

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL, ESSÊNCIA DA AGILIDADE, TECNOLOGIA E VIRTUALIZAÇÃO COM VASTA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA MANUFATUREIRA EM GERAL

S. L. S. Moura^{1, *}; F. S. Walczak²; R. A. Moura²

1 Diretoria de Ensino da região de Taubaté, Praça oito de maio, 28, Centro, Taubaté/SP
CEP: 12030-200, Brasil. Telefone: (12) 3625-0710

2 Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos - Professor Jessen Vidal
Av. Cesare Mansueto Giulio Lattes, 1350 - Eugênio de Melo, São José dos Campos/SP,
CEP: 12247-014, Brasil. Telefone: (12) 3905-2423

*silvialosamo@uol.com.br

RESUMO: Este artigo de revisão tem fulcro na indústria manufatureira referindo-se ao uso de ferramentas computacionais e atividades de simulação na criação e desenvolvimento de projetos ou bens de consumo para serem comercializados. Nesse viés, este artigo propõe apresentar a tecnologia como agente gerador de economia, flexibilidade e agilidade na construção de projetos incorporando a interatividade, testes de interferência, requisitos de segurança, qualidade e meio ambiente, além de ajustes necessários apontados por uma complexa modelagem matemática. Conclui-se que com um satisfatório treinamento e familiarização com a tecnologia de simulação computacional, haverá um impacto positivo e menos oneroso para novos projetos e para o desenvolvimento de novos produtos.

PALAVRAS-CHAVE: simulação computacional; flexibilidade; novos produtos.

ABSTRACT: This review article focuses on the manufacturing industry by referring to the use of computational tools and simulation activities in the design and development of consumer goods or projects to be marketed. In this bias, this article proposes to present technology as a generator of economy, flexibility and agility in the construction of projects incorporating interactivity, interference tests, safety, quality and environment requirements, as well as necessary adjustments pointed out by a complex mathematical modeling. It is concluded that with satisfactory training and familiarization with computer simulation technology, there will be a positive and less costly impact on new projects and new product development.

KEYWORDS: computer simulation; flexibility; new products.

1. INTRODUÇÃO

Na computação, a simulação consiste em empregar formalizações em computadores, tais como expressões matemáticas ou especificações formalizadas, com o propósito de imitar um processo ou operação do mundo real.

Desta forma, para ser realizada uma simulação, é necessário construir um modelo computacional que corresponda à situação real que se deseja simular, como demonstra a Figura 1 ao simular uma onda.

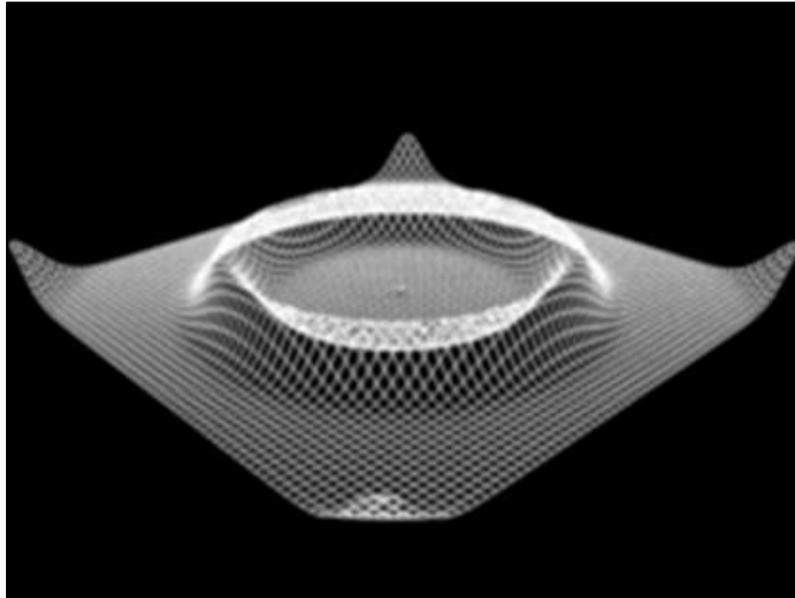


Figura 1. Simulação de uma onda marinha.

