

ANÁLISE DE CUSTOS NO DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTOS MÉDICOS UTILIZANDO A FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL CFD COMO FERRAMENTA DE VALIDAÇÃO

Sergio Hernando Varela Vásquez¹

Régio Marcio Toesca Gimenes²

VÁSQUEZ, S. H. V.; GIMENES, R. M. T. Análise de custos no desenvolvimento de equipamentos médicos, utilizando a fluidodinâmica computacional CFD como ferramenta de validação. **Rev. Ciênc. Empres. UNIPAR**, Umuarama, v. 14, n. 2, p. 215-230, jul./dez. 2013.

RESUMO: Este estudo teve como objetivo apresentar a relação custo e benefício do desenvolvimento de um projeto usando CFD - Fluido Dinâmica Computacional, como ferramenta de validação de equipamentos médicos, pelo procedimento experimental de montagem, testes e validação física, a partir da estrutura estabelecida pelas BPF - Boas Práticas de Fabricação utilizadas no Brasil. O estudo destaca os principais pontos de controle de projetos, aplicando as validações da análise de fluidodinâmica computacional, demonstrando que o ambiente econômico atual, exige das empresas a busca de vantagens competitivas baseadas em altos níveis de qualidade, análise e viabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: CFD. Fluidodinâmica computacional. Ferramenta de validação.

COST ANALYSIS IN THE DEVELOPMENT OF MEDICAL EQUIPMENT USING A CFD COMPUTATIONAL FLUID AS A VALIDATION

ABSTRACT: This study aimed to present the cost and benefit relation of the development of a project using CFD - Computational Fluid Dynamics, as validation of medical equipment by the experimental procedure for assembling, testing and physical validation, from the structure established by GMP - Good Manufacturing Practices used in Brazil. The study highlights the main points of control projects, applying the validation of computational fluid dynamics analysis, demonstrating that the current economic environment requires enterprises to seek competitive advantages based on high levels of quality, analysis and viability.

KEYWORDS: CFD. Computational fluid dynamics. Tool validation.

¹Bacharel em Engenharia Eletrônica e Telecomunicações – Universidade Católica da Colômbia – UCC, Bogotá. Graduando MBA Executivo Gestão Empresarial – Universidade Paranaense – UNIPAR, Umuarama. E-mail: ing.sergio.varela@ingenieros.com

²Pós Doutor em Finanças Corporativas pela FEA/USP – São Paulo, SP, professor titular da Universidade Paranaense. E-mail: toesca@unipar.br

ANÁLISIS DE COSTOS EN EL DESARROLLO DE EQUIPAMIENTOS MÉDICOS UTILIZANDO FLUIDO DINÁMICA COMPUTACIONAL- CFD COMO HERRAMIENTA DE VALIDACIÓN

RESUMEN: Este estudio tuvo como objetivo presentar la relación costo y beneficio del desarrollo de un proyecto usando CFD – Fluido Dinámica Computacional, como herramienta de validación de los equipamientos médicos por el procedimiento experimental de montaje, pruebas y validación física, a partir de la estructura establecida por las BPF - Buenas Prácticas de Manufactura utilizadas en Brasil. El estudio destaca los puntos principales de control de proyectos, aplicando las validaciones de análisis del fluido dinámica computacional, lo que demuestra que el entorno económico actual exige de las empresas la búsqueda de ventajas competitivas basadas en los altos niveles de calidad, análisis y viabilidad.

PALABRAS CLAVE: CFD. Fluido dinámica computacional. Herramienta de validación.

1 INTRODUÇÃO

A fim de obter produtos ou equipamentos de alta qualidade, surgiram as BPF - Boas Práticas de Fabricação - descritas a princípio na Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n.º 59, emitida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, com o objetivo de possibilitar o desenvolvimento da qualidade e, assim, permitir a obtenção de produtos que cumpram com os requisitos do mercado atual brasileiro.

A busca pelo cumprimento dos objetivos inicialmente propostos na RDC 59 é atingida através da integração de diferentes passos do processo de desenvolvimento de qualquer projeto, e é aplicável e reproduzível no controle de qualquer tipo de indústria, os passos são os seguintes: iniciação, cronograma, pesquisa técnica, análises de dados, análises de riscos, desenhos, protótipos, planos de controle de inspeção, controles de matéria prima, alterações, validação e aprovação do projeto. Em cada fase é definido qual é o tipo de trabalho a ser realizado e quem deve estar envolvido, tudo isto é ligado com os objetivos, cronograma e indicadores que o gerente pretende atingir.

