

DESENVOLVIMENTO DE HABILIDADES DE RACIOCÍNIO ESPACIAL E O USO DE MODELADORES PARAMÉTRICOS TRIDIMENSIONAIS

SPATIAL REASONING ABILITIES DEVELOPMENT AND THE USE OF TRIDIMENSIONAL PARAMETRIC MODELERS

Marcos Martins Borges¹

Nayane Souza²

Resumo

Este artigo relata experiências relacionadas à área de expressão gráfica e prototipagem virtual em andamento em cursos de engenharia mecânica e engenharia de produção em uma universidade pública no Brasil. Tais experiências se dão em torno de pesquisas acerca do desenvolvimento de habilidades de raciocínio espacial e objetivam processos de ensino e aprendizagem mais eficazes em detrimento da simples capacitação nos protocolos e padrões do desenho técnico tradicional. Um dos principais argumentos apresentados é a indissociabilidade entre conteúdos de representação gráfica e a prática de projeto. Essa vinculação entre áreas intrinsecamente relacionadas nem sempre é identificada nas estruturas curriculares dos cursos de engenharia, arquitetura e design. Por outro lado, o desenvolvimento de sistemas CAD e mais recentemente da modelagem paramétrica tridimensional, além da inclusão de tópicos de projeto nos conteúdos das disciplinas de expressão gráfica, representam um grande desafio na adequação de um conteúdo cada vez mais complexo com uma carga horária cada vez mais restrita. A partir deste contexto, o trabalho apresenta as experiências em desenvolvimento e discute alguns resultados preliminares. Por fim, algumas diretrizes para continuidade das pesquisas são indicadas.

Palavras-chave: expressão gráfica; raciocínio espacial; modelagem paramétrica.

Abstract

This paper reports some teaching and learning experiences that are in course in disciplines related to engineering design graphics (EDG) and product design fields. Those experiences relates to the development of student's graphic and spatial reasoning abilities, rather than their capacitating in the protocols and standards of traditional technical drawing. One of the main points argued is the inseparability between graphics representation contents and the design process. This link has not always been the practice in the curriculum frame of engineering, architecture and design courses. The digital tools historic evolution and the insertion of engineering design contents in the EDG disciplines contents represent a challenge to balance complex contents with reduced class hours. From this context this work presents the ongoing experiments with tridimensional parametric modelers. Finally, the paper discusses the partial results and establishes the research continuity directions.

Keywords: engineering design graphics; spatial reasoning; parametric modelling.

¹ Doutor em Ciências, Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica – Faculdade de Engenharia - Universidade Federal de Juiz de Fora, marcos.borges@engenharia.ufjf.br.

² Graduanda em Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia – Universidade Federal de Juiz de Fora, nayane@engenharia.ufjf.br.

1. Introdução

Este trabalho apresenta reflexões acerca dos atuais paradigmas de representação e desenvolvimento de projetos de produtos, vinculados aos processos de ensino e aprendizagem da expressão gráfica. Tais reflexões estão relacionadas às experiências pedagógicas em andamento em cursos de graduação em engenharia mecânica e engenharia de produção. Um dos principais argumentos apresentados é a indissociabilidade entre conteúdos de representação gráfica, a prática de projeto e conteúdos específicos de engenharia e tecnologia. Essa vinculação entre áreas intrinsecamente relacionadas nem sempre foi a prática corrente nas estruturas curriculares dos cursos de engenharia, arquitetura e design. Tal argumento se baseia na percepção de que em muitos casos os processos de ensino e aprendizagem do desenho se justificam por si mesmos, apresentando uma significativa falta de contextualização de seus conteúdos (OLIVEIRA & BORGES, 2001).

Nesta direção, são apresentadas neste artigo algumas reflexões acerca dos aspectos recentes relacionados ao ensino da representação gráfica, considerando uma perspectiva histórica da evolução dos sistemas digitais de representação do projeto, principalmente os atuais modeladores tridimensionais paramétricos. Deve-se ressaltar também que não é abordado neste trabalho todo o espectro de possibilidades existentes com os atuais modeladores tridimensionais paramétricos. São exemplos a interface com os processos de manufatura através de comando numérico computadorizado em centros de usinagem ou ainda outros meios de materialização do modelo 3D, como a prototipagem rápida e os sistemas de corte a laser. Assim, a partir destas reflexões, são explicitadas algumas das experiências em andamento. Tais experimentos pedagógicos se dão em torno de objetos tecnológicos relacionados de forma mais direta com a engenharia mecânica. Entretanto, é possível vislumbrar a possibilidade de fácil adequação às áreas de arquitetura e design.

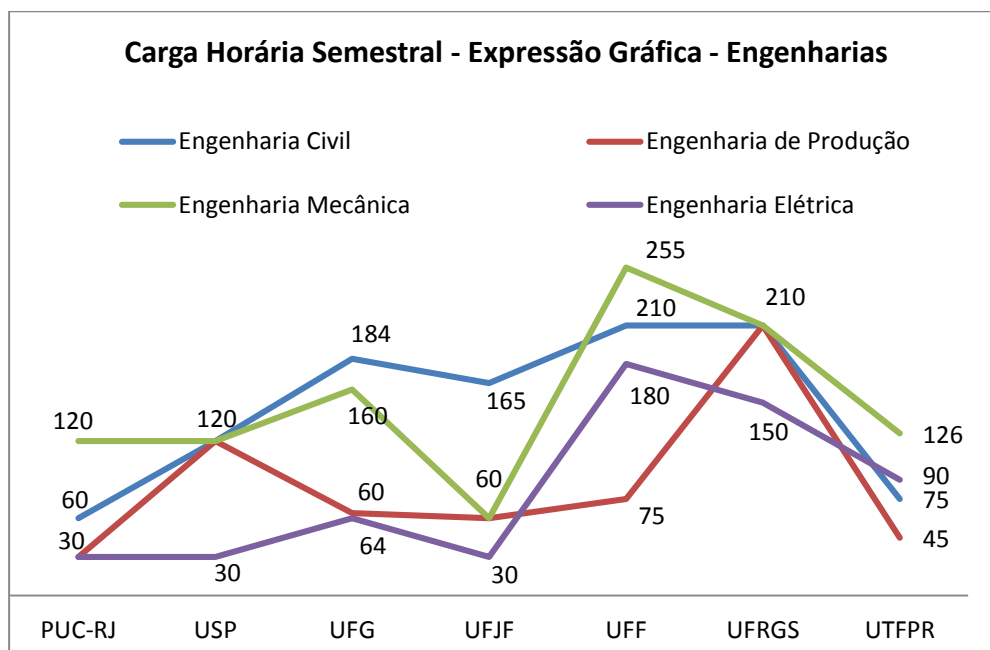
No campo da expressão gráfica é senso comum entre pesquisadores e educadores o fato de que o desenho técnico, a representação gráfica, a geometria descritiva, entre outros conteúdos, se constituírem como uma das mais importantes linguagens de projeto de engenharia e inovação de produtos (FERGUSON, 1993; BARR, 2012; SUZUKI, 2014). A utilização de meios de representação técnica de forma não ambígua, proporcionada pelos fundamentos teóricos e pela normatização das representações, permite a investigação e a geração de inovações em diversas áreas da tecnologia.

