



## SIMULAÇÃO DIGITAL DE ILUMINAÇÃO: UMA ABORDAGEM DIDÁTICA DO MAPEAMENTO DE FÓTONS E CÁUSTICAS

Guilherme Alberto Ott Júnior

Universidade Federal de Pelotas, Brasil, GEGRADI, IFM-DTGC  
guilhermeott@hotmail.com

Adriane Borda Almeida da Silva

Universidade Federal de Pelotas, Brasil, GEGRADI, IFM-DTGC  
adribord@ufpel.tche.br

Neusa Rodrigues Félix

Universidade Federal de Pelotas, Brasil, GEGRADI, IFM-DTGC  
neusarf@ufpel.tche.br

### RESUMO

Este trabalho consiste numa abordagem didática à simulação digital de iluminação, mais especificamente a que se refere à geração de cáusticas (padrões de luz refratados e/ou refletidos de um objeto). A partir de experimentações, e do reconhecimento de discursos que explicam as técnicas de simulação necessárias para isso, como de iluminação global e de mapeamento de fótons, busca-se identificar os limites e as possibilidades que os recursos gráfico-informáticos oferecem, levando em consideração um determinado contexto educativo. Trata-se de um estudo de identificação de estruturas de saber, que subsidia a configuração de situações didáticas sobre a geração dos efeitos de cáusticas, possíveis de serem promovidas no contexto trabalhado.

**Palavras-chave: ensino/aprendizagem, estruturação de saberes, gráfica digital, mapeamento de fótons, cáusticas.**

### ABSTRACT

This work consists on a didactic approach to the digital simulation of global illumination, more specifically the one that refers to the generation of caustics (light patterns refracted/reflected from an object). By doing those experiments, and recognizing the discourses that explains the techniques of necessary simulations for that, like global illumination and photon mapping, the limits and possibilities that the computer-graphics resources offer are identified, considering an educational context. It is a study in which the main objective is to identify the knowledge

structuration that develops the configuration of didactic situations about the generation of caustic effects, possible to be executed on the worked context.

**Key-words: teaching/learning, knowledge structuration, digital graphics, photon mapping, caustics.**

## 1 Introdução

Na computação gráfica, o eterno desafio, tanto do homem, quanto da máquina, é o de representar a nossa realidade visual da maneira mais fidedigna possível. Quando se fala em fidedigna, aqui, se quer fazer referência ao comprometimento em gerar, digitalmente, todos os fenômenos (em especial, ópticos) responsáveis pela nossa percepção visual do mundo (FOLEY, 1995). Até aqui, inúmeras técnicas, procedimentos, modelos e algoritmos foram desenvolvidos, culminando, cada vez mais, em cenas digitais que se confundem com a realidade.

Com a evolução tecnológica dos meios digitais tornamo-nos, enquanto usuários de programas gráficos, possibilitados a reproduzir/gerar cenas tridimensionais com acuidade e praticidade. Sendo assim, uma série de procedimentos e técnicas é necessária para atingir tais resultados. Desde as que dizem respeito à representação da forma, a partir de sua geometria, às que abordam a representação da aparência, a partir das propriedades físicas, psicofísicas e também geométricas, que envolvem a modelagem das fontes de luz, dos materiais, do transporte de luz e do observador.

O problema que se configura para a área de Gráfica Digital, é a delimitação dos saberes significativos para a formação de usuários de programas gráficos, capazes de reconhecer teorias e técnicas necessárias para a geração de cenas e ambientes virtuais comprometidos com o nosso universo de referências visuais. Trata-se, desta forma, de um problema de delimitação de conteúdo programático a ser estudado, e conseqüentemente da necessidade de disponibilizar discursos e materiais apropriados para aplicação didática.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Curso de Especialização em Gráfica Digital, da Universidade Federal de Pelotas-RS, e situa-se na linha de pesquisa que investiga as questões relacionadas à estruturação de materiais didáticos para o ensino/aprendizagem de Gráfica Digital.

O foco deste estudo está na estruturação de situações didáticas que promovam atividades de simulação de efeitos de iluminação sobre materiais transparentes, onde ocorrem concentrações locais de luz produzidas pelos fenômenos de reflexão e refração, efeitos estes denominados de “cáusticas”. De acordo com JENSEN (1996), cáusticas são padrões de luz especulares, criadas pela reflexão ou refração da luz que atinge uma superfície difusa.