A validação é uma das principais etapas de garantia da qualidade, pois torna os produtos seguros, eficazes e confiáveis. Para validar seus produtos as indústrias devem seguir uma norma, no caso para equipamentos laboratoriais, devem cumprir os seguintes requerimentos: os propostos pela NBR ISO 17.025, de 2001 (requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaios e calibração)

e ABNT NBR ISO 13485, de 2003 (produtos para saúde - sistemas de gestão da qualidade - requisitos para fins regulamentares); ABNT NBR ISO 14971, de 2009 (aplicação de gerenciamento de risco a produtos para a saúde); e, finalmente, a resolução RDC 25, de 2009, que torna obrigatória a BPF brasileira para os fabricantes de equipamento para saúde.

Uma forma relativamente nova em alguns setores industriais especialmente na área da saúde é realizar os experimentos de validação dos equipamentos utilizando a fluído dinâmica computacional (*Computational Fluid Dynamics* – CFD), essa é uma técnica numérica de resolução de equações que governam o escoamento de fluídos e a transferência de calor em uma determinada geometria. Consiste na resolução numérica e simultânea das equações de conservação de massa, momento e energia (Equações de Transporte de Navier-Stokes) e de equações de estado. (NORTON; SUN, 2006; SCOTT; RICHARDSON, 1997).

O presente estudo objetiva verificar a viabilidade econômica da utilização de CFD como ferramenta de validação de processos, equipamentos ou máquinas na indústria da área da saúde comparando com o processo experimental da validação.

2 DESENVOLVIMENTO

No mundo moderno os maiores desafios para as indústrias passaram a ser a elevação dos índices de produtividade, a confiabilidade operacional, o atendimento da demanda com um nível de qualidade alto e as estratégias de custos diferenciadas. (KANNAN; SANDAKA, 2008).

2.1 Qualidade, pesquisa e desenvolvimento nos projetos da indústria

A globalização força as organizações a concorrer no mercado nacional e na maioria dos casos com os níveis internacionais. Considerando que a validação dos equipamentos é uma das principais ferramentas que garantem a qualidade, antes do produto ser liberado do setor de P&D – Pesquisa e Desenvolvimento – para o setor da produção, sua realização através dos projetos de fluído dinâmica computacional torna-se viável em equipamentos que necessitem para sua validação de testes físicos complexos e onerosos. Quando os estudos em CFD são aplicados, em equipamentos menos complexos, sua viabilidade é atestada pela diminuição dos testes físicos e, conseqüentemente, do tempo de trabalho necessário para validação.

Com o objetivo de atingir maior qualidade nos equipamentos, a empresa especificamente na área de P&D, aplica a técnica de fluído dinâmica computacional (*Computational Fluid Dynamics* – CFD) para validação de equipamentos

antes de serem aprovados e liberados para a área da produção. A aplicação desta técnica permite a realização de estudos mais complexos, além de possibilitar a substituição de experimentos físicos difíceis de serem realizados.

A análise de custos para uma empresa é um ponto chave para a obtenção de lucro, para conhecer os dados pode-se adotar diversos tipos de estratégia. Jericó e Castilho (2009, p. 8) apresentaram um método de custeio adaptado com cinco fases. Segundo os autores:

Os achados desse estudo mostraram-se exequíveis à aplicação do Custeio Baseado em Atividades no Centro de Material e Esterilização investigado, para o gerenciamento de custos e possibilitou conhecer as vantagens decorrentes dessas informações em nível gerencial, como a análise da relação de causa e efeito existente entre processo de realização das atividades e o consumo dos recursos, identificação de como as atividades influenciam o custo, permitindo acompanhar o desempenho dos processos a partir de dados financeiros e não financeiros, a fim de aperfeiçoar a prática gerencial. A complexidade do método também foi evidenciada, pois depende de exaustiva busca, construção e análise detalhada de dados e informações junto à unidade em análise, pessoas e vários serviços.

No controle de projetos um dos pontos chaves para garantir a qualidade é a validação de equipamentos. Destaca-se que em diversas áreas é comum o uso de análises matemáticas para dar respostas a diversos fenômenos. Nesse sentido, afirma Correia (2009, p.13):

A modelagem matemática é uma técnica que utiliza modelos experimentais e equações matemáticas para representar a essência de uma instalação real ou proposta sob investigação, com o objetivo de avaliar o comportamento deste sistema sob diversas condições. A Proposta CFD não é diferente, esta propõe um sistema interativo onde são aplicados valores e condições que são resolvidas ou “simuladas” por modelos matemáticos.

O mesmo autor afirma que a simulação pode ser definida como o processo de construção de um modelo e tratamento de dados que representa o desenvolvimento e resposta, apresentada pelo sistema real. A simulação deve oferecer dados da condução de experimentos possibilitando o entendimento do comportamento do sistema, assim como a avaliação da operação do sistema. (CORREIA, 2009, p.13).