A simulação computacional de sistemas, ou apenas simulação, utiliza técnicas matemáticas, que permitem imitar o funcionamento de praticamente qualquer tipo de operação ou processo do mundo real.

Dessa forma, é possível estudar o comportamento de sistemas reais através de modelos matemáticos virtuais, para definir dados reais e conduzir experimentos com o propósito de entender o comportamento, esforços e avaliar melhorias estratégias para sua manufatura ainda no mundo virtual.

A forte concorrência de mercado entre produtos e suas organizações, cada vez mais complexa, seja por exigência do cliente ou pela descoberta de novas tecnologias, busca por desenvolver, produzir e testar seus produtos que estão cada vez mais diversificados e com ensaios de qualidade (PINTO e FONTENELLE, 2013).

Segundo Zorzal *et. al.*, (2011), o desenvolvimento de sistemas simulados e ergonômicos, com boa usabilidade e adaptativos, tende a impactar positivamente no sentido da eficiência e produtividade na interação homem-máquina, fazendo com que o usuário atinja seus objetivos com um menor esforço e maior satisfação.

Neste sentido a simulação e o emprego da realidade aumentada pode facilitar a visualização e manipulação, reproduzindo os dados sob a forma de objetos tridimensionais, permitindo, dessa forma, aumentar a capacidade de percepção do usuário e ao mesmo tempo, dar a possibilidade de combinar os modelos de representações virtuais em um ambiente real diretamente relacionado a finalidade do projeto em estudo (ZORZAL *et. al.*, 2011).

Para Mainelli (2018), a tecnologia de simulação computacional, deve ser uma realidade nas empresas desenvolvedoras e fabricantes, independente de seu ramo, forma e tamanho. Cada vez mais, as empresas estão utilizando a simulação para mudar a maneira como o trabalho é feito e para gerar melhores resultados para toda a organização e seus clientes.

As organizações baseadas em serviços, estão entre as primeiras a adotar essa nova tecnologia de simular e testar virtualmente. Além das prestadoras de serviços, há ainda uma ampla gama de empresas, interessadas em ambientes de simulação com realidade aumentada para atender necessidades específicas, visando a transferência do conhecimento e do treinamento, nas áreas de engenharia, vendas, marketing e fabricação (PINTO e FONTENELLE, 2013).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Cuperschmid *et. al.*, (2015) a simulação computacional proporciona a visualização de forma interativa dos modelos virtuais aos elementos reais auxiliando os indivíduos durante a execução das tarefas e tornando possível a validação momentânea da mesma ou ainda seu aspecto estético. Nesse sentido, a simulação e a realidade aumentada contribui para minimizar erros que poderiam surgir durante o processo de montagem do produto, o que é essencial na fase de concepção, pois reduz os custos de alterações do produto.

Segundo Gaspari *et. al.*, (2013) a montagem e manutenção em equipamentos complexos, como motores, conjuntos de peças ou até mesmo equipamentos eletrônicos, são atividades que demandam profissionais qualificados, muito tempo para execução do procedimento e é provável que todo o conhecimento necessário para realizar a tarefa seja perdido com o passar do tempo. Isso acontece devido ao fato de que cada equipamento possui um padrão de montagem único e quem está realizando o processo de montagem ou sua manutenção pode esquecer uma etapa, principalmente por falta de experiência ou devido à alta complexidade desta atividade, o que pode ser minimizado, se houver um trabalho padrão simulado.

2.1. Simulação computacional

Para Dini e Mura (2015) a simulação computacional e realidade aumentada são ferramentas de interação homem-máquina que sobrepõe informações geradas por computador no ambiente real e podem ser descritos como um conjunto de três características principais, isto é, pela combinação de objetos reais e virtuais em um ambiente real, pela interação em tempo real com o sistema, capaz de reagir ao usuário e pelo alinhamento geométrico dos objetos virtuais aos reais no mundo real.

De acordo com Jetter *et. al.*, (2018) as ferramentas de simulação computacional, estão preparadas para serem uma grande ferramenta de vanguarda nas organizações quando se trata de processos no campo de aplicações industriais, como construção ou manutenção industrial.

