



A EXPERIÊNCIA DE CINCO ANOS DE APLICAÇÃO DE UM SOFTWARE DE MANUTENÇÃO ESTRUTURAL

Duperron Marangon Ribeiro e Carlos Augusto dos Reis Correia
UFRJ/EE/DENO e TRANSPETRO /FRONAPE

Introdução

Este artigo apresenta a experiência adquirida ao longo de 5 anos de utilização de um software de manutenção estrutural com interface gráfica.

São apresentados os pontos críticos encontrados nas diversas etapas desde a implantação até a obtenção de resultados.

Uma descrição sucinta do software é apresentada e uma apresentação mais completa pode ser encontrada da Ref. 1.

Procurou-se enfocar aspectos da efetiva utilização do programa assim como avaliar sua viabilidade.

Histórico

Em 1992 iniciamos o desenvolvimento de um projeto cujo objetivo era criar uma opção sistemática aos procedimentos então vigentes para o delineamento de reparos em cascos de navios. Procurava-se desta forma obter resultados que estivessem menos sujeitos à avaliações subjetivas. Para isto, desenvolvemos um procedimento para extrapolação das medições de espessura, de forma a poder delinear os reparos com base na estimativa da desgaste dos pontos medidos. Assim passávamos a propor a substituição de chapas, não somente nas regiões com desgaste superior ao permitido, mas também naquelas que atingiriam este estágio no decorrer do período até a docagem seguinte. Da mesma forma evitava-se a substituição de chapas que apresentavam baixa taxa de corrosão, apesar de estarem com elevado grau de desgaste, mas ainda abaixo do máximo permitido pelas Sociedades Classificadoras.

Na primeira aplicação desta nova metodologia, fizemos os cálculos através de planilhas eletrônicas e apresentamos os resultados em croquis desenhados manualmente.

Tivemos sucesso na capacidade de previsão da quantidade de aço a ser substituído mas

incorremos em alguns erros de posicionamento devido ao grande volume de trabalho manual.

Tendo em vista o bom resultado da metodologia mas em contrapartida a sua inviabilidade de ser aplicada de forma manual desenvolvemos uma primeira versão de um software em DOS onde as extrapolações das espessuras eram feitas automaticamente.

O software continha as seções do navio digitalizadas de forma vetorial, ou seja, não como um mapa de bits como aquele obtido em imagens escaneadas mas um conjunto de polígonos que definiam as chapas, reforços e demais elementos estruturais.

Com a apresentação desta versão à Fronape e as discussões que se sucederam foi possível identificar demandas adicionais para as próximas versões.

Devido às limitações inerentes ao sistema operacional, partimos imediatamente para o desenvolvimento de uma versão para rodar sob o Windows.

Esta versão mostrou-se viável e iniciamos a utilização comercial com a introdução de 27 navios da Fronape no sistema, contendo cerca de 300 mil pontos de medição de espessura.

O software teve que evoluir continuamente em suas funcionalidades para atender às demandas de sua utilização comercial e apresentamos aqui o resultado desta experiência.

Recentemente têm surgido outros softwares, em desenvolvimento por Sociedades Classificadoras, com propostas semelhantes.

Em particular, o SafeNet, do American Bureau of Shipping, tem seu módulo de manutenção estrutural baseado na versão 4.0 do software aqui apresentado.

No entanto existem propostas em desenvolvimento pelo Det Norske Veritas, Bureau Veritas e possivelmente outras Sociedades Classificadoras.

O Software

O software tem um banco de dados com a geometria do casco, medições de espessura, fraturas, reparos realizados e delineados, pintura e fotos.

O nível de detalhamento pode ser reduzido ou aumentado conforme as necessidades de sua utilização mas, para o propósito de armazenar os dados necessários ao bom andamento do gerenciamento técnico da manutenção estrutural, concluímos que não há necessidade do detalhamento de chapas colar, escalopes e outros detalhes nestas dimensões. Tendo em vista o custo de introdução destes detalhes optamos por omiti-los mas nada impede que venham a ser incluídos em navios que sofram muitos reparos nestes elementos.

