

RELATÓRIO TÉCNICO PARCIAL

Título do Projeto: Núcleo de Excelência em Computação de Alto Desempenho e sua Aplicação em Computação Científica e Inteligência Computacional

Nome do Coordenador do Projeto: Alberto Ferreira De Souza

Nº do Processo: 48511579/2009

Instituição (por extenso): Universidade Federal do Espírito Santo

O projeto vem sendo apoiado pela FAPES desde Novembro / 2010
(mês) (ano)

Período em que se refere o Relatório: 19/11/2010 a 30/10/2011

Resumo das Atividades Executadas no Período de vigência do auxílio.

I - Principais objetivos do projeto original:

1 - Criar e consolidar o “Núcleo de Excelência em Computação de Alto Desempenho e sua Aplicação em Computação Científica e Inteligência Computacional” (NECAD) da UFES

2 - Desenvolver novas bibliotecas numéricas de apoio ao desenvolvimento de código para a solução de problemas multi-física, simulação multi-escala, e solucionadores rápidos

3 - Estender o estado da arte em Cognição Visual Artificial por meio da implementação de um veículo autônomo baseado em um automóvel comercial e do seu uso em pesquisas científicas que subsidiem a integração dos sistemas de vergência e reconstrução 3D, reconhecimento de imagens e busca visual desenvolvidos na UFES em sistemas para o mapeamento e localização simultâneos de veículos autônomos

II - Etapas executadas e metas atingidas no período visando ao alcance dos objetivos:

1 - Meta Física 1.1/2010 - Definição de estratégias para viabilizar computacionalmente métodos de estabilização multi-escala

2 - Meta Física 1.2/2010 - Definição de novos condicionadores baseados nas arestas dos elementos finitos

3 - Meta Física 1.3/2010 - Definição de estratégias para implementação do método JFNK

4 - Meta Física 1.4/2010 - Definição de estratégias para redução da matriz Jacobiana representada por coloração de grafos

5 - Meta Física 1.5/2010 - Definição de estratégias para redução de banda de matrizes esparsas oriundas de formulações de elementos finitos

6 - Meta Física 1.6/2010 - Especificação da Plataforma Robótica

III - Apresentação e discussão sucinta dos principais resultados obtidos, deixando claro, os avanços teóricos, experimentais ou práticos obtido pela pesquisa.

Meta Física 1.1/2010 – Definição de estratégias para viabilizar computacionalmente métodos de estabilização multi-escala

Formulações estabilizadas de elementos finitos vêm sendo utilizadas a quase três décadas. Inicialmente, foram apresentadas no contexto da dinâmica dos fluidos computacional. O primeiro artigo em revista indexada foi publicado em 1982 [BRO82]. Este trabalho sumarizou os desenvolvimentos até então e apresentou a formulação SUPG (i.e., *Streamline Upwind Petrov-Galerkin*). Este enfoque combina estabilidade e precisão e, portanto, representou um avanço considerável sobre os métodos clássicos de upwind, viscosidade artificial, diferenças centradas e o método de Galerkin. O sucesso deste enfoque foi enorme e desde então um grande número de artigos vem sendo publicados nesse tema.

Mais recentemente, os métodos estabilizados têm sido reformulados no contexto da formulação variacional multiescala [HUG04; JUA05]. A idéia principal dos métodos multiescalas é decompor a variável de interesse (e, conseqüentemente, a função teste) em duas partes: a primeira é representada pela discretização utilizada (macroescala – escala resolvida) e a segunda relacionada às escalas menores, submalhas (microescala – escala não resolvida).

Os efeitos não locais da microescala são incorporados na macroescala

resultando em um problema enriquecido para as escalas resolvidas, que é então solucionado numericamente. Santos et al., em [SAN07], desenvolveu uma metodologia para a equação convectiva-difusiva-reativa baseada na decomposição de dois níveis do espaço de aproximação. Este processo conduz a um modelo subgrid não linear que age somente na microescala da malha de elementos finitos, mas com a vantagem de ser um método livre de parâmetro de estabilização. É um método auto-adaptativo, pois a quantidade de viscosidade subgrid é automaticamente introduzida de acordo com o resíduo da equação associada às escalas resolvidas, no nível de elemento.