A tecnologia centrada no ser humano exibe informações 3D contextuais em um ambiente real relacionado a objeto específico. Com isso espera-se que experiências imersivas aumentem a eficiência da tarefa, a qualidade do treinamento e fins de manutenção. No entanto, a simulação como ferramenta pronta para o mercado ainda é raramente usada e seus benefícios timidamente demonstrados (ZORZAL *et. al.*, 2011).

2.2. Dispositivos para simulação e realidade aumentada

Segundo Pereira *et. al.*, (2017) os softwares de simulação podem ou não contar com marcadores para referenciar o objeto.

Os marcadores auxiliam no posicionamento e exibição dos objetos virtuais, sendo estes, pré-definidos durante a construção da aplicação e podem ser desde imagens simples até desenhos mais complexos e abstratos, pois o marcador é um dispositivo identificador da simulação e da realidade aumentada gerando o objeto virtual sobre a marca real (PEREIRA *et. al.*, 2017).

Um dos recursos para melhorar a simulação, são os chamados óculos inteligentes (*smart glass*) e que são considerados parte da quinta geração de mídia, conhecida como geração dos dispositivos de realidade aumentada, ou seja, tecnologias vestíveis que mesclam realidades virtuais e físicas e tem um enorme potencial como os óculos inteligentes, que criam valor para a indústria e o seu uso como dispositivo pode oferecer uma vantagem para aumentar a eficiência além de aprimorar ou melhorar o desempenho das tarefas existentes (RAUSCHNABEL *et. al.*, 2015). Na Figura 2 demonstra-se um óculos inteligente sendo usado.



Figura 2. Óculos inteligente, evolução dos dispositivos de simulação

2.3. Dispositivos para simulação e realidade aumentada automotiva

O sistema de simulação sem marcador é muito relacionado a realidade aumentada porque usa diversos componentes eletrônicos que estão presentes nesses dispositivos como o acelerômetro, bússola, giroscópio, GPS que são capazes de determinar sua posição no mundo real e com isso, as informações virtuais podem ser posicionadas na tela em ambiente real, conforme Figura 3.



Figura 3. Tecnologia embarcada de simulação para mobilidade urbana

A capacidade de modelagem dinâmica na simulação e estudo das conformações contam com dois tipos de aproximações, ou seja, modelagem com grãos grosseiros e modelagem baseada em elipsóides de todo o corpo associada a modelos de modelagem de esferas. Esta associação é adequada para estruturas complexas que estudam detalhes dos esforços estruturais sendo tal método baseado em um ambiente matemático e algoritmo do elemento da formulação nas condições de contorno, pois, a construção dos modelos corresponde à interação entre as estruturas e o simulado executado (AMORÓS, 2010). O método de simulação tem sido usado para simular fenômenos de transição de fase tridimensional, dissolução, congelamento e fusão, com geometria e topologia de interface complexas e em mudança propagada pela conservação de massa ou energia (HU *et. al.*, 2015).

Siguenza *et. al.*, (2015) investigaram um método de contorno imerso para resolver as interações entre a estrutura do fluido e a membrana da cápsula interna e externa que apresentaram um método de modelo matemático finito para simular a solidificação de queda em uma placa fria e investigaram os efeitos e impactos nos parâmetros da taxa de crescimento. O problema incluiu interfaces sólidas e líquidas, sólidas e ar e líquido e ar que foram explicitamente rastreadas com superposição axisimétrica (HWANG *et. al.*, 2014).

Pivello *et. al.*, (2014) simularam uma bolha inicialmente zigzagueando e uma bolha ascendente. Eles apresentaram um método de simulação totalmente adaptável para simulação de fluxos tridimensionais. Uma estratégia adaptativa de refinamento de malha foi usada para resolver as equações de Navier-Stokes, ou seja, para resolver as equações diferenciais que descrevem o escoamento de fluidos, derivadas parciais que determinam os campos de velocidade e de pressão durante o esforço e escoamento.

