

Visualizador Interactivo de Desenhos Arquitectónicos em Sistema de Perspectiva Expandido

Robin Burgess, Ana Paula Cláudio, Teresa Chambel
Maria Beatriz Carmo, Carlos Albuquerque, Christian Marques
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
+351 21 750 00 87
robinburgess.dev@gmail.com, {apc,tc,bc}@di.fc.ul.pt
cmalbuquerque@fc.ul.pt, christian.marques@gmail.com

José Vitor Correia, Luís Romão, Susana Rosado Ganhão, Manuel Couceiro da Costa, Ana Santos Guerreiro, Sara Garcia, Diogo Pereira Henriques
Faculdade de Arquitectura da Universidade de Lisboa
+351 21 361 50 45
{correia,lromao,srosado,mcoucy,anacsg,sgarcia,diogo.ph}@fa.utl.pt

Sumário

A perspectiva linear é uma das ferramentas fundamentais no trabalho dos arquitectos. Porém, a sua capacidade de traduzir graficamente a percepção visual humana é limitada. Por seu turno, os sistemas de perspectiva curvilínea podem complementar a perspectiva linear mas são complexos e difíceis de usar. O Sistema Perspéctico Expandido (EPS - Extended Perspective System) foi concebido para responder a estas necessidades e limitações e para unificar os sistemas linear e curvilíneos – cilíndrico, esférico – num sistema único contínuo. Deste modo oferece-se flexibilidade e compensam-se as limitações de sistemas particulares. O nosso software pretende oferecer as vantagens do EPS aos arquitectos e igualmente a um público mais abrangente, através de uma interface simples e fácil de usar.

Palavras-chave

projecção Não-Linear, Perspectiva Curvilínea, Visualizador Interactivo EPS

1. INTRODUÇÃO

A projecção geométrica é uma ferramenta fundamental no trabalho dos arquitectos, tanto no processo informal de *design* arquitectónico, como forma de representação rigorosa do produto final. Em ambos os casos, a projecção pode ser usada com dois propósitos, para expressar a forma dos objectos de modo a ajudar o processo de construção ou para simular a aparência visual do objecto. Tradicionalmente, o primeiro usa a projecção paralela e o segundo usa a perspectiva linear.

Apesar da sua consensualidade, a perspectiva linear não é um método perfeito para simular a percepção visual humana. Quando o ângulo de visão é aumentado, a perspectiva linear provoca distorções ao ponto de se tornar impossível de reconhecer o que está a ser representado. De facto, a experiência visual não se reduz à mera observação instantânea do espaço envolvente, é antes um processo perceptual e cognitivo complexo e dinâmico. Outras formas de perspectiva, como as perspectivas esférica e cilíndrica, apesar de espacialmente mais abrangentes, são também imperfeitas na representação gráfica da experiência visual.

Isoladamente, cada sistema geométrico de perspectiva proporciona uma interpretação menos holística da percepção visual. Porém, cada sistema apresenta vantagens e desvantagens quando comparado com os restantes. A perspectiva linear mantém a rectilinearidade das linhas mas exibe as distorções mencionadas, tendo também um limite de ângulo de visão inferior a 180°. A perspectiva cilíndrica mantém apenas a rectilinearidade de linhas verticais e produz uma vista panorâmica horizontal em 360°, que de outro modo seria apenas possível com movimento. A perspectiva esférica oferece uma visão panorâmica global do ambiente, introduzindo a curvatura das linhas mas simulando ângulos de visão grandes com mais sucesso que a perspectiva linear. Logo, as várias perspectivas são potencialmente mais úteis quando se usam de modo complementar, dado que juntas oferecem uma maior quantidade e qualidade de informação que sozinhas. Uma das razões porque o desenho à mão livre ainda é tão útil é a sua flexibilidade e capacidade de contornar as restrições e regras estritas de sistemas de projecção formais.

A utilização de perspectivas curvilíneas oferece alguns desafios dada a sua complexidade. Projectar um simples

cubo sobre uma superfície usando a projecção linear é relativamente simples, necessitando apenas de linhas rectas e uma compreensão do conceito de pontos de fuga. Porém, ao usar perspectivas curvilíneas, cada aresta do cubo é potencialmente encurvada e existem dois pontos de fuga em que estas linhas convergem. Outro factor a considerar é o universo de possíveis perspectivas curvilíneas. Os sistemas esférico e cilíndrico estão relativamente bem sistematizados, mas não são de modo algo as únicas formas de perspectiva curvilínea.

A solução que propomos para responder a estes problemas é o Sistema de Perspectiva Expandido (EPS - *Extended Perspective System*) e a sua implementação computacional. Proposto por Correia e Romão, o EPS é um sistema de perspectiva unificado e global que junta os sistemas de perspectiva autónomos correntes, passando estes a ser instâncias de um sistema conceptual mais alargado [Correia2007]. Ao unificar estes sistemas perspécticos num sistema contínuo único, oferecemos aos utilizadores uma vasta gama de representações perspécticas, ultrapassando as limitações de sistemas individuais. Embora continue a ser difícil utilizar o EPS em desenho rigoroso manual, a sua implementação computacional disponibiliza os seus benefícios aos arquitectos e a um público mais amplo, oferecendo uma interface simples e fácil de usar.