Apesar da importância destes conteúdos na formação de competências para os estudantes de engenharia, arquitetura e design, verifica-se um número cada vez mais reduzido de horas-aula de conteúdos de representação gráfica. Esta redução se verifica com mais intensidade nas estruturas curriculares dos cursos de engenharia, tanto no cenário nacional, quanto em um contexto global (LEAKE & BORGERSON, 2008). Apesar dessa redução de carga horária ser mais evidente nos cursos de engenharia, podem-se verificar também distorções nos cursos de arquitetura e urbanismo e em cursos de design. Nestes, a evolução das ferramentas computacionais ainda não se equipara com as respectivas grades curriculares e conteúdos de disciplinas (GODOY, CARDOSO & BORGES, 2014).

Em uma pesquisa em andamento conduzida pelos autores, estão sendo levantados dados de carga horária semestral em cursos de engenharia no país. Alguns resultados parciais são apresentados no gráfico da figura 1. Uma carga semestral de 30,

por exemplo, significa uma disciplina com 30 aulas por semestre correspondendo a uma carga semanal de dois tempos de 50 minutos. A pesquisa ainda necessita de levantar os dados de carga horária em uma faixa temporal mais extensa, recuperando dados históricos, além de ampliar o universo de instituições pesquisadas.

Figura 1: Carga Horária Semestral em Cursos De Engenharia



Fonte: Elaborado pelos Autores

Verifica-se em uma análise preliminar a confirmação de carga horária reduzida em alguns dos cursos nas universidades pesquisadas até o momento. Existe uma tendência para cargas maiores nos cursos de engenharia mecânica e civil e cargas menores nos cursos de engenharia de produção e elétrica. Deve-se enfatizar que dentre os diversos parâmetros que levam a este cenário, está o que se relaciona à história de criação, evolução e consolidação dos cursos, além de sua natureza específica.

No caso dos dados apresentados na figura 1 a carga de 255 horas semestrais do curso de engenharia mecânica da UFF, por exemplo, parece refletir a evolução histórica do curso e necessita de adequações, principalmente quando se verifica que as disciplinas relativas aos conteúdos do desenho digital estão cadastradas como eletivas. Uma investigação mais profunda é necessária para identificar a prática atual neste caso. Por outro lado, no extremo oposto verifica-se uma carga horária bastante reduzida para o mesmo curso na UFJF. As duas situações necessitam de ajustes e adequações para se compatibilizarem com os atuais paradigmas de processos de ensino e aprendizagem da representação gráfica.

2. Fundamentação Teórica

Pesquisadores da área de expressão gráfica têm procurado ao longo do tempo, estabelecer parâmetros que permitam avaliar a capacidade de raciocínio espacial e

Desenvolvimento de Habilidades de Raciocínio Espacial e o Uso de Modeladores Paramétricos Tridimensionais

consequentemente propor diretrizes para as práticas de ensino e aprendizagem. Essas pesquisas resultaram em algumas constatações que são convergentes em diversos autores. Sorby (1999) indica a importância dos estudantes trabalharem a partir de material impresso, modelos físicos tridimensionais e com a utilização de peças e elementos de máquinas reais, prática denominada de dissecação mecânica, para a elaboração de representações em vistas ortográficas e perspectivas isométricas elaboradas exclusivamente a mão livre.

Barr (2012) ressalta que dentre quatorze itens resultantes de levantamento realizado entre professores da área, como sendo habilidades esperadas na formação de engenheiros no que se refere ao campo da expressão gráfica, aparecem três itens com as maiores pontuações em levantamentos realizados tanto em 2004, quanto em 2012. São estes:

- Habilidade para criar modelos sólidos tridimensionais no computador.
- Habilidade de elaborar representações gráficas técnicas a mão livre.
- Habilidade para visualizar e interpretar modelos sólidos tridimensionais no computador.

Esse espaço de tempo apresentando resultados semelhantes nos levantamentos realizados sugere que existe uma tendência para a estabilização e consenso em torno das habilidades esperadas na formação de engenheiros no que se relaciona à representação gráfica e à modelagem tridimensional.

Pode-se também argumentar que a capacidade de raciocínio e visualização espacial está relacionada ao conhecimento implícito que apresenta como característica uma maior dificuldade de identificação na forma de como ele é construído e sistematizado, tanto por parte dos estudantes, quanto dos profissionais de forma geral (BRÉZILLON & POMEROL, 2001).