Um algoritmo ou uma sequência finita de ações executáveis que visam obter uma solução para um determinado tipo de problema como procedimentos precisos, não ambíguos, mecânicos, eficientes e corretos, foi aplicado à interface lagrangiana, função de um sistema expressa nos termos das coordenadas generalizadas, da taxa de variação coordenadas por um tempo “ t ” dada matematicamente pela diferença entre a energia cinética e a energia potencial, dimensões e volume da geometria, podendo algumas vezes, interpolar a velocidade com o auxílio de um algoritmo adicional que corrige e recupera o volume geométrico (KIRNER e KIRNER, 2011).

De Jesus *et. al.*, (2015) apresentaram um método de contorno frontal com habilidades adaptativas de refino de malha combinados com um esquema de volume finito e uma equação linear.

Este método pode ser implementado efetivamente em discretização de diferença finita, uma vez que inclui condição de estudar problemas de interação bidimensional de colisões utilizando o método de simulação computacional, sendo possível dimensionar a geometria, cargas, condições de contorno e elementos finitos (PAN, 2010).

A estabilidade mecânica tem fatores de crescimento que podem ser previstos pelo método e modelo matemático. Para obter sua relação, estabelece-se um novo modelo baseado em modelos previamente publicados, ou seja, análise de elemento finitos que é utilizada para investigar os estímulos mecânicos, pontuando equações diferenciais parciais utilizadas para simular as atividades do fator de crescimento e deformação (FREITAS F^o, 2008).

Em síntese, a simulação apresenta um modelo para estudar as reações físicas e mecânicas do corpo estudado na distribuição espacial e temporal de fatores de crescimento através de análise computacional de simulação entre a mecânica, física e deformação seguida de conformação (IVASCHENKO, KHORINA e SITNIKOV, 2018).

2.4. Softwares de simulação computacional na Engenharia

A Engenharia automotiva foi a primeira a adotar de maneira mais significativa a simulação computacional, utilizando-a para otimizar o desempenho aerodinâmico de seus automóveis com simulações em tuneis de vento. Dentre os softwares de simulação que abrangem a área térmica alguns dos mais utilizados são o ANSYS, Ideal, MARC e MITAS. A construção do modelo a ser utilizado é a parte mais demorada no desenvolvimento da simulação. Primeiro deve-se definir alguns parâmetros, como o tipo de elemento a ser utilizado na simulação, dentre os mais de 100 disponíveis. Para isso é necessário analisar o tipo de simulação a ser feito, bidimensional ou tridimensional, e características necessárias ao elemento, como os graus de liberdade. A parte da construção da geometria do elemento é a mais demorada, haja vista que deve haver certa fidelidade na construção do modelo, no entanto simplificações e alterações podem ser adotadas de modo a otimizar a simulação, levando em conta que quanto mais complexa a geometria em questão, maior será a quantidade nós na malha do modelo final (PINHO e MORAIS, 2010).

2.5. Softwares para o método dos elementos finitos

O método dos elementos finitos é um método de interpolação que utiliza polinômios para a aproximação da solução de um determinado problema, analisando a estática e dinâmica, determinística e estocástica, suas geometrias irregulares, deslocamentos e deformações de diversos tipos de materiais com inclusão de não linearidades, carregamentos e condições de contorno

complexos. O software de simulação foi o ANSYS utiliza elementos finitos para a resolução de problemas de natureza mecânica, térmica e eletromagnética (CHWIF e MEDINA, 2014).

A simulação pelo método de elementos finitos calcula as temperaturas nodais e a partir dessas obtém outros parâmetros térmicos. O programa trabalha com os três principais modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação. Além dos modos de transferência de calor pode-se simular efeitos como transformações de fase e geração interna de energia. A liberação do calor latente durante a solidificação não pode ser trabalhada de maneira direta dentro programa sendo necessário ser tratada através do método da entalpia. O ANSYS pode realizar a análise térmica tanto em regime transiente como em regime estacionário. Esse trabalho trata o processo de solidificação como um processo de regime transiente, adotando o tempo de simulação de 425 segundos, tempo este suficiente para observar a completa solidificação do lingote no modelo proposto (BATEMAN e HARREL, 2005), conforme Figura 4.

