

# PROTOTIPAGEM RÁPIDA E MODELAGEM PARAMÉTRICA EM UM CONTEXTO COMPETITIVO

## RAPID PROTOTYPING AND PARAMETRIC MODELING IN A COMPETITIVE CONTEXT

Marcos Martins Borges<sup>1</sup>

### RESUMO

O presente trabalho relata experimentos realizados no contexto da competição universitária SAE Aero Design e os resultados obtidos com a utilização de modelagem tridimensional paramétrica e recursos de prototipagem rápida. Essa competição propõe a equipes formadas por estudantes de cursos universitários do setor de tecnologia, principalmente das engenharias, o projeto, fabricação e participação em competição de uma aeronave não tripulada, radiocontrolada e que necessita atender a especificações e critérios bastante objetivos, impostos pelo regulamento. Os experimentos relatados aqui foram realizados para a competição na categoria Micro, que tem o sistema de propulsão baseado em hélice movida a motor de passo de corrente contínua e alimentada por bateria recarregável. Entre as restrições e regras impostas pelo regulamento da categoria, estão a necessidade de transportar a maior carga paga possível, o alojamento para transporte da aeronave em uma caixa de volume pré-estabelecido, tempo reduzido de montagem e desmontagem do conjunto, entre outras. Os resultados obtidos demonstraram eficácia no uso desses recursos e permitiram um significativo aumento de desempenho do produto final, refletido em melhores colocações na competição.

**Palavras-chave:** Modeladores paramétricos; prototipagem rápida; aeromodelo controle remoto; competição universitária.

### Abstract

This paper reports experiments and results from the SAE Aero Design competition with the use of parametric modeling and rapid prototyping. Among the rules, there is the higher load capacity, small size for transportation and reduced time for the aircraft assembly and disassembly. In the case reported here, the team was able to use the parametric modeler resources more deeply. It was used the simulation modules for load tests and for the fabrication of complex geometries in the wing root assembly. It allowed for a better time in the prototype fabrication and in the assembly time.

**Keywords:** Parametric modelers; rapid prototyping; remote controlled aircraft; undergraduate competition.

---

<sup>1</sup> Professor Assistente III, Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora – Campus da UFJF; marcos.borges@engenharia.ufjf.br

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os cursos de engenharia em geral têm incentivado a realização de atividades complementares práticas em seus currículos, com intuito de enriquecer o conhecimento trabalhado dentro de sala de aula e propiciar um contexto prático de aplicação dos conteúdos teóricos. Tais atividades são amparadas legalmente pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei nº 9394/96), através de seu artigo 5º. Entre as atividades como iniciação científica, monitorias e participações em empresas-juniores, têm-se o desenvolvimento de protótipos para as competições tecnológicas promovidas por entidades ligadas à mobilidade como opção bastante eficaz.

Dentre as diversas modalidades existentes atualmente, destaca-se para os objetivos deste trabalho a competição Aero Design, promovida pela SAE (*Society of Automotive Engineers*). Entre competições de formato semelhante, destacam-se também o BAJA e a Fórmula SAE.

A SAE nasceu na primeira década do século XX, nos Estados Unidos, com o nome de *Society of Automobile Engineers*, quando se verificou a necessidade de se organizar a ainda jovem indústria automobilística. As necessidades de proteção intelectual, compartilhamento de problemas e soluções técnicas, desenvolvimento de padrões de engenharia, entre outros fatores, levaram à sua criação em 1905. Inicialmente, essa organização estaria voltada primordialmente para a área técnica da indústria automobilística (SAE, 2011).

No ano de 1916, a *Society of Automobile Engineers* contava com 1.800 membros e, na conferência daquele ano, representantes de outras sociedades semelhantes, como a *American Society of Aeronautic Engineers*, *Society of Tractor Engineers*, entre outras, puderam perceber a importância de se organizar em torno de objetivos e padrões comuns, principalmente a indústria aeronáutica, que dava seus primeiros passos. Dessa forma, a partir daquele encontro em 1916, nascia uma sociedade que representaria engenheiros ligados a todas as formas de mobilidade. O termo “automotivo” foi cunhado por Elmer Sperry, com base no Grego “autos” (próprio) e no Latim “motivus” (movimento). A

*Society of Automobile Engineers* se transformava, assim, em *Society of Automotive Engineers* (SAE, 2011).