Busca-se contribuir à produção de materiais que promovam o reconhecimento dos

recursos tecnológicos digitais, a partir de discursos capazes de associar a terminologia tecnológica com a terminologia científica.

Apóia-se na Teoria Antropológica da Didática de Chevallard (1991) que aponta para uma metodologia de trabalho de sistematização de saberes a serem veiculados em contextos educativos. No âmbito desta teoria, um saber se caracteriza a partir de quatro elementos que o estruturam: teorias, tecnologias, técnicas e problemas, considerando que tais elementos se transformam ao transitar entre diferentes contextos. A análise deste trânsito e transformações do saber configura os estudos de Transposição Didática. Esta abordagem se ocupa, fundamentalmente, em observar o processo de delimitação das estruturas veiculadas em contextos educativos, que devem estabelecer uma dinâmica interativa com estruturas veiculadas em contextos científicos e profissionais, com a finalidade de garantir a presença de uma estrutura integral do saber.

A seqüência de apresentação deste trabalho retrata a metodologia adotada no estudo, que, fundamentando-se em Chevallard (1991), parte da identificação do conhecimento científico relativo à simulação digital dos efeitos de “cáusticas”, incluindo o reconhecimento dos limites e possibilidades dos recursos gráfico-informáticos. Logo, se busca o reconhecimento das técnicas disponíveis no contexto didático trabalhado e, ao final, se analisam os discursos que foram sendo produzidos para compor os materiais didáticos, observando-se o propósito de apresentarem uma estrutura integral do saber em questão.

## **2 Identificação do conhecimento científico de referência**

Nesta seção, busca-se reconhecer o conhecimento sistematizado cientificamente, que permite a simulação dos efeitos de iluminação de interesse deste trabalho.

A complexidade de simular o efeito de “cáusticas” determina a implementação de modelos que requerem grande capacidade de cálculo das máquinas. Faz-se necessário, principalmente, modelos complexos de descrição do fenômeno de transporte de luz (modelos de iluminação) e modelos também complexos de descrição do comportamento dos materiais frente à luz, considerando-se, neste caso, o envolvimento de materiais transparentes. Isto pode resultar em um tempo de “renderização” considerável, quando não inviabiliza o cálculo, dependendo da capacidade do hardware. Neste sentido, foram sendo desenvolvidos algoritmos que buscam manter a qualidade do modelo em simular o efeito requerido e otimizar o tempo de “renderização”. Uma das possibilidades é de associar o uso de “Mapeamento de Fótons” como forma de reduzir a quantidade de pontos da cena a serem considerados para o cálculo do modelo de iluminação adotado. O trabalho desenvolvido por JENSEN (1996), é um importante marco no que se refere à implementação do “mapeamento de fótons” na computação gráfica. Nele, o autor expõe experimentações, resultados e conclusões sobre o procedimento, viabilizando sua implementação.

Conforme a Revista Ciência & Ensino (2006): *“Nos modelos da física, para descrever a luz, utiliza-se o conceito de “fótons”. Um fóton é algo que se comporta como um pacote singular de energia contendo a menor quantidade de energia possível para uma dada frequência da luz.”*

O conceito de “Mapeamento de Fótons” é abordado por JENSEN (2001) como uma extensão do “traçado de raios” (FOLEY, 1995) e permite maior eficiência na simulação da “Iluminação Global” (DOS SANTOS, 2004) em cenas complexas. O “Mapeamento de Fótons” contribui para a simulação das interreflexões difusas, dos efeitos de cáusticas e também de “meios participativos” (JENSEN, 1996).

Para a simulação da Iluminação Global, os algoritmos consideram a iluminação direta e indireta, ou seja, a emissão da fonte de luz que incide sobre a superfície de cada objeto e a emissão destas superfícies, de acordo com a capacidade de refletir mais ou menos, considerando, desta forma, as interreflexões entre tais superfícies. DOS SANTOS (2004), destaca que *“são vários fenômenos pelos quais a luz que incide num objecto pode vir a incidir noutros. Nestes incluem-se a reflexão, transmissão, refacção, difracção e interferência. (...) A iluminação global é essencial para capturar a iluminação indirecta que é maioritariamente responsável pelo aspecto final da maior parte das cenas”*.

