

Geometria, meios expressivos e desenvolvimento cognitivo: Uma experiência com estudantes de Design.

The Relationship Between Rapid Prototyping and the Creative Process in Design: A Study From the on-line file sharing.

Ramos, Fernando da Silva; Prof. Dr.; Faculdades de Campinas - FACAMP
fernandala@gmail.com

Gallo, Haroldo; Prof. Dr.; Universidade de Campinas – UNICAMP
Haroldogallo@uol.com.br

Resumo

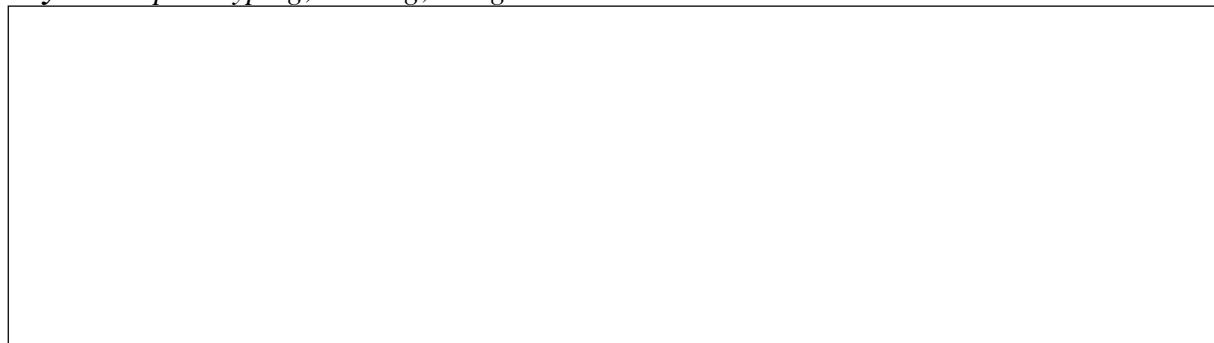
Um aspecto que dá relevância e justifica o estudo sistemático da Geometria no Design, é sua relação com o desenvolvimento das capacidades cognitivas do indivíduo, especialmente as aptidões espaciais. Este artigo apresenta parte de um experimento que teve como um de seus objetivos, a observação dos impactos sobre a habilidade de rotação mental em um grupo de estudantes do terceiro semestre do curso de Design da Facamp, a partir da aplicação de um programa focado no tópico das transformações isométricas, e na utilização manipulativos físicos tridimensionais como recurso expressivo e investigativo.

Palavras Chave: Design, Geometria, Cognição

Abstract

One of the features that values and justifies the systematic study of Geometry in Design relies on its association with the development of the cognitive capacity of an individual, particularly regarding his/her spatial oversight. This article lays out part of a trial that aimed at – amongst other aspects – observing the effects on mental rotation of a group of students attending the third semester at Facamp's Design course, by using a program that focused on isometric transformations and on the use of 3-D physical manipulators as an expressive and investigative resource.

Keywords: *prototyping; sharing; design.*



1. Introdução

Os assuntos tratados neste artigo são aspectos selecionados e resumidos da tese de doutorado recém concluída no Instituto de Artes da UNICAMP, intitulada *Geometria e habilidade de rotação mental: Uma experiência de ensino no Design*, cujo propósito foi comparar dois métodos de ensino da geometria, distintos pela natureza física dos materiais didáticos empregados, e medidos segundo o impacto sobre as capacidades cognitivas de um grupo de estudantes do terceiro semestre do curso de Design da FACAMP.

Da Geometria, o tópico utilizado foi o das *Transformações Isométricas*, também conhecidas como *Transformações Rígidas*, por tratar-se de conhecimento prescritivo ao domínio operativo dos arranjos simétricos e regulares da forma.

No experimento, a amostra de alunos foi dividida aleatoriamente em dois grupos, com número de participantes e proporções entre gêneros, equivalentes.

Embora ambos os grupos tenham sido apresentados ao mesmo escopo teórico da geometria, o chamado *grupo de controle* desenvolveu seu estudo no ambiente de uma sala de aula equipada com pranchetas de desenho e régua paralela, enquanto o *grupo de tratamento* foi levado à oficina de protótipos, a fim de que fosse permitido a manipulação de objetos físicos.

As variações decorrentes das diferenças entre os métodos, foram medidas através do teste psicométrico *MRT*¹, comumente utilizado com o propósito de medir variações sobre a *habilidade de rotação mental*².

O presente artigo descreve mais detidamente o método exercitado pelo *grupo de tratamento*, que manipulou materiais e ferramentas de processamento comuns em uma oficina de design, como isopor, estilete, lixas e colas, à medida que reforça a presciência do estudo sistemático da *geometria*, na qualidade de instrumento favorável ao desenvolvimento da *aptidão espacial*³, reconhecida como capacidade cognitiva imprescindível ao exercício do design, bem como a grande número de outras profissões, como a arquitetura e as engenharias.

2. Cognição

A palavra cognição tem raiz latina, *cognitio*, e significa aprendizado, ou (aquisição de) conhecimento através da percepção. Esta descrição contudo, parece ser insuficiente atualmente, pois seu emprego supera o significado do conhecimento-informação e avizinha-se do conhecimento-qualidade adquirida, como um mecanismo de conversão e assimilação daquilo que somos capazes de compreender, para nosso modo de ser interno.

Sternberg (2008) esclarece que as origens da preocupação do homem sobre como pensamos ou compreendemos nossos próprios processos de pensar e compreender não tem marco claro na história, mas pode-se atribuir sua fundamentação à associação entre duas importantes matrizes de compreensão da mente humana: a filosofia e a fisiologia. A filosofia, na medida que estuda os problemas fundamentais relacionados à existência, ao conhecimento, à verdade, à mente e à linguagem, e a fisiologia como ramo de estudo das múltiplas funções mecânicas, químicas e bioquímicas da matéria viva.