Na forma padrão de solução do método apresentada por Santos et al., em [SAN07], cada matriz da macroescala é composta por 6 graus de liberdade, três nós da macroescala e 3 nós da microescala, que são o ponto médio das arestas do macro elemento. Portanto, o macro elemento possui uma matriz local de ordem 6. Os nós da microescala não são nós de interesse para obtenção do valor aproximado da solução, mas são necessários para enriquecer a solução aproximada de regularidade. Neste contexto, nossa proposta inicial foi realizar uma condensação estática dos nós da microescala nos nós da macroescala gerando uma matriz local de ordem 3, tendo como nós incógnitas somente os nós da macroescala. Os primeiros experimentos realizados com essa idéia para problemas acadêmicos bidimensionais foram promissores, pois, além de serem vantajosos em termos computacionais, apresentaram regularidades adicionais [SAN08a, SAN08b]. Porém, testes de análise de convergência a posteriori demonstraram que a condensação estática perde ordem de convergência e, além disso, para problemas suaves a metodologia não apresentou bons resultados.

Recentemente, o método multiescala Difusão Dinâmica (DD) [ARR10] foi apresentado à comunidade científica como uma alternativa atrativa em contraponto ao método multiescala apresentado por Santos et al., em [SAN07]. O método DD é baseado no formalismo multiescala e consiste em adicionar à formulação clássica de Galerkin enriquecida com funções bolhas, um operador dissipativo não-linear e não parametrizado agindo isotropicamente em todas as escalas da discretização.

Neste método, cada matriz da macroescala é composta por apenas 4 graus de liberdade, três nós da macroescala e 1 nó da microescala no baricentro do elemento. Neste caso, a condensação estática é trivial, sendo gerada em cada elemento uma matriz com apenas 3 graus de liberdade. Os resultados preliminares obtidos com esta abordagem são promissores.

Meta Física 1.2/2010 – Definição de novos preconditionadores baseados nas arestas dos elementos finitos

As estruturas de armazenamento locais, a citar, elemento-por-elemento e aresta-por-aresta, são constituídas de matrizes locais que possuem dimensão igual a três vezes o número de graus de liberdade por nó para a implementação baseada nos elementos e duas vezes para a implementação baseada nas

arestas. Denominamos bloco diagonal as submatrizes que definem as contribuições de cada nó nele mesmo. Na estrutura de armazenamento baseada nas arestas adotada nos trabalhos [CAT02a, ELI05, CAT09], os blocos diagonais de cada matriz de aresta são acumulados nos blocos diagonais nodais e as contribuições dos blocos não diagonais na estrutura aresta.

O procedimento descrito no parágrafo anterior possibilitou a definição do preconditionador bloco diagonal nodal já adotado nos trabalhos acima citados. Porém, esse preconditionador não possui uma taxa de convergência elevada para uma gama de aplicações. A idéia principal da técnica que adotamos está baseada na inversão dos blocos diagonais nodais e dos blocos não diagonais armazenados por arestas, utilizando estratégias similares aquelas adotadas por [BAZ07] para a estrutura elemento-por-elemento. A ação dos preconditionadores localiza-se no produto matriz-vetor que, neste caso, será executado em duas etapas: no nível dos nós, para os coeficientes dos blocos diagonais; e no nível das arestas para os coeficientes de fora do bloco diagonal. Até o momento, nos testes preliminares para problemas bidimensionais da equação de advecção e difusão, não obtivemos resultados relevantes com a estratégia definida.

Meta Física 1.3/2010: Definição de estratégias para implementação do método JFNK

Nesta primeira etapa do estudo do método Newton-Krylov livre da matriz jacobiana (JFNK), optamos por investigar o comportamento do método de Newton inexato oriundo de formulações estabilizadas no método dos elementos finitos utilizando o solver EdgeCFD em contínuo desenvolvimento no NACAD/UFRJ. Neste contexto, o método de Newton considera uma aproximação da matriz jacobiana definida por Tezduyar, em [TEZ99], e utiliza a estrutura de armazenamento aresta por aresta. Podemos então dizer que o método a ser implementado é livre de matriz sob certo ponto de vista, uma vez que a matriz não é formalmente assemblada.

