

Concepção de Experiências Psicofísicas para Visualização de Imagens HDR em Dispositivos Móveis

Carlos Urbano, Luís Magalhães, João Moura e Adérito Marcos

Resumo — Nos últimos catorze anos, foram muitas as técnicas desenvolvidas para redução da gama dinâmica de uma cena por forma a melhor mostrá-la em dispositivos de visualização comuns. Têm sido realizadas diversas experiências psicofísicas por forma a classificar num *ranking* os operadores de *tone mapping* (TMOs) mas, até à data, ninguém ousou testá-los em dispositivos com ecrãs pequenos como os PDAs (*Personal Digital Assistants*). O nosso objectivo consiste na escolha do(s) algoritmo(s) que melhor operam neste tipo de dispositivos. Esta decisão basear-se-á em resultados de experiências psicofísicas que serão realizadas. No entanto, é nossa preocupação conceber e conduzir tais experiências com o máximo cuidado e rigor. Assim, neste trabalho definimos as condições experimentais para avaliação dos TMOs em dispositivos com muito baixa gama dinâmica (VLDR – *Very Low Dynamic Range*).

Palavras-Chave — Computer Graphics, High Dynamic Range, Mobile Devices, Psychophysical Experiment, Tone Mapping

1 INTRODUÇÃO

Actualmente, conseguem-se obter imagens a partir do mundo real ou através da geração de imagens de síntese por computador, com uma elevada gama dinâmica (*High Dynamic Range* - HDR), tal como acontece quando olhamos directamente para o mundo que nos rodeia. De forma a armazenar digitalmente esta informação, alguns formatos de ficheiro de imagens foram melhorados e outros criados especialmente para o propósito. No entanto, os actuais dispositivos de visualização apenas permitem mostrar um pequeno subconjunto da gama de cores que o Sistema Visual Humano consegue perceber. Esta limitação pode ser ultrapassada (ou minimizada) aplicando à imagem HDR um determinado algoritmo de forma a fazer um mapeamento da gama de cores original para a gama presente nos usuais dispositivos de visualização. Claro que, com este processo, haverá perda de informação, uma vez que se passa de HDR para LDR (*Low Dynamic Range*) mas, aplicando o algoritmo adequado conseguem-se preservar os detalhes apesar

dessa “compressão”. Estes algoritmos são conhecidos como *Tone Mapping Operators* (TMO).

1.1 High Dynamic Range

«*O mundo real é High Dynamic Range*» - Paul Debevec in SIGGRAPH 2006.

Esta expressão preconizada por Debevec no SIGGRAPH 2006 significa que o mundo real apresenta ao nosso sistema visual um vasto conjunto de cores e intensidades, desde a brilhante luz solar até à fraca luz nocturna. Os nossos olhos lidam com esta vasta gama de intensidades através de um processo chamado adaptação, mudando, assim, as suas sensibilidades, conforme o nível de iluminação que lhes é apresentado. Esta adaptação é altamente localizada permitindo-nos ver, num ambiente com alta gama dinâmica, detalhes tanto em regiões escuras como em regiões claras [1].

Especificamente na área da Computação Gráfica, HDR designa um conjunto de técnicas para geração e visualização de imagens com grande diversidade de intensidade de cores.

1.2 Objectivo: HDR em dispositivos móveis

São inúmeros os TMOs actualmente existentes. Apesar das diferentes premissas em que cada operador se baseia (mapeamento linear, formação da imagem ou em relação ao Sistema Visual Humano), os

- Carlos Urbano pertence ao Departamento de Engenharia Informática da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria. E-mail: curbano@estg.ipleiria.pt,
- Luís Magalhães pertence ao Departamento das Engenharias da UTAD. E-mail: lmagalha@utad.pt.
- João Moura pertence ao Departamento das Engenharias da UTAD. E-mail: jpmoura@utad.pt.
- Adérito Marcos pertence ao Departamento de Sistemas de Informação da Universidade do Minho. E-mail: marcos@dsi.uminho.pt.