JENSEN (1996) destaca como os processos de radiosidade e traçado de raios lidam com diferentes comportamentos e termos de iluminação. Ressalta sobre a dificuldade do processo de radiosidade com o termo especular reflexivo, e do seu alto consumo de memória, assim como o maciço processo de cálculos e geração de artefatos visuais indesejados por parte do traçado de raios, buscando então justificar o método proposto.

Com o Mapeamento de Fótons, JENSEN (1996) simplifica a representação da iluminação. O processo é dividido em duas etapas: na primeira, mapas de fótons são gerados, considerando a emissão advinda das fontes de iluminação. Este mapeamento é armazenado, registrando os fótons que atingem a superfície dos objetos da cena. A partir desse mapa, outros dois mapas são gerados: Um mapa de alta resolução, utilizado para a geração de refração cáustica, e outro, de baixa resolução, utilizado para o processo de renderização em si.

O método se utiliza do processo de traçado de raios, como modelo de iluminação global, associado então a este mapeamento de fótons. A aceleração no processo de renderização se deve ao fato de que os mapas de alta resolução simplificam os cálculos de refração cáustica, ao mesmo passo em que o mapa de baixa resolução resolve a cena com um menor número de fótons. (JENSEN, 1996)

### **3 Reconhecendo técnicas disponíveis no contexto didático**

Nesta seção, busca-se identificar a possibilidade de inserção do conhecimento científico, referido anteriormente, no contexto didático trabalhado.

O estudo de reconhecimento parte da experimentação, buscando a identificação e a exploração das técnicas que permitam a simulação dos efeitos de iluminação em questão a partir do método proposto por (JENSEN, 1996), implementadas em programa gráfico disponível para o desenvolvimento de atividades didáticas.

Como em grande parte dos experimentos levou-se em consideração o tempo de renderização, é importante destacar que o hardware utilizado contém um processador AMD Athlon 64 3200+, com 512 megabytes de memória RAM, utilizando o sistema operacional

Windows XP SP1.

Os experimentos foram desenvolvidos utilizando o software 3DS Max, identificando-se a implementação da técnica de mapeamento de fótons associada ao modelo de renderização *Mental Ray* (Mental Images, 2007). Com este modelo ativado, o software disponibiliza, para o usuário, no menu de renderização propriamente dito, a seção “Indirect Illumination” (iluminação indireta – numa referência à principal característica de um modelo de iluminação global). Nesta seção, encontram-se alguns parâmetros e variáveis que o mecanismo de renderização permite. Entre elas, destacam-se as que serão enfatizadas ao longo do trabalho: *Photon Map* (o mapeamento de fótons propriamente dito), *Global Illumination* (sistema de iluminação global) e *Caustics* (responsável pela geração e controle do efeito de cáustica). Foram caracterizadas duas etapas de experimentos. Os experimentos têm, como objetivo, avaliar os parâmetros oferecidos pelo programa, bem como o resultado das alterações possibilitadas por eles levando, em consideração, a utilização do mapeamento de fótons na geração de cáusticas e iluminação global.

Para os estudos envolvendo Iluminação Global com Mapeamento de Fótons, baseou-se na metodologia adotada por JENSEN (1996), no que se refere à caracterização dos elementos que compõem a cena para os experimentos. Utilizando a chamada *Cornell Box*, ou “Caixa de Cornell” como modelo para renderização, JENSEN (1996), utilizou dois modelos diferentes: um com um piso difuso, e outro com o piso brilhoso (com ligeira propriedade reflexiva). (experimentos 1, 2, 3)

Para os estudos envolvendo a geração de cáusticas, utilizou-se, como objeto de teste, um ornato desenvolvido no âmbito do Projeto Modela Pelotas (FÉLIX, 2006). O objeto tem uma geometria complexa, sendo isto conveniente para a geração dos efeitos de reflexões e refrações. (experimentos 4, 5 e 6)

### **3.1 Aplicando técnicas de Iluminação global e Mapeamento de Fótons**

A cena estruturada para as experimentações consta de uma sala fechada, com material difuso aplicado a todas as paredes contendo dois objetos: um cubo e uma esfera. O cubo tem a mesma propriedade difusa, enquanto a esfera possui alto valor especular, buscando-se, desta forma, reproduzir o ambiente caracterizado por JENSEN (1996)\*. Para a simulação do comportamento de materiais especulares se faz necessário, no software utilizado, associá-los ao modelo de iluminação “traçado de raios” ou “*Ray trace*” (FOLEY, 1995). Desta forma, este procedimento foi utilizado, também, no piso, mas somando uma técnica de simulação de uma ligeira rugosidade, através do mapeamento *bump*. Este recurso gera perturbações aleatórias nas normais que compõem a superfície do piso, resultando na diferenciação de cor de cada ponto da superfície em função do ângulo de incidência da luz. Na Figura 1, podemos ver os parâmetros atribuídos aos materiais da cena, bem como às fontes de iluminação.