Pode-se observar nas diferentes fontes teóricas que a técnica Fluido Dinâmica Computacional - CFD é usada em diversas avaliações em níveis de complexidade ou custos para fazer testes reais bastante altos. Também, é possível utilizar modelos matemáticos para analisar um fenômeno e obter uma série de

valores e resultados quantitativos, que não estão muito desviados dos resultados que se obtêm do *software* CFD.

Para uma empresa pequena ou micro empresa, esta prática é inovadora e fácil de se replicar em qualquer tipo de indústria, também se pode aplicar a diferentes tipos de equipamentos ou máquinas. Porém, a aplicação desta técnica de estudo computacional, se apresenta inovadora no setor da saúde. Cipolla et al. (2011, p. 8), em uma validação física e virtual, concluem:

A bomba centrífuga foi validada através de ensaio experimental em laboratório. Ao comparar os resultados do experimento físico e virtual para a validação, observou-se uma diferença máxima de 4,6% entre as curvas. De acordo com a norma ISO 9906 são admissíveis valores de incerteza tabelados por grandeza, de forma a obter 95% do nível de confiança global. Isto quer dizer que a incerteza considerada para a curva construída é de $\pm 5\%$. Esta pequena porcentagem de erro encontrada na validação dos resultados comprova a eficiência da ferramenta de CFD, Esta ferramenta é muito promissora para este tipo de análise hidráulica, pois fornece uma análise visual e detalhada de alta qualidade, na medida em que é possível visualizar o comportamento hidráulico da bomba e os fenômenos que ocorrem durante o escoamento do fluido. Assim, a mesma contribui com o seu desenvolvimento e aperfeiçoamento a um baixo custo e em um tempo menor. O baixo custo deve-se a economia na construção de protótipos e o tempo foi reduzido em um sexto do tempo de projetos anteriores à utilização do programa de CFD.

Os autores fizeram a validação de uma bomba centrífuga no CFD, merece destaque que possuíam toda a estrutura física para fazer a comparação e obtiveram um resultado de diferença tolerável pela norma internacional de qualidade. (CIPOLLA et al., 2011, p. 8).

Conforme Correia (2009, p. 27), diversos autores afirmam que o CFD é uma ferramenta muito confiável, utilizada em vários setores e atingindo os objetivos e resultados esperados. Afirma este autor:

O modelo CFD desenvolvido neste trabalho mostrou-se apto a descrever o experimento de forma realística e com riqueza de detalhes, permitindo testar a sensibilidade de parâmetros físicos e operacionais com respostas adequadas à natureza física do problema. Deste modo, testaram-se o aumento de adesividade nas paredes da célula e variações na tensão interfacial. Estas variações demonstraram que para os casos estudados, a redução da tensão interfacial do sistema permite obter melhor eficiência na recuperação de óleo. Assim, esse modelo se constitui em uma ferramenta valiosa para estudos fenomenológicos de sistemas de fluidos imiscíveis. O modelo produziu padrões de escoamento semelhantes aos experimentais, com o aparecimento de *ingers*, os quais são responsáveis pela perda da eficiência no bombeamento de óleo por meio da injeção de água.

Dentre as propriedades que se assemelharam, podemos citar a presença de competitividade entre os *fingers* e o estrangulamento da base deste, apresentados tanto na simulação quando nos dados experimentais. Com esses estudos, surge à possibilidade de se buscar a otimização das condições operacionais na indústria com ganho de produtividade. (CORREIA, 2009, p. 27)

A utilização de técnicas de modelamento matemático e das ferramentas de *software* que fazem a interpretação da transferência de calor na avaliação de tratamentos térmicos vem se mostrando uma poderosa ferramenta na garantia da segurança para diferentes áreas, sendo aplicável e reproduzível. (HAH, 1984).

Segundo Augusto (2002), a demanda pelo consumidor de produtos seguros e de maior qualidade e conveniência vem crescendo ao longo dos anos, estimulando o desenvolvimento de novos processos e tecnologias.

Por sua vez Kannan e Sandaka (2008), observam a necessidade de se conhecer melhor o fenômeno de transferência de calor associado aos tratamentos térmicos de alimentos líquidos para melhoria dos processos. Nesse sentido, Xia, Lim e Skrabalak (2009), a utilização de modelagem matemática por CFD na indústria de alimentos pode auxiliar esses desenvolvimentos.