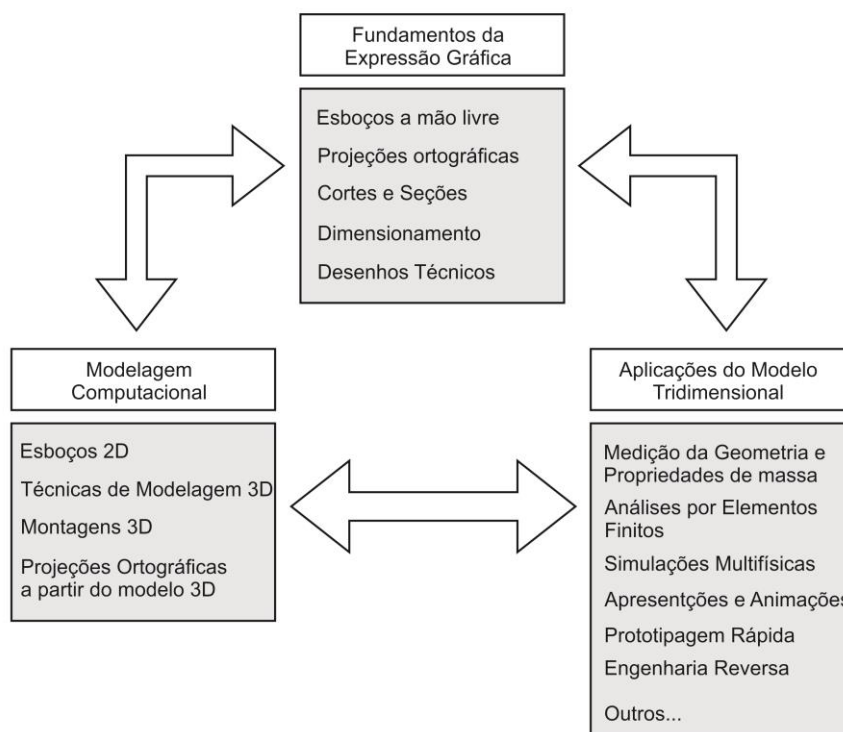
Danos et. al. (2014), utilizam o termo *graphicacy* na língua inglesa para se referir à habilidade de comunicação através de imagens como mapas, diagramas, gráficos, símbolos e desenhos técnicos, estes definidos pelos autores como representações bidimensionais de construções tridimensionais. A tradução para a língua portuguesa deste termo não é direta. Entretanto, podemos entender o termo *graphicacy* como a habilidade de raciocínio visual e espacial que estão acoplados a processos cognitivos como a elaboração mental de modelos tridimensionais e o pensamento crítico sobre essas elaborações (DANOS et. al., 2014).

A linguagem visual e de forma mais abrangente o uso de meios visuais como auxílio ao raciocínio e à geração de ideias, deve ser considerada como indissociável do processo de desenvolvimento de produtos e artefatos. Diversos autores se referem a termos como *visual thinking* e *graphic thinking* de forma a expressarem a importância do uso dos diversos meios de expressão visual e gráfica como instrumentos fundamentais nos processos cognitivos da atividade projetual. Estes termos são frequentes em autores com Ferguson (1993) e Laseau (1989). Sua tradução para o português deve ser entendida como o uso de meios visuais e gráficos para o auxílio ao pensamento e às formas de raciocínio usualmente utilizadas por projetistas nas fases de concepção e desenvolvimento do projeto de artefatos. Além destes, Ferguson (1993) ainda utiliza os termos *thinking sketch* e *talking sketch*, que podem ser traduzidos como esboços pensantes e esboços falantes e se relacionam respectivamente aos processos cognitivos da atividade projetual e aos processos de comunicação de ideias nesta

atividade.

A Figura 2 apresenta três grandes áreas relacionadas tanto às competências vinculadas aos fundamentos da expressão gráfica, quanto no 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 Relacionadas



Fonte: adaptado de Barr (2012).

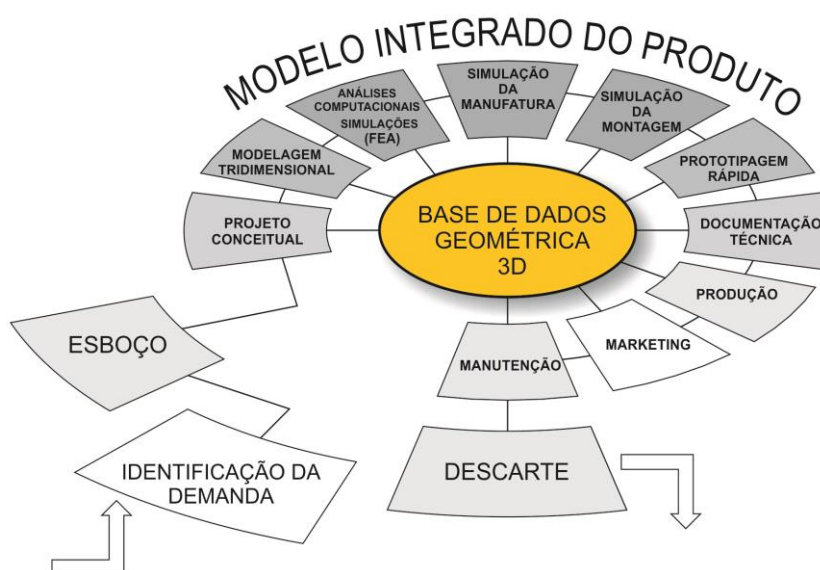
A ideia da indissociabilidade entre meios de representação e o processo de projeto leva ao conceito de modelo integrado do produto. Este aspecto de simultaneidade no processo de projeto considera a integração de áreas de conhecimento diversas nos estágios iniciais do desenvolvimento do produto. Desta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

A estrutura deste 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, esta estrutura foi denominada modelo único do produto ou modelo integrado do produto (Figura 3). 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.

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

Figura 3: Modelo Integrado do Produto



Fonte: adaptado de Barr (2012).

A geometria do artefato como núcleo central do modelo coloca as habilidades de modelagem e manipulação tridimensional no computador, como de fundamental importância na formação de engenheiros, arquitetos e designers. Desta forma, tais habilidades que se relacionam intrinsecamente com os fundamentos da representação gráfica e as suas aplicações de engenharia, colocam esse conjunto de conhecimentos em uma posição estratégica na estrutura curricular destes cursos.

A partir deste contexto, são apresentadas as experiências em andamento que objetivam a articulação do processo de desenvolvimento de competências de raciocínio espacial com a adequação destes conteúdos em uma estrutura curricular de carga horária reduzida. Este relato parte de uma breve retrospectiva histórica, apresenta os resultados parciais alcançados e indica as diretrizes de andamento da pesquisa.

3. Relato das Experiências

O curso de Engenharia de Produção da UFJF iniciou suas atividades em 2000 e até o ano de 2007 as disciplinas de representação gráfica do curso de eram de responsabilidade do departamento de arquitetura que, na maioria das vezes, alocava professores

Desenvolvimento de Habilidades de Raciocínio Espacial e o Uso de Modeladores Paramétricos Tridimensionais

temporários para ministrar os conteúdos. Esta situação não satisfazia as necessidades do curso, devido a uma abordagem a partir de uma área de conhecimento diferente e pela falta de contextualização dos conteúdos. A partir deste cenário, o departamento incorporou a área de representação gráfica para os dois cursos que estão agora ao seu encargo.