---

\* Os parâmetros e condições utilizados nas cenas geradas por JENSEN, não são descritos em termos ou valores numéricos. O mesmo expõe apenas os modelos e características utilizadas.

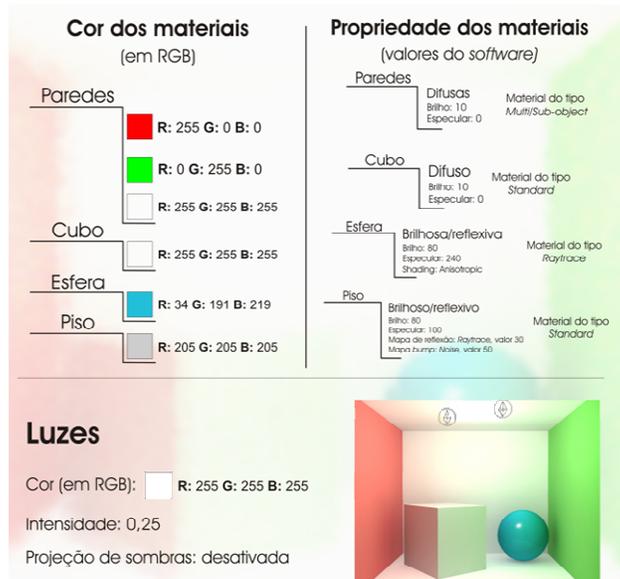


Figura 1: Parâmetros atribuídos à cena utilizada nos experimentos de mapeamento de fótons

No experimento 1, analisaram-se imagens resultantes de simulações onde foi alterado o tamanho dos fótons (figura 2). Através do ajuste de tamanho é possível definir a ocorrência de sobreposições ou intervalos de distância entre os mesmos. O que se observa nas primeiras simulações (com fótons de tamanho reduzido) é um efeito granulado, que ocorre quando os fótons possuem tamanho insuficiente para que ocorra a sobreposição/mescla entre eles. Nota-se, nos três primeiros casos, que o tempo de renderização diminui quando o tamanho dos fótons aumenta, justificando-se que quanto menor o número de fótons maior a quantidade necessária para abranger uma determinada porção de superfície visível pela fonte de luz, aumentando desta forma o volume de cálculo. Entretanto, comprova-se, com as três últimas simulações deste experimento 1, que quando o tamanho dos fótons determina uma nova sobreposição entre eles, aumenta o número de cálculos para consideração destas sobreposições, aumentando assim o tempo de renderização da cena. Destaca-se que para este experimento foi mantido o valor de 500 no campo “maximum Num. Photons per Sample” (número máximo de fótons por amostragem).



Figura 2: Visualização dos resultados do experimento 1, que se refere à alteração do tamanho dos fótons, registrando-se o tempo de renderização respectivo.

No experimento 2, ilustrado na Figura 3, realizam-se estudos a partir da variação da quantidade de fótons por amostragem. A partir deste tipo de experimento é possível avaliar os valores necessários a serem atribuídos a tal parâmetro, de acordo com o tipo de representação mais ou menos fotorrealista que se esteja buscando. Destacando-se que o tempo de

renderização aumenta proporcionalmente à quantidade de fótons por amostragem.

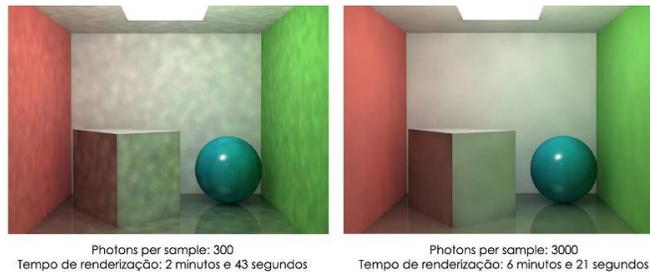


Figura 3: Experimento 2: Visualização da alteração na quantidade de fótons por amostragem

O experimento 3, exemplificado pela Figura 4, refere-se aos estudos de diferenciação das características do material do piso: comportamento difuso, na imagem da esquerda e comportamento reflexivo na imagem da direita. A quantidade de fótons (3000 por amostra) é utilizada nas duas simulações. A primeira constatação a ser feita é em relação à diferença no tempo de renderização. O piso reflexivo, por possuir propriedade *raytrace*, requer um maior número de cálculos, para considerar as interreflexões.

