

Análise crítica aplicada a artigos com foco no estudo do método numérico *Smoothed Particle Hydrodynamics* (SPH)

Critical analysis applied to articles focusing on the study of the Smoothed Particle Hydrodynamics numerical method (SPH)

RESUMO

Pedro Henrique Piantoni Boszczowski
pedro_piantoni@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Adilandri Mércio Lobeiro
adilandri@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Uma análise crítica sobre estudos realizados com o método numérico *Smoothed Particle Hydrodynamics* (SPH) é apresentada. O método SPH teve sua origem em estudos astrofísicos, sendo posteriormente convertido para problemas relacionados a estudos de fluidos e transferência de energia, sua principal característica é o estudo de partículas e a influência de suas partículas vizinhas na original. Se propõe uma metodologia baseada em aspectos importantes sendo eles o número de partículas, tempo de processamento, máquina de processamento e linguagem de programação escolhida. Tais fatores são considerados de grande importância quando se fazem análises de um método numérico, comparado a si mesmo em soluções específicas, assim como comparando a outros métodos e suas soluções, quando se leva em conta uma perspectiva de eficiência e eficácia dos métodos. Dos dez artigos analisados, a maioria deles apresenta problemas na falta de informações, independentemente do método aplicado. Informações estas determinantes para que os mesmos possam ser replicados por meio de outros métodos de análise.

PALAVRAS-CHAVE: SPH. Análise Crítica. Eficiência.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

A critical analysis of studies conducted with the Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) numerical method is presented. The SPH method originated in astrophysical studies and was later converted to problems related to fluid studies and energy transfer, its main characteristic is the study of particles and the influence of their neighboring particles on the original. It proposes a methodology based on important aspects, which are the number of particles, processing time, processing machine and programming language chosen. Such factors are considered of great importance when making analyses of a numerical method, compared to itself in specific solutions, as well as comparing to other methods and their solutions, when taking into account a perspective of efficiency and effectiveness of the methods. Of the ten articles analyzed, most of them present problems in the lack of information, regardless of the method applied. Information these determinants so that it can be replicated through other methods of analysis.

KEYWORDS: SPH. Critical Analysis. Efficiency.

INTRODUÇÃO

A simulação numérica trata de traduzir aspectos físicos da realidade em equações de descrição matemáticas, que quando aplicadas à computação, são capazes de, ao invés do modo tradicional experimentalista, recriar situações virtuais e suas soluções, considerando todos os problemas e variáveis envolvidas. É uma alternativa à investigação científica através do experimentalismo real com menor custo e maior segurança, sendo uma ponte entre teorias e fenômenos reais (MONAGHAN, 1992).

Segundo Filho (2016), para que se execute de forma consistente e com o menor uso de recursos possíveis é necessário um método numérico livre de redes e não Euleriano. A simulação de fluidos em superfícies livres, móveis, com geometria complexa e deformação de topografia com precisão e qualidade se torna um problema, demandando recursos e tempo, além de ser extremamente difícil.

Com base em Liu e Liu (2003) o método *Smoothed Particles Hydrodynamics* (SPH), ou Hidrodinâmica de Partículas Suavizadas, teve sua origem em estudos astrofísicos tridimensionais de fenômenos e corpos celestes e com comportamento similar à de líquidos. O método é Lagrangiano e matematicamente a ideia é não ser dependente de uma malha numérica responsável pela leitura das informações que ocorrem em cada instante de tempo em uma simulação computacional ou cálculo, mas sim que cada partícula do fluido carregue consigo informações como: a viscosidade artificial, o calor artificial, a viscosidade física, o comprimento de suavização variável, o problema de modo de zero energia, a compressibilidade artificial, o tratamento de limites sólidos, a escolha do passo de tempo para melhorar a estabilidade no processo computacional e a precisão dos resultados. Este método resolve e facilita vários problemas numéricos, além da alta capacidade em simular deformações.

Ainda conforme Liu e Liu (2003), o termo Hidrodinâmica de Partículas Suavizadas descreve o estudo de fluidos a partir de partículas, cuja aproximação natural é a média ponderada de partículas vizinhas, o que gera bastante estabilidade na aplicação numérica.