Atualmente, a competição SAE Aero Design propõe que equipes formadas por estudantes de graduação no setor de tecnologia, principalmente as engenharias, desenvolvam todo o ciclo de vida de um produto, incluindo o projeto, teste, simulação, fabricação e competição de uma aeronave não tripulada.

Nesse aspecto, a competição se divide em três categorias distintas, cada uma com seu regulamento próprio. São elas: a categoria Micro, categoria Regular e categoria Aberta. Os experimentos realizados para a competição se deram na categoria Micro, que têm o sistema de propulsão baseado em hélice movida a motor de passo de corrente contínua e alimentada por bateria recarregável. Entre as restrições e regras impostas pelo regulamento da categoria, estão a necessidade de transportar a maior carga paga possível, o alojamento para transporte da aeronave em uma caixa de volume pré-estabelecido, tempo reduzido de montagem e desmontagem do conjunto, entre outras.

Nesse contexto, o presente trabalho relata experimentos realizados durante a competição universitária SAE Aero Design, categoria Micro, e apresenta resultados parciais obtidos com a utilização de modelagem tridimensional paramétrica e recursos de prototipagem rápida.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Pesquisadores da área de Educação em Engenharia têm enfatizado a necessidade de se ir além da tradicional dicotomia entre teoria e prática. Alguns autores apontam que o contexto de aplicação da teoria e da prática permite a construção do conhecimento científico e tecnológico por parte dos alunos de forma eficaz e compatível com as demandas do mercado profissional (OLIVEIRA, 2000).

Uma das abordagens consagradas nesse sentido é a Aprendizagem Baseada em Projetos, ou *Project Based Learning* (PBL), como é mais amplamente conhecida. O tema já é bastante explorado na literatura e em anais de congressos da área de Educação em Engenharia (TODESCO, 2016).

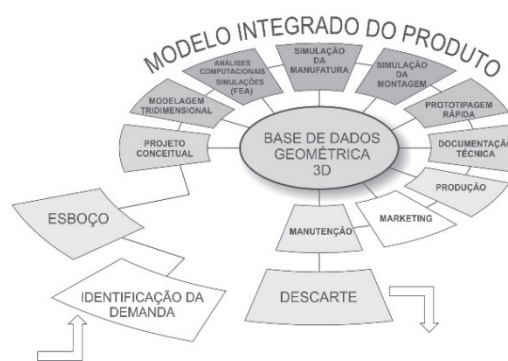
Esta abordagem se mostra bastante convergente com processos de ensino e aprendizagem em contextos competitivos, como é o caso do Aero Design. Além disso, a abordagem do PBL está em consonância com as metodologias necessárias para a participação eficaz nas competições. Essas metodologias se relacionam de forma significativa com as atuais teorias e abordagens metodológicas para o desenvolvimento de produtos, e, associadas às ferramentas computacionais disponíveis atualmente, permitem uma significativa mudança em métodos e processos de projeto.

Do ponto de vista dos processos de ensino e aprendizagem da representação gráfica e dos conteúdos relativos ao projeto de produtos, sempre houve uma separação que vai no sentido contrário à integração eficaz dessas áreas de conhecimento. Em síntese, defende-se aqui a indissociabilidade entre representação e projeto no âmbito da educação no setor de tecnologia (BORGES, 2016).

A ideia da indissociabilidade entre meios de representação e o processo de projeto leva ao conceito de modelo integrado do produto. Esse aspecto de simultaneidade no processo de projeto considera a integração de diversas áreas de conhecimento nos estágios iniciais do desenvolvimento do produto. Dessa forma, a possibilidade de eliminação ou a previsão de erros, a otimização e a integração de funções do produto são possíveis nos estágios iniciais em que são tomadas decisões de grande impacto em diversas características do produto (FABRICIO, 2002; BORGES, 2004; NAVEIRO, 2001).