Para manipular estes dados o software contém uma interface gráfica de forma que a introdução das informações é feita de forma visual.

Uma janela típica do programa é apresentada na fig. 1 e uma descrição mais detalhada do que é o software pode ser encontrada na Ref. 1.

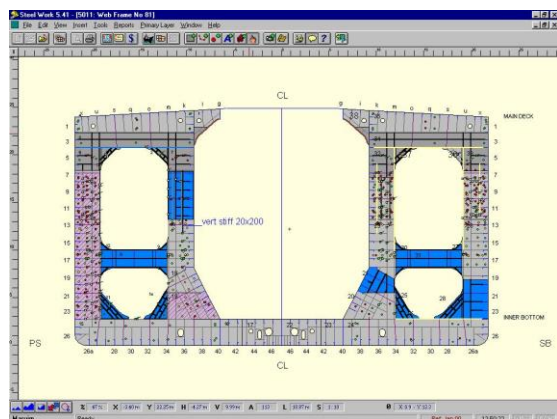


Figura 1 – Janela Típica do Programa

O Modelo

O modelo utilizado é representado pelo conjunto de chapas e reforços estruturais do navio. Diferencia-se de um modelo de elementos finitos no sentido de que este último é formado por um conjunto de nós e elementos obedecendo a critérios de forma com o objetivo de melhorar a precisão dos cálculos. Uma chapa é normalmente representada por vários elementos, obedecendo a critérios de gradiente de tensões e outros.

Em contrapartida nosso modelo contém tão somente as chapas e reforços com suas dimensões reais, sem subdivisões.

Um modelo de elementos finitos pode ser construído a partir do nosso de forma manual ou automatizada.

No início o modelo continha seções cuja conexão no espaço era desconhecida mas teve que evoluir para outro contendo informações de sua conectividade para viabilizar a geração da malha de elementos finitos e adição de cargas.

Uma seção típica do modelo apresentando apenas as chapas pode ser vista na fig. 2. Os demais elementos não estão apresentados para destacar as diferenças entre este modelo e outro de elementos finitos.

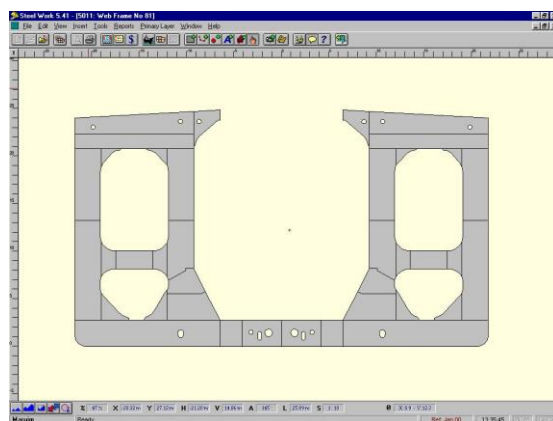


Figura 2 – Modelo de Chapas

O banco de dados completo tem cerca de 15Mbytes e ao receber dados de medições de espessura e reparos chega a 35Mbytes em modelos sem a praça de máquinas.

Muito embora os dados iniciais da geometria se repitam para todos os navios da mesma classe, optamos por manter bancos de dados separados para cada navio pois as reavaliações dos escantilhões e alterações estruturais nem sempre se aplicam à todos os navios da classe e isto poderia causar complicações e inconsistências nos bancos de dados.

A Introdução dos dados

Grande parte da evolução do programa deu-se em virtude das necessidades oriundas da introdução de dados.

A Geometria:

A introdução do casco, ou geometria, é feita através do Autocad e a seguir importada pelo programa. Desta forma torna-se desnecessário o desenvolvimento de ferramentas de desenho poderosas como as encontradas naquele aplicativo.