A equação que governa o método é descrita como Eq. (1):

$$f(x) = \int_{\Omega} f(x') W(x-x', h) dx' \quad (1)$$

O termo $f(x)$ é uma função de campo a ser aproximada ou uma somatória das funções de campo, responsáveis pelas partículas que são ponderadas pelo núcleo. A variável (h) é o comprimento de suavização das partículas do núcleo, (f) é a função do vetor posição tridimensional (x') e " $W(x-x', h)$ " é a função núcleo/suavização. (Ω) é o volume da integral contendo (x) que implica que uma função pode ser representada pela forma integral. Essa equação modela as demais necessárias para resolução de problemas utilizados no método ^[2] (LIU; LIU 2003).

Há inúmeras funções núcleo disponíveis na literatura, entre elas, podemos citar como exemplo a *Spline* Quíntica Eq. (2) (LIU; LIU 2003):

$$W(x,h)=\alpha_d \left(1-\frac{q}{2}\right)^4 (2q+1), \quad 0 \leq q < 2 \quad (2)$$

Onde $\alpha_d = \frac{3}{4h}$ em 1D, $\frac{7}{4\pi h^2}$ em 2D e $\frac{21}{16\pi h^3}$ para 3D.

A forma final de uma equação no formato (SPH) pode ser exemplificada pela função de conservação de massa de Navier-Stokes, Eq. (3) (LIU; LIU 2003):

$$\frac{Dv_i^\alpha}{Dt} = \sum_{j=1}^N m_j \left(\frac{\sigma_i^{\alpha\beta}}{\rho_i^2} + \frac{\sigma_j^{\alpha\beta}}{\rho_j^2} \right) \frac{\partial w_{ij}}{\partial x_i^\beta} \quad (3)$$

Nos ramos da matemática e engenharia acadêmica o SPH é utilizado principalmente em simulação computacional realista de fenômenos de transporte de massa, fluidos e energia. O objetivo deste artigo, entretanto, é a análise de crítica de estudos recentes nos quais são averiguadas informações pertinentes e necessárias para conclusões e comparações com outros trabalhos. Por se tratar de simulação numérica, a qualidade de método deve ser avaliada pela sua eficácia em resolver um problema e eficiência na velocidade da resolução e uso de recursos.

MATERIAL E MÉTODOS

Não serão analisados aspectos pertinentes à estrutura dos artigos e sim informações necessárias para que o mesmo tenha bom desenvolvimento e conclusões sólidas de modo que o leitor consiga dimensionar e referenciar os possíveis avanços propostos no estudo. Sendo assim, e pela especificidade proposta, não há uma metodologia definida na literatura para casos específicos do método SPH.

O método SPH como definido anteriormente por Liu e Liu (2003), é o estudo baseado na simulação de partículas carregadas com informações pertinentes ao problema proposto e que, ponderando-se as partículas vizinhas, tem seus dados renovadas a cada instante de tempo. A quantidade de partículas nesse caso se torna crucial. Com base em Monaghan (1992) a variável (h) da (Eq.6) é o que determina a resolução e o número de partículas vizinhas a serem consideradas para ponderação da partícula principal que está sendo calculada no momento. Monaghan (1992) define que (h) se torna crucial já que as partículas capturadas serão analisadas posteriormente em um sistema de matrizes discretizadas impactando o esforço computacional necessário, ou seja, quanto maior o número de partículas, melhor será a resolução dos resultados, porém agregando custo computacional e de processamento.

Sem o tempo anexado como informação fica impossível determinar se a solução apresentada é viável ou não. Uma solução eficaz ou que resolve o problema necessita também em ser eficiente em termos de recursos gastos e tempo, simulações pesadas de fluidos necessitam considerar que podem extrapolar os recursos de tempo e memória rapidamente Kim e Menon (1999).

Somente em um caso seria possível aceitar parcialmente tal condição, a de que não existe solução alternativa presente até o momento e que aquele é o único meio de alcançá-la. Exemplificando, é comum encontrar resultados um pouco abaixo de outras soluções, porém com tempo de processamento muito menor. O que consequentemente implica em uma ponderação da melhor solução baseada na necessidade em questão. Sem a informação tempo, isso se torna impossível.

A lei de More's, de autoria de Gordon Earle Moore, em 1965, supôs que a cada dois anos o poder computacional dobra de capacidade, permanecendo os mesmos custos. Kinnunen (2015), mesmo com o ciclo chegando ao seu fim após várias décadas e com a capacidade dos transistores em um limite próximo, explica como novas tecnologias como paralelismo de processamento e escalabilidade são capazes de manter tal ciclo mesmo que a ideia básica de centrais de processamento com transistores ainda perdure por mais de 50 anos. Isso explicita a necessidade de se determinar a unidade de processamento no qual uma solução proposta é processada.