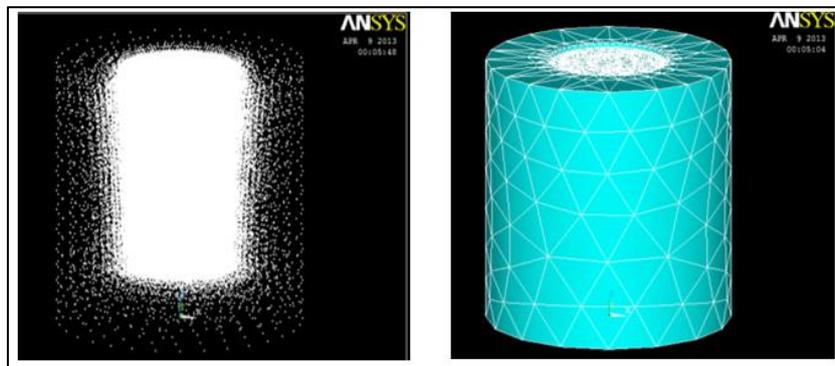


Figura 4. Representação do modelo com malha e seus respectivos nós.

A simulação foi realizada em quatro níveis de malhagem diferentes de modo que pudesse se verificar a convergência dos resultados obtidos. A malha foi refinada em pontos específicos do modelo, como nas bordas dos elementos e na interface metal/molde, visando otimizar os resultados sem aumentar demasiadamente o tempo de simulação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo baseou-se na análise bibliométrica de artigos sobre a simulação computacional e seus vieses publicados e revisados nas duas últimas décadas em periódicos, com o objetivo de caracterizar e analisar seus conhecimentos, além de identificar lacunas para orientar novos estudos científicos na melhoria da aplicabilidade, treinamento e advento de novas profissões e formas de se projetar, testar e definir produto para o início regular de produção.

O processo de simulação pode ser descrito pelo iterativo algoritmo ao longo do tempo. Dentro do tempo determinado, o algoritmo inclui obtenção da concentração de fator de crescimento e controle lógico para simular diferenciação tecidual com um algoritmo implementado pela cosimulação de Abaqus/Standard versão 6.13-3 e MatLab versão R2017 (GÓMEZ-BENITO, GARCÍA-AZNAR e KUIPER, 2005).

3.1. Desenvolvimento de um equipamento para transporte de carga aérea

O dispositivo projetado soluciona um problema ergonômicos da indústria, visando eliminar o esforço físico de seus operadores e diminuindo os riscos de acidente, por permitir que os operadores o manuseie com o menor esforço possível e uma altura ergonômica adequada.

Após o projeto informacional, foi desenvolvido um modelo matemático com renderização dos modular para ser possível a simulação computacional de como seriam as peças e o processo de fabricação do dispositivo conforme Figura 5.

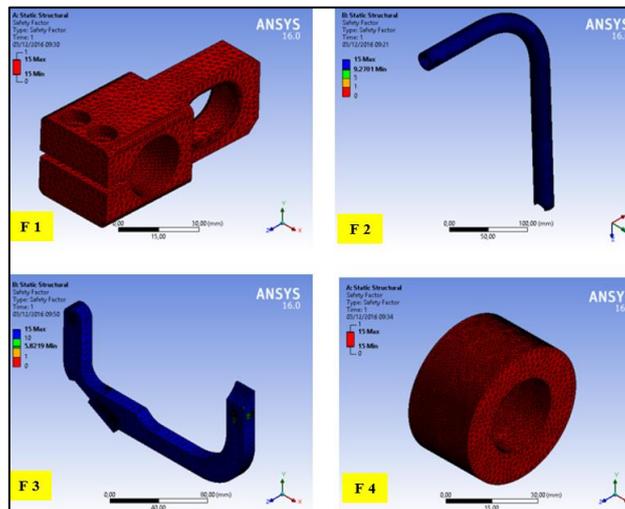


Figura 5. Renderização com simulação da aparência e detalhes das peças.

Conforme a Figura 5, as peças renderizadas, demonstram uma análise simulada e elementos finitos sendo que no item F1 o olhal de içamento, no item F2 cabo de manejo ou viga suporte, na F3 suporte de apoio e centralizador de gravidade do dispositivo e na F4 o mancal de giro, O *software* de simulação utilizado foi o ANSYS®.