Considerando-se que este é um trabalho realizado apenas uma vez, concluímos ser desnecessário repetir as mesmas ferramentas em nosso programa. No entanto é comum que hajam erros ou omissões na digitalização das seções que precisam ser corrigidos quando o banco de dados já está sendo utilizado pelo usuário final. Torna-se importante portanto que hajam meios que permitam introduzir novas seções ou corrigir as existentes. Os principais problemas encontrados nesta fase são, distorção das cópias heliográficas, falta de desenhos e erros introduzidos pelos desenhistas.

A expansão do chapeamento é desenhada através de uma mesa digitalizadora onde os pontos são clicados sobre o desenho colocado sobre a mesma. Desta forma os erros da cópia do plano são introduzidos no modelo. Este é um problema secundário até que se deseje construir uma malha de elementos finitos a partir dele.

Dentre os diversos erros introduzidos pelos desenhistas podemos citar a repetição de chapas e reforços sobrepostos, ausência de detalhes importantes como aberturas e furos, bainhas erradas e outros.

Tivemos a oportunidade de aplicar diversos tipos de mão de obra e concluímos que um técnico/desenhista com boa experiência em estruturas navais e Autocad é o perfil ideal para o serviço. Engenheiros navais são ideais para fazer a revisão mas podem tornar-se demasiadamente lentos por tratar-se de um serviço muito aquém de sua capacidade.

Em nossa experiência tivemos uma melhoria contínua da qualidade do modelo oriunda não somente do treinamento dos desenhistas mas ainda da inclusão de informações inicialmente consideradas desnecessárias mas que acabaram por mostrarem-se de extrema importância. Poderíamos citar posição e numeração de cavernas, longitudinais e conveses, linhas de cruzamento entre seções entre outros.

Um detalhe sutil mas de extrema importância é que estas referências devem, sempre que possível, cruzar todo o desenho para que possam ser visíveis quando se trabalha com "zoom".

Na fig. 3 podemos observar marcas de referência da posição de cavernas que cruzam toda a altura de uma antepara longitudinal apresentada com "zoom".

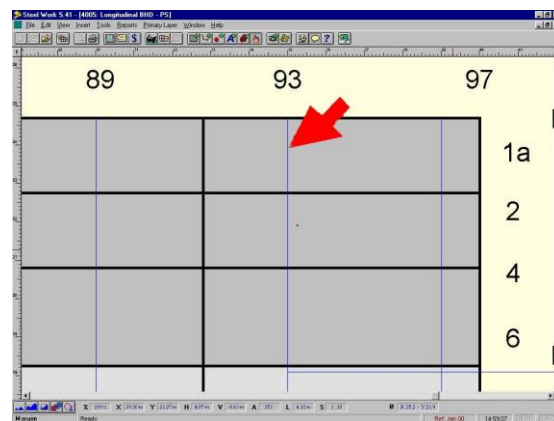


Figura 3 – Marcas de Referência

Medições de Espessura:

A grande dificuldade na introdução de espessuras no sistema reside na interpretação dos relatórios apresentados pelas empresas de medição.

A grande variedade na qualidade e formas de apresentação suscita muitas dificuldades e induzem erros

O padrão estabelecido pela IACS define que apenas as médias devem ser registradas e portanto perdem-se informações importantes para o delineamento mais preciso das regiões a serem substituídas. Isto apesar de ser interessante quando a análise do mapa de pontos é feita manualmente torna-se obsoleto ao utilizar-se um banco de dados digital.

Acreditamos que com a utilização dos novos programas este procedimento seja revisado de forma que todas as medições voltem a ser armazenadas e consideradas como é feito pela Fronape.

Croquis errados ou incompletos reduzem a eficiência do processo de introdução de dados. Como solução para isto vislumbramos dois procedimentos distintos.

No primeiro, fornecemos à empresa de medição de espessuras uma cópia do programa, de forma que recebamos os dados já digitalizados. O grande receio neste processo refere-se a perda de uma checagem cruzada visto que no processo de digitalização dos relatórios recebidos em papel, acabávamos por fazer uma avaliação dos dados apresentados. Estamos apenas iniciando esta experiência de forma que ainda não temos resultados concretos a apresentar. A segunda forma seria enviar à empresa de medição cópias dos croquis impressas pelo software.