A secção seguinte resume algum do trabalho existente relativo a projecções não lineares. A secção 3 descreve o conceito EPS e a secção 4 apresenta as capacidades do Visualizador EPS, a aplicação informática que implementa o EPS. Na secção 5 discutimos a avaliação desta aplicação informática com utilizadores. Finalmente, a secção 6 apresenta as conclusões e o trabalho futuro.

2. TRABALHO RELACIONADO

Trabalhos anteriores sobre a implementação de projecções não lineares em computação gráfica têm seguido diversos caminhos, incluindo a utilização de técnicas de *ray tracing* e de uma ou múltiplas câmaras.

Wyvill e McNaughton formalizaram uma técnica para mapear com *ray tracing* um espaço de imagem bidimensional num espaço de cinco dimensões que define o percurso dos raios. Através da manipulação do mapeamento, poder-se-iam produzir projecções panorâmicas e olho-de-peixe. Apesar do seu poder e simplicidade, este método é demasiado pesado computacionalmente e difícil de controlar [Wyvill1990].

Glasser apresenta uma aproximação à projecção baseada em *ray tracing* que utiliza duas NURBS (*Non-Uniform Rational B-Spline*) para definir a origem e direcção dos raios [Glassner2000]. As superfícies simulam uma câmara amovível que apanha diferentes pontos de vista numa única imagem.

No contexto de física gravitacional, Gröller propôs uma outra projecção não linear baseada em *ray tracing* que consegue simular caminhos encurvados da luz em campos vectoriais gravitacionais [Gröller1995]. Este trabalho foi depois utilizado por Weiskopf para visualizar

o comportamento geométrico de sistemas dinâmicos e efeitos relativísticos em física [Weiskopf2000].

Outros trabalhos dedicados a projecções alternativas têm-se focado em criar imagens combinando pontos de vista múltiplos. Estes processos criam imagens distorcidas que fazem lembrar algumas obras de arte moderna. De facto, estes trabalhos muitas vezes focam-se nas suas aplicações artísticas.

Yu e McMillan propuseram um sistema de *rendering* multi-perspéctico como alternativa a métodos baseados em *ray tracing* [Yu2004a]. No seu trabalho emulam câmaras multi-perspécticas gerais decompondo-as em câmaras lineares gerais independentes e combinando a informação projectada por estas para construir imagens com perspectivas múltiplas [Yu2004b].

Rademacher e Bishop propuseram outro método utilizando uma única câmara em movimento [Rademacher1998]. Ao mover-se ao longo de um caminho, a câmara captura colunas de píxeis em sequência, formando uma imagem única com centros de projecção múltiplos.

Agrawala et al. apresentaram uma técnica de projecção multi-câmara mais avançada que projecta cada objecto numa cena de forma independente, permitindo ao utilizador adaptar a projecção de cada objecto de acordo com as suas necessidades [Agrawala2000]. No fundo, cada objecto tem a sua própria câmara. Ao decompor os objectos para criar a imagem final, aparecem problemas de visibilidade em que a ordem de camadas de objectos varia em cada ponto de vista. Para resolver este problema, e considerando que tipicamente as câmaras estão em posições semelhantes, é definida uma câmara mestra que é utilizada para resolver problemas de visibilidade, através de restrições de profundidade.

Singh construiu sobre a possibilidade de ter objectos ou conjuntos de objectos projectados por múltiplas câmaras [Singh2002]. Os parâmetros de todas as câmaras definidas a operar sobre objectos seleccionados são interpolados para que, mesmo com múltiplas câmaras apenas uma única projecção seja calculada, influenciada por todas as câmaras. Singh, começou mais tarde a trabalhar no projecto RYAN (*Rendering Your Animation Non-Linearly Projected*) com Patrick Coleman, onde propuseram um sistema para a criação interactiva de projecções não-lineares [Coleman2004].

Apesar da grande flexibilidade de sistemas multi-câmara, estes geralmente não são muito adequados para reproduzir as projecções de câmara única rigorosas de que os arquitectos precisam.

Trapp e Döllner apresentaram uma solução para gerar projecções não-planares em tempo real. A solução usa as capacidades já encontradas em placas gráficas modernas para produzir *environment maps* dinâmicos e aplicar projecções sobre estes [Trapp2008]. Exploraram também a utilização de *projection tiles* para combinar projecções lineares com derivados não-lineares e criar projecções personalizadas difíceis de descrever analiticamente.

John Brosz et al. introduziram um sistema de projecção flexível capaz de modelar uma grande variedade de projecções lineares, não-lineares e artísticas utilizando uma única câmara introduzindo o conceito de um volume de visualização flexível [Brosz2007]. Definido parametricamente, o volume tem a capacidade de se dispor numa variedade quase inesgotável de formatos diferentes e funcionar como superfície de projecção, permitindo a recriação tanto de formas de projecção existentes como a criação de novas.

