TÉCNICAS DE VALIDAÇÃO DE MODELOS COMPUTACIONAIS

E. V. VILAS BOAS¹ E P. VATAVUK¹

¹ Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

Email para contato: ev.boas@hotmail.com

RESUMO – Um dos processos mais nebulosos na fluidodinâmica computacional (CFD) é a verificação e validação (V&V) dos modelos, sendo o processo que irá medir o quão confiável é o seu modelo para aplicação em projetos e análises. Este trabalho tem o objetivo de trazer uma breve discussão do assunto e as abordagens para se obter a validação do modelo. O resultado mostrou que muitas pesquisas encaram esta etapa de forma superficial, as vezes até criticando a V&V por desconhecer as finalidades do processo, e acabam por validar modelos de forma subjetiva, demonstrando a necessidade de se elaborar pesquisas mais profundas no assunto e reunir técnicas práticas para isso.

1. INTRODUÇÃO

Existem diversas definições para o processo de verificação e validação que podem ser encontradas com facilidade em bibliografias, sejam elas da mesma área do conhecimento ou não (ex.: engenharias e as áreas da computação como qualidade de software). Uma definição simples pode ser lida em Oberkampf et al. (1998), que trata-se de um documento guia elaborado com o American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) em parceria com o Defense Modeling and Simulation Office (DSMO) do U.S. Department of Defense (DoD), onde:

- **Verificação:** determina que a acurácia do modelo implantado representa a descrição conceitual de desenvolvimento e sua solução. Ou ainda, verificação é o processo que mostra que o seu modelo esta sendo executado/resolvido de forma correta. Sendo um problema da matemática e da ciência de computação.
- **Validação:** determina o grau de acurácia no qual o modelo representa o fenômeno no mundo real. Ou seja, validação é onde são feitas as comparações entre o modelo e o fenômeno no mundo real. Sendo um problema físico.

Mesmo que as definições dêem um ar simplista da V&V, este é um assunto tão profundo que muitas discussões para execução da etapa envolvem não só o tipo de modelo, mas também a filosofia científica que o pesquisador segue, como é demonstrado no trabalho de Kleindorfer et al. (1998), sendo que cada filosofia possui uma visão diferente sobre o peso da representação da realidade que um modelo possui.

Uma das discussões que podem ser encontradas na literatura é a demonstrada em Roache (2012) que escreve diversos argumentos em contraposição a linha de pensamento

apresentada por Konikow e Bredehoeft (1992) e Oreskes et al. (1994), que através da teoria do falsificacionismo de Popper e dizem que nenhum modelo pode ser validado.

É fato que a superficialidade com que o procedimento é tratado acaba por trazer grandes confusões e até reduzir a credibilidade dos modelos computacionais, sendo que uma prática muito comum entre os pesquisadores é a comparação gráfica entre os resultados obtidos numericamente e os resultados obtidos por meio de soluções analíticas e dados de experimentos realizados em laboratórios, porém Sargent (2013) recomenda um grande cuidado com este método, pois graficamente os resultados podem ser idênticos, mas ao verificar os valores de cada um dos resultados pode haver uma diferença (erro) camuflada, tornando a validação puramente gráfica inadequada.

Embora aplicado à gestão da qualidade de software, Bartié (2013) faz uma importante observação, o processo de verificação e validação não é realizado para provar que um modelo está certo e sim para identificar os erros no modelo, tendo esta definição em mente o responsável irá cumprir com os objetivos propostos e não testar apenas casos que sabe-se que o modelo dará uma resposta satisfatória.

Outro ponto que deve ser destacado é ressaltado por Oberkampf e Trucano (2002), onde é feita uma crítica referente às incertezas referentes à coleta de dados e o relato de que o experimento realizado não deve ser encarado como verdade absoluta, uma vez que os modelos físicos também não podem se provar corretos, apenas serem reprovados, sendo a comparação realizada por ser o procedimento mais próximo da realidade que pode ser facilmente analisado em laboratório.

Este trabalho tem o objetivo de dissertar sobre os procedimentos de V&V recomendados em literaturas, independente de filosofia, criando uma lista de técnicas que podem ser aplicadas em diversos modelos, contribuindo para a orientação de pesquisadores na busca por uma análise mais crítica.

2. VALIDAÇÃO ESTATÍSTICA

A validação estatística tem a vantagem de possuir um resultado mais visível utilizando técnicas tradicionais da estatística, como o teste de hipóteses e os intervalos de confiança, onde por meio de cálculos o modelo pode ser validado.

Mas nem todos os autores gostam da utilização destas técnicas, como é o caso de Roy e Oberkampf (2010) que dizem que estimar os erros de aproximação numérica são praticamente iguais aos erros sistemáticos nas medidas experimentais, ou seja, muito mais difíceis de se identificar e quantificar.