Segundo Denton (1978) e Dawes (1986), a fluido dinâmica computacional provavelmente tem o papel mais importante no projeto de uma turbo máquina do que em qualquer outra aplicação da engenharia. Por muitos anos o projeto de uma turbina ou um compressor moderno seria impensável sem a ajuda da CFD e sua dependência tem aumentado, pois cada vez mais os escoamentos tornam-se propícios a uma predição numérica. Simulações em CFD são conduzidas durante as fases do projeto para se obter uma análise qualitativa da qualidade do projeto aerotermodinâmico.

No entanto, Denton (1978) e Dawes (1986), destacam que o uso do CFD é fortemente afetado pela metodologia numérica empregada e os recursos computacionais, sendo que os dois interagem entre si. Dessa forma, é importante ressaltar que uma solução numérica é uma aproximação de um fenômeno real do qual pode se desviar por diversos erros, como erros de aproximação, erros de arredondamento, erros propagados de erros iniciais, os quais devem ser avaliados e controlados de forma a produzir uma informação confiável sobre o campo de escoamento. Assim, a credibilidade do uso do CFD só pode ser estabelecida através de um rigoroso processo de verificação e validação. (MARINI; GATTINONI, 2004).

3 METODOLOGIA

O estudo foi realizado na empresa Sieger - Equipamentos Médicos Laboratoriais, localizada na cidade de Campo Mourão, estado do Paraná. Para a

análise da viabilidade econômica do uso da ferramenta CFD na validação de equipamentos, foram realizados dois procedimentos, o primeiro experimental e, na sequência, um procedimento computacional para comparação dos resultados. Foram analisados diferentes fatores como o tempo de desenvolvimento e o custo do tempo de realização dos procedimentos, entre outros. A análise de custos foi obtida por meio de um levantamento das variáveis econômicas pertinentes a cada tipo de estudo.

No primeiro caso, ou seja, no procedimento experimental, foi observada a variável de distribuição da temperatura. Para tanto, foi utilizado um termômetro externo digital de Vareta MV-363, da marca MINIPA, modelo MV-363, colocado em um dos furos de amostras do equipamento, para realizar um monitoramento de precisão com periodicidade de uma hora, para conferir com a tensão de saída do sensor LM35 incluso na placa eletrônica do equipamento. O LM35 é um sensor de precisão, que apresenta uma saída de tensão linear relativa à temperatura, em que verifica no momento em que for alimentado por uma tensão de 4-20VDC e GND (filtro graduado de densidade neutra), tendo em sua saída um sinal de 10mV para cada grau Celsius de temperatura. Todo o processo físico foi realizado durante 48 horas.



Figura 1: Procedimento experimental mini incubadora Germini 60 - 2012
Fonte: Elaborado pelo Autor

Os mesmos procedimentos foram realizados com auxílio de uma ferramenta de Fluido Dinâmica Computacional (CFD). O processo de utilização do

software se inicia pela escolha de um modelo matemático que caracterize de forma adequada ao problema estudado e, após a criação da geometria, mediante um conjunto de ferramentas de CAD disponíveis no aplicativo. De maneira geral as utilizações dos *softwares* de CFD possuem pelo menos três elementos principais:

Pré-processamento (escolha do modelo matemático, desenho da geometria, geração da malha).

Solução (escolha do *solver* adequado).

Pós-processamento (plotagem dos resultados em forma de figuras, tabelas e gráficos).

Para resolução dos processos de transferência de calor já descritos, se utilizou no *software* de CFD, um modelo matemático de transferência de calor por condução em sólidos e por convecção em fluídos.

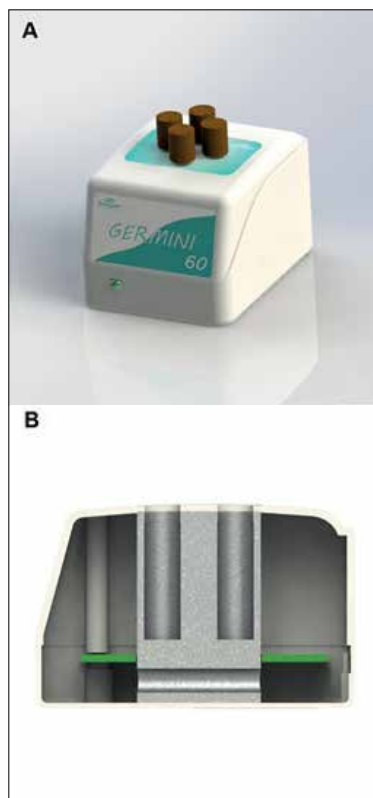


Figura 2: (A) Modelagem Mini Incubadora Germini 60;(B) Corte Lateral da Mini Incubadora Germini 60 – 2012

