

Desafios da modelagem do refinamento adaptativo das malhas: um estudo sobre o MARE2DEM

Bruno da Silva Alves, Lucas Mello Schnorr

Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Porto Alegre – RS – Brazil

{bsalves, schnorr}@inf.ufrgs.br

Resumo. *O MARE2DEM é uma aplicação paralela e custosa que auxilia a exploração de petróleo através do método eletromagnético. Sendo uma aplicação parametrizável, identifica-se que o refinamento adaptativo das malhas determina o makespan para as inúmeras configurações possíveis. No entanto, modelar tal refinamento mostrou-se complexo pois depende de valores definidos em tempo de execução. Resultados preliminares demonstram uma modelagem com acurácia e custo satisfatórios.*

Contexto e Aplicação. A capacidade do *Adaptive Mesh Refinement* (AMR), ou método de refinamento adaptativo, para a definição de malhas numericamente precisas tornou-se um método popular na resolução de problemas de áreas como a astrofísica, modelagem atmosférica, e engenharia aeroespacial. O AMR refina a malha dinamicamente nas regiões onde uma maior resolução é necessária devido a pequenas estruturas do problema. Isto permite uma precisão maior nas respostas e também uma melhor eficiência em cálculo e uso de memória comparando-se com malhas estáticas. O MARE2DEM [Key 2016] é uma aplicação paralela de código aberto utilizada na exploração de novos reservatórios de petróleo e gás natural. Esta aplicação usa dados coletados com o método *Controlled Source Eletromagnetic* (CSEM) e emprega AMR para realizar a inversão das equações de Maxwell, permitindo a construção de modelos de resistividade dos materiais presentes no subsolo marinho. Seu funcionamento é iterativo, procurando um modelo que melhor se aproxima aos dados medidos, considerando que a malha é dinamicamente refinada nas regiões de maiores erros.

Identificação do Problema. O processo envolve custosas operações aritméticas sobre matrizes e sobre a malha que somadas podem levar muito tempo para gerar modelos acurados. O MARE2DEM divide a carga de trabalho em grupos menores chamados de grupos de refinamento para que os mesmos possam ser processados em paralelo. A quantidade de dados em cada grupo de refinamento depende de uma configuração da aplicação que determina a quantidade máxima de transmissores, receptores e frequências que cada grupo pode conter. Dessa forma, cada configuração gera uma divisão de carga diferente que determina a quantidade e o tamanho das cargas dadas aos processos trabalhadores, e que por fim influenciam no tempo total de execução da aplicação. Além disso, investigações anteriores [da Silva Alves et al. 2022] mostraram que o tempo de processamento da maior parte das operações internas do MARE2DEM é principalmente guiado pelo número de triângulos presente na malha. Dessa forma, modelar o refinamento e prever a quantidade de triângulos nas malhas é o ponto chave para determinar a melhor configuração do MARE2DEM para se obter o menor tempo de execução. Parte importante da complexidade de modelar o refinamento é inerente ao AMR, uma vez que tal refinamento

é obtido durante a execução da aplicação. A Figura 1 mostra o estado das malhas antes e após um passo de refinamento para um dos grupos de refinamento. Os triângulos marcados para refinamento usam estes critérios: condutividade da região, área do triângulo e a menor distância até um transmissor ou receptor CSEM. Dessa maneira, estes triângulos devem ser refinados. Ao observar a malha resultante, percebe-se outra dificuldade para a modelagem: o algoritmo de refinamento altera triângulos fora da região marcada, prejudicando a previsibilidade. Isso acontece pois o MARE2DEM emprega a técnica de Delaunay [Shewchuk 2002], que garante que os triângulos tenham um ângulo interno mínimo levando a ajustes fora da área marcada.

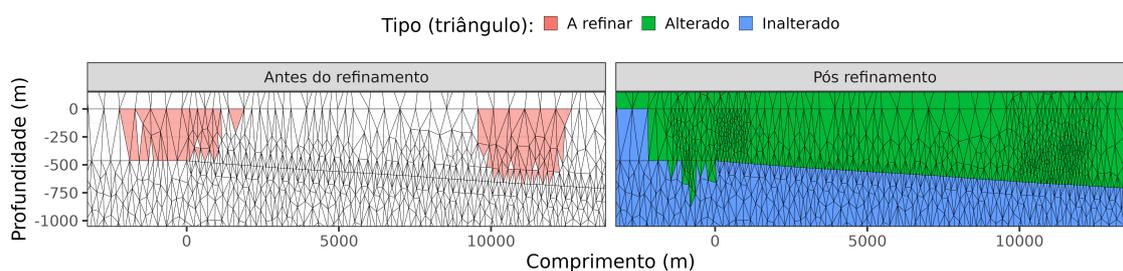


Figura 1. Refinamento da malha em um dos grupos do MARE2DEM.

Método e Solução. Nossa abordagem para modelar o desempenho deste problema consiste inicialmente em definir configurações elementares, onde cada grupo de refinamento possui apenas um transmissor, um receptor e uma frequência. Em seguida, a partir destes grupos elementares, nós combinamos as malhas em grupos mais complexos usando os mesmos critérios que determinam o refinamento. Este método aplicado à diversidade de parâmetros de entrada de um estudo de caso leva a 8240 configurações diferentes que são então comparadas entre si para determinar qual gera o melhor desempenho da aplicação como um todo. Os resultados obtidos até agora são animadores, uma vez que este método permite modelar o refinamento de todas as configurações a partir do custo de execução da configuração elementar tendo em vista que obtemos uma boa aproximação da quantidade de triângulos presentes nas malhas.

Referências

- da Silva Alves, B., Gaspary, L. P., and Schnorr, L. M. (2022). Towards parameter-based profiling for mare2dem performance modeling. In Navaux, P., Barrios H., C. J., Osthoff, C., and Guerrero, G., editors, *High Performance Computing*, pages 63–77, Cham. Springer International Publishing.
- Key, K. (2016). MARE2DEM: a 2-D inversion code for controlled-source electromagnetic and magnetotelluric data. *Geophysical Journal International*, 207(1):571–588.
- Shewchuk, J. R. (2002). Delaunay refinement algorithms for triangular mesh generation. *Computational Geometry*, 22(1):21–74. ACM Symp. on Computational Geometry.