As diversas versões que se agrupam em torno do conceito da preexistência de múltiplas propriedades individualizáveis da mente, em associação aos instrumentos de prospecção da dinâmica cerebral e conceitos desenvolvidos pela neurociência, são contemporaneamente estudadas dentro de uma sub-disciplina da psicologia conhecida como *psicologia cognitiva*.

Um dos modelos estudados pela Psicologia Cognitiva é a *teoria das múltiplas inteligências* de Howard Gardner. Publicada pela primeira vez em 1983⁴, tornou-se referência importante às pesquisas recentes sobre a inteligência. Sua pesquisa propôs de início, um conjunto de sete categorias cognitivas: As inteligências **lógico-matemática, linguística, musical, corporal cinestésica, espacial, interpessoal e intrapessoal**. Entretanto esta lista

parece ser dinâmica. Segundo o próprio Gardner em publicações recentes⁵, podem ser incorporadas ao seu conjunto original, novas categorias como a inteligência naturalística, que explicaria a capacidade do indivíduo de se relacionar com a natureza, e a pictórica (ou pictográfica), que relaciona-se com a habilidade de desenhar.

2.1. Aptidão Espacial

A aptidão espacial, é uma das capacidades mais estudadas na psicologia cognitiva, e sua descrição a liga à capacidade de manipulação de imagens visuais.

De acordo com Carroll (1993 *apud* PRIETO & VELASCO. 2006.), a aptidão espacial foi definida como a capacidade de formar, reter, recuperar e transformar mentalmente imagens visuais. Desta maneira, há na verdade diversas habilidades visuais, e cada uma enfatizando aspectos distintos do processamento da imagem (LOHMAN. 1993).

No intuito de compreender sua condição epistemológica, Choi (2001 *apud* SEABRA. 2009. p 28), descreve que a aptidão espacial compreende três categorias distintas de habilidades: **rotação mental**, **percepção espacial** e **visualização espacial**. A esta lista podem somar-se ainda a **orientação espacial** e as **relações espaciais** (KAUFMANN; SCHMALSTIEG, 2003 *apud* SEABRA 2009. p.29).

O desenvolvimento da aptidão espacial é uma necessidade, pois tem sido relacionada como fundamental a um grupo amplo de atividades humanas, com reflexos sobre a atuação corriqueira das práticas diárias, como dirigir um carro ou jogar futebol.

Um estudo desenvolvido por Davies e Talbot (1987 *apud* EISEMBERG, 1999, p.1), em que foram investigados os processos criativos de trinta e cinco designers industriais britânicos, descreve a aptidão espacial como uma habilidade comum: “*frequentemente descreveram facilidade em criar imagens mentais (...) como um multisensorial e dinâmico sketch pad; utilizando rotações mentais e escaneamento de imagens*” (pp. 17-25).

O pensamento criativo parece nutrir-se desta aptidão. Apesar do reconhecimento de sua importância, Leopold (2005, p.44), afirma que a maior parte dos ingressantes universitários das áreas de design, arquitetura e engenharias, têm esta habilidade mal desenvolvida. Seus estudos ao longo dos anos, envolvendo a aplicação de testes cognitivos, lhe respaldam esta convicção, chegando mesmo à inquietante observação de um viés de piora nos índices ao longo dos anos.

É desta maneira, fundamental que os educadores preocupem-se com esta questão, e inspirados pela visão de que estão imersos em um sistema no qual não faltam carências, esforcem-se por encontrar caminhos e metodologias de ensino que priorizem o desenvolvimento do estudante segundo uma concepção mais integral e estrutural. Como diz Naranjo (2005), uma educação sensata tem que prestar-se a algo mais do que informar.

2.2. Habilidade de Rotação Mental

Uma das habilidades vinculadas à aptidão espacial é a rotação mental.

Genericamente, uma operação de rotação em um ambiente físico pode ser descrita como o deslocamento circular de uma entidade em torno de um eixo; se o espaço for bidimensional, este eixo é um ponto. No caso do espaço tridimensional, um vetor.