Desde então, o departamento oferece três disciplinas relacionadas com o conteúdo de Expressão Gráfica. No curso de Engenharia de Produção existem duas disciplinas com duas horas/aula cada. A primeira é oferecida no segundo período e a outra no terceiro período do curso. O foco deste trabalho está na segunda disciplina. No caso do curso de Engenharia Mecânica, há o oferecimento de uma disciplina dividida em duas turmas, devido ao grande número de alunos. Há também para o curso de engenharia mecânica a disciplina Desenho de Máquinas, também com dois créditos. A tabela 1 resume as disciplinas oferecidas e suas respectivas horas/aula (créditos)

Tabela 1: Disciplinas de Representação Gráfica no departamento de Engenharia de Produção e Mecânica - UFJF

<i>Código</i>	<i>Nome</i>	<i>Curso</i>	<i>Créditos</i>
EPD046A	Representação Gráfica I	Engenharia de Produção	2
EPD046B	Representação Gráfica I	Engenharia Mecânica	2
EPD046C	Representação Gráfica I	Engenharia Mecânica	2
EPD047A	Representação Gráfica II	Engenharia de Produção	2
EPD06A	Desenho de Máquinas	Engenharia Mecânica	2

Fonte: Elaborado pelos Autores

O conteúdo da disciplina Representação Gráfica I (EPD046A) para o curso de Engenharia de Produção é basicamente relacionado aos conceitos fundamentais do desenho técnico, tais como projeções ortográficas, cortes, dimensionamento, perspectivas isométricas, entre outros. O conteúdo relacionado aos conceitos de CAD e modelagem tridimensional paramétrica é trabalhado na Representação Gráfica II (EPD047A) no terceiro semestre do curso.

No caso do curso de Engenharia Mecânica, os conteúdos básicos juntamente com conteúdos relacionados ao CAD e parametrização são abordados em apenas uma disciplina de dois créditos: Representação Gráfica I, turmas B e C. Tal situação se mostra claramente como uma má distribuição de conteúdos e carga horária entre cursos e semestres. Uma melhor distribuição é um dos resultados que se espera a partir desta investigação em andamento.

A disciplina de Desenho de Máquinas aprofunda os conhecimentos relacionados ao desenho técnico, com a utilização de recursos computacionais e prepara os alunos para as disciplinas relacionadas ao projeto de máquinas no curso de Engenharia Mecânica.

Deve-se ressaltar que cenários semelhantes são encontrados na maioria dos

Desenvolvimento de Habilidades de Raciocínio Espacial e o Uso de Modeladores Paramétricos Tridimensionais

currículos de engenharia nas principais universidades do Brasil. Entretanto, verifica-se em algumas universidades que há uma séria preocupação e desenvolvimento de pesquisas em torno do tema (MAFALDA *et al.*, 1999) (FOGGIATO, 2007), entre outros.

Neste contexto de uma distribuição desequilibrada de conteúdos e horas/aula, relatam-se as experiências em curso. A descrição será focada na disciplina Representação Gráfica I B e C (EPD046B) para o curso de Engenharia Mecânica, uma vez que se configura como o caso mais crítico, principalmente no que se refere à carga horária. A proposta da disciplina é a abordagem dos conteúdos da representação gráfica desde os conceitos básicos da geometria descritiva até a modelagem paramétrica tridimensional de uma máquina complexa no final do período, como se descreve a seguir.

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. Nesta etapa também se solicita que os desenhos sejam feitos a mão livre. Nesta progressão alguns conteúdos mais detalhados são incorporados nos exercícios.

Esta 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. Nesta 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 aonde são trabalhadas as ferramentas principais de modelagem e edição de sólidos.

Nesta 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. Nesta 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 aonde se encontram as máquinas, equipamentos e peças que são objeto de exercícios e do trabalho final da disciplina.

Desenvolvimento de Habilidades de Raciocínio Espacial e o Uso de Modeladores Paramétricos Tridimensionais

As tarefas práticas executadas nesta etapa são as medições de todas as partes do equipamento com o uso de paquímetro e régua metálica, transpondo estas medições para esboços elaborados no próprio ambiente dos equipamentos. A carga horária da disciplina nesta fase acaba sendo estendida, pois os alunos frequentemente usam os laboratórios fora do horário de aulas para a execução do trabalho. A Figura 4 apresenta um exemplo do ambiente do laboratório de fabricação no qual são realizadas as tarefas de medição e elaboração de esboços de um dos equipamentos, comparado ao resultado alcançado no ambiente de montagem.

Figura 4: Equipamento Sendo Medido no Laboratório de Fabricação



Fonte: Elaborado pelos Autores

O projeto foi avaliado positivamente, apesar da falta de algumas peças menores. Neste caso específico, o trabalho foi realizado por alunas que declararam, no início do período, alguma dificuldade no que se refere à capacidade de raciocínio espacial.

O nível de complexidade progressivo que se estabelece nas tarefas de modelagem tridimensional se relaciona com a própria estrutura do *software*. A maioria dos modeladores paramétricos tridimensionais disponíveis atualmente está estruturada em três ambientes principais:

- Peças – Ambiente de modelagem das partes individuais do equipamento.
- Montagem – Ambiente de organização e posicionamento e montagem dos produtos e equipamentos. Neste ambiente são inseridas as peças modeladas anteriormente.
- Desenho – Ambiente de geração das vistas ortográficas e perspectivas com a finalidade de impressão ou geração de desenhos bidimensionais que compõe a documentação técnica do produto.

Essa abordagem possibilita aos alunos uma aproximação bem mais contextualizada dos componentes que estão sendo modelados e estabelece uma forte ligação entre os modelos e os processos de fabricação e princípios de projeto vinculados a ele. Neste processo, os alunos analisam o equipamento como um todo e identificam os componentes individuais que são caracterizados por possuírem geometria e material específico.