As duas imagens da figura 4 foram geradas na resolução de 2560x1920 pixels, de acordo com as mesmas resoluções utilizadas por JENSEN (1996).

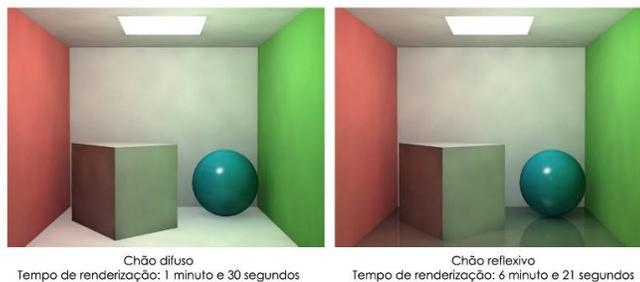


Figura 4: Experimento 3: Visualização dos estudos referentes à diferenciação do material do piso, registrando os respectivos tempos de renderização

### 3.2 Iluminação global/Mapeamento de Fótons /Cáusticas

A cena utilizada para a realização dos experimentos envolvendo cáusticas é composta por um elemento da arquitetura pelotense (ornato sobre a porta de acesso principal da Biblioteca Pública Pelotense). Embora seja composto por um material opaco (figura 5), e considerando-se o interesse didático, o modelo digital deste elemento, gerado no 3DS Max a partir de 70.396 polígonos, foi transformado em material translúcido, adequando-se para a representação de fenômenos complexos que envolvem reflexões e refrações.



Figura 5: Modelo digital do elemento utilizado para aplicação dos efeitos de cústicas:  
ornato sobre a porta principal da Biblioteca Municipal Pelotense

O quadro da Figura 6 mostra os parâmetros definidos para a caracterização do material do ornato, bem como as características e posições das fontes de luz usadas na cena.

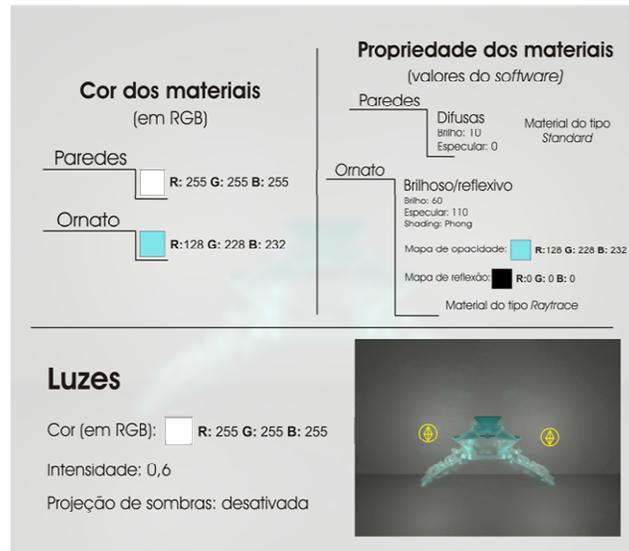


Figura 6: Parâmetros utilizados nos estudos de cústicas: experimentos 4, 5 e 6

O experimento 4, ilustrado pela Figura 7, resulta de uma análise inicial de simulação dos efeitos de cústicas. A intensidade da fonte de luz é fixada, variando-se de 2 a 50, concomitantemente, os valores atribuídos à intensidade da luminosidade projetada e ao número de fótons utilizados para a geração de cústicas. Percebe-se o aumento na definição da forma projetada, em função da maior intensidade e do maior número de fótons, ao mesmo tempo que diminui a capacidade de percepção da geometria do objeto.