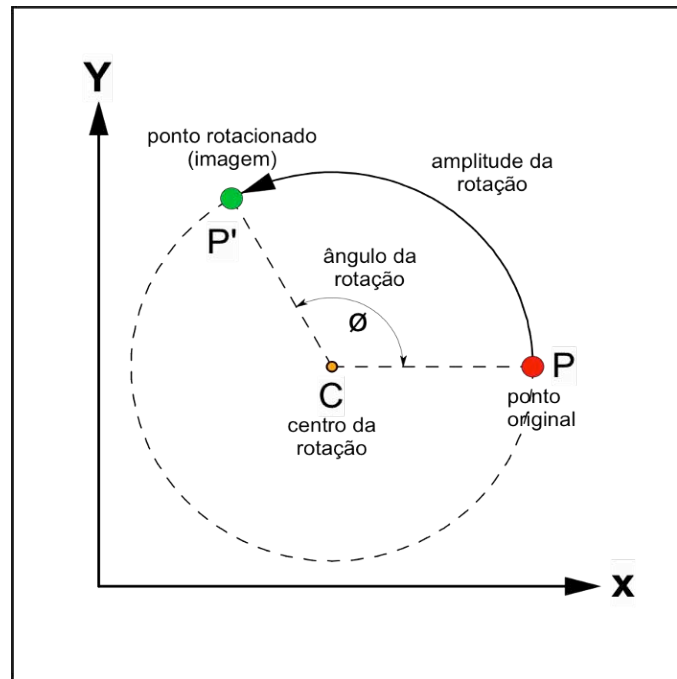


Figura 1 – Descrição dos elementos de uma rotação sobre o plano cartesiano

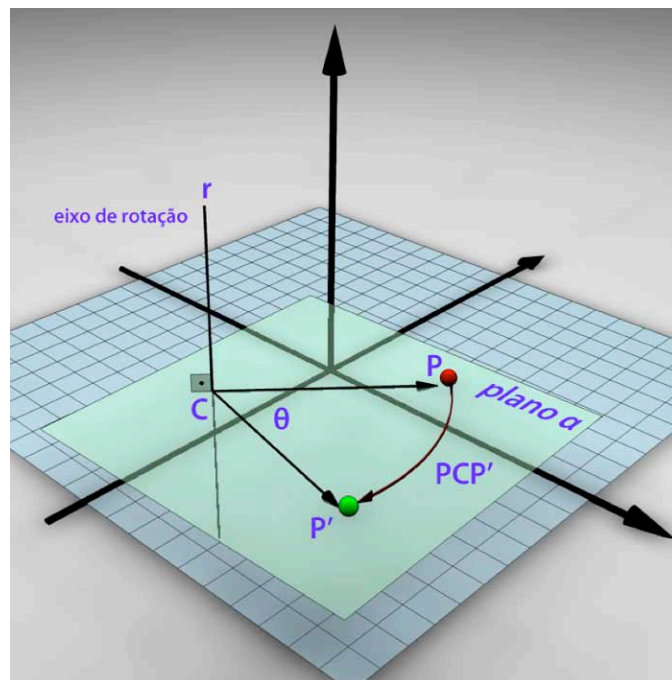


Figura 2 – Descrição dos elementos de uma rotação no espaço cartesiano

Uma rotação mental, tida como habilidade cognitiva, é portanto a capacidade de um indivíduo em emular mentalmente o deslocamento de uma imagem tridimensional, em torno de um eixo central.

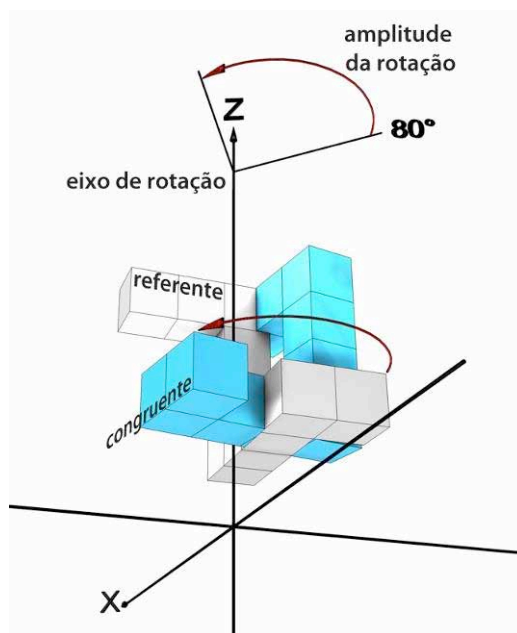


Figura 3 – Descrição do comportamento dos elementos de uma rotação no espaço cartesiano: O motivo referente transforma-se em torno de um eixo de rotação, dando origem a uma imagem congruente

O início das pesquisas desta habilidade se deu com a publicação do artigo *Mental Rotation of Three-Dimensional Objects*, por Shepard e Metzler (1971). O trabalho descreve a aplicação de um experimento que consiste em apresentar em pares, uma série de desenhos em perspectiva de sólidos compostos pela justaposição de dez cubos, de maneira que fossem comparados e julgados como congruentes ou diferentes.

Os objetos congruentes (ou corretos) são descritos através de posições diferentes, resultantes de operações de rotação, enquanto os diferentes (distratores), ou não congruentes, retratavam o modelo após sofrer uma transformação por reflexão associada a uma rotação.

As imagens abaixo foram extraídas do artigo original.

“A figura ‘A’ apresenta um par de sólidos idênticos que diferem por uma rotação de 80° no plano da imagem. Na figura ‘B’, o par idêntico difere por uma rotação de 80° na profundidade, enquanto a figura ‘C’ apresenta um par diferente, onde nenhuma rotação pode fazê-los congruentes” (SHEPARD & METZLER, 1971, p.702)

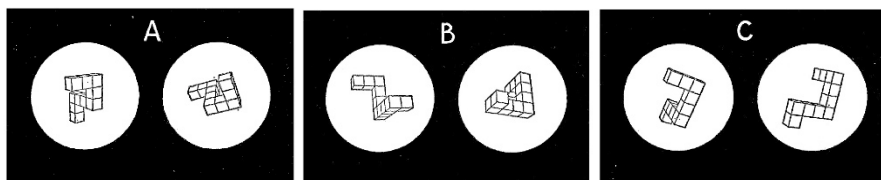


Figura 4 – Exemplo dos pares de desenhos apresentados no artigo de Shepard e Metzler. Em cada um dos pares, o indivíduo é solicitado a responder se o sólido à direita corresponde ao da esquerda (congruentes), ou se são reflexos em distintas posições. (1971, p.702)

3. Relações entre o ensino de geometria e o desenvolvimento da aptidão espacial

Numerosos estudos (CLEMENTS & BATTISTA, 1992; LEOPOLD, 2005; SEABRA, 2009; PRIETO & VELASCO, 2006; OLKUN, 2003; RODRIGUES & RODRIGUES, 2001), têm vinculado o estudo da geometria ao desenvolvimento da aptidão espacial. Alguns tópicos têm recorrentemente figurado na literatura científica como especialmente pródigos na criação de situações de ensino/aprendizagem, em todas as fases da formação do indivíduo. São os casos da *geometria descritiva*, pela oportunidade que oferecem à investigação das propriedades do plano e espaço e de suas coerências mútuas através das projeções, o estudo dos *sólidos e poliedros*, por introduzir a temas como a geração da forma e sistemas estruturais, e a *geometria das transformações*, por oferecer porta de acesso a conceitos de central importância como a síntese do módulo, através da divisão regular do plano e do espaço, e as geometrias complexas através das operações recursivas.