A estrutura desse modelo permite entender a associação entre os conteúdos de representação gráfica e o processo de projeto. Proposto pelo grupo liderado por Barr (1994), na universidade do Texas, essa estrutura foi denominada modelo único do produto ou modelo integrado do produto (Figura 1). O conceito está estruturado a partir de um núcleo central que se configura como a base de dados geométrica do artefato, que evolui ao longo do processo de projeto, recebendo e fornecendo informações às diversas etapas do desenvolvimento do produto.

Figura 1 – Modelo Integrado do produto.



Fonte: adaptado de Barr (2012).

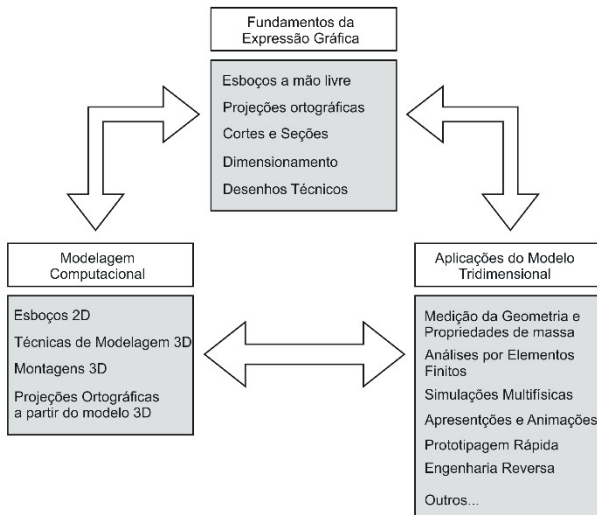
Verifica-se que diversos aspectos relacionados ao ciclo de vida do produto estão vinculados a essa base geométrica que, por sua vez, incorpora informações e conhecimento à medida que se avança desde a concepção do produto até o seu descarte.

Nesse contexto, a modelagem tridimensional paramétrica pressupõe que o artefato será representado como um modelo sólido, que traduz uma contrapartida virtual do seu correspondente físico. Assim, as estratégias para a modelagem devem considerar esse aspecto importante, no qual cada peça individual de um equipamento é reproduzida virtualmente em um modelo sólido, não só com suas características geométricas, mas também com suas propriedades específicas relativas ao material associado ao modelo. Em um modelador tridimensional paramétrico, ao contrário dos modeladores com características estáticas, é possível a edição de dimensões de forma bidirecional (valor interagindo na geometria e vice-versa), as informações sobre processos de fabricação são incorporadas, as características de um material específico podem ser atribuídas ao modelo sólido, o histórico do processo de modelagem é registrado e disponibilizado, existe um ambiente completo de modelagem de peças e montagem do conjunto (LEAKE; BORGERSON, 2008).

A Figura 2 apresenta três grandes áreas relacionadas tanto às competências vinculadas aos fundamentos da expressão gráfica quanto ao que se refere às ferramentas computacionais de apoio ao projeto (BARR, 2012). Verifica-se que as aplicações do modelo tridimensional incorporam competências e habilidades referentes a processos de projeto e manufatura

em engenharia, e estão fortemente vinculadas e dependentes das áreas relacionadas à representação e modelagem tridimensional. As análises possíveis através de protótipos virtuais se concretizam a partir do modelo geométrico gerado.

Figura 2 – Áreas de competência.



Fonte: adaptado de Barr (2012).

Dessa forma, neste trabalho, é considerado o conceito de parametrização de acordo com uma abordagem mais técnica e vinculada aos processos atuais de desenvolvimento de produtos. Tal abordagem considera, na modelagem, os processos de fabricação que irão gerar as peças em desenvolvimento, incorporando, assim, conceitos de engenharia simultânea e gerenciamento do ciclo de vida dos produtos.

Essa abordagem precisa considerar a dimensão dos fundamentos de representação gráfica e de modelagem do produto e, especialmente nos processos de ensino e aprendizagem nessas áreas, estratégias e recomendações que levem em conta esse cenário mais vinculado ao uso profissional das ferramentas.