No momento estamos em fase de conclusão das implementações considerando: (i) estratégias adaptativas do cálculo da tolerância do sistema linear a ser resolvido em cada passo não linear, denominada *termo forçante*; (ii) estratégias de globalização que visam calcular uma próxima aproximação da solução não-linear sem a necessidade de solucionar o sistema linear envolvido. Destacamos as principais referências estudadas [AN07, BEL07, DEM82, EIS94, EIS96, GOM08].

Meta Física 1.4/2010: Definição de estratégias para redução da matriz Jacobiana representada por coloração de grafos

A matriz Jacobiana é a matriz resultante do cálculo das derivadas parciais de primeira ordem de uma função vetorial. Considerando uma matriz de m linhas e n colunas, a primeira linha representa as derivadas parciais da primeira função em relação a todas as variáveis, e assim até a m -ésima linha, que representa as

derivadas parciais da m-ésima função em relação a todas as variáveis.

Para a avaliação da matriz Jacobiana em um ponto do espaço – podemos citar como exemplo o Método de Newton que a cada iteração avalia a Jacobiana em um ponto – é necessário acessar n vezes as colunas da matriz. Isto gera um custo computacional elevado comprometendo a eficiência do algoritmo que necessita dessa avaliação. Para reduzir o tempo computacional dessa operação, a estratégia adotada no projeto iniciou com a exploração da esparsidade da matriz e o conceito de ortogonalidade, ou seja, duas colunas são ditas estruturalmente ortogonais se ambas não possuem elementos não nulos na mesma linha. A partir disso, pode-se representar a matriz Jacobiana como um grafo, no qual seus vértices são as n colunas e suas arestas ligando dois vértices existem se as colunas que os representa não são estruturalmente ortogonais.

O objetivo é reduzir o número de colunas da matriz Jacobiana, para isso, utilizaremos a definição do problema de Particionamento de Matrizes que será abordado como um problema de Coloração de Grafos [DEO74,GEB05]. O primeiro problema procura subdividir as colunas da matriz em partições. Neste projeto, as colunas que pertencem a cada partição são estruturalmente ortogonais entre si.

O segundo problema mencionado tem por objetivo atribuir cores distintas aos vértices do grafo que são adjacentes, utilizando o menor número de cores possível. A resolução da coloração do grafo que representa a matriz Jacobiana indica os vértices que pertencem a uma mesma partição, isto é, aqueles vértices que possuem a mesma cor. Como as colunas de cada partição são estruturalmente ortogonais entre si, elas podem ser agrupadas em uma única coluna. Desta forma, o número de colunas da Jacobiana é reduzido para o número de cores resultante da coloração. Resultados preliminares mostram que, em média, as reduções do número das colunas e do tempo computacional para a avaliação da matriz jacobiana em um ponto são, respectivamente, 80% e 50%.

Meta Física 1.5/2010: Definição de estratégias para redução de banda de matrizes esparsas oriundas de formulações de elementos finitos

Muitos problemas científicos relevantes envolvem a resolução de sistemas lineares considerando matrizes esparsas e de grande porte. Nestes casos, o pré-processamento destas matrizes – ou pré-condicionamento – levando em conta peculiaridades de suas características pode ser bastante útil para reduzir a complexidade dos sistemas associados. Dois exemplos de pré-processamento que foram investigados nesta etapa são a minimização da largura de banda [CAR09b] e a redução do envelope da matriz [BAR95], que possuem como objetivo dispor os elementos não nulos o mais próximo possível da diagonal principal através de permutações entre linhas e colunas. O efeito desses pré-processamentos consiste em permitir que as operações necessárias à resolução do sistema linear sejam efetuadas sobre uma matriz mais compacta. No contexto da solução de sistemas via métodos diretos, a minimização da largura

de banda pode proporcionar uma redução no preenchimento que ocorre na decomposição LU, ficando esse preenchimento restrito aos zeros contidos entre os elementos não nulos e a diagonal principal. Contudo, atualmente sistemas lineares de grande porte são usualmente solucionados por métodos iterativos não estacionários [SAA03] que, apesar de não alterar a esparsidade da matriz, necessitam de critérios de convergência.