Desenvolvimento de Habilidades de Raciocínio Espacial e o Uso de Modeladores Paramétricos Tridimensionais

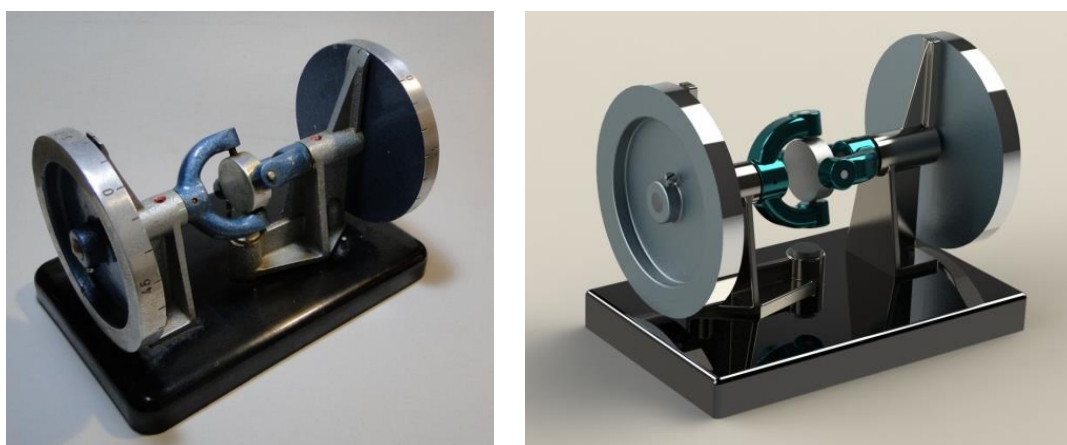
Os resultados esperados no trabalho final são a modelagem de cada parte individual da máquina, a realização da montagem no ambiente virtual correspondente do modelador tridimensional e a geração e edição dos desenhos técnicos correspondentes a cinco componentes do equipamento, além de um desenho de conjunto com a identificação das peças.

Estas atividades revelam alguns pontos interessantes que o professor da disciplina trabalha com os alunos. Uma delas se refere à característica de parametrização do modelador. As correções necessárias durante a elaboração do trabalho podem ser feitas em qualquer um dos três ambientes, resultando e uma atualização automática nos outros dois, além da identificação de erros.

Outro aspecto importante é a necessidade de uma estratégia de organização e gestão por parte da equipe ao longo de todo o processo. As equipes dividem as tarefas entre os seus membros, demandando uma coordenação eficaz para permitir a modelagem de peças e a montagem com precisão, ou seja, partes esboçadas e modeladas por pessoas diferentes devem se encaixar perfeitamente na montagem final. Desta forma, verifica-se a necessidade de elaboração de esboços precisos das partes para minimizar erros e ambiguidades, reduzindo problemas que podem surgir na montagem final. Assim, a capacidade de gestão das informações é também trabalhada pelos alunos.

A Figura 5 apresenta a comparação entre uma imagem real do equipamento e o resultado da geração de uma imagem foto realística após montagem final. Neste caso trata-se de um equipamento didático pertencente ao acervo do Museu Dinâmico de Ciência e Tecnologia da UFJF.

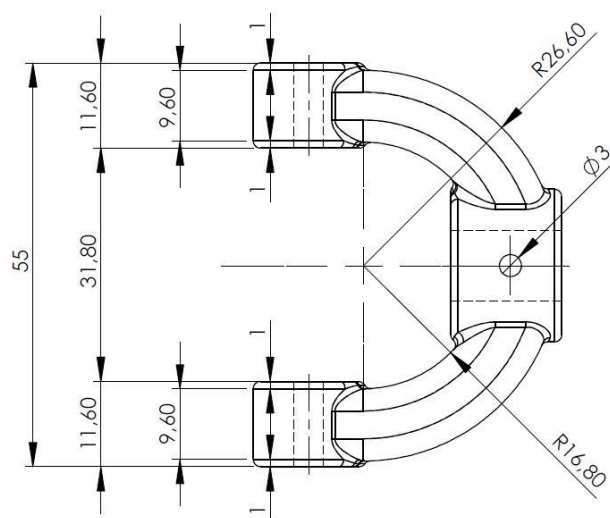
Figura 5: Equipamento Real Comparado ao Virtual.



Fonte: Elaborado pelos Autores

A geração de imagens foto realísticas é realizada por um módulo de renderização que faz parte do software. Entretanto, vale ressaltar que a qualidade final da imagem está diretamente relacionada à precisão na modelagem das peças individuais e nos parâmetros de posicionamento dessas peças na montagem final. Na figura 6 exemplifica-se uma porção da vista ortográfica gerada a partir do modelo tridimensional.

Figura 6: Vista Ortográfica de um Componente



Fonte: Elaborado pelos Autores

Os trabalhos realizados até o segundo semestre de 2014 ainda não estavam utilizando de forma mais abrangente o potencial de recursos oferecidos pelo *software*. A partir de 2015, apesar de não fazer parte da ementa da disciplina, algumas simulações básicas de movimento e análise de cargas estáticas são trabalhadas em alguns dos projetos selecionados pelo professor. Ao final do semestre é feito um seminário que apresenta tais simulações. Tal atividade aproxima o trabalho realizado aos conceitos de prototipagem virtual e processo de projeto. A inserção mais intensiva destes conteúdos depende fortemente de uma melhor organização das disciplinas e de mudanças mais profundas na distribuição de carga horária, além da necessidade de criação de novas disciplinas com conteúdo mais específico em simulação.

Desta forma, ao final do período, todas as equipes são capazes de completar as tarefas e terminar o trabalho com um conjunto de cinco a seis máquinas diferentes modeladas virtualmente. Os tipos de máquinas trabalhadas variaram entre a grua da Figura 4 a equipamentos de uma complexidade um pouco maior, como um torno mecânico. Os alunos podem escolher livremente qual a máquina vai ser modelada. Entretanto, o professor sempre procura desafiar as equipes para trabalhar em equipamentos mais complexos, ressaltando que a complexidade é relativa. Muitas vezes é mais uma questão de quantidade do que dificuldade geométrica na modelagem.

4. Discussão e Resultados

Os resultados apresentados aqui devem ser considerados como parciais. As pesquisas continuam em andamento ao longo do ano de 2015. Entretanto, esses resultados parciais demonstram que as experiências caminham em uma direção correta e se mostram convergentes com resultados de pesquisas semelhantes.