TMOs foram desenvolvidos tendo em mente que seriam testados e validados em dispositivos de visualização comuns, como os ecrãs CRT (*Cathod Ray Tube*), LCD (*Liquid Christal Display*) ou Plasma usualmente usados nos computadores. Outros foram também criados a pensar nos dispositivos de impressão. No entanto, nenhum foi idealizado para os pequenos e limitados ecrãs dos dispositivos móveis, caracterizados por uma muito baixa gama dinâmica (*Very Low Dynamic Range*).

Assim, é nosso objectivo determinar qual ou quais os TMOs ideais para os dispositivos móveis.

Um passo rumo a esse objectivo será a realização de experiências psicofísicas para avaliar os TMOs existentes quando aplicados aos pequenos e limitados dispositivos de visualização.

Na secção 2 serão apresentados e classificados alguns dos mais importantes TMOs existentes. Na secção 3 iremos analisar inicialmente o modo de concepção de experiências em geral, partindo depois para uma análise mais específica de experiências realizadas por outros autores, nomeadamente para avaliação de TMOs em dispositivos LDR.

Destas análises prévias, poderemos retirar conclusões úteis para a concepção e desenvolvimento de uma proposta nova, aplicável a dispositivos móveis, a tratar na secção 4, e que constitui, afinal, o desiderato deste trabalho.

2 TONE MAPPING OPERATORS

O conceito de operador de *tone mapping* foi introduzido pela primeira vez na área da Computação Gráfica por Tumblin e Rushmeier em 1993 [2]. O objectivo de um operador (TMO) é comprimir a gama dinâmica de uma imagem para a gama limitada que um dispositivo físico suporta (ver Fig. 1). Existem inúmeros TMOs e podem ser classificados em globais e locais [3]. Usualmente os locais servem de base a operadores dependentes do tempo, simulando a adaptação da visão humana ao longo do tempo.

2.1 Operadores Globais

Estes algoritmos aplicam a mesma transformação a cada *pixel* independentemente da sua posição na imagem. A função básica destes operadores é escalar um valor de luminância real L_w para um valor de luminância do dispositivo

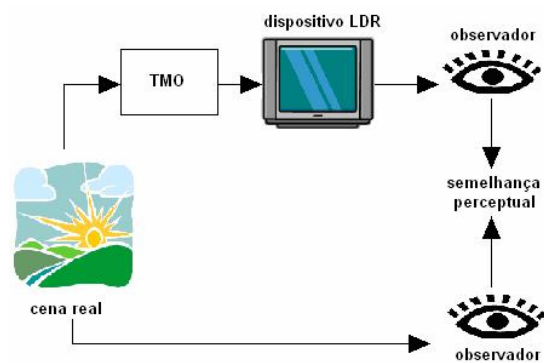


Fig. 1. Operador de *tone mapping* "ideal"

visualizador L_d através de um factor m (1).

$$L_d(x, y) = m \cdot L_w(x, y) \quad (1)$$

Tumblin and Rushmeier [2]

Apesar de já existirem os chamados *tone reproduction methods* em fotografia, impressão e televisão que permitiam preservar as sensações visuais, este é considerado o TMO pioneiro na área da Computação Gráfica. É baseado no trabalho sobre medidas de brilho de *Stevens and Stevens* [4] que afirmam que a relação entre o brilho e a luminância segue leis de potência. Esta relação foi utilizada para desenvolver um multiplicador de forma a que o brilho percebido no mundo real seja percebido em dispositivos de visualização. Este operador foi desenvolvido apenas para imagens em tons de cinzento.

Larson et al. [5]

Operador desenvolvido baseado no trabalho de Ferwerda [6] e no ajuste iterativo do histograma. Preserva o contraste explorando o facto de que as áreas claras devem ser visualizadas com luminâncias maiores do que as áreas escuras. Este operador simula halos, variações na acuidade visual e sensibilidade à cor.