3. O CONCEITO EPS

Como descrito no artigo de Correia e Romão, a estrutura EPS é caracterizada por duas qualidades fundamentais [Correia2007]. Primeiro, esta utiliza a ideia de Flocon e Barre de separar a superfície de projecção da superfície de representação [Flocon1968]. A superfície de projecção é a superfície sobre a qual a cena é inicialmente projectada. A sua forma é o que determina o tipo de projecção obtida como resultado final. Uma superfície esférica produz perspectiva esférica, uma superfície cilíndrica produz perspectiva cilíndrica e uma superfície planar produz perspectiva linear clássica. A informação projectada sobre esta superfície é então transferida para uma superfície de representação plana, produzindo assim o resultado final. O método de transferência afecta também o resultado final.

A forma da superfície de projecção, a propriedade que determina o tipo de projecção final, é controlada por dois parâmetros – o raio e a excentricidade.

O parâmetro raio define a distância entre o centro da superfície de projecção e o centro de projecção. Quando este valor é infinito, a superfície de projecção atinge essencialmente uma forma planar, coincidindo com a superfície de representação, e produzindo perspectiva linear. Ao variar este parâmetro, torna-se teoricamente disponível uma infinidade de estados intermédios. Esta relação pode ser verificada na Figura 1.

O parâmetro da excentricidade define a forma da superfície elipsoidal e a curvatura das linhas verticais resultantes na projecção final. Este parâmetro unifica as perspectivas esférica e cilíndrica, da mesma forma como o raio as unifica à perspectiva planar. A superfície, no limite inferior de excentricidade, é uma esfera, e com excentricidade infinita é cilíndrica. Similarmente ao raio, a excentricidade permite uma infinidade de estados elipsoidais intermédios. Esta relação pode ser vista na Figura 2. Em termos de implementação, o raio e a excentricidade variam no intervalo $[1,100]$, obtendo-se com o valor 100 uma representação próxima da esperada teoricamente para o infinito.

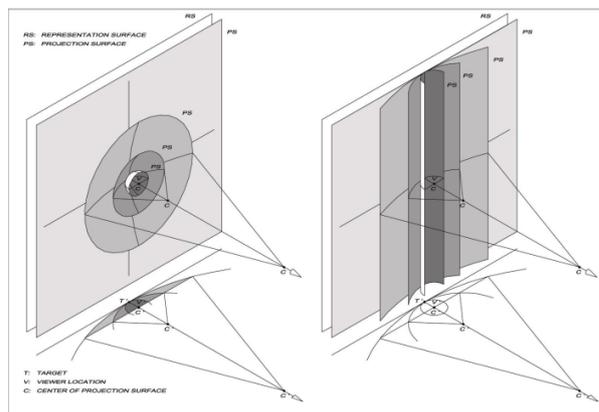


Figura 1: Manipulação do parâmetro raio, no EPS, aplicado a uma superfície de projecção esférica (esquerda) e cilíndrica (direita).

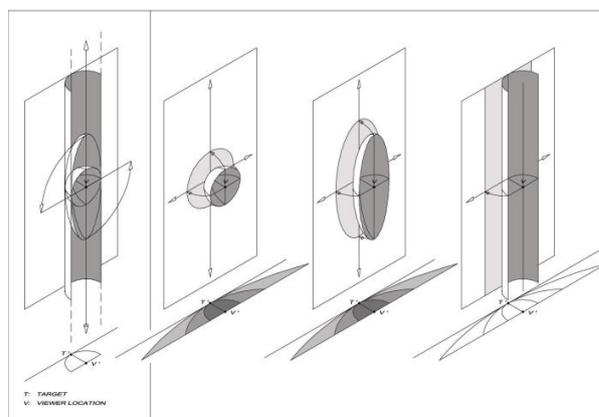


Figura 2: A unificação das perspectivas esférica e cilíndrica no EPS.

O sistema EPS tem três modos de transferência da superfície de projecção para a superfície de representação. O modo esférico (modo azimutal equidistante adaptado), o modo cilíndrico (modo sinusoidal adaptado) e o modo híbrido (adaptativo, que liga os outros dois modos).

3.1 Exemplo Visual do EPS

A grelha de imagens da Figura 3 mostra alguns resultados da manipulação dos parâmetros raio, excentricidade e ângulo de visão. No canto inferior esquerdo, a projecção é essencialmente a perspectiva esférica. No canto superior esquerdo, pode-se encontrar a perspectiva cilíndrica. No canto superior direito, a imagem é equivalente a perspectiva linear, com um ângulo de visão pequeno. No meio encontram-se perspectivas híbridas intermédias.