Alguns autores apresentam estudos nesse sentido (FOGGIATTO; VOLPATO; BONTORIN, 2007), propondo recomendações para orientar a modelagem 3D, permitindo, assim, que os modelos sejam facilmente utilizados por todos os envolvidos no desenvolvimento do produto. Dessa forma, é possível tornar os modelos gerados mais flexíveis e reutilizáveis de forma eficiente. Com isso, seria possível pro-

gramar modificações nas peças de forma rápida e sem a necessidade de remodelagem.

A título de ilustração, podemos considerar a parametrização no nível de componentes independentes de um produto, representados como entidades geométricas únicas que possuem geometria específica e material específico. De forma mais detalhada, existe a parametrização no nível de cada entidade geométrica, como, por exemplo, os furos em uma peça modelados como entidades geométricas independentes e que podem ser editados e replicados em padrões lineares e circulares. A possibilidade de atualização da geometria, quando um parâmetro é modificado, oferece ao projetista uma liberdade considerável para avaliar soluções alternativas (LEAKE; BORGERSON, 2008).

Além disso, um parâmetro relativo a uma entidade geométrica também pode ser expresso através de uma equação ou uma relação de valores. Um exemplo simples seria uma relação dimensional do tipo  $d_0 = 2 * d_1$ . Assim, se  $d_1 = 5$ ,  $d_0 = 10$ . Se o valor de  $d_1$  é alterado para 10, o valor de  $d_0$  passa a ser 20. Essa relação poderia ser estabelecida entre a espessura e o comprimento de uma peça.

## As etapas de trabalho

Adicionalmente, relata-se de forma breve as experiências em andamento no contexto das disciplinas de representação gráfica que são cursadas pelos alunos da equipe SAE Aero Design. Tais disciplinas atuam como formação básica nos conceitos de modelagem paramétrica tridimensional e capacitam de forma adequada os membros das equipes de competição do Aero Design, além de outras equipes, como é o caso da competição BAJA.

Especificamente, o conteúdo da disciplina é dividido em três partes principais. A primeira se inicia de forma tradicional, com os alunos frequentando aulas expositivas e práticas, através da elaboração de exercícios utilizando técnicas de esboços à mão livre. Os conteúdos abordados estão relacionados desde conceitos básicos de geometria descritiva até as projeções ortográficas, perspectivas isométricas, cortes, dimensionamento e construções geométricas. Os alunos desenvolvem as tarefas a partir de material impresso (perspectivas isométricas de

peças mecânicas simples), sem o uso de instrumentos de desenho e uso mínimo de borracha.

Na segunda parte, os exercícios são elaborados a partir de modelos físicos tridimensionais, tanto para a construção de projeções ortográficas quanto para o desenho de perspectivas isométricas. Nessa etapa também se solicita que os desenhos sejam feitos à mão livre. Nessa progressão, alguns conteúdos mais detalhados são incorporados nos exercícios.

Essa etapa da disciplina corresponde a aproximadamente 50% da carga horária programada e possibilita que se aborde, de maneira sucinta, o conteúdo básico do desenho técnico. Os objetos tridimensionais utilizados são modelos de peças didáticas fabricados em madeira, no próprio laboratório, e peças mais complexas, que são parte das máquinas utilizadas para o trabalho final em equipe.

Na terceira parte, os alunos iniciam as atividades no laboratório de informática com o objetivo de trabalhar com ferramentas computacionais de modelagem sólida paramétrica, utilizando o *software* SolidWorks. Nessa etapa da disciplina, a intenção é proporcionar uma familiarização com o ambiente digital. São executados exercícios com um nível de complexidade geométrica crescente. São elaborados em torno de seis a oito exercícios, nos quais são trabalhadas as ferramentas principais de modelagem e edição de sólidos.

Nessa etapa final da disciplina, os alunos executam medições e modelagem de peças de equipamentos mecânicos selecionados no laboratório de fabricação. O objetivo é a capacitação em tarefas mais complexas de modelagem tridimensional, dando continuidade aos exercícios anteriores. Nessa fase, as peças a serem modeladas já fazem parte do equipamento que vai ser objeto do trabalho final da disciplina, atribuído a grupos de quatro a cinco alunos.

