificar a modelação teórica de problemas estruturais relativamente complexos. A realização de ensaios também pode ser, por vezes, a opção mais exequível e económica a considerar. Mesmo para uma geometria e carregamento simples, a micro estrutura dos materiais compósitos conduz, na maioria das situações, a modos de colapso complexos e difíceis de prever. Para uma geometria mais completa e específica como as frequentemente utilizadas no fabrico de componentes reais, o ensaio do componente ou dum modelo à escala pode ser a única opção realista. O ensaio de modelos a escalas reduzidas pode ser efectuado, mas normalmente são realizados testes de confirmação em estruturas reais, devido à possibilidade de presença de efeitos de escala.

Um navio ou estrutura a operar num ambiente marítimo está sujeito a cargas variáveis e/ou cíclicas. A origem mais óbvia deste carregamento é a acção das ondas, mas existem outras importantes, tais como vibrações devidas ao funcionamento de motores ou acção do vento. Em consequência, a ocorrência de colapso por fadiga de materiais metálicos, em especial do alumínio, e das soldaduras torna-se um potencial problema. No entanto, os materiais compósitos também são susceptíveis a problemas de fadiga que ocorre de maneira especialmente complexa e cujo estudo requer abordagens experimentais.

As soluções comercialmente disponíveis de plataformas adequadas à realização dos ensaios, necessários ao estudo destes fenómenos, revelavam-se muito dispendiosas. Nestas condições, decidiu-se pelo projecto e construção de uma plataforma de ensaios específica e adequada a estas necessidades.

2. ABORDAGEM AO PROJECTO

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 implementado melhorias nos programas utilizados e equipamentos.

3. ESTRUTURA DA PLATAFORMA

Foi construída uma estrutura 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 Fig 1, foi concebida cuidadosamente, no sentido de permitir a execução de diferentes tipos básicos de teste, tais como tensão, compressão, flexão, entre outros.

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

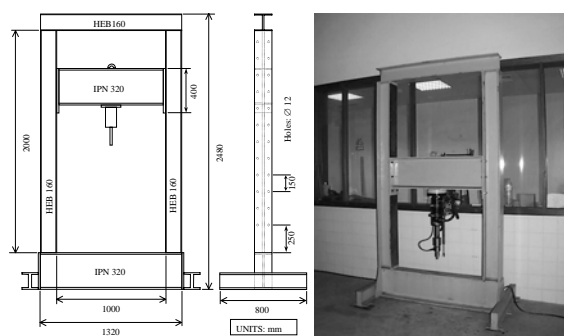


Fig 1: Esquema e imagem da plataforma de ensaios.

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

As vigas IPE normalizadas, com secção em “T”, seleccionadas para dar maior rigidez à estrutura na direcção da aplicação da carga, foram dimensionadas para a base e pilares laterais de forma a obter deformações globais bastante pequenas.

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.

4. SISTEMA HIDRÁULICO

O sistema hidráulico utilizado encontra-se representado esquematicamente na Fig 2 e 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 Fig 3.

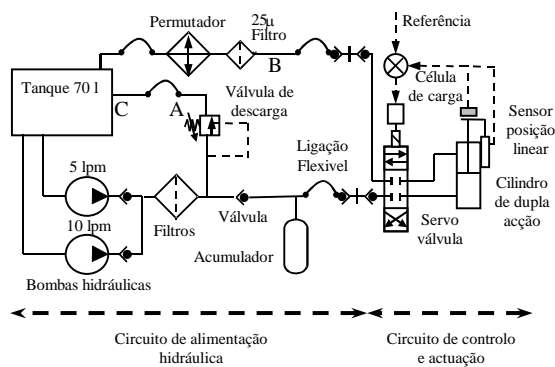


Fig 2: Representação esquemática do circuito hidráulico.