Em geral, um processo para acelerar a convergência, denominado pré-condicionamento, se faz necessário. Os preconditionadores baseados na decomposição LU incompleta ([BEN99]; [CAM10]) são amplamente utilizados por apresentar uma taxa acentuada na aceleração da convergência. Porém, tais operações alteram a esparsidade da matriz e, portanto, um processo de reordenamento da matriz é fundamental para a eficiência de tais preconditionadores.

Muitas pesquisas na área de minimização de largura de banda foram realizadas entre as décadas 60 e 80, com destaque para os métodos RCM e GPS, algoritmos baseados em estratégias de busca em grafos e que proporcionam boa qualidade de solução ([CUT69], [GIB76]). Após esse período, observou-se que os trabalhos existentes na literatura dividem-se majoritariamente em propostas de melhoria desses algoritmos ou aplicações de meta-heurísticas (Simulated Annealing [DUE95], Busca Tabu [MAR01] e GRASP [PIN04]) e métodos exatos de otimização ([MAR08], [CAP05]). Porém, nestes casos, a dimensão das instâncias do problema tratado é relativamente pequena: são apresentados experimentos somente para matrizes de dimensão menor que 1000. Em resumo, observou-se que todos os trabalhos citados melhoram a qualidade de solução, se comparados com os algoritmos mais clássicos e mais utilizados na literatura (RCM e GPS). Entretanto, nenhum desses trabalhos conseguiu simultaneamente melhorar a qualidade de solução e obter um tempo computacional equiparável a esses algoritmos.

Por este motivo, nesta etapa do projeto foram implementados quatro algoritmos existentes na literatura para reordenamento de matrizes esparsas (RCM, GPS, Nested Dissection [GEO73] e Algoritmo Espectral [BAR95]), com o intuito de comparar qualidade de solução e tempo de execução. Além disso, algumas modificações para melhoria de solução e redução de tempo de processamento para o RCM (RCM-P1 e RCM-P2) e o Nested Dissection (ND-P1, ND-P2, ND-P3 e ND-P4) estão sendo propostas. Todas as modificações propostas têm como foco o uso mais eficiente das estruturas de dados já utilizadas nos algoritmos.

Testes computacionais preliminares foram realizados com esses quatro algoritmos e suas modificações sobre 18 matrizes esparsas de grande porte, com esparsidade superior a 99%, advindas das mais diversas áreas de conhecimento. O algoritmo ES possui solução equiparável ao RCM e se comportou melhor em termos de tempo de execução apenas para as matrizes menos esparsas. Para todas as matrizes testadas, o tempo de execução do GPS foi maior que do RCM. Estes fatos justificam a larga utilização do algoritmo RCM para reordenamento de matrizes esparsas. Podemos observar também

que as modificações dos algoritmos propostas neste trabalho têm se mostrado promissoras quando comparadas aos algoritmos originais levando em consideração o equilíbrio entre qualidade de solução e tempo computacional. Como próxima etapa de investigação, pretendemos estudar a influência dos algoritmos de reordenamento de matrizes na resolução de sistemas lineares utilizando métodos iterativos não estacionários.

Meta Física 1.6/2010: Especificação da Plataforma Robótica

Em nosso projeto estão previstas a compra de um automóvel e a contratação de serviços de adaptação do mesmo de modo a torná-lo uma plataforma robótica (PR) de pesquisa em Inteligência Computacional aplicada à navegação de veículos autônomos. Esta adaptação envolve a instalação de sensores e mecanismos que permitam controlar o acelerador, freio, posição do volante, etc. por meio de computadores instalados no automóvel. Investigamos inúmeras empresas no país e não encontramos nenhuma que nos oferecesse tecnologia similar ou serviços similares aos oferecidos pela empresa Torc Robotics (<http://www.torcrobotics.com>).