Fonte: Elaborado pelo Autor – SolidWorks 2012

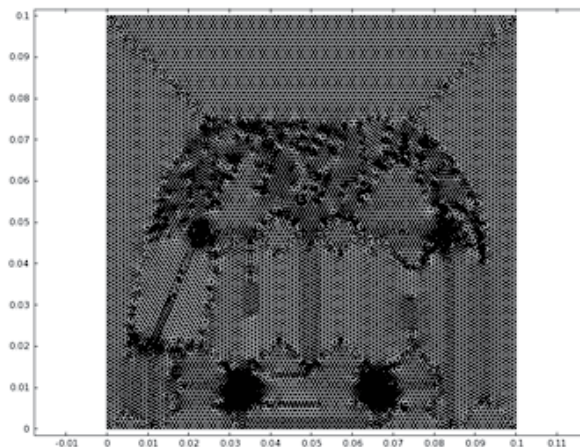


Figura 3: Malha gerada pelo *software* para a realização dos cálculos

Fonte: Elaborado pelo Autor – COMSOL Multiphysics™

Segundo Versteeg e Malalasekera (1995), existem três correntes distintas de técnicas para solução numérica em CFD, quais sejam: diferenças finitas, elementos finitos e volumes finitos. Neste presente estudo foi utilizado o método de elementos finitos para solucionar as equações e o *solver* PARDISO em modo estacionário, ou seja, sem dependência com o tempo de simulação.

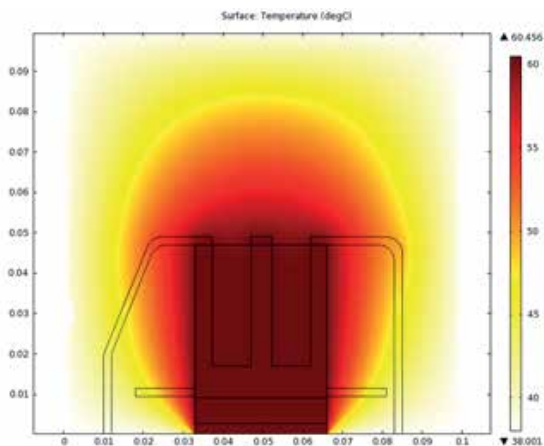


Figura 4: Simulação CFD - Contorno da temperatura interna e externa em graus Celsius da mini incubadora, em ambiente a 38 °C

Fonte: Elaborado pelo Autor – COMSOL Multiphysics™

4 RESULTADOS

Para uma melhor compreensão da análise elaborada, torna-se importante destacar primeiramente as diferenças mais notáveis entre os dois procedimentos, conforme demonstra o Quadro 1.

Quadro 1: Procedimento experimental *versus* procedimento CFD

Experimental	CFD
• Descrição dos fenômenos	• Previsão dos fenômenos
• Para só uma quantidade de cada vez	• Quantidades desejadas
• Número limitado de pontos e instantes	• Alta resolução de tempo e espaço
• Modelo em escala	• Domínio do fluxo real
• Variedade limitada de problemas e condições de operação	• Praticamente qualquer problema e condições de funcionamento real

Na empresa Sieger, foram analisadas as seguintes variáveis: a) custo por hora funcionário técnico (R\$1.500,00 x mês, R\$ 50,00 x dia, R\$ 6,25 x hora); b) custo uso ferramentas físicas; c) custo da matéria prima; d) custo de protótipo; e) testes de risco; f) o investimento que deve ser feito em uma licença do *software* CFD com o valor de R\$ 13.000,00 (se a licença for parcelada em um ano, sem juros, o investimento mensal é de R\$ 1.083,00 x mês), sendo que a empresa fica com uma licença vitalícia; g) *software* de design CAD, por exemplo, SolidWorks, a licença é de R\$ 6.500,00 x 1 ano, e após 1 ano a empresa fica com o programa e paga só R\$1.000,00 pelas atualizações.

Para os testes realizados, trabalhou-se com um equipamento que apresentou os seguintes custos: a) matéria prima R\$ 50,00; e, b) custo do protótipo R\$ 150,00. O funcionário deve usar segundo as normas de trabalho e qualidade, equipamento de proteção contra acidentes – EPI, com o seguinte custo: a) para uma tarefa sem alto risco R\$100,00.

Alguns dos equipamentos desenvolvidos na empresa, segundo as normas brasileiras de fabricação precisaram pagar validações externas, ou seja, laboratórios credenciados ou firmas especializadas para fazer este tipo de teste de risco, como são de destruição e condições extremas, os custos podem ser de R\$ 800,00 ou até valores mais altos, dependendo do tipo de equipamento que for desenvolvido. No Quadro 2, encontra-se a comparação entre os dois tipos de desenvolvimento.