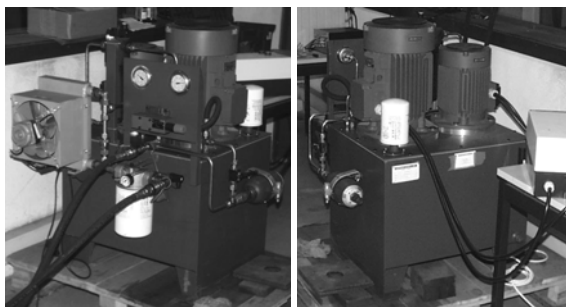


Fig 3: Circuito de alimentação hidráulica.

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 sobre-aquecimento, 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 fluido porque esta varia significativamente com a natureza do ensaio (pequeno ou grande deslocamento, estático ou de fadiga, em frequência, etc.).

Uma boa solução, mas infelizmente muito dispendiosa, seria a utilização de uma bomba de caudal variável. A solução adoptada é o uso de uma bomba de caudal constante, com uma válvula de descarga ou *by-pass* (que descarrega o fluido 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

umentar o caudal disponível de fluido, 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 dm³/min. 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.

Apesar dos esforços descritos no sentido de evitar o sobre-aquecimento do fluido, esse problema pode ser significativo, especialmente durante testes de fadiga prolongados, no período do verão. Para evitá-lo, optou-se por instalar um tanque de grande volume (80 litros) e um permutador por convecção forçada de ar, com termostato, na linha de retorno.

Para efeitos de activação e teste da plataforma, foi adquirido um cilindro de baixo custo, de construção relativamente grosseira (ver Fig 4) e dimensionado para uma carga máxima de 10 toneladas, à pressão hidráulica de serviço. Posteriormente serão adquiridos e instalados outros cilindros, tubagens e válvulas, dependendo do tipo e dimensão do ensaio a realizar.

Foi seleccionada a servoválvula hidráulica G761 da MOOG, devido ao seu desenho e elevada robustez. O tamanho da servoválvula a que corresponde o caudal nominal, foi seleccionado tendo em conta o compromisso entre a perda de carga excessiva e a baixa sensibilidade no controlo de baixos caudais, para as válvulas pequenas e para as válvulas grandes, respectivamente. Mais uma vez, as condições ideais de funcionamento dependem da dimensão e da velocidade de realização de cada ensaio, pelo que se optou por uma solução de compromisso correspondente à utilização de uma válvula para um caudal nominal de 19 lpm. Pela análise de documentação técnica, verificou-se que a boa qualidade deste tipo de válvula também permite um bom controlo para caudais mais reduzidos, muito embora se possa adquirir, posteriormente, uma válvula mais pequena para os ensaios mais lentos.

Para obter um controlo de melhor qualidade, a válvula foi instalada sobre o corpo do cilindro, por forma a reduzir ao máximo o comprimento das condutas (ver Fig 4). A tubagem utilizada é rígida entre a servoválvula e o cilindro para minimizar os efeitos elásticos entre o controlo e aplicação da carga.

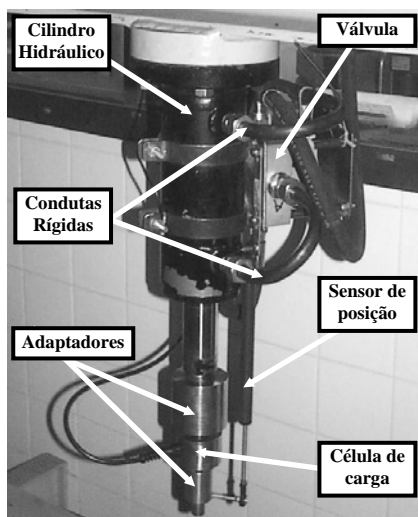


Fig 4: Montagem dos vários elementos no corpo do cilindro hidráulico.

Foram adicionados filtros hidráulicos para manter o fluido livre de impurezas, que podem ser bastante prejudiciais ao controlo da servoválvula, de acordo com o fabricante. Além disso, instalaram-se sensores e sinalização luminosa para indicar quando estes filtros deverão ser substituídos.