3.2. Simulação e análise dos esforços mecânicos e carregamentos

Os esforços mecânicos são o principal foco da simulação computacional na Engenharia, pois todo o estudo gira em torno de como dimensionar uma peça ou elemento de máquina para que suporte os efeitos que os esforços mecânicos gerados por uma estrutura geral ou específica estarão atuando sobre a mesma como é demonstrado na Figura 6.

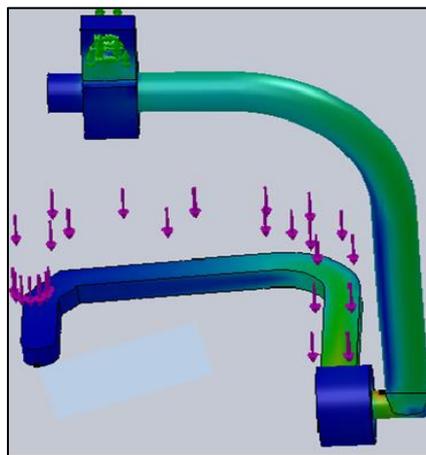


Figura 6. Simulação e análise dos esforços mecânicos e carregamentos

A força aplicada sobre um corpo numa direção perpendicular à sua superfície de corte e num sentido com potencial de ruptura. Uma peça estará sendo tracionada quando a força axial aplicada estiver atuando com o sentido dirigido para o seu exterior (AFFONSO, 2002).

3.2. Dispositivo simulado (renderizado) e dispositivo fabricado

Após realizados todos os passos de simulação, ensaios virtuais com modelos, matemáticos e os resultados experimentais obtidos das simulações executadas com ajuda do *software* ANSYS®, decidiu-se pela construção do dispositivo com a mesma característica que foi simulado. Na Figura 7, tem-se a imagem virtual renderizada do dispositivo (F7a) e na imagem (F7b) o dispositivo construído.

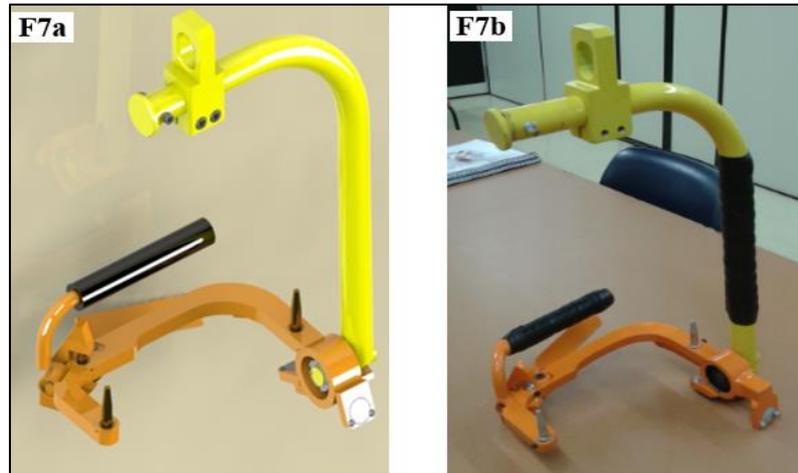


Figura 7. F7a: imagem do dispositivo renderizado e F7b: dispositivo fabricado

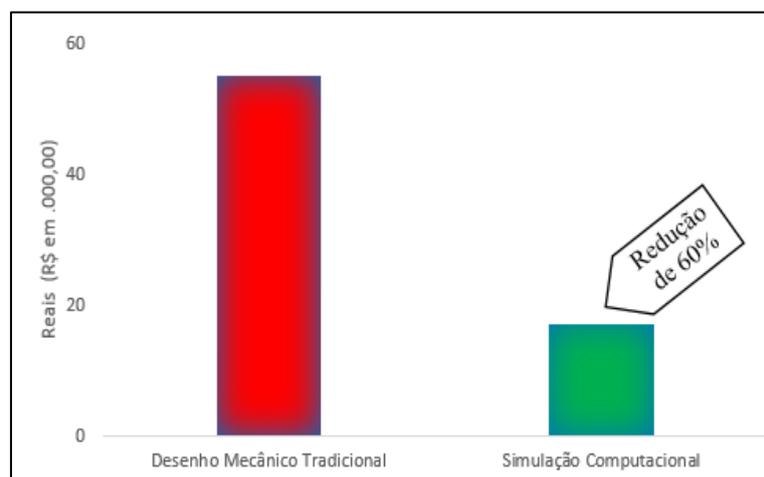
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são os mais vantajosos para as indústrias manufatureiras em geral, pois, a revisão com foco nas ferramentas computacionais, como simulação, modelos matemáticos, renderização e ensaios mecânicos de esforços e concentrações de cargas, possibilitou a fabricação do dispositivo fiel ao que foi elaborado com auxílio computacional.