Quadro 2: Comparação custo testes computacionais CFD *versus* testes físicos - mês

Testes CFD	Custo (R\$)	Testes Físicos	Custo (R\$)
Funcionário x 5 dias	250,00	Funcionário x 15 dias	750,00
<i>Software</i> CFD	1.083,00	<i>Software</i>	0,00
<i>Software</i> CAD	6.500,00	<i>Software</i> CAD	6.500,00
Serviços gerais	300,00	Serviços gerais	300,00
Protótipo	0,00	Protótipo	150,00
EPI (Equipamento proteção individual)	0,00	EPI (Equipamento proteção individual)	100,00
Ferramentas para o teste	0,00	Ferramentas para o teste	200,00
Teste de risco	0,00	Teste de risco	800,00
Matéria prima	0,00	Matéria prima	50,00
Total	8.133,00	Total	8.850,00

Pode-se verificar que no resultado, o total dos custos do procedimento CFD são mais baixos, no primeiro mês, em comparação com o procedimento físico, obtendo-se uma diferença de R\$ 717,00 entre os dois processos. Observa-se que se o custo do protótipo for muito mais alto, a diferença na análise entre os custos dos procedimentos anteriores é bastante significativa, ou seja a relação de custos é proporcional.

É importante destacar que o investimento pode ser feito por empresas de qualquer tamanho, CFD R\$ 13.000,00 e *SolidWorks* R\$ 6.500,00, sendo que atualmente as empresas que realizam design CAD e modelamento o usam. Assim, ao longo de um ano vão conseguir ter liberado o *software* vitalício CFD, e no caso de *SolidWorks* iriam pagar os custos de atualização, manutenção e suporte (R\$ 1.000,00 por ano), ou seja, após um ano praticamente a diferença dos custos entre os procedimentos CFD e experimental é baseado no custo do protótipo.

Outra diferença significativa entre os procedimentos está ligada a análise de custos e o tempo que funcionário leva para fazê-lo, o procedimento CFD é muito mais rápido. O protótipo precisa no mínimo dois funcionários para a montagem; o procedimento CFD é paralelo, por enquanto o teste do protótipo é sequencial; o CFD deixa claro que pode ser usado com multipropósito, e o procedimento experimental só vai ser usado com um propósito específico.

A partir das análises feitas pode-se afirmar que para qualquer dos casos anteriores precisa-se de mão de obra qualificada, que vai avaliar, melhorar e libe-

rar o produto, para os procedimentos feitos anteriormente. Durante a realização do estudo estavam presentes dois engenheiros, um eletrônico e um mecânico.

5 DISCUSSÃO

Com base nas pesquisas e autores apontados anteriormente pode-se afirmar que o CFD é bastante utilizado nas empresas de grande porte, pois o investimento neste tipo de *software* é recuperado rapidamente, pelos altos custos dos protótipos.

Em uma empresa de porte pequeno ou micro, o investimento pode ser parcelado pelo prazo de um ano. Nas figuras seguintes pode-se observar que o custo mais alto é do procedimento experimental, especificamente no tópico do protótipo. Os diversos pesquisadores apoiam os desenvolvimentos que podem ser avaliados por meio de modelos matemáticos, ou análises computacionais, pois sua confiabilidade, flexibilidade e margem de erro é muito baixa.

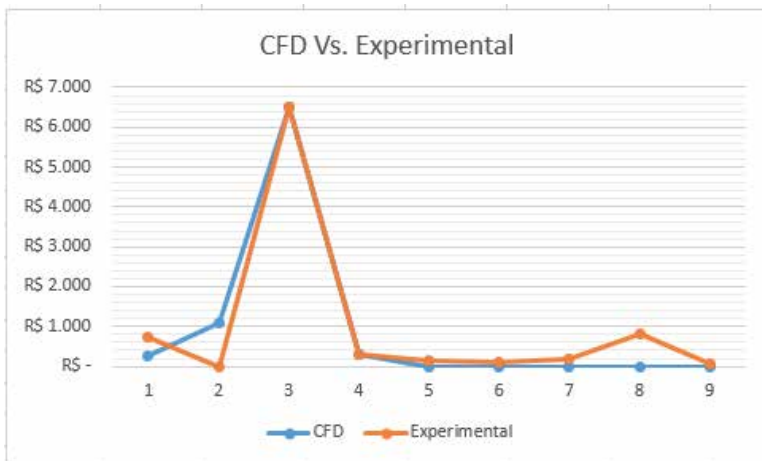


Figura 5: Análise CFD versus análise Experimental

Nota: O tópico 3 é o custo do *software* de design *SolidWorks*, e a diferença no tópico 5 é o custo do protótipo.