5. AQUISIÇÃO E CONTROLO

Instalou-se uma célula de carga axial, bidireccional e de boa qualidade (“Novatech F256”) para fornecer o registo de carga aplicada e conduzir o sistema de controlo, quando em modo de controlo de força. Durante o processo de activação da plataforma, por forma a evitar um possível dano neste sensor, que é relativamente dispendioso, seleccionou-se um limite máximo de carga aplicada de 6 toneladas. Foram produzidos adaptadores para fixar a célula de carga e o sensor linear de posição à extremidade do êmbolo do cilindro hidráulico, como se pode observar na Fig 4.

Para adquirir o deslocamento do êmbolo, foi instalado um sensor do tipo resistivo linear (“Penny + Giles SLS 190”), com 150 mm de gama útil. Actualmente, este tipo de sensores permitem usufruir muitas das vantagens dos do tipo LVDT (Do inglês: “Linear Variable Differential Transformer”), a um custo muito mais baixo e com excitação simples de corrente contínua.

A cadeia de controlo é composta pelo sensor de posição linear e célula de carga referidos, amplificadores, filtros analógicos, controlador e a servoválvula hidráulica de actuação. Os programas desenvolvidos especialmente para o efeito, permitem a um computador com tecnologia PC e equipado com uma placa conversora A/D e D/A, gerar o sinal de referência adequado ao ensaio e efectuar aquisição dos sinais para registo em ficheiro.

No entanto, optou-se por implementar o ciclo de realimentação totalmente analógico e independente da disponibilidade do sistema operativo do computador, o que confere estabilidade ao sistema de controlo global. Como a dinâmica dos sistemas electrónicos analógicos é, normalmente, várias ordens de grandeza mais rápida do que a dos sistemas físicos e actuadores envolvidos, a utilização da plataforma não é limitada pelo uso deste tipo de controlador. Além disso, a independência entre o sistema de controlo e de registo de sinal, inerente a esta arquitectura, permite a programação do PC sem a necessidade de dar especial importância ao tempo de ciclo e a atribuição de mais tempo a rotinas de segurança, tratamento e registo de dados.

Os amplificadores, filtros e controlador encontram-se instalados no interior de uma caixa que constitui a unidade de controlo, perto do computador (ver Fig 5). Como a qualidade dos resultados obtidos com este tipo de circuitos analógicos é função da qualidade e estabilidade da corrente de alimentação, a excitação destes elementos, dos sensores e da servoválvula é assegurada por uma fonte de alimentação estabilizada e especialmente concebida para o efeito.

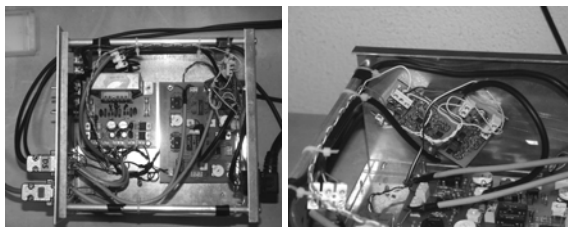


Fig 5: Pormenores da unidade de controlo analógica.

Foram produzidos e integrados na unidade de controlo, dois amplificadores analógicos de ganhos ajustáveis entre 5 a 145 e entre 10 a 800 (aproximadamente), para o canal de posição e o canal de força, respectivamente. Devido a pequenos problemas detectados durante a fase inicial de testes, decidiu-se projectar filtros passa-baixo contínuos do tipo Butterworth de segunda ordem, para cada um dos canais de entrada do controlador (deslocamento e força). Estes filtros foram produzidos sob a forma de pequenas placas com elementos do tipo SMD (do inglês: Surface Mounting Devices) e integrados na unidade de controlo (Rodrigues et al., 2003). Cada uma das placas produzidas contém dois filtros com frequências de corte distintas (1 e 22.5Hz), seleccionáveis consoante o tipo de ensaio a realizar - estático ou frequência.