Características de vanguarda como tecnologia, rapidez, desenvolvimento econômico, flexibilidade, agilidade nos ensaios e construção de produtos, são metas constantes desejadas pelas organizações fabris frente a sua concorrência.

O Gráfico 1 demonstra comparativamente os custos com redução de até 60% entre o modelo tradicional de desenvolvimento de um projeto e o modelo por simulação computacional.

Gráfico 1. Comparativo dos custos (R\$) de um projeto tradicional e por simulação



5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizado uma revisão de experimentos, modelagem e simulação como ferramenta técnica para investigar os esforços, as dinâmicas e as propriedades dos materiais que compõem o dispositivo mecânico.

Os resultados simulados, indicaram não haver complexidade no desenvolvimento do projeto, permitindo a construção de um dispositivo com altíssima semelhança e similaridade, que será manuseado, movimentado e exigido como testado em ambiente virtual por computador.

Já o estudo virtual da distribuição de carga, indentificou o ponto de equilíbrio de forma que a exigência mecânica, a simetria, favoreça as correlações entre o dispositivos e esforços exigidos, manutenção da vida útil e princiaplamente a funcionalidade com segurança.

Conclui-se que os resultados obtidos foram favoráveis, e que os aspectos relevantes como treinamento e familiarização da tecnologia de simulação computacional, devem ser disseminados para que impactem positivamente no mundo da criação de projetos e desenvolvimento de peças, além de contribuir para uma nova classe operária com cargos e profissões na área de desenvolvimento e simulações computacionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFONSO, L. O. M. Equipamentos Mecânicos: análise de falhas e solução de problemas. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

AMORÓS, D.; ORTEGA, A.; HARDING, S.E.; GARCÍA DE LA TORRE, J. Multi-scale calculation and global-fit Analysis of hydrodynamic properties of biological simulation: Determination of overall conformation of antibody IgG molecules. *Eur. Biophys. J.* **2010**, 361-370.

BATEMAN, ROBERT; HARREL, CHARLES. Simulação Otimizando os Sistemas. 1 ed São Paulo: IMAM e Belge Simulação, 2005. 142 p. ISBN 85-89824-43-8.

CHWIF, LEONARDO; MEDINA, AFONSO C. Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações. 4ª edição. São Paulo: Elsevier Brasil, 2014. 320 p. ISBN 978-8535279320.

CUPERSCHMID, A. R. M.; GRACHET, M. G.; FABRICIO, M. M. **Realidade Aumentada como auxílio à montagem de parede em wood-frame**. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, v. 6, n. 4, p. 266-276, dez. 2015. ISSN 1980-6809. Disponível em: <http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8640947>. Acesso em dez.2018.

DE JESUS, W. C., A. M. ROMA, M. R. PIVELLO, M. M. VILLAR, AND A. D. SILVEIRA-NETO (2015). **A 3d frontracking approach for simulation of a two-phase fluid** with insoluble surfactant. *Journal of Computational Physics* 281, 403 – 420.

DINI, G.; MURA, M. D. **Application of Augmented Reality Techniques in Through-life Engineering Services**, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115008033>. Acesso em janeiro de 2019.

GASPARI, T.; SEMENTILLE, A. C.; MARAR, J. F. **Sistema de Realidade Aumentada para o treinamento em montagem e manutenção de equipamentos**, 2013. Disponível em: <http://www.br-ie.org/pub/index.php/wcbie/article/viewFile/2714/2368>. Acesso em fevereiro de 2019.