Fonte: Elaborado pelo Autor

As pesquisas realizadas demonstram que o procedimento CFD pode obter confiabilidade para realizar uma validação baseada no modelamento matemático e nas simulações do programa CFD. Para tanto, é necessário pessoal qualificado, mas com este procedimento é possível atingir vários tópicos ou objetivos do gerenciamento de projetos, os quais são replicas multipropósitos, relatórios

dos modelos matemáticos, relatórios dos desenhos, qualidade, confiabilidade e custos razoáveis.

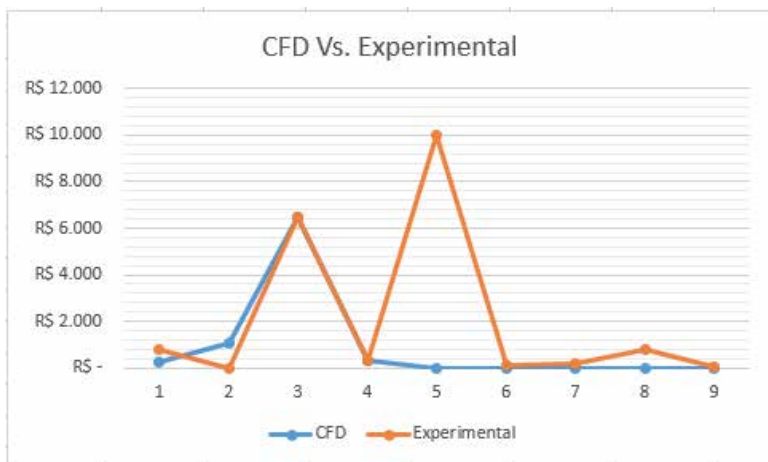


Figura 6: Análise CFD versus análise experimental

Nota: O tópico 3 é o custo do *SolidWorks*, e a diferença no Tópico 5 o custo do protótipo.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

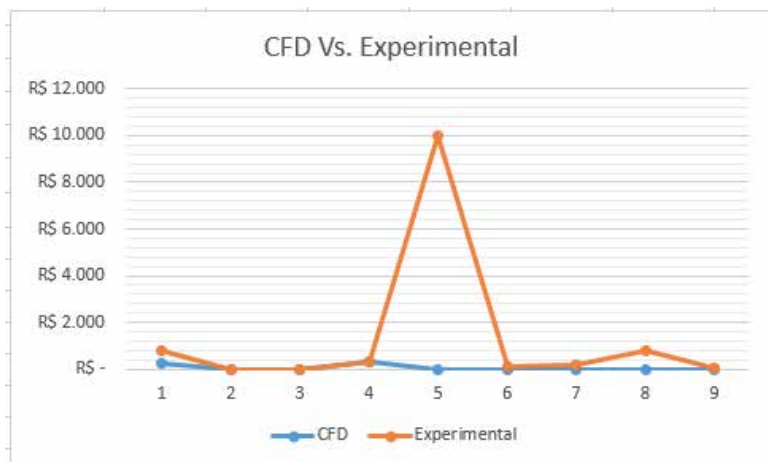


Figura 7: Análise CFD versus a análise experimental

Nota: O tópico 3 é o custo do *software* de design, e a diferença no tópico 5 o custo do protótipo.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Neste estudo pode-se comprovar que além da confiabilidade que os outros autores e pesquisadores têm justificado, existe um benefício na decisão de compra, pois será um investimento que trará a vantagem de possuir uma licença original, suporte e a confiabilidade de uma técnica que atualmente pode fazer a diferença no momento de elaborar as estratégias de economia de recursos financeiros em qualquer tipo de projeto.

6 CONCLUSÃO

As implantações dos projetos de CFD se tornam viáveis na validação de produtos que necessitem testes físicos complexos e onerosos, pois quando aplicados em equipamentos menos complexos sua viabilidade é atestada pela diminuição dos testes físicos e, conseqüentemente, do tempo de trabalho necessário para validação.

As simulações Flúido Dinâmicas Computacionais - CFD descreveram de forma adequada os fenômenos de transferência de calor dos equipamentos estudados. Mediante a comparação dos resultados computacionais com os testes físicos verificaram-se resultados muito parecidos em ambos os estudos.

As simulações permitiram a análise do equipamento em condições difíceis de serem representadas em testes físicos, garantindo de forma mais completa o funcionamento correto do equipamento, diminuindo riscos e tempo para validação dos equipamentos. Porém, torna-se necessário a existência de mão de obra qualificada para conseguir realizar procedimentos de P&D corretos e com a confiabilidade necessária para liberar o produto com qualidade no mercado.