Os sinais dos sensores que servem para fechar o anel de controlo, após a amplificação, são conduzidos para aquisição e registo. No entanto, a aquisição dos sinais para registo pode ser feita antes ou depois do estágio de filtragem, o que permite analisar a posteriori, o sinal proveniente dos sensores em bruto, ou o sinal que alimentou o controlador.

Considerando a dinâmica de funcionamento do circuito hidráulico e no sentido de obter a maior simplicidade possível, garantindo a estabilização e funcionalidade do sistema, optou-se pela utilização de um controlador analógico proporcional simples (Ogata, 1997). Este tipo de controlador permite obter um erro estático de posição tão pequeno quanto menor a tensão de compensação interna da servoválvula, mas é bastante sensível a contaminações do sinal do sensor (Rodrigues et al., 2003).

O programa desenvolvido permite o uso de sinais de referência do tipo constante, rampa e sinusoidal, conforme a selecção do utilizador. Por questões de segurança e protecção da servoválvula, se for fornecida uma posição constante diferente da posição actual, o programa gera uma rampa entre a posição actual e a desejada. Outra função importante do programa informático é a interrupção do ensaio, no caso de alguma das variáveis (posição ou força) ultrapassar determinados limites de segurança, previamente definidos pelo utilizador. Neste caso, o programa envia um sinal de referência constante e espera por novas instruções, continuando a efectuar o registo até que este seja cancelado.

6. ACTIVAÇÃO E TESTE

Para que o fluido hidráulico estivesse nas condições de funcionamento necessárias para operar com a válvula, procedeu-se à remoção da válvula e ligação das bombas durante 24 horas, permitindo a circulação livre do óleo nas condutas e filtros.

Após a instalação definitiva da válvula, o sistema hidráulico foi pressurizado e verificado, por forma a identificar e eliminar todas as fugas. Activou-se o sistema de controlo e procedeu-se à compensação do pequeno desvio no caudal observado, por ajuste manual da posição nula da servoválvula. Foram realizados testes regulares (sinais sinusoidais puros) de baixa frequência (0.1 Hz) e sem carga, utilizando um ganho geral do controlador muito baixo, por questões de segurança. O ganho do controlador foi progressivamente aumentado até ao valor de projecto, permitindo obter uma amplitude do movimento resposta do cilindro próxima da desejada, para referências regulares de frequência 1 Hz. O sistema hidráulico foi testado colocando as duas bombas em funcionamento (18 lpm) e aumentando a amplitude de um sinal referência regular de 1 Hz, até este atingir o limite de 10 mm, aproximadamente. De forma análoga, para a amplitude de 1 mm foi possível aumentar a frequência do sinal até aos 10 Hz. No

entanto, a limitação em frequência não foi atingida devido ao caudal de fluido disponível, mas por receio de falha do cilindro, não dimensionado para os efeitos térmicos associados.

Os testes iniciais foram bem sucedidos mas, para caudais mais elevados, verificou-se a existência de impulsos elevados de sobrepressão hidráulica e vibração do filtro de retorno, por acção de fecho da válvula de descarga. Inicialmente o retorno desta válvula era efectuado através do filtro e do radiador, o que provocava a vibração. Após análise do problema e consulta dos fabricantes do grupo hidráulico, optou-se por alterar o circuito de forma a efectuar a descarga directamente para o tanque, usando um tubo flexível, o que reduziu significativamente o efeito das descargas (i.e. o retorno inicial A-B foi substituído por A-C, na Fig 2).

O primeiro teste em carga foi efectuado numa barra de pinho de secção quadrada com 50 mm de lado. A barra, suportada em dois pontos distanciados de 300 mm, foi carregada a meio vão e os resultados são apresentados na Fig 6.

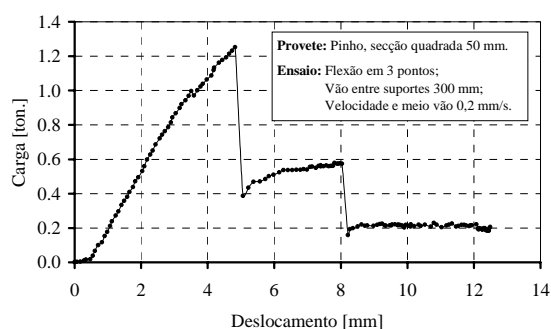


Fig 6: Primeiro teste realizado com carga numa barra de pinho.