Drago et al. [7]

Este operador baseia-se num algoritmo que efectua a compressão logarítmica dos valores da luminância de forma a simular o funcionamento da visão humana em resposta à luz. É um algoritmo desenvolvido para ser usado em aplicações interactivas. Consegue um equilíbrio entre a compressão e o detalhe através de um parâmetro indicado pelo utilizador o qual define a base da função logarítmica.

2.2 Operadores Locais

Os algoritmos locais aplicam factores de escala diferentes a diferentes partes da imagem. Estas técnicas geram um

multiplicador m diferente para cada *pixel* na imagem com base nos valores da vizinhança do mesmo (2).

$$L_d(x, y) = m(x, y) \cdot L_w(x, y) \quad (2)$$

Chiu et al. [8]

Foi um dos primeiros operadores locais propostos. Apesar de não ser óptimo, os autores demonstraram que os operadores locais são essenciais para comprimir imagens HDR. O operador surgiu de forma exploratória e é baseado apenas em métodos experimentais não tendo em consideração as características do sistema visual humano.

O algoritmo basicamente gera uma imagem de baixa resolução obtida através de um filtro de suavização onde o resultado é a média dos *pixels* vizinhos da imagem original. Depois os valores da imagem são interpolados para aumentarem a luminância da imagem original. É computacionalmente muito dispendioso e cria halos.

Durand e Dorsey [9]

Reduz o contraste preservando o detalhe. O algoritmo baseia-se na decomposição da imagem em dois níveis (*layers*) – o nível base (*base layer*) e o nível de detalhe (*detail layer*). Apenas o primeiro vê o seu contraste reduzido preservando assim o detalhe. Foi usada a técnica do vizinho mais próximo uma vez que não causa alterações ao histograma. Todos estes procedimentos proporcionaram um aumento significativo do desempenho comparativamente a outros operadores locais [8, 10].

Fattal et al. [11]

Por observação concluíram que qualquer mudança drástica na luminância causa gradientes com grandes magnitudes. Por outro lado, os detalhes estão relacionados com gradientes com magnitude inferior. Assim, através da identificação dos grandes gradientes no domínio dos logaritmos conseguiu-se alterar a sua magnitude enquanto mantém a direcção. Obtém-se compressão resolvendo uma equação de *Poisson* no campo dos gradientes atenuados. Operador robusto, simples e computacionalmente eficiente mas não tem em conta a exactidão psicofísica.

Reinhard et al. [12]

Operador de *tone mapping* desenvolvido com base em técnicas fotográficas, nomeadamente, na técnica chamada *Zone System* de *Ansel Adams* [13]. Este sistema baseia-se na medição prática da sensibilidade onde o fotógrafo utiliza informações medidas na cena que vai ser fotografada, por forma a garantir melhores resultados finais. Este

operador, primeiro aplica uma mudança de escala análoga à manipulação do tempo de exposição na máquina fotográfica. Depois, caso seja necessário, aplica um *dodging-and-burning* automático para uma melhor compressão da gama dinâmica. Duas implementações foram realizadas, uma usando *Fast Fourier Transform* e outra utilizando uma aproximação da convolução Gaussiana por *splines* [14]. Esta última, apesar de ser mais rápida introduz artefactos em algumas zonas da imagem final.

Ashikhmin [15]

Preserva os detalhes e a informação absoluta do brilho da imagem. Utiliza um modelo perceptual simples e funcional, sendo fácil de implementar e com uma eficiência computacional moderada.

2.3 Dependentes do Tempo

A adaptação visual permite-nos perceber a luz em intensidades diferentes. Além disso, essa adaptação não acontece instantaneamente. Adaptarmo-nos ao escuro pode demorar minutos enquanto que passar de escuro ao claro demora apenas segundos.

Alguns TMOs têm em consideração estas características da adaptação do sistema visual humano.

Ferwerda et al. [6]

Tem em conta as mudanças súbitas na visibilidade, aparência da cor, acuidade visual e sensibilidade ao longo do tempo. É baseado num modelo perceptual e útil para dispositivos de visualização imersivos.