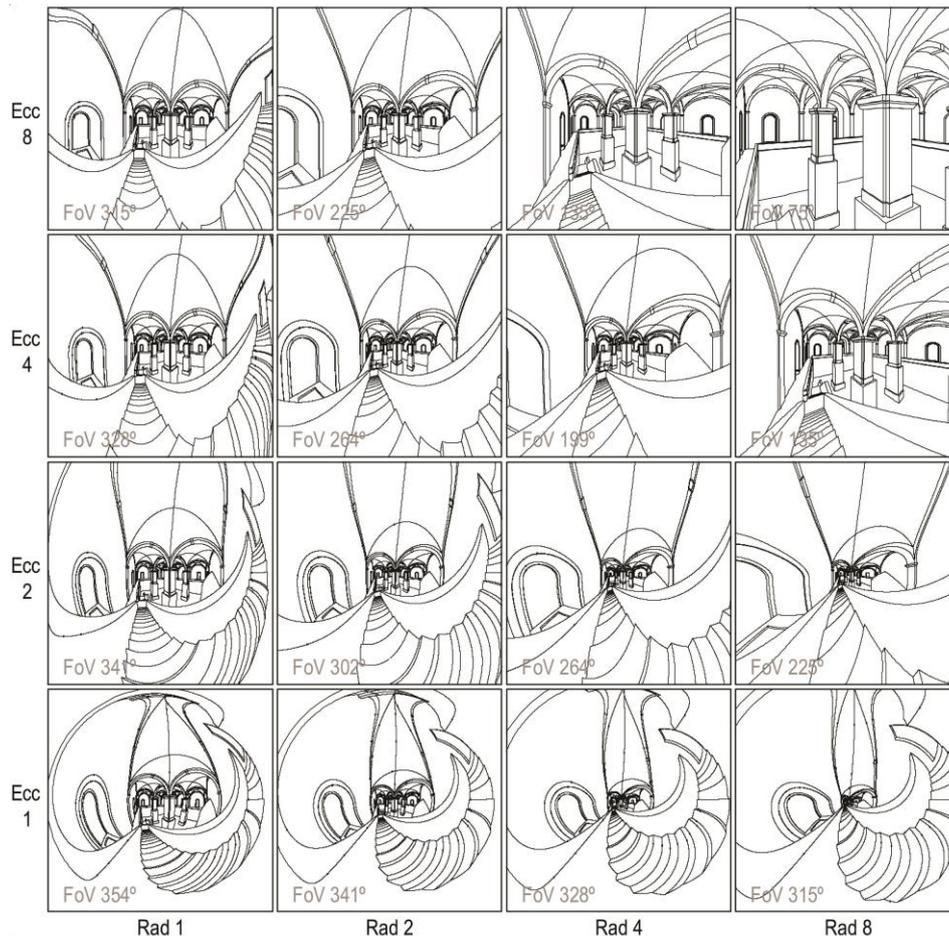


Figura 3: Grelha de imagens obtidas com o EPS

4. O VISUALIZADOR EPS

O Sistema de Perspectiva Expandido, foi implementado como uma aplicação interactiva que permite visualizar cenas tridimensionais: o Visualizador EPS. Controlando a câmara, o raio e a excentricidade, os modelos importados podem ser representados usando os modos de projecção permitidos pelo sistema.

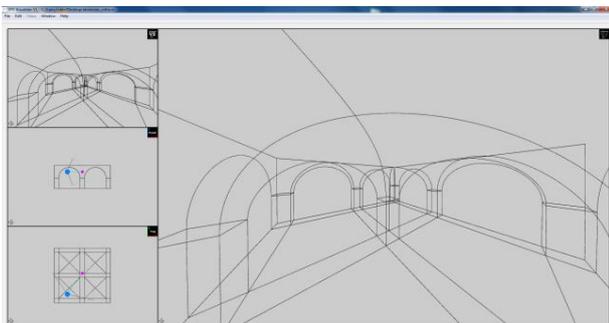


Figura 4: A interface do Visualizador EPS

4.1 Os Viewports

O Visualizador EPS tem um layout simples com quatro *viewports*, um maior que os outros, como se pode ver na Figura 4. Cada um pode ser configurado para mostrar uma de oito diferentes vistas. Seis destas são vistas laterais ortogonais de cima, baixo, esquerda, direita, frente e verso do modelo. As outras duas vistas mostram

o modelo a partir de uma câmara utilizando a perspectiva EPS e a perspectiva linear clássica respectivamente. Por omissão, o *viewport* maior mostra a perspectiva EPS.

É possível alterar a vista de um *viewport* a partir do menu ou clicando no símbolo no canto superior direito do *viewport*.

Podem-se realizar operações de pan e zoom sobre as vistas laterais ortogonais, bem como o zoom extends, que centra o modelo e ajusta o zoom de modo a mostrar o modelo todo. Pode-se ainda realizar a operação de pan sobre as outras vistas e recentrá-las. Nestas vistas a operação de zoom é indistinguível da alteração do ângulo de visão da câmara.