No âmbito do trabalho sobre impacto em materiais compósitos (Sutherland e Guedes Soares, 2004), foi realizada uma série de ensaios quase estáticos em placas com encastramento circular e carregamento central. Na Fig 7 pode observar-se o resultado bruto, sem a aplicação de qualquer tipo de filtro, de um desses ensaios.

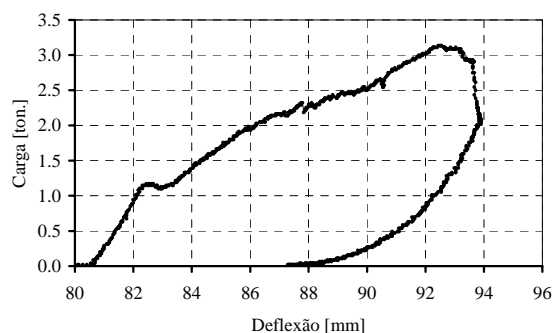


Fig 7: Ensaio realizado numa placa de compósito com encastramento circular e carregamento central.

No sentido de efectuar um teste mais severo às capacidades de controlo e funcionamento geral da plataforma, executaram-se ensaios de indentação cujos resultados são incluídos no trabalho sobre impacto de materiais compósitos (Sutherland e Guedes Soares, 2004). Nestes ensaios, as placas de material compósito laminado são carregadas transversalmente, por indetadores de aço, planos ou hemisféricos, resultando em cargas elevadas para deslocamentos muito pequenos. A exigência deste tipo de ensaio, em termos de precisão e rigor, permitiu identificar um problema de ruído nos sensores utilizados (devido em grande parte a interferência electromagnética das bombas hidráulicas). Este problema foi resolvido com a introdução dos filtros analógicos no anel de controlo do tipo passa-baixo, com corte a 1 Hz (disponível por opção a 22.5 Hz, para os ensaios em frequência), embora os sinais continuem a ser registados antes da aplicação do filtro. Apesar de se detectarem, ao longo do trabalho, as limitações impostas pela utilização de um cilindro simples e de baixo custo, a qualidade dos resultados é bastante melhor do que o que era esperado. A série de ensaios de indentação é descrita em detalhe no trabalho sobre indentação de materiais compósitos (Sutherland et al., 2004). Na Fig 8 apresenta-se o resultado de um ensaio de indentação.

Todos os procedimentos de operação e segurança adequados foram coligidos e documentados num manual de operação da plataforma. Os programas de controlo também foram melhorados no sentido de

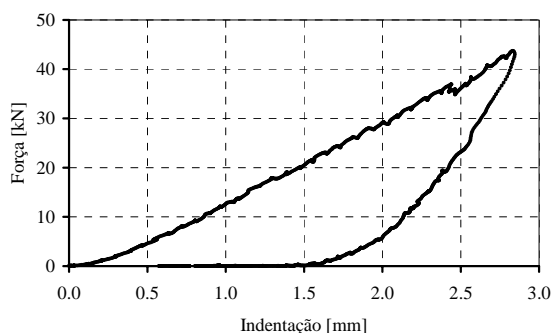


Fig 8: Ensaio de indentação numa placa de compósito laminado.

tornar a operação mais segura e mais robusta a erros do utilizador. A título de exemplo, as referências iniciais para sinais do tipo rampa e sinusoidais passaram a ser sempre iguais   posição actual do cilindro, para evitar a introdução de degraus ou impulsos no controlador. Também foi introduzida no programa a possibilidade de efectuar paragens de emergência, assim como paragens automáticas quando são atingidos os limites, previamente definidos, de carga ou posição do cilindro.

Outros estudos experimentais de tipo semelhante estão descritos em Santos et al (2004), e Sutherland e Guedes Soares (2005a e b).