A tecnologia eletrônica de acionamento dos atuadores (volante, acelerador, freio, entre outros) do automóvel desenvolvida pela empresa Torc Robotics correntemente só pode ser instalada no veículo Ford Escape Hybrid (Figura 1) e somente funciona com este modelo/marca de Automóvel (devido aos protocolos de comunicação da rede de dados do automóvel). Como não nos resta outra opção no mercado nacional e outra tecnologia de controle de acionamento que nos atenda em nossas demandas de pesquisa, e por não haver veículo desta Marca/modelo disponível no mercado nacional, e também por necessitarmos de instalações, ajustes e inclusão de equipamentos neste determinado veículo e a empresa ser baseada nos Estados Unidos da América (USA), a única opção que nos restou foi importar o Carro diretamente de sua origem já com as devidas tecnologias e equipamentos de acionamento instalados diretamente pelo fabricante (Torc). Os preços desta opção estão, no entanto, dentro dos limites aprovados pela FAPES.



Figura 1: Ford Escape Hybrid.

Como sensores escolhemos as câmeras estéreo Bumblebee XB3 da Point Grey (<http://www.ptgrey.com>), o *Light Detection And Ranging* (LIDAR) HDL-32E a laser da Velodyne (<http://www.velodynelidar.com>), e o *Attitude and Heading Reference System* (AHRS) MTi-G da Xsens (<http://www.xsens.com>). A PR será controlada autonomamente por seis computadores 6 Dell Precision R5500.

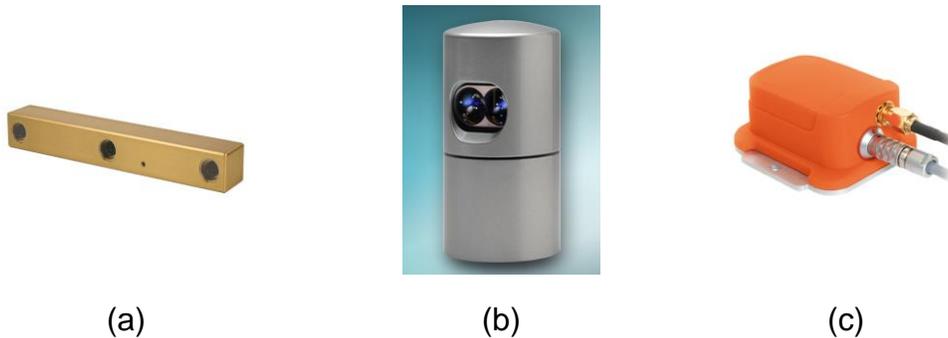


Figura 2: (a) Camera Estéreo Bumblebee XB3. (b) LIDAR HDL-32E. (c) AHRS MTi-G.

É importante destacar que no projeto estavam previstos dois GPS de precisão e cinco sensores laser de varredura 180°, mas que, com a escolha do LIDAR HDL-32E, os cinco lasers e um dos GPS foram substituídos pelo LIDAR HDL-32E. O HDL-32E inclui 32 lasers de varredura 360° e um GPS embutido, constituindo-se, assim, em uma alternativa tecnológica muito melhor para o projeto. Além disso, seu preço é menor que o de cinco lasers e um GPS de precisão somados.

Se não usássemos o LIDAR HDL-32E a nossa plataforma robótica ficaria como a da Figura 3. Com o LIDAR HDL-32E, nossa plataforma robótica terá forma similar à da Figura 4, equiparando-se às mais modernas hoje em estudo.



Figura 3: Veículo autônomo Stanley, que venceu a DARPA Grand Challenge de 2005.



Figura 4: Veículo autônomo sendo correntemente estudado pela Google, com LIDAR Velodyne de geração anterior ao que estamos adquirindo.

IV - Relacione os principais fatores negativos e positivos que interferiram na execução do projeto.

O único fator negativo digno de nota foi a dificuldade que tivemos para encontrar uma empresa que fosse capaz de adaptar um automóvel para nossas pesquisas. Infelizmente não encontramos empresa nacional. A empresa Norte Americana encontrada, contudo, oferece o serviço de adaptação dentro dos limites dos recursos aprovados para o projeto.

Um fator positivo importante tem sido o interesse dos alunos de graduação e pós-graduação no projeto, o que nos permitiu montar uma equipe de alunos muito competente e motivada.

V - Contatos Nacionais e Internacionais efetivamente ocorridos em função do projeto, como: convênios, pesquisadores visitantes, etc.

Ainda não houve.