O atual arranjo do espaço físico utilizado pela disciplina contribui para um andamento bastante eficaz das tarefas. O laboratório de informática fica em sala ao lado do laboratório de fabricação, onde se encontram as máquinas, equipamentos e peças que são objeto de exercícios e do trabalho final da disciplina.

Nesse cenário é que se inserem as experimentações realizadas para o projeto desenvolvido pela equipe SAE Aero Design da UFJF.

## Parâmetros de projeto

A abordagem tradicional utilizada pela equipe para a elaboração do projeto e fabricação da aeronave sempre foi a utilização de um modelador paramétrico tridimensional e a plotagem em papel das vistas ortográficas dos componentes para posterior fabricação, montagem do conjunto e testes físicos de resistência mecânica.

No caso relatado aqui, a equipe decidiu aprofundar a utilização dos recursos oferecidos pelo *software* e analisou alguns conceitos básicos de projeto, como estudos de movimento, simulação da resistência mecânica dos componentes sob carga paga e carga aerodinâmica e, por fim, a fabricação de protótipos físicos de alguns componentes e conjuntos com a utilização de prototipagem rápida.

Foi utilizada uma impressora de baixo custo com filamento de PLA, que apresenta baixa taxa de contração. O PLA também possibilita boa resistência mecânica nas peças acabadas. Essa abordagem mais integrada permitiu a realização de testes de protótipos em tempo bastante menor do que os praticados anteriormente, além da simulação de diversas alternativas com tempo e custos bastante reduzidos. Como resultado da estratégia utilizada, foi possível, além da redução de tempo no processo de projeto e testes, o atendimento das especificações do regulamento, especialmente no que se refere à redução de tempo de montagem e desmontagem, que ficou abaixo de 60 segundos. Adicionalmente, a realização de testes e estudos de movimento possibilitados pelo *software* permitiu o desenvolvimento de um sistema articulado de encaixe das semiasas que reduziu significativamente o volume final da aeronave em modo de transporte. Tais resultados permitiram que a equipe melhorasse seu desempenho e obtivesse uma classificação melhor no *ranking* geral da competição.

A proposta de desenvolvimento de uma aeronave não tripulada no âmbito da competição SAE Aero Design, estabelece regras e parâmetros que foram seguidos pela equipe. Essas regras direcionam o processo de projeto e auxiliam no estabelecimento de métodos específicos no processo de tomada de decisões.

Destaca-se aqui a necessidade de transportar a maior carga paga possível, o alojamento para transporte da aeronave em uma caixa de volume pré-estabelecido e o tempo reduzido de montagem e desmontagem do conjunto. Tais restrições e condicionantes de projeto devem ser atendidas de acordo com cronograma estabelecido pela SAE Aero Design. O cumprimento do cronograma e das metas estabelecidas faz parte dos critérios de avaliação que determinam a posição da equipe ao final da competição. O projeto como um todo deve ser desenvolvido ao longo de um ano, entre uma competição e outra, e inclui desde as primeiras considerações conceituais sobre geometria da aeronave, passando por simulações computacionais, projeto definitivo, fabricação de protótipos e testes em voo.

Além disso, foram realizados ensaios mecânicos em diversos materiais especificados no projeto e utilizados na fabricação da aeronave.

Nesse contexto dinâmico, para o desenvolvimento do produto, é muito importante a utilização de ferramentas de projeto que proporcionem a rapidez necessária para o cumprimento do cronograma. Dessa forma, optou-se no desenvolvimento do projeto pela utilização do *software* SolidWorks como ambiente integrado de desenvolvimento do produto final. Outras plataformas são utilizadas, mas em contextos mais específicos. A ferramenta integradora do processo é o modelador tridimensional sólido paramétrico.