A partir dos relatos apresentados aqui, aplicou-se uma pesquisa em forma de questionário contendo perguntas que objetivam identificar como os exercícios iniciais ajudaram nas tarefas de modelagem tridimensional. Este questionário foi distribuído aos

alunos ao final do primeiro semestre de 2013 e ao final do primeiro semestre de 2014. As principais questões da pesquisa são apresentadas a seguir:

- 1) Em que nível os exercícios a partir de material impresso contribuíram com as tarefas teóricas e práticas de modelagem tridimensional e a compreensão de seus conceitos?
- 2) Em que nível os exercícios a partir de modelos físicos tridimensionais contribuíram com as tarefas teóricas e práticas de modelagem tridimensional e a compreensão de seus conceitos?
- 3) Qual o seu interesse no conteúdo de Expressão Gráfica antes de completar a disciplina?
- 4) Como é o seu interesse no conteúdo de Expressão Gráfica após a conclusão da disciplina?

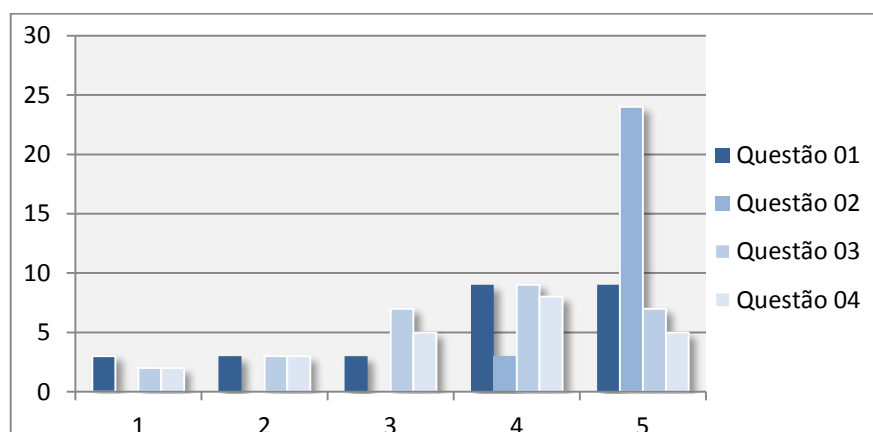
Outras perguntas de caráter informativo foram incorporadas no questionário, mas omitidas neste artigo por questões de espaço e por não terem relação tão direta com o objetivo principal da pesquisa. O primeiro questionário foi aplicado em uma turma de 27 alunos no final do primeiro semestre de 2013, quando os alunos estão no segundo período da grade curricular para o curso de Engenharia Mecânica. No final do questionário os alunos são convidados a escrever um parágrafo com suas impressões sobre a disciplina e quais as mudanças que gostaria que fossem incorporadas para a obtenção de melhores resultados. A identificação dos alunos foi opcional.

As quatro questões principais continham cinco opções na forma de uma escala de Lickert:

1 - muito pouco; 2 - pouco; 3 - neutro; 4 - muito; 5 - bastante.

Estas questões deveriam ser marcadas com apenas uma opção de resposta. Os resultados preliminares são apresentados nos gráficos das Figuras 7 e 8.

Figura 7: Resultado do Primeiro Questionário (2013).



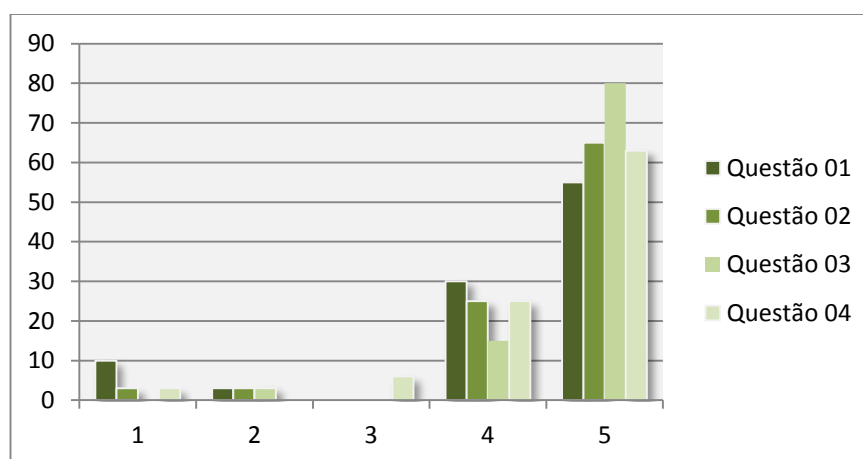
Fonte: Elaborado pelos Autores

Observa-se pelos resultados uma resposta significativa no que se refere à contribuição dos exercícios na parte inicial da disciplina. Tal resultado se mostra de acordo com o verificado na literatura (SORBY, 1999) (BARR, 2012). Além disso, na

maioria dos casos em que os alunos se manifestaram livremente em um parágrafo final no questionário, ficou clara a carência de horas aula para maior aprofundamento no conteúdo.

O segundo questionário foi aplicado em duas turmas da mesma disciplina, abrangendo um total de 75 alunos. Este questionário foi aplicado no final do primeiro semestre de 2014.

Figura 8: Resultado do segundo questionário (2014).



Fonte: Elaborado pelos Autores

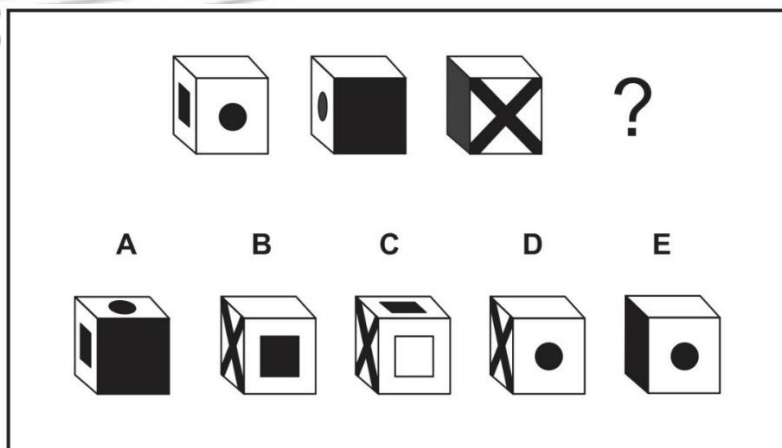
Embora esta ainda não seja uma metodologia estruturada o suficiente para a apropriação da evolução da capacidade de raciocínio espacial por parte dos alunos, fica claro que os exercícios a mão livre elaborados no início da disciplina a partir de material impresso e de modelos físicos contribuíram de alguma forma para a curva de aprendizado na utilização do *software* de modelagem paramétrica na parte final do curso.