Pattanaik et al. [16]

Neste operador todos os componentes são derivados de medidas quantitativas vindas da psicologia, psicofísica, ciência das cores e fotografia. Assim, a construção do operador baseou-se no modelo matemático da visão humana de Hunt [17]. Este é um modelo de aparências onde os observadores estimam a intensidade da cena através da comparação de referências mentais do que é branco e do que é preto. Estas referências descrevem a intensidade necessária para que objectos possam ser correctamente percebidos na cena.

Durand and Dorsey [18]

Estenderam o trabalho de Ferwerda et al [6] introduzindo uma fórmula, baseada em testes psicofísicos, que é utilizada quando os cones e os bastonetes estão mutuamente activos. Foi adicionado um efeito de aumento de azul (*blue-shift*) para melhorar as cenas escuras e a adaptação cromática em relação ao operador original. A fórmula da acuidade visual foi também melhorada.

Ledda et al. [1]

Primeiro operador local e dependente do tempo. Estende o trabalho de Pattanaik et al. [16]. A adaptação é localizada e utilizada para calcular uma resposta local. Isto permite adaptar diferentemente cada *pixel* com base nos valores dos *pixels* vizinhos e simular a sensibilidade apenas dos cones ou apenas dos bastonetes.

2.4 Operadores em Hardware Gráfico

Alguns algoritmos foram criados com a intenção de promover o seu uso interactivo através do auxílio de hardware gráfico.

Scheel et al. [19]

Demonstraram como representar cenas com altas gamas dinâmicas, geradas com o *Radiance*, em texturas com baixas gamas dinâmicas do hardware gráfico. A adaptação é calculada usando amostras obtidas pelo *ray-tracing* e as luminâncias de cada vértice são guardadas como coordenadas de texturas. Este processo pode ser actualizado *frame a frame* permitindo um novo nível de interactividade apesar de não ter em conta a adaptação ao longo do tempo.

Goodnight et al. [20]

Exploraram a capacidade de processamento genérico e paralelo do hardware gráfico programável para utilizar TMOs em aplicações interactivas. Foi adicionada também uma dependência de tempo simples, que é crucial para aplicações interactivas.

Artusi et al. [21]

Propuseram uma *framework* híbrida entre CPU e GPU que permite interactividade entre TMOs globais e é facilmente integrável com o pipeline de *rendering* do hardware gráfico actual.

Krawczyk et al. [22]

O conceito chave deste método consiste na decomposição da imagem HDR em áreas (*frameworks*) de luminâncias consistentes e no cálculo local dos valores de luminosidade. A luminosidade de uma imagem é calculada através da junção das *frameworks* proporcionalmente aos seus pesos. Este método não afecta o contraste local e preserva as cores naturais de uma imagem HDR devido ao tratamento linear da luminosidade.

Mantiuk et al. [23]

Foi proposta uma *framework* para operações numa imagem baseada no contraste espacial em vez do valor absoluto dos *pixels*. Este método envolve a transformação do valor da luminância de cada *pixel* da imagem em valores de contraste físico que posteriormente são traduzidos em valores de resposta do sistema visual humano. A imagem resultante é depois modificada alterando os valores de

resposta novamente para valores de luminância. Este operador preserva os detalhes das imagens HDR e mostrou que uma operação complexa para compressão do contraste, preserva texturas de pequeno contraste e pode ser reduzida a uma mudança de escala linear no espaço de resposta visual.

3. EXPERIÊNCIAS PSICOFÍSICAS

Por forma a melhor concebermos experiências psicofísicas para avaliação de TMOs em dispositivos móveis, decidimos seguir o estudo apresentado na Fig. 2. Assim, serão estudados os conceitos básicos sobre concepção de experiências, serão revistas as experiências anteriores para avaliação de TMOs em dispositivos LDR e outros estudos relacionados.