Com novas tecnologias, computadores mais antigos possuem potência extremamente inferior. Quantidades maiores de memórias, capacidade de 32 ou 64 bits de informação, maiores ciclos por segundo dos processadores, núcleos e unidades diferenciadas de processamento como GPUs são utilizados. Há não especificação da máquina utilizada implica em uma grande dúvida na viabilidade da solução proposta quando comparada a outras soluções, tanto por tempo gasto como por recursos que a solução necessita da máquina.

Conforme Leitão (1995) linguagens de programação são linguagens de máquina no qual possibilitam ao ser humano "conversar" com o computador de modo que computadores executem funções determinadas. Há vários tipos de linguagens de programação, diversificadas e criadas de modo a resolverem problemas variados e específicos e condicionadas ao problema no qual será executado. Ou seja, cada linguagem possui suas devidas características, sendo necessário que por padronização a mesma seja explícita no texto, do contrário, outros autores não terão capacidade plena da eficiência da solução proposta ou para comparação. Um exemplo de linguagem eficiente é o FORTRAN. Segundo Gaelzer (2010), é uma linguagem de alto desempenho capaz de paralelismo em seu processamento e utilizado principalmente em problemas de física, matemática e engenharia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

SIMULATION OF DAM BREAK USING MODIFIED INCOMPRESSIBLE SMOOTHED PARTICLES HYDRODYNAMICS (MPM-I-SPH)

O artigo simula uma quebra de barragem usando uma versão alterada incompressível do modelo SPH. Neste artigo são notados quatro problemas, sendo o primeiro deles a simulação experimental, no qual não há dados referentes em como foi montado o experimento, apenas se subentende que a simulação computacional segue as mesmas configurações do experimental, porém a qualidade do material exposto nas figuras do experimento é de baixa qualidade não sendo possível notar métricas. Outro problema notado é a ausência de tempo

de processamento, o tempo de processamento como explicado, é determinante na mensuração da eficiência computacional de um problema, embora a conclusão exposta é de que há vantagens no método para simulação de sedimentos juntamente do fluido, é difícil ter noção do impacto de velocidade da solução apresentada.

Nota-se também a ausência de dados referentes à máquina de processamento, no início do artigo, os autores Nia et al. (2014) especificam que outros métodos numéricos podem ser consumistas de recursos e problemáticos, entretanto, sem os dados da máquina de processamento é impossível que se tenha uma referência. Por outro lado, nota-se também a ausência da linguagem de programação escolhida que interfere diretamente na eficiência do método, sua ausência também não possibilita a análise da eficiência computacional.

3D SIMULATION OF DAM-BREAK EFFECT ON A SOLID WALL USING SMOOTHED PARTICLE HYDRODYNAMIC

São simuladas situações no qual um objeto sólido é atingido por uma quantidade de líquido. Não são expostas as capacidades do computador no qual todo processo foi simulado que acarretam os mesmos problemas da incapacidade de referência para outros autores. Os próprios autores Faizalb et al. (2013) levantam em sua conclusão que novas formulações para que haja uma melhora na realidade do problema vão elevar os custos computacionais, no qual eles não apresentam assim como a dificuldade da formulação do algorítmico. Há também a não exposição do tempo de processamento e linguagem de programação relacionados à eficiência do método e recursos necessários.

Verifica-se também que não são determinados o número de partículas utilizadas. A quantidade de partículas interfere diretamente na estabilidade do método, sua acurácia ao determinar resultados e principalmente nos custos computacionais, necessários para outros autores com estudos semelhantes.

SPH E REDUÇÃO DE MODELOS APLICADOS À DINÂMICA DOS FLUIDOS

Os autores apresentam no artigo um novo modelo com objetivo de simplificar o método SPH e diminuir sua complexidade e aumentar a performance. O artigo analisado dos autores Seguro et al. (2017), evidencia a necessidade de modelos menores considerando os custos computacionais de memória e processamento, que como o artigo deixa explícito estão se tornando cada vez maiores. Entretanto, durante as análises e conclusões o autor refere-se à solução como eficaz mas não informa em qual plataforma de processamento o mesmo foi executado. Não é possível ter noção dos recursos computacionais que o autor utiliza como justificativa para o estudo, modelo de processador, memórias etc.

Também não há explicação sobre o tempo de processamento relativo a performance do modelo proposto, assim como nenhuma referência quanto à linguagem de programação utilizada, limitando autores externos a comparações futuras.