VI - Informe os trabalhos publicados e/ ou aceitos para publicação no período, relacionados com o projeto em pauta: livros, capítulos de livros, artigos em periódicos nacionais e internacionais, resumos em congressos, reuniões científicas e semelhantes. Anexe à primeira página dos trabalhos publicados (observar a necessidade de citação da FAPES como agência de suporte financeiro da publicação).

(M) Moraes, J. L. ; DE SOUZA, A. F. ; BADUE, Claudine . Facial Access Control Based On VG-RAM Weightless Neural Networks. In: 13th International Conference on Artificial Intelligence, 2011, Las Vegas, Nevada, USA.

Proceedings of The 2011 International Conference on Artificial Intelligence, 2011.
v. 2. p. 444-450.

(M) Ghidetti, K. ; Catabriga, L. ; Boeres, M.C.S. ; Rangel, M.C. . A STUDY OF THE INFLUENCE OF SPARSE MATRICES REORDERING ALGORITHMS ON KRYLOV-TYPE PRECONDITIONED ITERATIVE METHODS. In: XXXI Ibero Latin American Congress on Computational Methods in Engineering, 2010, Buenos Aires. Mecánica Computacional. Buenos Aires : AMCA, 2010. v. XXIX. p. 2323-2343.

Valentim, M. ; (M) Estefhan D. Wandekokem ; (M) Fabris, F. ; VAREJÃO, Flávio Miguel ; RAUBER, T. W. ; Batista, R., J. . Condition Monitoring based on Kernel Classifier Ensembles. In: INDIN'2011, IEEE 9th International Conference on Industrial Informatics, 2011, Caparica, Lisbon, Portugal. Proc. of IEEE 9th International Conference on Industrial Informatics, 2011.

Local e data

Nome e Assinatura do Representante

REFERÊNCIAS

- [AN07] An H.B., Mo Z.Y., and Liu X.P. A choice of forcing terms in inexact Newton method. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 200:47–60, 2007.
- [ARR10] N. C. B. Arruda, R. C. Almeida, and E. G. D. do Carmo. Dynamic diffusion formulations for advection dominated transport problems. *Mecânica Computacional Vol XXIX*, págs. 2011-2025 Eduardo Dvorkin, Marcela Goldschmit, Mario Storti (Eds.) .AMCA, Buenos Aires, Argentina, 15-18 Noviembre, 2010.
- [BAR95] S. Barnad, , A. Photen, H. Simon, A spectral algorithm for envelope reduction of sparse matrices, *Numerical Linear Algebra with Applications*, v. 3, p. 317–334, 1995.
- [BEL07] Bellavia S. and Berrone S. Globalization strategies for Newton-Krylov methods for stabilized FEM discretization of Navier-Stokes equations. *Journal of Computational Physics*, 226:2317–2340, 2007.
- [BEN99] M. Benzi, D. B. Szyld, A. van Duin, Ordering for incomplete factorization preconditioning of nonsymmetric problems. *SIAM J. Sci. Comput*, v. 20(5), p. 1652–1670, (1999).
- [BRO82] A.N. Brooks, T.J.R. Hughes. “Streamline upwind / Petrov-Galerkin formulations for convection dominated flows with particular emphasis on the incompressible Navier-Stokes equations”, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 32:199-259, 1982.
- [CAM10] J. Camata, A. Rossa, A. Valli, L. Catabriga, G. Carey, A. Coutinho, Reordering and incomplete preconditioning in serial and parallel adaptive mesh refinement and coarsening flow solutions. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*. doi: 10.1002/flid.2614
- [CAP05] A. Caprara, G. Salazar, Laying out sparse graphs with provably minimum bandwidth, *INFORMS Journal on Computing*, v. 17(3), p. 356–373, (2005).
- [CAR09b] M. Carvalho, N. Junqueira, N. Soma, Uma heurística para o problema de minimização de largura de banda em matrizes. *Pesquisa operacional*, p. 2886–2897, (2009).
- [CAT02a] L. Catabriga, A.L.G.A. Coutinho. “Improving Convergence to Steady-State of Implicit SUPG Solution of Euler Equations”, *Communications in Numerical Methods in Engineering*, Vol. 18, pp. 345--353, 2002a.
- [CAT09] L. Catabriga, D.A.F. Souza, A.L.G.A. Coutinho, T.E. Tezduyar. “3D Edge-Based SUPG Computation of Inviscid Compressible Flows with YZ β Shock-Capturing”, *Computational Mechanics*, v. 76, p. 021208, 2009.
- [CUT69] E. Cuthill, J. McKee, Reducing the bandwidth of sparse symmetric matrices. In *Proceedings of the 24th ACM national conference*, p. 157–172, New York, NY, USA. ACM Press, 1969.
- [DEM82] Dembo R., Eisenstat S., and Steihaug T. Inexact Newton methods. *SIAM J. Numer. Anal.*,19:400–408, 1982.
- [DEO74] N. Deo. “Graph Theory with Applications to Engineering and Computer Science”, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., USA, 1974.
- [DUE95] G. Dueck, J. Jeffs, A heuristic bandwidth reduction algorithm, *Journal of Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing*, p. 97–108, 1995.
- [EIS94] Eisenstat S. and Walker H. Globally convergent Inexact Newton methods. *SIAM J.Optim.*, 4:393–422, 1994.
- [EIS96] Eisenstat S. and Walker H. Choosing the forcing terms in an Inexact Newton method. *SIAM J.Sci. Comput*, 17:16–32, 1996.
- [ELI05] R.N. Elias, M.A.D. Martins, A.L.G.A. Coutinho. “Parallel Edge-Based Inexact Newton Solution of Steady Incompressible 3D Navier-Stokes Equations”, *Lectures Notes on Computer Sciences*, v. Unico, n. 3648, p. 1237-1245, 2005.