GÓMEZ-BENITO, J. M.; GARCÍA-AZNAR, J. H.; KUIPER, M. D. Influence of fracture gap size on the pattern of long bone healing: A computational study. *J. Theor. Biol.*, vol. 235, no. 1, pp. 105_119, Jul. 2005, doi: 10.1016/j.jtbi.2004.12.023.

FREITAS F^o, P. J. Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas: com Aplicações em Arena. 2. ed. Florianópolis: Visual Books Ltda., 2008. 372p. [ISBN 978-85-7502-228-3](#).

HU, Y., Q. SHI, V. F. DE ALMEIDA, AND X. LI (2015). Numerical simulation of phase transition problems with explicit interface tracking. *Chemical Engineering Science* 128, 92-108.

HWANG, Y. H. AND C. H. CHIANG (2014). Tracking methods to study the surface regression of the solid-propellant grain. *International Journal of Engineering and Technology Innovation* 4, 213.

IVASCHENKO, A.; KHORINA, A.; SITNIKOV, P., **Accented Visualization by Augmented Reality for Smart Manufacturing Applications**, 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8390759>. Acesso em janeiro de 2019.

JETTER, J.; EIMECKE, J.; RESE, A. **Augmented reality tools for industrial applications: What are potential key performance indicators and who benefits?**, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S074756321830222X>. Acesso em janeiro de 2019.

KIRNER, C.; KIRNER, T. G. **Evolução e Tendências da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada**. No XII Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada, 2011. Disponível em: http://de.ufpb.br/~labteve/publi/2011_svrps.pdf#page=10. Acesso em janeiro de 2019.

MAINELLI, T. **How Augmented Reality Drives Real-World Gains in Services, Training, Sales and Marketing, and Manufacturing**. IDC, 2018. Disponível em: < <https://www.tristar.com/wp-content/uploads/2018/08/IDC-AR-Use-Cases-Report.pdf> > Acesso em março de 2019.

PAN, D. (2010). A Simple and Accurate Ghost Cell Method for the Computation of Incompressible Flows Over Immersed Bodies with Heat Transfer. *Numerical Heat Transfer B* 58(1), 17-39.

PEREIRA, P. F., LOURENÇO, P. G. e BERGAMASCHI, M. P. **Fundamentos de Realidade Aumentada**, 2017. Disponível em: <http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat/article/view/1191/1118>. Acesso em janeiro de 2019.

PINHO, A. F; MORAIS, N. S. Utilização da simulação computacional combinada à Técnica de otimização em um processo produtivo. *Revista P&D em Engenharia de Produção* V. 08 N. 02, p. 88-101, 2010.

PINTO, R. S.; FONTENELLE, M. A. M. **Desdobramento Função Qualidade - QFD no Processo de Desenvolvimento de Produtos: Aplicação Prática**, 2013. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STP_181_033_22774.pdf. Acesso em jan.2019.

PIVELLO, M. R., M. M. VILLAR, R. SERFATY, A. M. ROMA, AND A. SILVEIRA-NETO (2014). A fully adaptive front tracking method for the simulation of two phase flows, *International Journal of Multiphase Flow* 58, 72-82.

RAUSCHNABEL, P. A., BREM, A., RO, Y. K. **Augmented Reality Smart Glasses**, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Alexander_Brem/publication/279942768_Augmented_Reality_Smart_Glasses_Definition_Conceptual_Insights_and_Management_Importance/links/5721ec2e08ae857c3b5dd6c/Augmented-Reality-Smart-Glasses-Definition-Conceptual-Insights-and-Managerial-Importance.pdf. Acesso em janeiro de 2019.

SIGUENZA, J., R. MOZUL, F. DUBOIS, D. AMBARD, S. MENDEZ, AND F. NICOUD. (2015). *Numerical methods for modeling the mechanics of flowing capsules using a front-tracking immersed boundary method*, Procedia IUTAM 00.

ZORZAL, E. R.; CARDOSO, A.; KIRNER C. **Aplicações Adaptativas de Visualização de Informações com Realidade Aumentada**. No XII Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada, 2011. Disponível em http://de.ufpb.br/~labteve/publi/2011_svrps.pdf#page=10. Acesso em jan.2019.