Freudenthal (1973 *apud* COSTA, 2000.) sustenta que a geometria pode ser compreendida em dois níveis: Um mais elevado e outro mais baixo. No nível mais elevado, ela é uma disciplina da matemática axiomáticamente organizada; no mais baixo, a geometria é essencialmente a compreensão do espaço em que se vive, respira e move.

Se na primeira descrição, a geometria configura-se ordenada e cientificamente estudada através de um extenso currículo de interesses, há na segunda, o reconhecimento de uma dimensão que a relaciona à espacialidade do mundo concreto e real, com o qual o indivíduo interage, e que exerce forte influência sobre seus sentidos e aptidões. Assim, a despeito de haver ou não conhecimento prévio sobre conceitos científicos sofisticados, o ser humano parece dotado de uma habilidade natural, resultado dos longos processos evolutivos, de lidar experimental e intuitivamente com a geometria, pois em sua noção mais geral, esta define-se como o estudo das relações espaciais.

Velasco e Kawano (2000), no sentido de esclarecer aspectos importantes acerca do conceito de espaço, dão ênfase à diferenciação entre espaço físico e espaço psicológico. Segundo a descrição dos autores, o espaço físico prescinde da existência da mente humana, e é relativo ao objeto concreto, mensurável e vetorizado. Já o espaço psicológico implica em atributos da mente que permitem ao indivíduo a possibilidade de prever, estimar e julgar a relação entre eventos ou objetos. Desta forma, seguem os autores, a discussão recai sobre a dualidade da percepção direta *versus* percepção indireta, de maneira que somos capazes de perceber os objetos diretamente, através dos nossos sentidos, como a visão, audição e tato, ou indiretamente, a partir da admissão que os atributos espaciais residem nos objetos, e não nas sensações.

4. A questão dos meios expressivos e o lugar dos manipulativos físicos

A dimensão abstrata do processo criativo é essencialmente imaterial, imagética, dinâmica e volátil, carecendo assim de domínios expressivos concretos para registrar-se e fazer-se compreender. A necessidade de produzir resultados que reflitam seus desempenhos, solicita dos estudantes que sejam capazes de expressar suas idéias e experiências no domínio de suas qualidades psicomotoras, relacionando assim, as questões da educação ligadas à discussão que se faz sobre cognição e à formação de um currículo do ensino de geometria, à seleção dos recursos pedagógicos e **meios expressivos** - como a seleção do material didático e a tecnologia das ferramentas (se analógicas ou digitais).

Sabe-se que emergência do computador influenciou de maneira importante tanto sobre o ensino como na prática profissional, em todas as áreas, provocando uma re-acomodação os processos de se investigar e representar a forma.

A reflexão sobre o impacto da tecnologia na dinâmica do ensino/aprendizagem, tem forçado uma saudável revisão das qualidades intrínsecas de cada meio expressivo, provocando a (re)tomada do debate pelo espaço adequado que lhes cabe nos processos criativos. Parte do desafio pedagógico atual no ensino do design, parece consistir no reconhecimento das potenciais particularidades de cada recurso, e na inversão da tendência inercial do aluno de compreender os métodos e códigos de concepção e representação da forma, como conjuntos de informações individuais, isolados e dissociados de um conjunto mais amplo, cujo efeito mais visível é o risco de valorização e eleição prematura de um instrumento preferencial, em detrimento dos demais.

O ensino do design deve implicar em um conjunto de experiências diversificadas, que incluam aprendizagens sobre múltiplos meios expressivos, em virtude da natureza múltipla do processo de projeto.

“A maneira como designers, arquitetos e artistas combinam as diversas técnicas e materiais com elementos visuais e atributos físicos, conceitos perceptuais, configurações da forma e estrutura, determinam o sucesso do resultado formal”.
(WALLSCHLAEGER e BUSIC, 1992, p. 11)

5. Um experimento de ensino de geometria, utilizando manipulativos, voltado ao desenvolvimento da habilidade de rotação mental

O exercício consistiu em três aulas (de um total de dezoito), a 30 alunos do terceiro semestre do curso de Design da FACAMP. Cada aula teve a duração de 1:40 h.

Os encontros ocorreram no espaço da oficina de protótipos e materiais, o que permitiu a interação entre grupos compostos por 10 a 12 estudantes, em torno de uma mesma mesa de trabalho.



Figura 5 – Ambiente de oficina de protótipos, no qual desenvolveu-se parte das aulas de geometria.

Os alunos recebem um kit contendo os materiais necessários para o desenvolvimento da tarefa, formado por: Blocos cúbicos de isopor⁶ nas medidas 5,0 x 5,0 x 5,0 cm, uma caneta de tinta permanente, um estilete de lâmina grossa, uma lâmina de acrílico, um tubo de cola de isopor (este último dividido entre três ou quatro alunos).

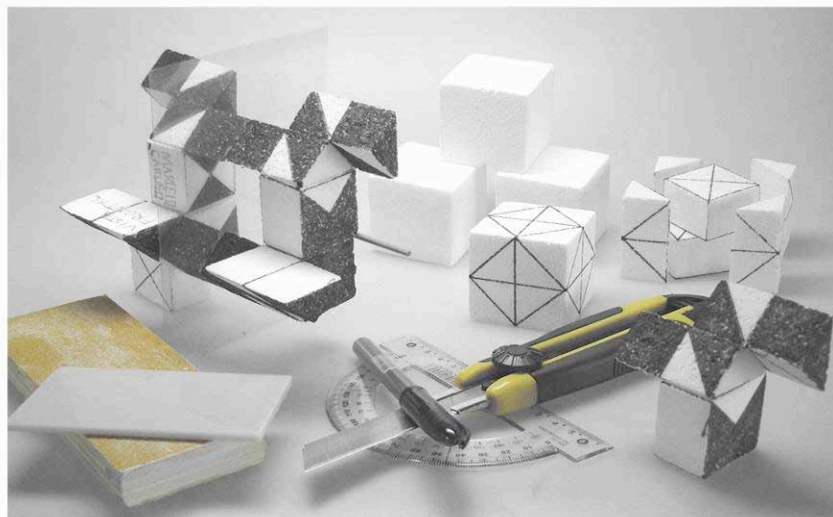


Figura 6– Materiais utilizados no desenvolvimento do experimento

Aula 1.