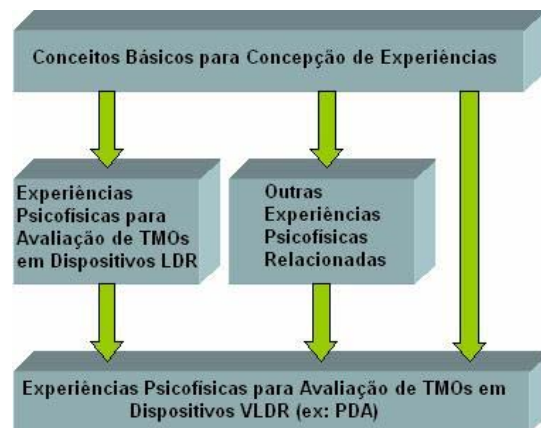


Fig. 2. Obtenção da melhor metodologia para as experiências a realizar

3.1 Conceitos Básicos

Pode-se dizer que um desenho experimental é um plano para atribuição de participantes a condições experimentais e análises estatísticas associadas a esse plano [24]. A elaboração experimental envolve diversas actividades interrelacionadas:

Hipótese Estatística – formulação de uma declaração sobre um ou mais parâmetros da população. A hipótese deve ser clara e objectivamente formulada por forma a tornar possível uma relação entre os dados.

Condições Experimentais – determinação das variáveis independentes (a serem manipuladas), das variáveis dependentes (a serem medidas) e das condições estranhas que devem ser controladas (*nuisance variables*). As variáveis dependentes podem ser influenciadas por mudanças em uma ou mais variáveis independentes.

Participantes – especificação do número de participantes necessários e da população da qual esses participantes constituem uma amostra. Normalmente não é possível efectuar a experiência com toda a população. Assim, apenas um subconjunto é considerado. Esta amostra deve ser representativa do universo populacional. A escolha do tipo e número de participantes depende do propósito do estudo.

Procedimento – define como os participantes devem ser atribuídos às condições experimentais. Isto inclui definir, se a experiência vai incidir sobre indivíduos ou sobre diferentes subgrupos ou se deverá existir um tempo de adaptação ou de descanso.

Análise Estatística – Uma das ferramentas mais úteis para perceber a variabilidade nas experiências é a Análise de Variância (ANOVA), cuja ideia básica foi desenvolvida por Ronald A. Fisher [25].

Fisher sugeriu aos investigadores que complementassem os testes de significância medindo a intensidade da associação. Infelizmente, não há medidas estatísticas que meçam a significância prática. Apenas o investigador pode determinar se os resultados são ou não importantes e úteis. Uma maneira de ajudar a decidir é recorrendo aos intervalos de confiança e medir a magnitude do efeito [26], [27].

Resumindo, podemos dizer que um desenho experimental identifica as variáveis dependentes, independentes e outras estranhas e indica como abordar a aleatoriedade e os aspectos estatísticos de uma experiência.

3.1.1 Princípios para Boa Conduta Experimental

De acordo com as publicações de Ronald A. Fisher *Statistical Methods for Research* e *The Design of Experiments*, o pilar de qualquer boa experiência é a **aleatoriedade**. Este pressuposto é, alias, unanimemente sufragado por todos os investigadores. De facto, a atribuição aleatória de participantes oferece diversos benefícios. Para não tendenciar os resultados da experiência, a atribuição aleatória ajuda a distribuir as características particulares e únicas dos participantes. Também permite o cálculo de uma estimativa credível dos efeitos dos erros e ajuda a assegurar que esses efeitos sejam estatisticamente independentes.

Outros dois princípios de uma boa experimentação tornaram-se também populares através de Fisher: **replicação** e

agrupamento (ou controlo local). Replicação é a observação dos participantes em condições idênticas permitindo estimar os efeitos de erro e obter uma estimativa mais precisa dos tratamentos desses efeitos. O agrupamento é um procedimento experimental que permite isolar variações associadas a uma condição estranha (*nuisance variable*). Estas variáveis podem ser diferenças entre os participantes, variações na apresentação das instruções aos participantes, mudanças nas condições do ambiente, efeito de fadiga e aprendizagem quando os participantes são observados por diversas vezes.