Neste caso, os dados de anéis deveriam ser apresentados nas seções longitudinais e não transversais como normalmente estão ou

então uma nova interface para o software que facilitasse a introdução na forma tradicional teria que ser desenvolvida. Ainda não tentamos esta opção.

A Mão de obra utilizada para este trabalho precisa ter alguma especialização. Conhecimentos básicos de utilização de microcomputadores são necessários e facilmente encontrados. Uma pessoa de nível médio adapta-se facilmente. A introdução dos pontos baseada em cliques na tela sobre o croqui semelhante ao que está apresentado no relatório permite que uma curva de aprendizado bastante rápida.

Notamos no entanto grande variação na produtividade entre as diversas pessoas que participam deste trabalho. É curioso observar que a maior produtividade não parece ser decorrência de um maior conhecimento de planos estruturais mas sim de habilidades psico-motoras mais adequadas.

Adotamos um sistema de qualidade onde uma amostra do conjunto de dados é revisada por outro introdutor de maior experiência. Este procedimento mostrou-se fundamental quando o número de pessoas envolvidas neste serviço cresce muito. É no entanto desnecessário quando o quadro de pessoal se mantém estável e consequentemente bem treinado.

A utilização de diversas pessoas para introdução simultânea de dados referentes a um mesmo navio é muito freqüente. É igualmente comum que esta introdução de dados seja remota. Somados estes dois fatos adotamos um sistema de identificação única para arquivos binários para tráfego via Internet e importação remota. Desta forma dados introduzidos em qualquer lugar do mundo podem ser transmitidos pela Internet e importados para dentro do banco de dados sem que haja conflitos ou duplicação de dados. Estes arquivos tem no máximo cerca de 400Kbytes para 20.000 pontos medidos.

Reparos Realizados:

Uma vez que o navio é alterado em sua geometria através dos reparos que ocorrem ao longo do tempo é importante que estes sejam introduzidos e reconhecidos pelo sistema.

Mais uma vez, a grande dificuldade encontrada foi a interpretação dos relatórios produzidos pelos estaleiros. Estes são os dados que exigem maior treinamento e atenção do pessoal.

Este problema poderia ser resolvido se o software fosse utilizado para

acompanhamento da obra e avaliação do peso calculado pelo estaleiro. Ao final da obra os dados já estariam introduzidos. No entanto este expediente não foi utilizado pois no conjunto de navios utilizados para a avaliação aqui apresentada tratavam-se, em sua maioria, de reparos ocorridos muito antes do sistema ser implantado na empresa.

O ideal seria que o próprio estaleiro tivesse uma cópia do programa para que pudesse inicialmente cotar eletronicamente o reparo e posteriormente colocar os dados do reparo real. Desta forma seu trabalho seria reduzido pois não seriam necessários os usuais croquis feitos à mão e a qualidade seria bastante superior.

Os dados seriam compartilhados com a equipe de fiscalização do armador que ao final teria o banco de dados atualizado. Toda obra ocorreria sob maior controle e o custo de introdução de dados seria reduzido.

Da mesma forma que nas medições de espessura, os dados são muitas vezes produzidos remotamente e transferidos pela Internet em arquivos de no máximo 100Kbytes.

Fotos, Fraturas e Pintura

Muito embora o sistema tenha disponíveis as facilidades de introdução de fotos, fraturas e pintura, inclusive com cálculo de superfície pintada, estes recursos não chegaram a ser utilizados.

Este fato nos apresenta uma informação muito importante pois mesmo dentro de uma empresa de grande porte, com corpo técnico bem dimensionado e interesse em manter seus navios com alto padrão de manutenção, não foi possível extrair-se o máximo potencial do software devido à restrições de recursos.

A solução para esta questão nos leva à discussão da utilização do programa por empresas de menor porte. Abordaremos esta questão no tópico seguinte ao falarmos da implantação e maturação.