O enunciado indica um conjunto de procedimentos sucessivos e identificados, que estabelecem parâmetros para a criação de uma maquete de isopor pintado – um sólido irregular - cuja configuração formal e grafismo da superfície, não devem apresentar nenhum eixo de simetria em nenhuma de vistas ortogonais.

O primeiro passo foi utilizar uma régua graduada e a caneta de tinta permanente, para desenhar o traçado segundo as instruções do enunciado, em cada uma das seis superfícies do cubo.

No passo seguinte, o aluno utilizou o estilete para seccionar o cubo em cinco partes, truncando quatro de suas arestas paralelas, ou em outras palavras, cortando os quatro triângulos dos cantos. As formas resultantes foram quatro prismas de base triangular, e outro prisma de base quadrada. Este último sofreu ainda novo corte, paralelamente às faces quadradas, resultando deste procedimento, dois prismas de base quadrada com metade do volume do anterior. A imagem seguinte ilustra a sequência dos procedimentos:

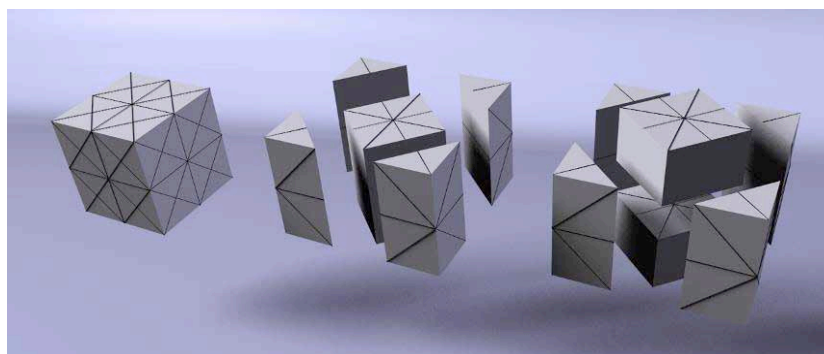


Figura 7 – O cubo de isopor foi marcado em suas faces segundo seus vértices e pontos médios e, em seguida, fragmentado em seis prismas.

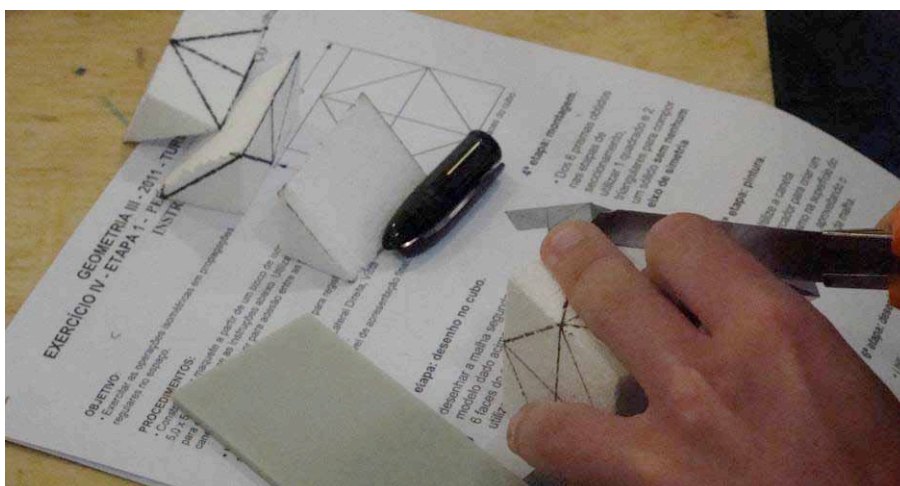


Figura 8 – Após a marcação do *grid* sobre a superfície do cubo de isopor, o estudante fraciona-o em 6 prismas com o auxílio de um estilete

Na continuação, o aluno utiliza dois dos quatro prismas triangulares e um dos dois prismas quadrados resultantes dos procedimentos anteriores para montar uma maquete utilizando os três sólidos. O aluno pôde manipular as peças livremente, livre da preocupação de sistematizar ou conceituar sua ação, entretanto foram propostos dois parâmetros obrigatórios: 1. Que o resultado final da composição não tivesse nenhum eixo de simetria, e 2. Que houvesse congruência entre as formas gravadas na superfície dos sólidos; em outras palavras, que os triângulos de uma peça encaixassem-se apenas com triângulos de mesma orientação das demais peças, e que o mesmo valesse para os retângulos dos prismas de base quadrada.