4.2 A Câmara

A posição e a orientação da câmara são definidas por dois pontos, o *viewer* e o *target*. O *viewer* indica a localização da câmara, e o *target* indica a localização do ponto para o qual a câmara está direccionada. Existe também o ângulo vertical da câmara que controla a rotação da câmara sobre o eixo *viewer-target*.

Nas vistas laterais ortogonais, é desenhado um cursor em forma de sector circular que representa a câmara (Figura 5). As esferas representam o *target* (esfera magenta) e o *viewer* (esfera azul) e o sector circular indica o ângulo de visão da câmara.

A posição do *viewer* e do *target* pode ser definida numericamente através da janela de controlo de posição (Figura 6). Pode também ser alterada realizando uma operação de drag sobre o cursor da câmara.

A janela de controlo de projecção permite controlar o ângulo de visão, o ângulo vertical da câmara, o raio e a excentricidade da superfície de projecção e o modo de transferência da superfície de projecção para a superfície de representação (Figura7).

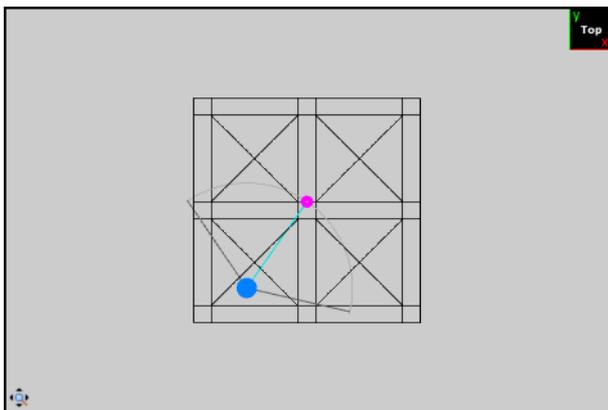


Figura 5: Visualizador EPS - cursor da câmara num viewport lateral

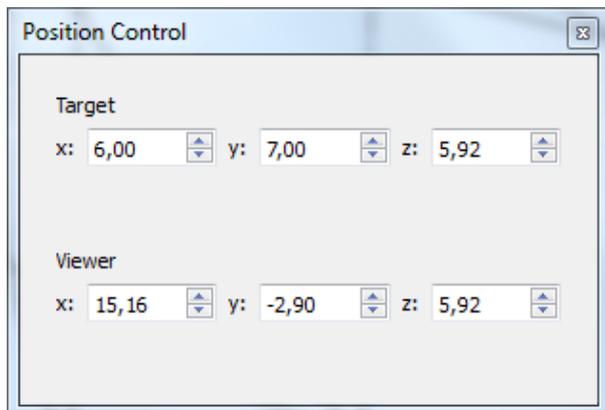


Figura 6: Visualizador EPS - janela de controlo de posição

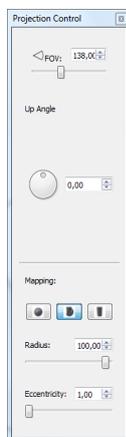


Figura 7: Visualizador EPS - janela de controlo de projecção

4.3 Rendering e Eliminação de Superfícies Invisíveis

Existem dois modos de *rendering* das imagens projectadas. O modo mais rápido desenha simplesmente as arestas dos modelos em *wireframe*, sem a eliminação de linhas invisíveis. Com alguma optimização este modo poderá alcançar a eficiência suficiente para produzir animação em tempo real, pelo menos para modelos mais simples. O segundo modo de *rendering* desenha faces sólidas, eliminando as linhas invisíveis.

Para o segundo modo, foram experimentadas duas aproximações.

A primeira aproximação utiliza o cubemap proposto por Greene [Greene1986], tal como usado por Trapp e Döllner [Trapp2008]. O primeiro passo é fazer o *rendering* do modelo tridimensional em seis imagens, criando um *cubemap* que rodeie a câmara. Este processo é muito rápido dado que pode maximizar a utilização de processos gráficos já muito bem desenvolvidos e das placas gráficas. O segundo passo é considerar cada pixel das imagens do cubemap como quatro pontos no espaço (um para cada canto do pixel) e aplicar o EPS sobre esses pontos.

Esta aproximação é muito lenta, devido à grande quantidade de pontos que têm que ser projectados. Este modo de *rendering* é potencialmente muito poderoso, podendo-se usar, por exemplo, texturas e iluminação sem grande dificuldade, mas nunca poderá ser utilizado para produzir rapidamente imagens, muito menos para produzir animações em tempo real.

Experimentou-se então uma segunda aproximação para o *rendering*. Em vez de começar por produzir imagens planares e aplicar o EPS sobre elas, passou-se a aplicar o EPS directamente sobre os pontos do modelo, tal como no *rendering* em modo *wireframe*. Como o EPS coloca todos os pontos sobre um plano, as faces desenhadas aparecem todas umas sobre as outras. Pode-se então adicionar uma componente de profundidade aos pontos sem alterar a disposição da imagem, mas permitindo a aplicação dos algoritmos de eliminação de invisíveis já existentes.