Implantação e Maturação

A implantação do sistema exige um razoável tempo para a digitalização dos cascos, inclusão de reparos anteriores e pontos de medição de espessura anteriores. Devido às prioridades que nos obrigaram ao longo do tempo a concentrar esforços nos navios que estavam próximos das docagens, ainda hoje fazemos a introdução de relatórios antigos para alguns navios.

Neste período utilizamos uma média de 2 técnicos para a introdução de dados para os 27 navios

Obviamente quanto maiores os recursos aplicados na etapa de introdução de dados, mais rápida será a maturação do software dentro da empresa e a conseqüente obtenção de resultados.

Não havendo qualquer experiência anterior, visto que este é o primeiro sistema desenvolvido para este fim, o tempo de maturação certamente se estendeu um pouco mais do que deverá ocorrer em outros casos.

A implantação do sistema poderá ser considerada madura quando estiver sendo utilizada por um número maior de pessoas dentro da empresa assim como pelos prestadores de serviços como empresas de medição de espessura, estaleiros e porque não Sociedades Classificadoras.

Esta experiência nos leva a crer que para que o sistema se torne efetivamente disseminado, inclusive por armadores de menor porte, será fundamental que haja uma redução no custo de introdução dos dados.

Esta redução poderá ser alcançada pela adoção do sistema pelas empresas prestadoras de serviços que farão a introdução dos dados sem ônus para os armadores tendo, em contrapartida, ferramentas à sua disposição que reduzirão seus custos para produção de relatórios e incrementarão a qualidade de seus serviços.

Algumas empresas prestadoras de serviços poderão também entrar neste mercado, atendendo armadores de menor porte que não têm pessoal disponível para a utilização do software.

Resultados

Podemos considerar que os resultados são bastante satisfatórios mas ainda modestos em relação ao potencial esperado.

Várias simulações realizadas com antecedência adequada permitiram a adoção de medidas visando a redução do volume de reparos e evitaram surpresas dentro dos estaleiros.

O custo, apesar de ainda elevado devido ao reduzido número de usuários, resultou em reduções de custo bastante significativas.

A metodologia de extrapolação de espessuras (Vide Ref. 2) mostrou-se conservadora. Este fato pôde no entanto ser compensado pelas variáveis de ajuste fino do simulador de reparos.

Os poucos erros encontrados na introdução de dados não colocaram em risco a confiança no sistema.

Não houve perda de dados e de forma geral o sistema se mostrou confiável não somente como simulador mas também como banco de dados estrutural da vida do navio.

Como tal, serviu também a comparações entre navios da mesma classe e permitirá o desenvolvimento de estudos do comportamento dos navios quanto à evolução e suscetibilidade à corrosão considerando o padrão de manutenção, características de agressividade da carga e rotas específicos da Fronape. Desta forma poderão ser adotadas margens de corrosão na construção de navios novos que permitam reduzir significativamente o custo de manutenção estrutural uma vez que o custo unitário do aço durante a construção é muito inferior ao custo no reparo.

O máximo de resultados é esperado para quando o software estiver maduro dentro e fora da empresa.

O Critério Racional de Substituição de Chapas

O delineamento para substituição de chapas tem sido ao longo do tempo baseado em critérios de campo das Sociedades Classificadoras onde um determinado percentual de corrosão é admitido para cada região do navio. Uma vez atingido este percentual, as vezes conhecido como "Excessive Corrosion", entende-se que aquela região deva ser substituída. Mais recentemente foi criado o conceito de "Substantial Corrosion" sendo 75% do valor anterior. Regiões encontradas com corrosão acima deste valor mas ainda abaixo do limite de "Excessive Corrosion" sofrem inspeções mais freqüentes e muitas vezes o armador opta por substituí-las para evitar os custos com paradas e inspeções. Implicitamente está se admitindo que regiões com "Substantial Corrosion" poderiam atingir o ponto de "Excessive Corrosion" ao longo do tempo entre docagens e portanto mereceriam maiores cuidados neste período.