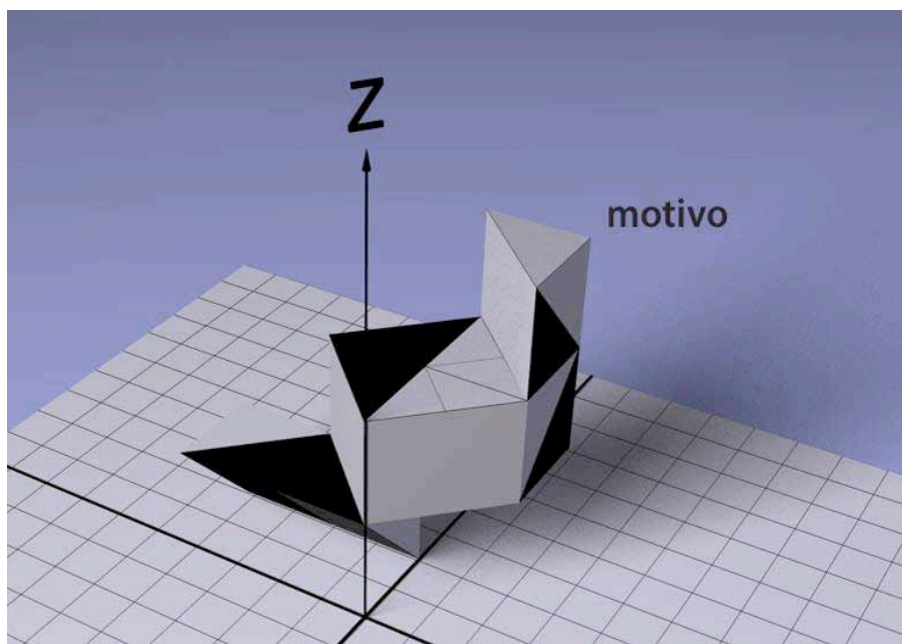


Figura 9 – Dois prismas triangulares e um prisma quadrado são utilizados para conceber um **motivo**. As linhas sobre a superfície delimitam o grafismo.

O procedimento 5 solicitava do aluno, que utilizasse a caneta permanente e criasse um grafismo na superfície da maquete a partir da pintura da malha. Após a conclusão da construção da maquete, chamada a partir de agora de motivo, o aluno tratou de desenhar suas seis vistas

ortogonais principais, sobre duas malhas fornecidas no enunciado, chamadas gabarito 1 e gabarito 2. Este procedimento (o sexto e último desta etapa), procurou envolver o aluno no reconhecimento da forma que criou, e também dar-lhe a oportunidade de comprovar através do reconhecimento das projeções sobre o plano, que não há nenhum eixo de simetria.

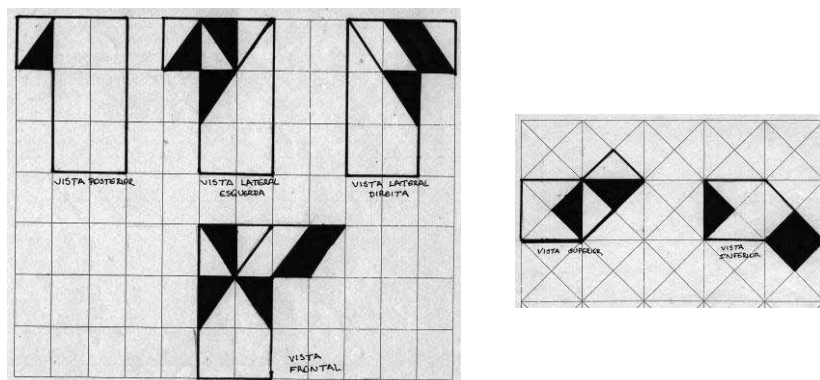


Figura 10 – Após a criação do motivo, é solicitado do aluno projetar suas seis vistas sobre gabarito fornecido.

Aula 2

O foco principal foi dado à construção física das três novas maquetes, que demandaram considerável concentração e dedicação por parte dos alunos.

A demanda estabelecia que o aluno construísse uma cópia idêntica da maquete original e ainda duas outras que fossem cópias refletidas. Para isso foi necessário que fosse capaz de observar e compreender o objeto, o que se fez através de sua manipulação física. Nesta etapa, o ato de manipular fisicamente os materiais passa a requerer do aluno uma atenção mais aguda e maior disponibilidade à reflexão crítica, pois a liberdade de ação fica atrelada às condicionantes de cada operação isométrica e aos atributos específicos do motivo (poliedro criado na etapa precedente).

Os alunos utilizaram a metade que restou do processamento do cubo na aula 1, e valeram-se de ainda mais um, para alcançar a meta final e obter um conjunto de quatro maquetes constituído assim, por dois pares refletidos. Tanto morfologia quanto grafismo de superfície foram considerados.

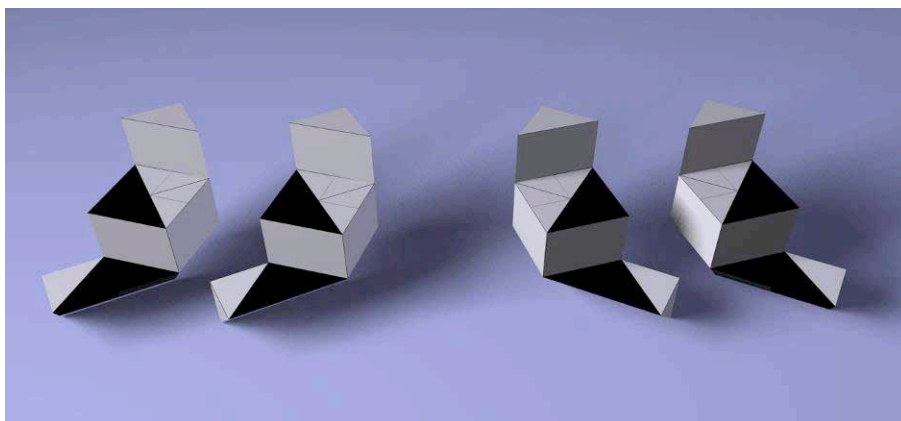


Figura 11 – O **motivo** referente é triplicado, sendo uma cópia idêntica e duas refletidas.

Aula 3

Após a leitura conjunta do enunciado bastante ilustrado, os alunos puseram-se a executar as tarefas naturalmente, pois tratavam-se de continuidade da aula anterior.