Mas diversos estudos são realizados com validação estatística e novas técnicas sempre surgem, como pode ser visto em Sargent (2010).

3. TÉCNICAS EMPÍRICAS PARA VALIDAÇÃO DO MODELO

Sargent (2013) traz uma lista de técnicas, que Kleindorfer et al. (1998) classifica como empíricas, mas que são utilizadas em documentos e podem ser bons parâmetros para o pesquisador:

1. **Comparação com outros modelos:** o resultado do modelo pode ser comparado com os resultados obtidos por outros modelos já validados.
2. **Testes degenerados:** a degeneração do comportamento do modelo é testada por uma seleção apropriada de valores de entrada e parâmetros internos.
3. **Validade do evento:** é realizada uma comparação entre os "eventos" do modelo com o sistema real, para determinar se estes são semelhantes.
4. **Testes de condição extrema:** a estrutura e resultados dos modelos devem ser plausíveis com para qualquer condição extrema e improvável dos fatores do sistema, assim se um valor de entrada for zero e internamente também, a saída deve ser zero.
5. **Face validity:** especialistas são consultados se o modelo exhibe saídas e comportamentos razoáveis.
6. **Validação por dados históricos:** se houver uma série de experimentos já realizados e seus resultados formarem um registro histórico, parte dos dados são utilizados para construir o modelo e outra parte é utilizada no planejamento da validação do mesmo.
7. **Métodos históricos:** utiliza os conceitos da filosofia da ciência, sendo que o racionalismo exige que as suposições do modelo sejam claramente declaradas e que sejam prontamente aceitos. As deduções lógicas são usadas a partir desses pressupostos para desenvolver o modelo correto (válido). O empirismo exige que todas as hipóteses e resultados sejam empiricamente validados. O positivismo requer apenas que os resultados do modelo sejam corretos e não se preocupem com os pressupostos ou com a estrutura do modelo. a união das três pode ser realizada pelo método de multiestágio.
8. **Validade interna:** o modelo é executado várias vezes, sendo realizada a análise da variação interna de seus resultados. Sendo que uma grande variabilidade (falta de consistência) pode ser questionável, principalmente quanto a adequação do sistema que está sendo investigado.
9. **Parâmetros de variabilidade ou análise sensítiva:** são modificados os parâmetros de entrada e internos do modelo para se analisar seu comportamento ou saídas, sendo que as mesmas relações devem ocorrer tanto no modelo quanto no sistema real.
10. **Validação preditiva:** o modelo é utilizado para prever comportamentos do sistema real, quando os resultados do modelo são comparados com os resultados obtidos experimentalmente após a resolução do modelo, o modelo pode ser validado.
11. **Traços (traces):** os comportamentos de diferentes propriedade no modelo são rastreadas pelo modelo para determinar se a lógica está correta e se a precisão necessária é obtida.

12. **Teste de Turing:** os resultados experimentais e do modelo são entregues a especialista, por meio de gráficos operacionais, e estes devem determinar quais os resultados são do modelo e quais são do experimento, se não souberem responder, o modelo está validado.

4. CONCLUSÃO

Embora tenha-se muita confusão quanto a dificuldade do processo de validação, as técnicas que podem realmente mostrar e quantificar os erros e incertezas de um modelo podem ser facilmente aplicadas e de forma bem elaborada, conforme as técnicas aqui apresentadas.

5. REFERÊNCIAS

- BARTIÉ, A. *Garantia da qualidade de software: adquirindo maturidade organizacional*. Elsevier Brasil, 2013.
- KLEINDORFER, G. B.; O'NEILL, L.; GANESHAN, R. Validation in simulation: various positions in the philosophy of science. *Management Science*, 44(8), 1087–1099, 1998.
- KONIKOW, L. F.; BREDEHOEFT, J. D. Ground-water models cannot be validated. *Advances in water resources*, 15(1), 75–83, 1992.
- OBERKAMPF, W. L.; SINDIR, M.; CONLISK, A. Guide for the verification and validation of computational fluid dynamics simulations. *American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston, VA*, 1998.
- OBERKAMPF, W. L.; TRUCANO, T. G. Verification and validation in computational fluid dynamics. *Progress in Aerospace Sciences*, 38(3), 209–272, 2002.
- ORESQUES, N.; SHRADER-FRECHETTE, K.; BELITZ, K. Verification, validation, and confirmation of numerical models in the earth sciences. *Science*, 263(5147), 641–646, 1994.
- ROACHE, P. J. *A Defense of Computational Physics*. Hermosa Publishers, 2012.
- ROY, C.; OBERKAMPF, W. A complete framework for verification, validation, and uncertainty quantification in scientific computing. Em *48th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition*, p. 124, 2010.
- SARGENT, R. G. A new statistical procedure for validation of simulation and stochastic models, 2010.
- SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. *Journal of simulation*, 7(1), 12–24, 2013.