3.1.2 Outros aspectos importantes

Aspectos éticos

Uma vez que nas experiências psicofísicas existe a participação de pessoas torna-se fundamental ter em atenção alguns aspectos éticos. O participante deve ser livre de desistir da experiência a qualquer momento. É comum dar-se alguma forma de compensação a cada participante. A pessoa deve dar o seu consentimento e ficar segura que a confidencialidade será garantida e nenhuma informação será revelada sem a sua autorização. A informação recolhida na experiência deve ficar guardada usando um identificador aleatório.

Testes piloto

Uma grande parte do trabalho envolvido na realização de experiências está na sua concepção e preparação. Para garantir a praticabilidade da experiência é vulgar a realização de testes piloto permitindo, assim, identificar problemas antes da colecta dos dados reais experimentais. Um teste piloto é um teste em menor escala do processo experimental pretendido, onde o feedback ganho permite preparar experiências mais robustas e refinadas.

3.2 Experiências Realizadas para Avaliação de TMOs em Dispositivos LDR

De seguida serão apresentadas e comparadas diversas experiências psicofísicas realizadas por diferentes autores para a avaliação de *tone mapping operators* em dispositivos LDR. Esta análise permitirá tirar algumas conclusões proveitosas para as experiências a realizar, designadamente alguns cuidados a ter na sua preparação. Na Fig. 3 pode-se observar um resumo comparativo das várias experiências descritas.

	Nº Participantes	Nº Cenas	Nº Imagens	Nº TMOs	Método Comparativo	Atributos Comparados
Drago et al (2003)	11	4	24	6	par-a-par	detalhe naturalidade contraste
Yoshida et al (2005)	14	2	14	6 + linear	todas + realidade (pontuação)	contraste brilho naturalidade detalhe
Ledda et al (2005)	48	23	138	6	par-a-par + HDR	semelhança detalhe
Cadik et al (2006)	10	1	14	14	imagem + realidade (pontuação)	brilho contraste detalhe cor
Ashikhmin and Goyal (2006)	15	4	20	5	todas + realidade	semelhança

Fig. 3. Quadro comparativo das experiências realizadas para comparação de TMOs

3.2.1 Drago et al [28]

Este trabalho tinha como objectivo a definição de uma metodologia para comparação dos TMOs existentes, com vista à compreensão dos seus pontos fortes e fracos. Na experiência psicofísica foram utilizadas 24 imagens de 4 cenas diferentes (tanto sintéticas como reais), às quais foram aplicados 6 TMOs, a saber, [6], [29], [12], [30], [2], [5]. Onze participantes avaliaram essas imagens de acordo com a sua percepção. Cada um dos 11 observadores comparou cada par de imagens geradas pelos TMOs em cada uma das 4 cenas. Para melhor interpretar os resultados foram obtidos, para todos os estímulos, valores psicofísicos com respeito a três atributos: contraste, nível de detalhe e naturalidade.

3.2.2 Yoshida et al [31]

Estes autores conduziram uma experiência psicofísica baseada na comparação directa entre cenas do mundo real e as imagens HDR dessas cenas visualizadas em monitores LDR.

Nesta experiência as imagens HDR foram mapeadas usando mapeamento linear juntamente com mais 6 TMOs existentes [15], [7], [9], [16], [12], [5]. O objectivo principal da experiência foi avaliar as diferenças de percepção das imagens mapeadas e descobrir quais os atributos de imagem que influenciam essas diferenças quando as imagens mapeadas são comparadas directamente com a cena real correspondente. Os participantes pontuaram os seguintes atributos de imagem: naturalidade, contraste, brilho, reprodução de detalhes em zonas escuras e claras da imagem, sempre em comparação com a cena real.