Também a exercitação do conceito de reflexão no espaço, algo que surge pela primeira vez no curso neste momento, não pareceu causar estranhamento nos alunos,

A materialidade do isopor foi um complicador para o caso da rotação, implicando em um empenho maior do professor para apresentar esta operação no espaço, do que foi quando o conceito foi apresentado sobre o plano.

Sobre o plano, a transparência do papel vegetal permite que *motivo* e *imagem* “tomem o mesmo corpo” no momento que precede a transformação, podendo ocupar o mesmo espaço através da sobreposição. O mesmo não permite o isopor.

Explicar as operações transformação no espaço tridimensional físico pode, como foi neste caso, implicar em solicitar do aluno um certo grau de abstração, pois uma vez que não se pode contar com a sobreposição dos corpos, a congruência entre *motivo* e *imagem*, deve ser compreendida sem demonstração.

As duas etapas precedentes envolveram a modelagem a partir de um cubo - uma forma primitiva altamente simétrica (13 eixos de simetria) - seccionado em partes que recombinaam-se, e originaram dois pares maquetes espelhadas, ou refletidas. Cada passo da concepção e construção dos módulos foi permeado pelo método geométrico; os conceitos geométricos envolvidos, como a perda da simetria, congruência e operações isométricas, foram evidenciados à medida que **as partes** de uma maquete final **foram sendo construídas**.

O procedimento proposto na *Aula 3* demandou do aluno o desenvolvimento de **uma maquete final**, através da articulação das **quatro maquetes parciais**. Os critérios utilizados para o ordenamento dos sólidos foram pessoais do aluno, mas a liberdade estava condicionada a considerarem os parâmetros conceituais de duas operações isométricas consecutivas e distintas: Uma **reflexão** e uma **rotação**. Isto significa que sobre o *motivo* concebido na *aula 1*, incidiria uma primeira transformação (rotação ou reflexão), para que em seguida, incidisse sobre o conjunto resultante, nova transformação – novamente uma rotação ou reflexão, que fosse diferente da anterior.

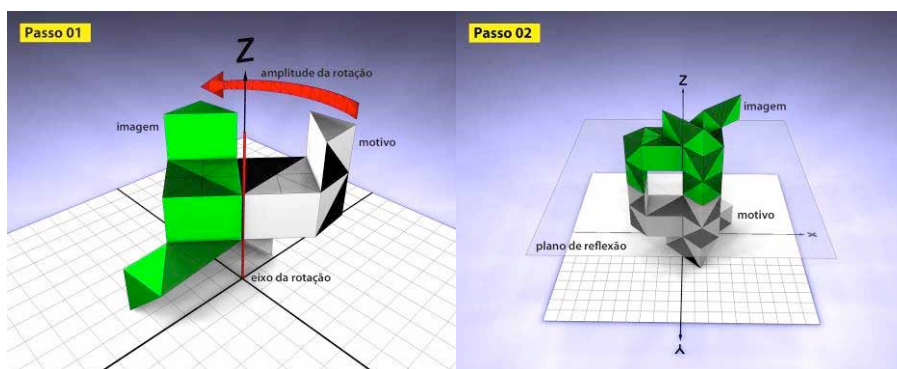


Figura 12 – Em dois tempos: O primeiro passo ilustra o desdobramento do motivo através de uma rotação em torno de um vetor, dando origem a uma imagem correspondente (verde). No passo dois, o resultado da operação anterior é espelhado a partir de um plano de reflexao

O eixo de rotação deveria ser identificado por um palito de bambu, e o plano de reflexão, por um acetato transparente. A maquete foi sendo concebida enquanto **as partes foram sendo organizadas**.



Figura 13 – Desenvolvimento dos projetos

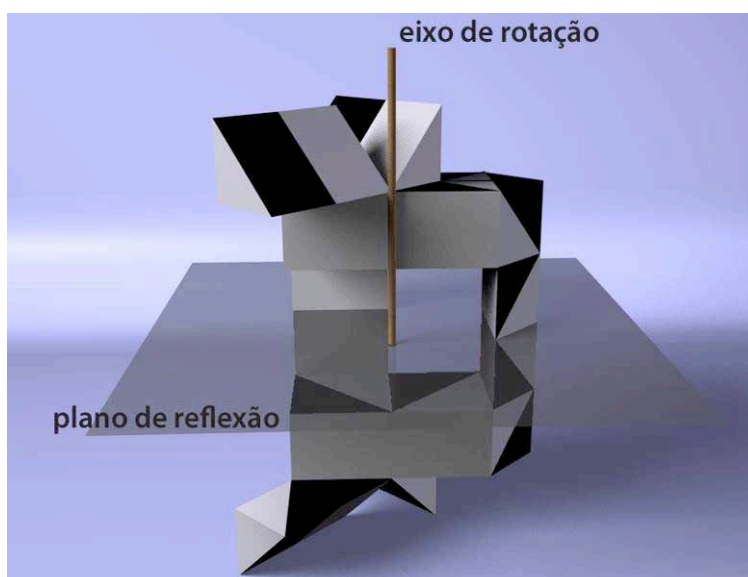


Figura 14 – “Resultado Tipo” de um projeto concluído

6. Considerações Finais

Ao assumir como postulado que o estudo sistemático da geometria incide positivamente sobre as habilidades de visualização espacial, é possível supor que o exercício de rotação de figuras e objetos - reconhecendo elementos, construindo conceitos, formulando conjecturas e refletindo sobre a ação - exerça impacto sobre a habilidade de rotação mental (HRM) do indivíduo, pois em tese, ao reconhecer e operar os elementos constituintes descritos pela geometria, tais como a localização correta do eixo, a direção do deslocamento e sua amplitude, é provável que seu desempenho cognitivo se amplie. De fato, houve um significativo aumento da HRM do grupo submetido ao experimento (RAMOS, 2012, p. 178), medido através do teste psicométrico MRT, entretanto, não houve indícios suficientes para afirmar a superioridade de um método que envolva os manipulativos físicos sobre outro que não utilize, segundo os parâmetros e condições específicos do experimento.