Além disso, com o objetivo de incorporar maior robustez aos resultados da investigação, no primeiro semestre de 2014 foi aplicado um teste psicométrico com algumas questões extraídas do BPR-5 (bateria de testes de raciocínio), especificamente dos testes de Raciocínio Espacial (RE), que objetivam avaliar a capacidade de visualização, ou seja, a capacidade de formar representações mentais visuais e manipulá-las transformando-as em novas representações. Deve-se ressaltar aqui que inicialmente havia sido planejado o uso de testes consagrados na literatura como o Mental Cutting Test (MCT) e o Mental Rotating Test (MRT). Entretanto, não foi possível até o momento o acesso a estes testes.

Desta forma, para não haver interrupção no andamento da pesquisa, optou-se pela utilização do BPR-5, bastante utilizado em provas de concursos públicos. Alguns aspectos do teste de Raciocínio Espacial (RE) são semelhantes ao MRT.

Na pesquisa foram selecionadas oito questões dos testes RE (questão 07 à questão 14), com nível crescente de dificuldade, e aplicadas em 30 alunos nas duas turmas de engenharia mecânica do primeiro semestre de 2014. Os testes foram aplicados no final do semestre quando a maior parte das tarefas de modelagem e do trabalho final já estava completa. A figura 9 exemplifica uma das questões do teste.

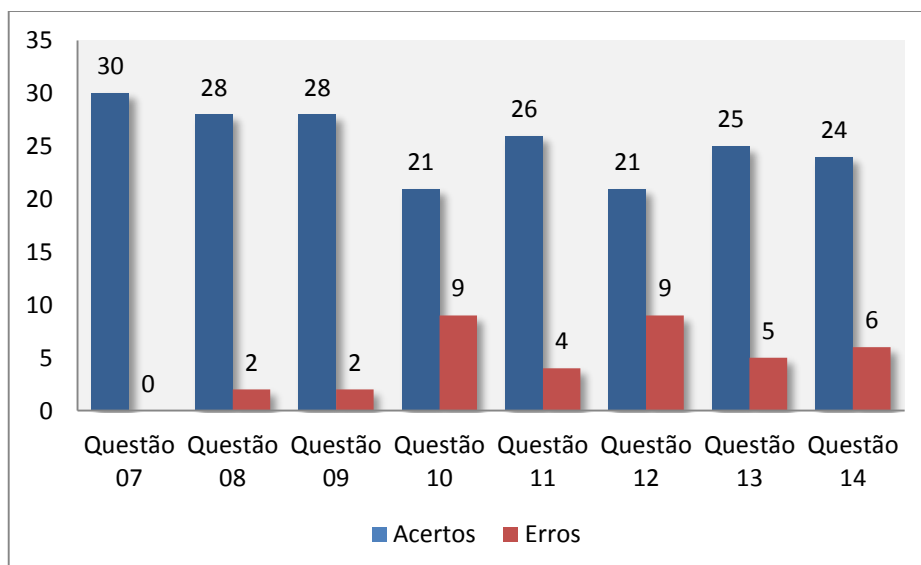
Figura 9: Exemplo de questão do teste RE – BPR-5.



Fonte: Testes psicométricos BPR-5

Os testes psicométricos apresentaram um resultado positivo com todas as questões com respostas corretas acima de 65% e compatíveis com o nível crescente de dificuldade como mostrado na figura 10. Apesar de estes dados mostrarem que as experiências caminham em uma direção correta, necessita-se de protocolos de pesquisa mais robustos para um entendimento mais aprofundado do processo de construção da habilidade de raciocínio espacial.

Figura 10: Resultado do Teste RE – BPR-5.



Fonte: Elaborado pelos Autores

5. Considerações Finais

Algumas observações podem ser feitas a partir das experiências descritas neste trabalho. Em primeiro lugar verifica-se que o uso de esboços executados à mão livre se configura como uma ferramenta eficaz tanto no desenvolvimento das habilidades de

Desenvolvimento de Habilidades de Raciocínio Espacial e o Uso de Modeladores Paramétricos Tridimensionais

visualização espacial, quanto nos processos de ensino e aprendizagem dos conteúdos básicos de modelagem tridimensional, confirmando os argumentos encontrados na literatura e na prática tradicional. No contexto específico das disciplinas avaliadas, verifica-se a necessidade de um aprimoramento do material impresso e dos modelos tridimensionais físicos. Os modelos em uso atualmente são antigos e precisam ser restaurados.

Em segundo lugar, verifica-se também a necessidade de reestruturação do conjunto de disciplinas de Representação Gráfica do departamento. A distribuição desequilibrada dos conteúdos e horas/aula pode ser melhorada, abrindo espaço para uma exploração mais profunda da modelagem paramétrica tridimensional.

Em terceiro lugar, é necessário um aprofundamento da pesquisa com a utilização de ferramentas mais robustas para a avaliação da construção do conhecimento sobre habilidades espaciais e habilidades de modelagem tridimensional. Nesse sentido, pretende-se que a pesquisa tenha continuidade com o uso de métodos de avaliação, como *Mental Cutting Test* (MCT) e *Mental Rotating Test* (MRT).

Adicionalmente, publicações recentes indicam a necessidade de revisão de estratégias para a verificação da construção da habilidade de raciocínio espacial (MARESCH, 2013) (TSUTSUMI *et al*, 2013). Dentre estas direções, está a possibilidade de identificar quais estratégias os estudantes utilizam para a solução de tarefas de modelagem tridimensional e também a utilização de outros meios para a aplicação de testes de raciocínio espacial, como, por exemplo, a utilização de modelos físicos tridimensionais no lugar de vistas ortográficas e perspectivas impressas.

Uma constatação feita a partir da experiência em sala de aula é a possibilidade da própria estrutura e interface do software de modelagem ser utilizada como meio de ensino e aprendizagem. Neste sentido, está sendo experimentada atualmente a utilização de arquivos de modelos 3D elaborados a partir de exemplos encontrados em diversas publicações da área.

Outro aspecto importante identificado é a utilização do registro de tarefas de esboço e modelagem gerados por cada peça individualmente. Essa característica do software permite uma investigação mais detalhada dos passos seguidos pelos alunos na modelagem de peças individuais. Desta forma, em futuras etapas da pesquisa pretende-se relacionar a utilização das ferramentas de geração de geometrias tridimensionais com os esboços elaborados como referencia e fonte de informação.