SPH-BASED NUMERICAL SIMULATION OF THE VELOCITY FIELD IN A DAM-BREAK FLOW

Simula-se campos de velocidade utilizando o método SPH. O artigo em si cita apenas o uso da linguagem CUDA, que é uma linguagem de programação com foco em paralelização de programas desenvolvidos com ela, segundo Souto et al. (2017). Isto implica apenas que foi utilizada uma placa gráfica ao invés de um processador central comum. Entretanto, não há qualquer informação sobre todo o hardware utilizado, ou partículas processadas ou tempo de processamento.

Conforme Canelas et al. (2012), em suas conclusões o modelo em si apresenta resultado satisfatório, porém sem as devidas informações não é possível saber se o outro objetivo de se criar um modelo mais simples e com menor uso de recursos é atingido, tais resultados não constam no artigo, compreendendo uma falha.

EVALUATIONS OF SWES AND SPH NUMERICAL MODELLING TECHNIQUES FOR DAM BREAK FLOWS

Os autores propõem uma evolução do modelo de equações para águas rasas por considerarem que provem resoluções fracas. Eles adicionam uma técnica “Surface Gradient Upwind Method (SGUM)” no modelo de águas rasas com a intenção de criar estabilidade e resultados mais satisfatórios.

O único porém apresentado neste artigo de Pu et al. (2013) é que os autores não especificam qual a linguagem usada na programação do modelo. Ele deixa claro as outras informações, no entanto, como explanado a linguagem afeta diretamente a performance do modelo. O autor diz que, a maior contribuição do artigo seria na capacidade em prover um modelo com resultados precisos, equilibrado e com uma performance computacional aceitável o que torna as informações necessárias para futuras comparações, do contrário não é possível compreender a velocidade do modelo proposto e nem sua viabilidade, por mais eficaz que seja.

TWO-PHASE SPH MODELLING OF WAVES CAUSED BY DAM BREAK OVER A MOVABLE BED

Os autores Razavitoosi et al. (2014) deste artigo desenvolveram um modelo mais avançado de SPH para resolução de problemas envolvendo leitos aquáticos e suas partículas que sofrem arrasto durante a passagem de ondas. Os autores buscam alternativas as equações de águas rasas de Saint-Venant.

As falhas do artigo em si não estão necessariamente na falta de concordância de seus resultados com os experimentais, mas sim na falta de informações pertinentes a sua performance. Não há hardware especificado, não há tempo de processamento especificado e nem linguagem trabalhada. Neste sentido uma comparação com modelos de outros autores ou até mesmo com modelos antigos em termos de velocidade e eficiência é dificultada.

SPH STUDY OF THE EVOLUTION OF WATER-WATER INTERFACES IN DAM BREAK FLOWS

É analisado um novo modelo chamado de SPH-Fracamente Incompressível. O objetivo dos autores Jian et al. (2015) é o estudo de sua viabilidade para simulações de erosão. Ele é então comparado a experimento real e por meio da resolução da equação de Navie-Stokes pelo método Volume do Fluido (VOF).

Uma comparação de performance entre tempos de processamento ocorre entre os dois métodos. Considerando as horas necessárias para seu processamento. Mas novamente sem informações sobre o número de partículas, linguagem usada na programação e computador usado.

Não é possível saber se algum processo foi paralelizado e se a linguagem utilizada possibilita esse tipo de função. Qual a capacidade do processador e qual método em teoria seria melhor adaptado para esta mesma base, o que dificulta assim novas pesquisas e comparações com o trabalho.

CONCLUSÃO

Com base nos dados apresentados é perceptível que a qualidade de estudos relacionados a métodos numéricos não se baseia exclusivamente no método demonstrado mas em outros fatores que dão sustentação ao mesmo, como informações sensíveis ao método em si, do tipo variáveis e constantes, e informações externas, como qual a linguagem computacional utilizada para criar o algorítmico do método e em qual plataforma computacional o mesmo foi executado.

Todas essas informações são necessárias a outros autores para que, comparando um método com outro igual ou com um diferente, seja possível criar referencias de eficiência e eficácia do método em resolver algum problema da realidade. Os autores Crespo et al. (2015) em sua publicação, demonstram de forma excepcional como detalhes da parte computacional e variáveis específicas fazem toda diferença.