A utilização do ambiente da oficina de protótipos mostrou-se plenamente adequada. A disposição dos alunos em grupos de 10 a 12 indivíduos em torno da mesma mesa de trabalho

teve o efeito de provocar maior interesse pelos projetos uns dos outros, incrementando o ritmo trocas e interação, e conferindo dinamismo `as aulas.



Figura 15 – Projetos em desenvolvimento no ambiente da oficina: Maior dinamismo na troca de informações entre os colegas.

Ao situar a geometria no ambiente de ensino/aprendizagem da formação em design, pretende-se trazer ao primeiro plano a preocupação com suas questões programáticas e didáticas. O cuidado em discernir o propósito para o qual a geometria está sendo ensinada é fundamental. Ao assumir a centralidade do caráter visual da geometria, e prescrever o desenvolvimento das capacidades cognitivas espaciais como seu propósito mais alto, acredita-se que a proposta apresentada neste artigo possa estimular professores na busca de alternativas `as estratégias excessivamente axiomáticas ou superficiais.

Notas

1. O MRT (*Mental Rotation Test*) é um dos testes de aferição de aptidão espacial mais utilizados por psicólogos cognitivos e pesquisadores da área da educação. Sua versão original foi desenvolvida pelos pesquisadores Vandenberg e Kuse (1978), a partir uma adaptação do modelo proposto por Shepard e Metzler (1971).
2. A Habilidade de Rotação Mental é assunto descrito na subseção 2.2.
3. A Aptidão Espacial é assunto descrito na subseção 2.1.
4. GARDNER, Howard. - *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. Basic Books. New York. 1983.
5. Sobre a teoria das inteligências múltiplas - <http://www.oestrangeiro.net/psicologia/27-teoria-das-inteligencias-multiplas-de-gardner>

6. O estritamente necessário por aluno seriam 2 cubos, entretanto, pareceu prudente ter um reserva excedente em virtude dos erros de execução, e necessidade de refazimento das tarefas.

Referências

CARROLL, J. B. – Human cognitive abilities: a survey of factor-analytic studies. Cambridge University Press. New York. 1993.

CHOI, J. – Sex differences in spatial abilities in humans: two levels of explanation. In: VOKEY, J. R.; ALLEN, S. W. Psychological Sketches, Department of Psychology and Neuroscience, University of Lethbridge, 5. Ed.

CLEMENTS D. H.; BATTISTA, M. Geometry and Spatial Reasoning. IN Handbook of research on mathematics teaching and learning. Grouws, D. (Ed.). New York. 1992

COSTA, Conceição. Visualização, veículo para a educação em geometria. 2000. Disponível em: < <http://www.spce.org.pt/sem/CC.pdf> > . Acesso em 20/06/2011

DAVIES, R.; and TALBOT, R.J. - Experiencing Ideas: Identity, Insight, and the Imago. *Design Studies*. pp. 17-25. 1987.

EISENBERG A. N. – An educational program for paper sculpture: A case study in the design of software to enhance children's spatial cognition. Doctorate Thesis of Philosophy Department of Computer Science. University of Colorado. 1999.

GARDNER, Howard. - Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences. Basic Books. New York. 1983.

KAUFMANN, H.; SCHMALSTIEG, D. – Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. *Computer & Graphics*, V.27, nº 3, p.339-345, 2003

LEOPOLD, Cornélie. - Geometry education for developing spatial visualization abilities of engineering students. *The journal of Polish society for geometry and engineering graphics*. Vol. 15. pp 39 – 45. 2005.

LOHMAN, D.F. – Spatial abilities as traits, processes and knowledge. In R.J. Sterberg (Organização), *Advances in a psychology of human intelligence*. vol.4. NJ: Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale. 1988

OLKUN, S. - Making Connections: Improving Spatial Abilities with Engineering Drawing Activities. *International Journal of Mathematics Teaching and Learning*. 2003.

PRIETO, G.; VELASCO, A. D. – Visualização especial, raciocínio indutivo e rendimento acadêmico em desenho técnico. *Revista semestral da ABRAPEE*. Vol.10. Nº 1. p. 11-19. 2006

RAMOS, F. S. – Geometria e habilidade de rotação mental: Uma experiência de ensino com transformações isométricas no design. Tese de Doutorado. Instituto de Artes. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2012.

RODRIGUES, Maria H. W. L.; RODRIGUES, Daniel W. L. Conjugando recursos para desenvolver o “pensamento geométrico”. Revista Escola de Minas. vol.54. nº 1. Ouro Preto. Jan/Mar. 2001

SEABRA, Rodrigo D. - Uma ferramenta em realidade virtual para o desenvolvimento da habilidade de visualização espacial. Tese de Doutorado. Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo. 2009

SHEPARD, R. N.; METZLER, J. – Mental rotation of three dimensional objects. Science. New Series. Vol.17. nº 3972. p. 701-703. 1971.

SORBY, S. A. – Developing 3-D spatial visualization skills. Engineering Design Graphics Journal. Vol. 63. Nº2. p. 21-32. 1999

STERNBERG, Robert J. - Psicologia Cognitiva. Editora Artmed. Porto Alegre. 2008.

VANDENBERG, S. G.; KUSE, A. R. – Mental Rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. Perceptual and motor skills. Vol.47. p. 599-604. 1978.

VELASCO, A. D.; KAWANO, A. A aptidão especial é um dom?. Projeto Teia do Saber – Metodologias de ensino da matemática. UNESP. 2000

WOHLSCHLAEGER, A., WOHLSCHLAEGER, A. Mental and manual rotation. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance. Nº 24. PP. 397-412. 1998