A dificuldade deste sistema é decidir que profundidade dar aos pontos para garantir que as faces são correctamente apresentadas. Porém, simplesmente aplicar a cada ponto uma profundidade igual à distância entre o ponto original e a posição da câmara produz resultados relativamente bons, surgindo apenas erros em situações específicas. Este processo está em fase de refinamento para ultrapassar estas falhas pontuais.

Este método é um pouco mais lento que o *rendering* em *wireframe* devido ao tratamento recebido pelas faces, mas ao contrário do primeiro método poderá potencialmente ser optimizado para utilização em tempo real.

5. AVALIAÇÃO PRELIMINAR

Foi realizada uma avaliação preliminar do conceito EPS e do Visualizador para determinar a sua utilidade e

usabilidade como ferramenta no processo de design em arquitectura. O contexto desta avaliação foi um workshop realizado em duas sessões com alunos de terceiro ano da Licenciatura em Arquitectura a realizar uma disciplina de Projecto. Os alunos tinham que desenhar um espaço residencial baseado num dado volume e determinar a relação espacial entre um conjunto destes volumes, de modo a produzir um edifício final. O Visualizador EPS foi-lhes apresentado como uma possível ajuda no desenvolvimento deste projecto.

5.1 Método

Na primeira sessão, os alunos adaptaram o modelo arquitectónico 3D do seu projecto ou criaram um usando uma ferramenta CAD para ser compatível com o Visualizador. Na segunda sessão, depois de uma breve introdução e demonstração do Visualizador EPS, os estudantes trabalharam durante uma hora sobre o seu modelo 3D utilizando o Visualizador, e preencheram no final um questionário com 16 questões. Durante a sua utilização, os alunos tiveram acesso a um *quick start guide*, para consulta rápida das opções disponíveis. As questões focaram-se sobre: experiência prévia, como o Visualizador foi utilizado e como ajudou no seu desenho, o conceito EPS em si e a usabilidade da ferramenta.

As respostas eram quase todas fechadas, numa escala de 1 a 5 (variando entre nunca a sempre ou entre muito fraco e muito bom, com NA para não aplicável), havendo algumas perguntas abertas para permitir opiniões mais livres.

Participaram onze estudantes com idades entre os 19 e os 23 anos. Os dados recolhidos foram analisados, procurando-se determinar a percepção de utilidade, facilidade de uso e satisfação com a ferramenta, descobrir quais as falhas na usabilidade da ferramenta e receber *feedback* dos utilizadores através das suas respostas e comentários e pela observação da sua utilização da ferramenta. Os resultados principais são apresentados de seguida no formato: (Média; Desvio Padrão).

5.2 Resultados

Todos os estudantes indicaram ter alguma experiência prévia com software de modelação 3D (Questão 1), às vezes utilizando o modo perspéctico (Q2). Dez já conheciam o conceito de perspectiva curvilínea, geralmente através das aulas ou através de fotografia (Q3). Todos utilizam o desenho à mão livre nos projectos com pelo menos frequência mediana (4.18;0.75) (Q4).

Os estudantes indicaram que o EPS lhes permitiu uma nova leitura do seu projecto ou protótipo (4.63;0.48) (Q5). Como se pode ver na Figura 8, embora o software os tenha ajudado a produzir desenhos de estudo (4.22;0.63) (Q5.3), não os ajudou muito a tomar decisões no seu processo (2.57;1.40) (Q5.1) ou a alterar a sua solução (2.5;1.32) (Q5.2). Isto poderá estar relacionado com o facto de o seu processo de design já estar perto do fim e terem utilizado o software durante relativamente pouco tempo. Os estudantes comentaram que “conseguisse ter uma imediata percepção do interior vs. exterior”, “torna-se mais vantajoso com superfícies e luz” e “facilita a percepção que temos do projecto”.

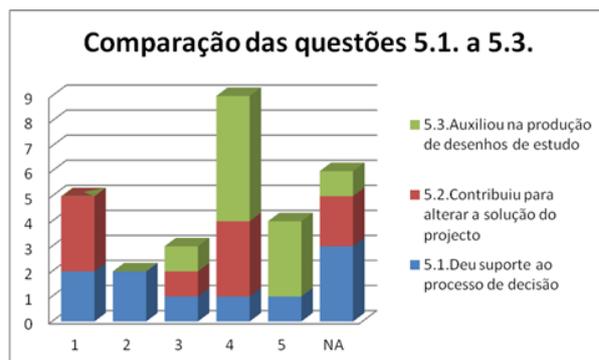


Figura 8: Contribuições do EPS no suporte ao processo de design em arquitectura

Os factores sugeridos para a decisão de imprimir as imagens tiveram sensivelmente a mesma importância: utilidade para a descrição do projecto (4.36;1.03) (Q6.2), simulação da presença do observador no espaço (4.27;0.96) (Q6.3) e o campo visual alargado (4.18;1.03) (Q6.1). Estes dados estão representados na Figura 9.