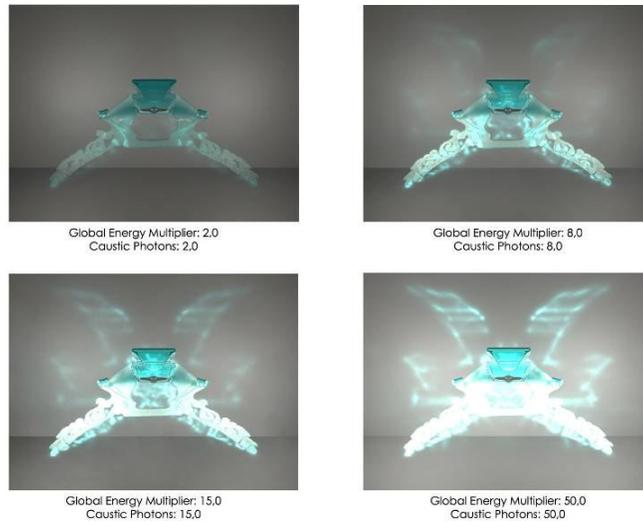


Figura 7: Experimento 4: valores atribuídos à intensidade da luminosidade projetada e ao número de fótons utilizados para a geração de cáusticas .

No experimento 5, referente à figura 8, foi associado ao modelo de simulação um mapa de reflexão, na cor cinza (R: 122 G: 122 B: 122), verificando-se a possibilidade de representação também do fenômeno de reflexão cáustica,



Figura 8: Reflexão cáustica ativada

A figura 9 ainda ilustra um outro tipo de experimento, explorando-se a variação da cor da refração cáustica projetada. De acordo com a ferramenta utilizada, este efeito pode ser representado através da modificação da cor atribuída ao mapa de opacidade do objeto, no caso deste experimento, a cor atribuída foi o laranja (R: 229, G: 136, B: 91). Observa-se que esta alteração afeta, diretamente a cor da projeção das cáusticas.



Mapa de opacidade: R: 229 G: 136 B: 91

Figura 9: Alteração da cor do mapa de opacidade

Percebe-se que a simulação digital dos efeitos de cáusticas, a partir da ferramenta utilizada, deriva de um conjunto de técnicas relativas à representação de cada um dos fenômenos que envolvem tais efeitos como, por exemplo, reflexão, transmissão e refração. Desta forma, existe a possibilidade de modificar minuciosamente as características da representação, que se aproxime mais ou menos do fenômeno físico a ser representado.

#### 4 Análise da transposição ao contexto didático

Tal como pressuposto pela Teoria da Transposição Didática, os estudos realizados procuram explicitar a estrutura do saber envolvido. Isto é, por um lado, trazendo discursos produzidos em momentos de construção dos modelos de iluminação, aqui fundamentalmente caracterizados pelos trabalhos de JENSEN (1996 e 2001), considerados, no âmbito deste trabalho como “conhecimento científico de referência”. Por outro, construindo discursos que associam tal conhecimento aos recursos tecnológicos disponíveis no contexto didático trabalhado.

Registra-se, com este estudo, uma etapa de transposição, configurando desta forma exemplos de situações didáticas possíveis de serem promovidas no contexto didático trabalhado.

#### 5 Considerações Finais

Os experimentos realizados apóiam o esforço docente em trabalhar com os recursos tecnológicos referenciados em discursos científicos. Entretanto, considera-se que estes discursos devam ser complementados com saberes que permitam a compreensão do fenômeno físico em si, aqui denominado por cáusticas. A partir da compreensão da complexidade do fenômeno em questão, a atividade de controle dos parâmetros pode adquirir propósitos definidos, podendo traçar paralelos com o fenômeno no mundo real.

Enfatiza-se, com isto, o caráter interdisciplinar da representação gráfica digital quando, a partir de objetivos didáticos, ultrapassa o propósito de geração de representações pictóricas, mesmo diante dos limites dos recursos disponibilizados.

#### Referências

[1] NADÓLSKIS, Hêndricas. **Comunicação redacional atualizada**. 6ª ed. São Paulo: Instituto

Brasileiro de Edições Pedagógicas, 1998.

- [2] STRAUSS, Wolfgang et al. Staging the space of mixed reality reconsidering the concept of a multi user environment. In: Symposium on VRML, Fourth. **Proceedings**. v. 1, pp. 93-98. Paderborn, 1999.
- [3] PIEGL, Les & TILLER, Wayne. Algorithm for degree reduction of B-spline curves. **Computer-Aided Design**, Elsevier Science, pp. 101-110, v. 27, nº 2, 1995.