Desta forma, além dessas novas direções e apesar das dificuldades na organização das disciplinas, as experiências e os resultados parciais mostraram claramente que a pesquisa caminha em uma direção correta. Os resultados apresentados nas figuras 7 e 8 mostram apenas quatro questões de um questionário mais completo e que precisa ser reformulado. Entretanto, as questões 01 e 02 demonstram claramente que há uma forte ligação entre o desenvolvimento da habilidade de raciocínio espacial e da modelagem tridimensional com os exercícios a mão livre, executados a partir de material impresso e, principalmente, a partir dos modelos físicos tridimensionais. Essa reformulação de questões deve incorporar meios para a identificação de estratégias conforme argumentado por Maresch (2013).

As impressões sobre a disciplina declaradas pelos estudantes no questionário também traduzem os resultados tabulados, mas enfatizam de maneira significativa a necessidade de maior tempo em laboratório de informática dedicado ao aprendizado da

Desenvolvimento de Habilidades de Raciocínio Espacial e o Uso de Modeladores Paramétricos Tridimensionais

modelagem tridimensional especificamente. Neste sentido, no presente período letivo está sendo experimentada a utilização do software já no início da disciplina, integrando os exercícios a mão livre com a modelagem tridimensional. Espera-se que assim seja possível uma maior abrangência e aproveitamento dos recursos oferecidos pelo modelador tridimensional.

Por outro lado, verifica-se que a tendência de utilização de modeladores paramétricos tridimensionais no contexto de projeto de produtos e equipamentos é cada vez mais consolidado no mercado de trabalho em substituição ao CAD tradicional. A partir deste cenário, fica clara a necessidade de ampliação de conteúdos relacionados ao projeto e a prototipagem virtual através da utilização de simulações e análises com base em elementos finitos (FEA). Nesse tipo de simulação, a geometria da peça ou do conjunto de peças é o primeiro componente a ser definido. Compreende-se assim, a importância de uma sólida formação na modelagem tridimensional e na capacidade de raciocínio espacial. Desta forma, como um dos resultados da pesquisa em andamento, está a proposição de uma disciplina de prototipagem virtual que naturalmente seguirá a sequência e o processo de aprendizagem da disciplina de representação gráfica no curso de engenharia mecânica. Os *softwares* de simulação utilizados atualmente já se encontram incorporados na interface dos modeladores tridimensionais, o que facilita de forma significativa a ligação entre o CAD tradicional e o próprio processo de desenvolvimento de produtos.

Finalmente é importante concluir que a carga horária curta da disciplina de Representação Gráfica I, não preenche as necessidades para uma completa formação nos conteúdos representação gráfica. Neste sentido, a estratégia utilizada nas experiências apresentadas aqui, considerando a complexidade dos equipamentos, estabelece um processo que têm características de aprendizagem baseada em projetos e que permite um espaço para o autoconhecimento que vai além das horas de aula estabelecidas no currículo.

Referências

- BARR, R. E., JURICIC, D. "From drafting to modern design representation: The evolution of engineering design graphics", **Journal of Engineering Education**, 1994.
- BARR, R. E. Engineering Graphics Educational Outcomes for the Global Engineer: An Update, **Engineering Design Graphics Journal (EDGJ)**, Vol. 76, No. 3, pp. 8-12, Fall 2012.
- BORGES, M. M.; **Proposta de um Ambiente Colaborativo de Apoio aos Processos de Ensino/Aprendizagem do Projeto**. Tese de Doutorado, COPPE / UFRJ, 2004.
- BRÉZILLON, P.; POMEROL, J. About some relationships between knowledge and context, **Proceedings of the 3rd International Conference on Modeling and Using Context**, Dundee, 2001.
- DANOS, X., BARR, R. E., GÓRSKA, R. & NORMAN, E., Curriculum planning for the development of graphicacy capability: three case studies from Europe and the USA, **European Journal of Engineering Education**, 2014.
- FABRÍCIO, M. M.; **Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios**. Tese de Doutorado, USP, 2002.

Desenvolvimento de Habilidades de Raciocínio Espacial e o Uso de Modeladores Paramétricos Tridimensionais

- FERGUSON, E. S., **Engineering and the Mind's Eye**, The MIT Press, Massachusetts, 1993.
- FOGGIATTO, J. A. Recomendação para a Modelagem de Sistemas CAD-3D, **Proceedings of the 4o. Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, COBEF, Estância de São Pedro, 2007.
- GODOY, V. H., CARDOSO, C., BORGES, M. M., BIM: Conhecimentos Necessários e Desafios Iniciais de Adaptação. In: **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 2014.
- LASEAU, P., **Graphic Thinking for Architects and Designers**, Van Nostrand Reinhold, New York, 1989.
- LEAKE, J. M., BORGERSON, J. L. **Engineering Design Graphics: Sketching, Modelling and Visualization**, New York: John Wiley & Sons, 2008.
- MAFALDA, R.; RANIERI, R.; SANTOS, E. T.; CHENG, L. Y.; KAWANO, A. Avaliação da Eficácia da Reestruturação dos Cursos de Desenho para Engenharia na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, **Proceedings of the XXVII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, COBENGE 99, Natal, 1999.
- MARESCH, G., "Spatial Ability: The Phases of Spatial Ability Research", **Journal for Geometry and Graphics**, Vol. 17, No. 2, pp. 237-250, 2013.
- NAVEIRO, R. M., Conceitos e Metodologias de Projeto, in **Projeto de Engenharia, Arquitetura e Desenho Industrial**, Editora da UFJF, 2001.
- OLIVEIRA, V. F., BORGES, M. M.; A Geometria Descritiva nas Disciplinas do Curso de Engenharia: Um Contexto para Aprendizagem. **Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 54, n.1, p. 69-73, 2001.
- SORBY, S. A. Developing 3-D Spatial Visualization Skills, **Engineering Design Graphics Journal (EDGJ)**, Vol. 63, No., pp. 21-32, Spring 1999.
- SUZUKI, K., Traditional Descriptive Geometry Education in the 3D CAD/CG Era, **Journal for Geometry and Graphics**, Volume 18, 2014.
- TSUTSUMI,E.; ISHIMURA,A.; KAJITANI,M. SUZUKI,Y.; SUZUKI,K. "Errors Analysis of Mental Cutting Test Using Models Instead of Drawings as Presenting Problems", **Journal for Geometry and Graphics**, Vol. 17, No. 2, pp. 251-264, 2013.