## RESULTADOS

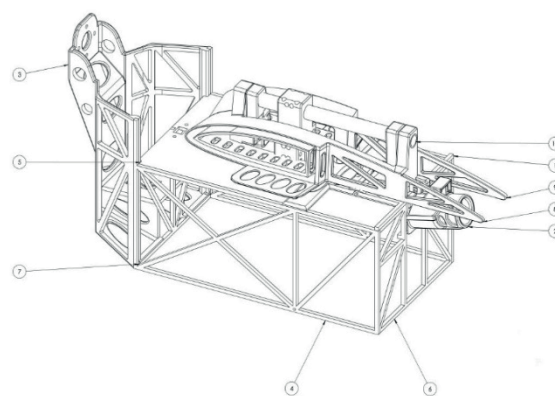
O projeto desenvolvido com a utilização de uma abordagem estruturada e integrada, com a utilização de tecnologias de prototipagem rápida, permitiu a avaliação de diversos parâmetros aerodinâmicos, assim como a fabricação de partes estruturais e funcionais do modelo, em tempo muitas vezes inferior aos praticados em competições anteriores.

No caso específico relatado aqui, os melhores resultados foram obtidos no projeto e

modelagem do conjunto apresentado na Figura 3. Essa submontagem incorpora cinco partes fundamentais da aeronave. São elas:

- 1) Montante do motor na parte dianteira do conjunto (peça 3).
- 2) Estrutura do compartimento de carga (peça 4).
- 3) Encaixes das raízes das asas (peças 8 e 9).
- 4) Montante da estrutura da fuselagem (peça 2).
- 5) Articulador do movimento das asas (peça 10).

Figura 3 – Desenho de conjunto.

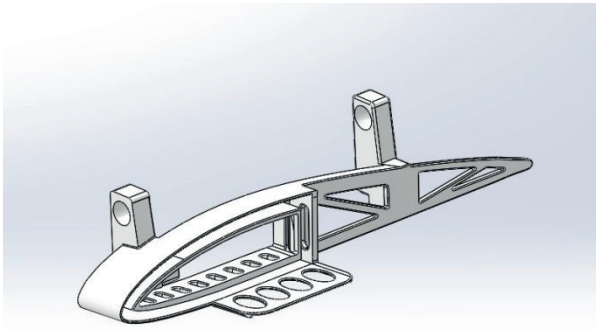


Fonte: disponibilizado pelo autor.

Esse conjunto se mostra como integrador da aeronave como um todo, e foi possível ser projetado em uma abordagem integradora discutida na fundamentação teórica. Em uma breve descrição das soluções projetadas, verifica-se que a peça 10 permite a articulação e rotação das asas para uma posição vertical, o que facilita a montagem e permite o armazenamento do conjunto em espaços reduzidos. Todo o conjunto foi projetado considerando a fabricação de suas partes em impressora 3D, com a utilização de filamento de PLA.

A Figura 4 apresenta o exemplo da complexidade de uma peça impressa em filamento de PLA. Em uma rápida avaliação, pode-se argumentar que o tempo para a fabricação dessa peça seria bem maior se fosse considerada uma abordagem tradicional de fabricação.

Figura 4 – Peça da raiz da asa.



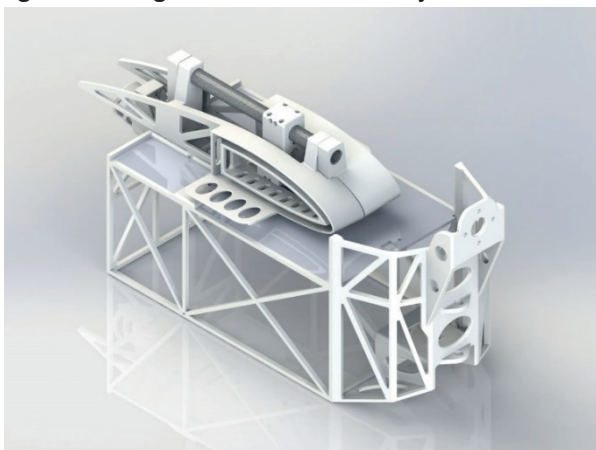
Fonte: disponibilizado pelo autor.

Foram realizados testes de carga na estrutura utilizando-se o módulo de análise de carga estática do SolidWorks. Os ajustes necessários na estrutura para suportarem a carga máxima prevista foram feitos com facilidade no modelo 3D. Foi necessária apenas a impressão de três protótipos para o resultado final ficar satisfatório.