7. CONCLUSÕES

O sistema 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 smuito boa qualidade nos ensaios com grandes deslocamentos, assim como naqueles que exigem um elevado grau de precisão.

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 foi muito bem sucedido.

Actualmente, após ter sido ganha confiança e experiência no projecto e operação do sistema, podem ser utilizados outros sensores, resultando numa maior qualidade e precisão globais. Já foram efectuados testes que permitiram aumentar muito a precisão e resolução da força aplicada, utilizando uma célula de carga até 500 kg, embora a qualidade final tenha sido limitada pelo sensor de posição. Conforme vão sendo realizados diferentes tipos de ensaios, é natural que se venha a identificar a necessidade de melhorar e adicionar componentes e equipamento   plataforma.

O uso de cilindros hidráulicos de melhor qualidade permitirá a realização de testes de fadiga de alta precisão. Apesar de terem sido atingidas frequências e amplitudes relativamente elevadas, com a configuração inicial, um dos próximos objectivos dos investigadores   ganhar experiência nesta  rea. Também   necessária a instalação de sensores de temperatura e nível do fluído hidráulico e a concepção de um sistema de paragem automático, essencial para a realização de testes de fadiga de longa duração em segurança.

8. RECONHECIMENTO

O presente trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia através do financiamento plurianual atribuído à Unidade de Engenharia e Tecnologia Naval. O primeiro autor foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia através da bolsa com a referência SFRH/BPD/1568/2000.

9. REFERÊNCIAS

- Centeno, R., Oliveira, A., Fonseca, N. e Guedes Soares, C., "Projecto de um Navio Cercador em Materiais Compósitos", *O Mar Fonte de Desenvolvimento Sustentado*, C. Guedes Soares, J. Beirão Reis e M. B. Martins Guerreiro (Eds.), Edições Salamandra, pp. 97–111, Lisboa 2002.
- Guedes Soares, C., Fa lha, A. Q. e Antão, R., "Comportamento de Materiais Compósitos em Fibra de Vidro Sujeitos ao Impacto", *O Mar e os Desafios do Futuro*, C. Guedes

- Soares e J. Beirão Reis (Eds.), Edições Salamandra, pp. 293–310, Lisboa 2000.
- Guedes Soares, C., Roque, R. e Guedes da Silva, A., “Considerações sobre o Projecto Estrutural de Navios de Pesca em Materiais Compósitos”, *A Engenharia Naval em Portugal*, Guedes Soares, C. (Ed.), pp. 28.1–28.36, Lisboa 1990.
- Ogata, K., *Modern Control Engineering*, 3rd edition, Prentice-Hall, USA, N. J. 1997.
- Rodrigues, B., Sutherland, L.S. e Guedes Soares, C., “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.
- Santos, M.J., Sutherland, L.S. e Guedes Soares, C., “Ensaio de Caracterização das Propriedades Mecânicas de Compósitos”, IX Jornadas Técnicas de Engenharia Naval “As Actividades Marítimas e a Engenharia”, C. Guedes Soares e V. Gonçalves de Brito (Eds), Edições Salamandra, Lisboa 2004.
- Sutherland, L.S. e Guedes Soares, C., “Transverse Impact of Circular Marine Composite Plates”, *Mecânica Experimental*, Vol. 10, pp. 83-93, 2004.
- Sutherland, L.S. e Guedes Soares, C., "Contact Indentation of Marine Composites" *Composites Structures*, 70(3), pp 287-294, 2005a.
- Sutherland, L.S. e Guedes Soares, C., “Impact Characterisation of Low Fibre-Volume Glass Reinforced Polyester Circular Laminated Plates”, *International Journal of Impact Engineering*, 31, pp 1-23, 2005b.
- Sutherland, L.S., Santos F. M. e Guedes Soares, C., “Indentação de Compósitos de Aplicação Naval”, *5º Encontro Nacional da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões (APAET)*, 21–23 Janeiro, Coimbra 2004.