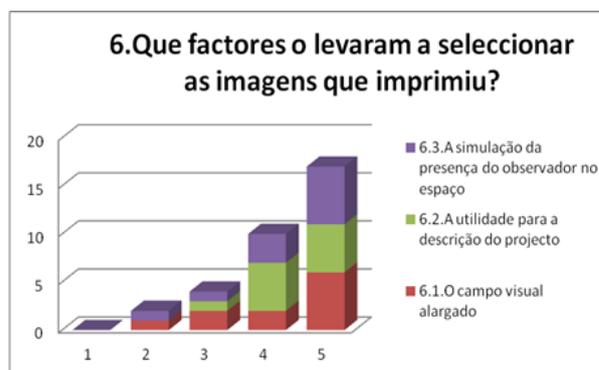


Figura 9: Factores importantes na impressão

Os estudantes indicaram que utilizariam o EPS bastante durante as fases de estudo inicial e de desenvolvimento (3.2;1.4) (Q7.1) mas mais durante a apresentação final (3.9;0.7) (Q7.2), como se vê na Figura 10. Um indicou que o utilizaria para “o desenho de luz/superfície” e outro indicou que dava “melhor percepção do projecto”.

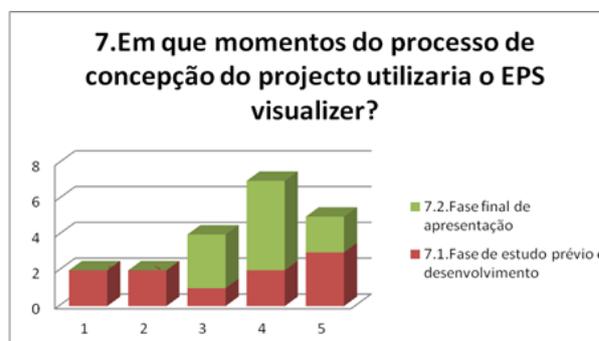


Figura 10: Utilização do EPS nas fases do projecto de arquitectura

O EPS foi considerado um bom complemento ao desenho de mão livre (4.09;0.79) (Q8), que ajudaria a aprendizagem e desenho (4.18;0.72) (Q9) e, como apresentado na Figura 11, foi considerado vantajoso em

comparação a visualizadores perspécticos convencionais (3.9;1) (Q10). Indicaram que “cria uma relação muito interessante entre o exterior e o interior”, “traz outro modo de visualizar os objectos tridimensionais” e que era vantajoso “como modo de aproximação à realidade”. Foram sugeridos melhoramentos como a implementação de superfícies sólidas e iluminação.



Figura 11: Vantagem do EPS como visualizador perspéctico

Na Figura 12 vê-se que os utilizadores acharam o Visualizador fácil de usar (4;0.43) (Q11); a experiência satisfatória (4.36;0.64) (Q12); apreciaram o layout (3.1;0.54) (Q14.1), os comandos (3.55;0.66) (Q14.2), as imagens produzidas (4.18;0.57) (Q14.3), a flexibilidade da interface (3.9;0.94) (Q14.4) e a consistência (3.9;0.83) (Q14.5). Os comentários mais significativos, incluem: “Ajudou a perceber melhor o projecto”, é “simples e intuitivo” e “rápido ao mudar parâmetros e fácil e escolher e imprimir imagens”.

A maioria dos estudantes mostraram interesse em ver o conceito EPS integrado em software de modelação 3D (4.45;0.66) (Q15), cf Figura 13. O *quick start guide* teve apenas utilidade mediana (3.25;1.16) (Q13), o que atesta a facilidade de uso da ferramenta. Os estudantes comentaram que o EPS poderia ser útil no design, na criação de cenários, para trabalhar em detalhes e para ter um maior campo de visão da cena (Q16). Houve também sugestões de que poderia ter aplicações em jogos.

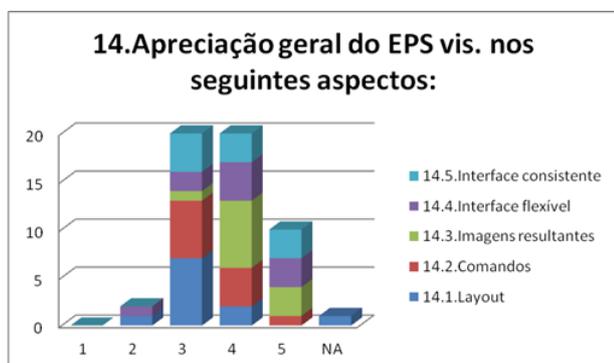


Figura 12: Apreciação geral da interface



Figura 13: Integração do EPS em ferramentas de modelação

6. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Foi apresentado o sistema EPS como um sistema perspéctico unificador que reproduz as perspectivas linear, cilíndrica e esférica e introduz sistemas intermédios. Foi também apresentada a sua implementação prática como uma aplicação de visualização simples.

Discutiu-se os modos como o sistema EPS e o Visualizador foram avaliados e os resultados daí tirados.