Apesar de ser um avanço, este conceito ainda não leva em consideração a taxa de corrosão e tampouco as tensões reais atuantes na estrutura.

Pode-se facilmente perceber que uma região que sofra corrosão a uma taxa muito pequena e que portanto demorou muito para chegar ao "Substantial Corrosion" poderia permanecer nesta condição por muito tempo antes de

requerer cuidados especiais. Nesta região não seria portanto necessário estabelecer critérios mais frequentes de inspeção.

Da mesma forma este critério também não avalia o estado de tensões naquela região. Podemos avaliar que diversas regiões são substituídas sem que haja real necessidade para isto pois não haveria falha estrutural visto que as tensões estariam, apesar do desgaste acentuado, dentro de limites aceitáveis para o material.

Uma vez que as tensões se redistribuem no material podemos concluir que o oposto deva também ocorrer, ou seja, regiões cujas tensões se encontram demasiadamente elevadas não são substituídas por estarem abaixo dos limites de corrosão estabelecidos.

Do acima exposto concluímos que o critério ideal seria aquele que considerasse não a corrosão mas as tensões atuantes no material e além disto levasse em consideração as taxas de corrosão presentes em cada região do material em substituição ao conceito de "Substantial Corrosion".

Quanto ao critério baseado em tensões, poderíamos dizer que já são aceitos pelas Sociedades Classificadoras visto que ao solicitarmos delineamentos de reparos com base neste conceito obtivemos respostas concretas do Lloyds Register, American Bureau of Shipping e Bureau Veritas.

Observamos no entanto que o conceito ainda não está maduro visto que os resultados das diversas Sociedades Classificadoras para o mesmo navio apresentaram diferenças significativas.

Embora o procedimento de análise de cada uma não tenha sido avaliado, podemos inferir que enquanto uma fez uma análise global da estrutura por elementos finitos e delineou os reparos conforme o mapa de tensões, outra pode ter avaliado as tensões apenas nas regiões encontradas acima do limite de "Excessive Corrosion". Neste último caso estariam partindo do princípio que regiões com desgaste inferior ao limite de "Excessive Corrosion" não apresentariam tensões demasiadamente elevadas. Isto no entanto poderia não ser verdadeiro.

Quanto a consideração da taxa de corrosão de cada navio, já existe algum movimento de Sociedades Classificadoras nesta direção mas ainda muito tímido.

Parece que iremos passar por uma primeira etapa onde aplicaremos os critérios de tensões para o delineamento de reparos considerando apenas o estado atual do casco.

Numa fase seguinte iremos procurar saber quais serão as tensões ao longo do período entre docagens através da avaliação da evolução da corrosão.

Considerando que o software aqui apresentado já avalia a evolução da corrosão em cada região de cada navio, resta-nos calcular as tensões atuantes na estrutura em substituição ao critério de desgaste para que tenhamos um "Critério Racional para Substituição de Chapas" completo.

Para isto precisamos gerar um modelo de elementos finitos a partir de nosso modelo de chapas.

Temos trabalhado ao longo dos últimos anos em algoritmos para a geração automática de malhas a partir do modelo de chapas.

Conclusões

Primeiramente podemos afirmar que um software para gerenciamento técnico de manutenção e reparo estrutural com interface gráfica não somente é viável como traz uma redução de custos significativa para os armadores.

Ao mesmo tempo propicia um melhor controle da manutenção reduzindo portanto o risco de falhas estruturais e poluição do mar.

Da mesma forma poderá trazer inúmeros benefícios às Sociedades Classificadoras, estaleiros, empresas de medição de espessuras e demais prestadores de serviços. O próximo passo é o desenvolvimento e aplicação do "Critério Racional para Substituição de Chapas".

Bibliografia

[1] - Ribeiro, D. M., Albrecht, C. H.. - "Sistema Integrado de Manutenção do Casco do Navio" - SOBENA, Rio de Janeiro, 1994.

[2] - Ribeiro, D. M. - "Metodologia de Manutenção Preditiva do casco do navio" - COPPE /UFRJ, Rio de Janeiro, 1993.