A não apresentação de tais informações dificulta o progresso dos métodos numéricos, em especial a área de estudo do SPH, assim como prejudica seus autores por diminuir a qualidade de seus respectivos trabalhos. Se faz necessário a devida atenção à essas informações sensíveis que são detalhes simples, mas importantes para sua progressão, que nasceu do estudo de corpos celestes e hoje é responsável por grandes revoluções nas indústrias, organizações e empresas.

REFERÊNCIAS

CANELAS, R.; ALEIXO, R.; FERREIRA, R. **Sph-based numerical simulation of the velocity field in a dam-break flow**. In: Proc. Int. Conf. MEFTE 2012, APMTAC, eds. National Laboratory of Civil Engineering, Lisbon. Proceedings in CD form. [S.l.: s.n.], 2012.

CRESPO, A. J. et al. **Dualsphysics: Open-source parallel cfd solver based on smoothed particle hydrodynamics (sph)**. Computer Physics Communications, Elsevier, v. 187, p. 204–216, 2015.

FAIZALB, F.; NAAA, C. F.; TRISNAWANB, A. Selected papers - **3d simulation of dam-break effect on a solid wall using smoothed particle hydrodynamic**. Interdisciplinary Symposium on Complex Systems, arXiv preprint arXiv:1309.3632, v. 1, Set. 2013.

FILHO, C. A. D. F. **Development of a computer code using the lagrangian smoothed particle hydrodynamics (sph) method for solution of problems in fluid dynamics and heat transfer**. Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia-RIPE, v. 2, n. 27, p. 01–18, 2016. Disponível em: <http://periodicos.unb.br/index.php/ripe/article/view/14444>>. Acesso em: 10 de Agosto 2020.

GAELZER, A. **Apostila Introdução ao Fortran 90/95**. [S.l.], 2010. Disponível em: <https://ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/demat/PASTA-PROF/jorge/Fortran.pdf>>. Acesso em: 10 de Agosto 2020.

JIAN, W. et al. **Sph study of the evolution of water–water interfaces in dam break flows**. Natural Hazards, Springer, v. 78, n. 1, p. 531–553, 2015.

KIM, W.-W.; MENON, S. **An unsteady incompressible navier–stokes solver for large eddy simulation of turbulent flows**. International Journal for Numerical Methods in Fluids, Wiley Online Library, v. 31, n. 6, p. 983–1017, 1999.

KINNUNEN, M. **Examining the limits of Moore’s law - Possible influence of technological convergence on redefining the curriculum in ICT institutions**. Tese (Doutorado) — Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, 2015. Disponível em: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93054/Final-Thesis-Moores-Law-End-markkuki-12.5.2015.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 10 de Agosto 2020.

LEITÃO, A. **Linguagem de Programação**. [S.l.], 1995. Disponível em: <http://www.dca.fee.unicamp.br/courses/EA072/lisp9596/node2.html>>. Acesso em: 10 de Agosto 2020

LIU, G.-R.; LIU, M. B. **Smoothed particle hydrodynamics: a meshfree particle method**. [S.l.]: World Scientific, 2003.

MONAGHAN, J. J. **Smoothed particle hydrodynamics**. Annual review of astronomy and astrophysics, Annual Reviews 4139 El Camino Way, PO Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, v. 30, n. 1, p. 543–574, 1992.

NIA, M. R. M. et al. **Simulation of dam break using modified incompressible smoothed particles hydrodynamics (mpm-i-sph)**. International Journal of Scientific Engineering Research, Citeseer, v. 5, n. 1, Jan. 2014.

PU, J. H. et al. **Evaluations of swes and sph numerical modelling techniques for dam break flows**. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, Taylor Francis, v. 7, n. 4, p. 544–563, 2013.

RAZAVITOOSI, S. L.; AYYOUBZADEH, S.; VALIZADEH, A. **Two-phase sph modelling of waves caused by dam break over a movable bed**. International Journal of Sediment Research, v. 29, p. 344–356, 09 2014.

SEGURO, G.; TEIXEIRA, M. G.; LEWINER, T. **Sph e redução de modelos aplicados a dinâmica dos fluidos**. Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics, v. 5, n. 1, 2017.

SOUTO, H. P. A.; GÓES, J. F.; GOÉS, M. L. **Simulação numérica de escoamentos com superfícies livres empregando o método *weakly compressible smoothed particle hydrodynamics* (wcsph) e o processamento em paralelo com unidades de processamento gráfico e a api cuda**. Ciência e Natura, Universidade Federal de Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 569–594, 2017.