Embora as funcionalidades fundamentais da aplicação tenham já sido implementadas, existem ainda vários caminhos de desenvolvimento possíveis. Por exemplo, o conceito EPS é aberto e pode ser estendido para incluir outras superfícies de projecção. Pode-se também expandir as suas capacidades para o mundo das imagens bitmap, utilizando técnicas relacionadas com a de *rendering* já mencionada. Está também no horizonte uma avaliação de usabilidade mais exaustiva e em maior escala, com as funcionalidades revistas e estendidas da ferramenta.

O EPS poderá também ter aplicação para além da arquitectura, em contextos como os da arte digital e dos video-jogos.

7. AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parcialmente suportado pela FCT através do projecto de investigação NAADIR (PTDC/AUR-AQI/098388/2008) e do Programa de Financiamento Plurianual aos laboratórios LaSIGE e LabMAG.

8. REFERÊNCIAS

- [Argwala2000] Agrwala, M., Zorin, D., Munzner, T. Artistic multiprojection rendering. In Proc. of the Eurographics Workshop on Rendering Techniques 2000, pages 125-136, London, UK. Springer-Verlag. <http://graphics.stanford.edu/papers/mpr/>
- [Brosz2007] Brosz, J., Samavati, F. F., Carpendale, S. M. T., Sousa, M. C. Single camera flexible projection. In Proceedings of the 5th International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR'07), pages 33–42. ACM, August 2007.

http://pages.cpsc.ucalgary.ca/~brosz/research/projection/Flexible_Projection.pdf

[Coleman2004] Coleman, P., Singh, K. Ryan: rendering your animation nonlinearly projected. In Proceedings of the 3rd international symposium on Non-photorealistic animation and rendering, NPAR '04, pages 129–156, New York, NY, USA, 2004. ACM. <ftp://ftp.cs.toronto.edu/pub/reports/csr/i/473/ryanTR.pdf>

[Correia2007] Correia V., Romão, L. Extended perspective System. In Proceedings of the 25th eCAADe International Conference, pages 185-192, 2007. <http://home.fa.utl.pt/~correia/EPS.pdf>

[Flocon1968] Flocon, A., Barre, A. La Perspective Curviligne. Flammarion Éditeur, Paris, 1968.

[Glassner2000] Glassner, A. S. Cubism and cameras: Free-form optics for computer graphics. Technical Report MSR-TR-2000-05, Microsoft, California, January 2000. <http://ftp.research.microsoft.com/pub/tr/tr-2000-05.pdf>

[Greene1986] Greene, N. Environment mapping and other applications of world projections. In IEEE Computer Graphic and Applications, Vol. 6, Issue 11, pages 21-29, November 1986.

[Gröller1995] Gröller, E. Nonlinear ray tracing: Visualizing strange worlds. Visual Computer, 11(5):263-274, May 1995. <https://www.cs.drexel.edu/~david/Classes/Papers/Groller95.pdf>

[Rademacher1998] Rademacher, P., Bishop, G. Multiple-center-of-projection images. In Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, SIGGRAPH '98, pages 199–206, New York, NY, USA, 1998. ACM.

http://www.compsci.hunter.cuny.edu/~ioannis/3DP_F03/PAPERS/RENDERING/mcop98.pdf

[Singh2002] Karan Singh. A fresh perspective, Graphics Interface (GI'02), pages 17-24, May 2002. <http://www.dgp.toronto.edu/~karan/pdf/perspective.pdf>

[Trapp2008] Matthias Trapp and Jürgen Döllner. A generalization approach for 3d viewing deformations of single-center projections. In GRAPP International Conference on Computer Graphics Theory and Applications, pages 163-170, January 2008. http://www.hpi.uni-potsdam.de/fileadmin/hpi/FG_Doellner/publications/2008/TD08/NonPlanarProjection.pdf

[Weiskopf2000] Weiskopf, D. Four-dimensional nonlinear ray tracing as a visualization tool for gravitational physics. In Proceedings of the conference on Visualization '00, VIS '00, pages 445–448, Los Alamitos, CA, USA, 2000. IEEE Computer Society Press. <http://www.visus.uni-stuttgart.de/fileadmin/vis/Forschung/relativity/pubs/vis00gr.pdf>

[Wyvill1990] Wyvill, G., McNaughton, C. Optical Models. In In Proc. Of the 8th international conference of the Comp. Graphics Society on CG International: comp. Graphics around the world, pages 83-93. Springer Verlag., November 1990.

[Yu2004a] Jingyi Yu and Leonard McMillan. A framework for multiperspective rendering. In Rendering Techniques, pages 61–68, 2004a. http://www.eecis.udel.edu/~jye/lab_research/EGRW04/EGSR2004.pdf

[Yu2004b] Jingyi Yu and Leonard McMillan. General linear câmaras. In ECCV (2), pages 14–27, 2004b. http://www.eecis.udel.edu/~jye/lab_research/ECCV/ECCV04.pdf