- [GEB05] A. Gebremedhin, F. Manne, A. Pothén. "What color is your Jacobian? Graph coloring for computing derivatives", *SIAM Review*, 47(4):629–705, 2005.
- [GEO73] A. George, Nested dissection of a regular finite element mesh, *SIAM Journal of Numerical Analysis*, v. 10, p. 345–363, 1973.
- [GIB76] N. E. Gibbs, W. G. Poole, P. K. Stockemeyer, An algorithm for reducing the bandwidth and profile of a sparse matrix. *SIAM Journal of Numerical Analysis*, v. 13(2), p. 236–250, 1976.
- [GOM08] Gomes-Ruggiero M., Lopes V., and Toledo-Benavides J. A globally convergent inexact Newton method with a new choice for the forcing term. *Annals of Operations Research*, 157:193–205, 2008.
- [HUG04] T.J.R. Hughes, G. Scovazzi, L.P. Franca. "Multiscale and Stabilized Methods, Encyclopedia of Computational Mechanics", John Wiley & Sons, (2004)
- [JUA05] R. Juanes, T.W. Patzek. "Multiscale-stabilized solutions to one-dimensional systems of conservation laws", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 194: 2781-2905, 2005.
- [MAR08] R. Martí, V. Campos, E. Piñana, A branch and bound algorithm for the matrix bandwidth minimization. *European Journal of Operational Research*, v. 186(2), p. 513–528, 2008.
- [MAR01] R. Martí, M. Laguna, F. Glover, V. Campos, Reducing the bandwidth of a sparse matrix with tabu search. *European Journal of Operational Research*, v. 135, p. 450–459, 2001.
- [SAA03] Y. Saad. "Iterative Methods for Sparse Linear Systems", Second Edition, Society for Industrial - Applied Mathematics, 2003.
- [SAN07] I.P. dos Santos, R.C. Almeida. "Nonlinear Subgrid Method for Advection - Diffusion Problems", *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, vol. 196, pp. 4771—4778, 2007.
- [SAN08a] I.P. Santos, L. Catabriga, R.C. Almeida. "Edge-based implementation for the NSGS method", 8th. World Congress on Computational Mechanics (WCCM8), Venice, July, 2008
- [SAN08b] I.P. Santos, L. Catabriga, R.C. Almeida. "Data structures for the nonlinear subgrid stabilization method", Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering, Maceió, 2008.
- [TEZ99] Tezduyar T. Finite elements in fluids: Lecture notes of the short course on finite elements in fluids, 1999. Computational Mechanics Division, , vol. 99–77, Japan Society of Mechanical Engineers, Tokyo, Japan.

Anexos Impressos
(Folha de rosto e página dos Trabalhos
Publicados onde consta o agradecimento
à FAPES)