Após a aprovação do protótipo virtual pelas análises realizadas, foi possível a construção em tempo bastante reduzido de dois protótipos operacionais para os testes em vôo e participação na competição. Esse resultado se mostrou significativamente melhor que os apresentados em anos anteriores, quando o projeto foi desenvolvido sem a utilização dessas ferramentas computacionais.

A Figura 5 apresenta uma imagem renderizada do conjunto a partir do módulo de renderização incorporado no *software* utilizado.

Figura 5 – Imagem renderizada do conjunto.



Fonte: disponibilizado pelo autor.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo apresentou aspectos do desenvolvimento de produtos por estudantes de engenharia em um contexto competitivo. Foi possível verificar o potencial de integração do processo de projeto e redução de tempo, a partir da formação de competências em um novo cenário relativo aos processos de ensino e aprendizagem da representação gráfica.

Verificou-se também a necessidade de incorporação de práticas de gestão ao processo de desenvolvimento da aeronave de forma a tornar mais eficaz a utilização das ferramentas computacionais.

Dessa forma, o desenvolvimento futuro e desdobramentos da pesquisa objetivam a incorporação de ferramentas de gestão ao processo, assim como o estabelecimento de indicadores quantitativos para a aferição mais precisa dos resultados alcançados.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão de recursos no âmbito do Projeto Santos Dumont, que permitiram o desenvolvimento da pesquisa e dos resultados apresentados aqui.

## REFERÊNCIAS

- BARR, R. E. Engineering Graphics Educational Outcomes for the Global Engineer: An Update. **Engineering Design Graphics Journal (EDGJ)**, V. 76, N. 3, p. 8-12, Fall, 2012.
- BORGES, M. M. **Proposta de um ambiente colaborativo de apoio aos processos de ensino/aprendizagem do projeto**. Tese (Doutorado) - COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.
- BORGES, M. M. O uso de modeladores tridimensionais paramétricos na formação de competências de representação gráfica e raciocínio espacial no processo de projeto. **Revista Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 11, n. 1, 2016.
- FABRICIO, M. M. **Projeto simultâneo na construção de edifícios**. Tese (Doutorado) - USP, São Paulo, 2002.
- FOGGIATTO, J. A.; VOLPATO, N.; BONTORIN, A. C. B. **Recomendações para modelagem em sis-**

temas **CAD-3D**. 4º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, Estância de São Pedro, 2007.

LEAKE, J. M.; BORGERSON, J. L. **Engineering Design Graphics**: sketching, modelling and visualization. New York: John Wiley & Sons, 2008.

NAVEIRO, R. M. Conceitos e metodologias de projeto. In: \_\_\_\_\_. **Projeto de Engenharia, Arquitetura e Desenho Industrial**. Juiz de Fora: Editora da UFJF, 2001.

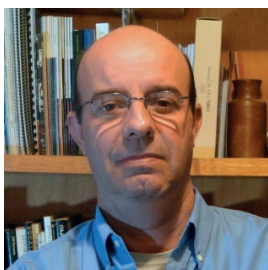
OLIVEIRA, V. F. Uma proposta para a melhoria do processo de ensino/aprendizagem nos cursos de Engenharia Civil. Tese (Doutorado) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

SAE. **An abridged history of SAE**. Disponível em <<http://www.sae.org/about/general/history/>>. Acesso em 24 abr. 2011.

TODESCO, J. L.; CAMPOS, A.; Aprendizagem Baseada em Projetos: uma experiência em sala de aula para compartilhamento e criação do conhecimento no processo de desenvolvimento de projetos de software, **COMPETÊNCIA: Revista de Educação Superior do SENAC, RS**, v. 9, n. 2, 2016.

---

### DADOS DO AUTOR



Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pelo Instituto Metodista Bennett (1991), mestrado em Engenharia de Produção pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (1998) e doutorado em Engenharia de Produção pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (2004). Atualmente é professor Associado II na Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora e coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído (PROAC). Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia de Produção, com ênfase em Desenvolvimento de Produto, atuando principalmente nos seguintes temas: projeto do produto, representação do projeto, prototipagem virtual, modelagem paramétrica tridimensional, simulação multifísica de desempenho de produtos, computação evolucionária e sistemas generativos de projeto.