Adotar uma sistemática de controle de projetos é um diferencial exigido pelo mercado que as organizações precisam alcançar e manter para atender as viabilidades de custos e investimentos. Entretanto, a crescente demanda por bens e serviços especializados e cada vez mais personalizados, faz com que o controle de projetos se apresente como uma forma de garantir o alcance do desempenho, mantendo a organização em condições favoráveis no mercado.

REFERÊNCIAS

AUGUSTO, P. E. D. et al. **Utilização de fluidodinâmica computacional (CFD) na avaliação de tratamentos térmicos de bebidas em garrafas.** Campinas, set. 2010. Disponível em: <<http://bj.ital.sp.gov.br/artigos/html/busca/PDF/v13n4431a.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. ANVISA. Resolução RDC nº 59, de 27 de junho de 2000. Dispõe sobre a implementação de requisitos de boas práticas

de fabricação de produtos médicos. Disponível em: <<http://www.sbpc.org.br/upload/conteudo/320101202142144.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2012.

CIPOLLA, E. Z. et al. Avaliação da distribuição de velocidades em uma bomba centrífuga radial utilizando técnicas de CFD. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 3. Universidade Federal de Itajubá, set 2011. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/novo/rbrh_completas/RBRHV16N3_Completa.pdf#page=70>. Acesso em: 27 jul. 2012.

COMSOL, Inc. is releasing version 3.2 of COMSOL Multiphysics™, a scientific-modeling package whose new features boost productivity throughout the entire modeling and simulation process. A single-user license for COMSOL Multiphysics 3.2 costs. Disponível em: <<http://www.chemicalprocessing.com/vendors/products/2005/108.html>>. Acesso em: 20 jul. de 2012.

CORREIA, J. Estudo da interface água/óleo no âmbito da indústria do petróleo com ênfase em software de simulação fluidodinâmica (CFD). Florianópolis, mar. 2009. Disponível em: <http://www.das.ufsc.br/~plucenio/TFB/Graduacao/Jeferson%20Correia/Jeferson%20Correia_PRH34_UFSC_ENQ_G.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2012.

DAWES, W. N. A numerical analysis of three-dimensional viscous flow in a transonic compressor rotor and comparison with experimental data. ASME paper 86-GT-16, 1986.

DENTON, J. D. Throughflow calculations for transonic axial 26 Denton, J. D. Lessons from rotor 37. J. Thermal Sci., flow turbines. **Trans. ASME. J. Engng for Power**, v. 6, n.1, p. 100, Apr. 1977.

HAH, C. A Navier–Stokes analysis of 3D turbulent flows inside turbine blade rows. **Trans. ASME, J. Engng for Power**, v. 106, p. 421-429, 1984.

JERICÓ, M. de C.; CASTILHO, V. Gerenciamento de custos: aplicação do método de custeio baseado em atividades em centro de material esterilizado. **Revista Esc Enferm, USP**. São Paulo, nov. 2010. Disponível em: <www.ee.usp.br/reeusp/>. Acesso em: 29 jul. 2012.

KANNAN, A.; SANDAKA, P. C. G. Heat transfer analysis of canned food sterilization in a still retort. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 2, p. 213-228, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.007>>. Acesso em: 28 jul. 2012.

MARINI, J.; GATTINONI, L. Ventilatory management of acute respiratory distress syndrome: A consensus of two. **Crit Care Med.** v. 32, p. 250-255, 2004.

NORTON, T.; SUN, D. W. Computational fluid dynamics (CFD) – an effective and efficient design and analysis tool for the food industry: a review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 17, n. 11, p. 600-620, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2006.05.004>>. Acesso em: 28 jul. 2012.

SIMÕES, M. R. **Simulação computacional de escoamento turbulento em compressor axial utilizando ferramenta de CFD, UFRJ/COPPE.** Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://fenix3.ufrj.br/60/teses/coppe_m/MarceloRodriguesSimoes.pdf>. Acesso em: 15 maio 2013.

SCOTT, G.; RICHARDSON, P. The application of computational fluid dynamics on food industry. **Trends in Food Science and Technology**, v. 8, n. 4, p. 119-124, 1997. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2244\(97\)01028-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2244(97)01028-5)>. Acesso em: 23 jun. 2012.

VERSTEEG, H. K.; MALALASEKERA, W. **An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method.** Harlow: Pearson Education, 1995.

XIA, Y. et al. Shape-controlled synthesis of metal nanocrystals: Simple chemistry meets complex physics? **Angewandte Chemie-International Edition**, v. 48, n. 1, p. 60-103, 2009.