Na experiência participaram 14 pessoas, 2

do sexo feminino e 12 do sexo masculino, com idades compreendidas entre os 24 e os 34 anos. Todos ignoravam os objectivos da experiência e tinham visão normal ou devidamente corrigida. Foram utilizadas 2 cenas *indoor*. Estes autores conduziram previamente um teste piloto com observadores experientes para afinarem os parâmetros de cada operador. Foi pedido aos participantes para permanecerem na mesma posição de onde as imagens HDR foram obtidas. Os participantes, viram as 7 imagens, uma após outra, de cada uma das 2 cenas. Para a visualização das imagens foi usado um monitor devidamente calibrado.

Os participantes compararam cada uma das 14 imagens com a sua correspondente cena real e atribuíram pontuações para a aparência e realismo da imagem. Todas as pontuações foram atribuídas movendo *scroll bars* e aos participantes era permitido navegar entre as imagens de uma cena. A tarefa completa para cada participante demorou cerca de 20 a 30 minutos.

3.2.3 Ledda et al [32]

O seu trabalho consistiu na realização de uma série de experiências para validação de 6 TMOs [7], [9], [33], [1], [12], [5] em comparação com cenas linearmente mapeadas num dispositivo HDR. Os principais objectivos deste estudo foram determinar qual o melhor algoritmo e propor uma metodologia experimental para validar esses operadores.

A utilização do dispositivo HDR tem algumas vantagens assinaláveis em relação às cenas 3D reais: permite controlar a resolução do ecrã, dimensões, colorimetria, distância de visão e luz ambiente, obtendo-se, assim, um ambiente mais controlado.

A metodologia usada baseou-se na comparação par-a-par, na qual os observadores foram confrontados com 3 imagens: 2 mapeadas por diferentes TMOs e visualizadas num dispositivo LDR e 1 cena real mostrada num dispositivo HDR. Cada observador escolheu a imagem LDR que mais se aproximava à de referência mostrada no dispositivo HDR. As vantagens das comparações par-a-par não são apenas a simplicidade e a avaliação da transitividade.

Nas experiências foram usadas 23 cenas de variadas categorias (*indoor*, dia, noite e de síntese), num total de 138 imagens diferentes (6 mapeadas por cena).

Cada participante foi instruído para efectuar todas as comparações possíveis de pares retirados do conjunto de teste. Apesar do número de tentativas ser enorme e

temporalmente dispendioso, torna-se mais fácil avaliar e comparar as escolhas de cada observador.

Foram realizadas 2 experiências. Na primeira, os observadores tiveram de escolher qual a imagem mais parecida com a imagem de referência, enquanto que na segunda experiência, fizeram julgamentos baseados na reprodução de detalhes.

As imagens mapeadas foram mostradas em 2 monitores LCD de 15" devidamente calibrados. Tantos os LCDs como o dispositivo HDR estavam com resolução 1024 x 768 a 60Hz. Foi assegurado que cada participante tinha a visão alinhada com o centro do ecrã HDR mediante o ajuste da cadeira em altura. A distância de visão foi de 80cm.

As experiências foram conduzidas numa sala escura para evitar o efeito de luz ambiente. Cada participante teve 5 minutos para se ajustar ao ambiente antes do início da sua participação. A ordem e localização das imagens apresentadas foram aleatórias. Após um teste piloto, foi estipulado que cada participante teria 13 segundos para fazer cada escolha. Todos tinham entre 20 e 34 anos de idade e visão normal ou devidamente corrigida.

3.2.4 Cadik et al [34]

Estes autores apresentaram uma visão geral dos atributos qualitativos de imagem de diferentes TMOs e propuseram um esquema de relações entre esses atributos, conduzindo à definição de medida da qualidade geral de imagem. Para provar o esquema de relações foram feitos testes psicofísicos. Foi também feita uma avaliação de TMOs existentes em relação a esses atributos. Este estudo será também útil para avaliar futuros TMOs.

Diferentemente de outros estudos, estes autores adoptaram tanto a comparação directa das imagens mapeadas com a cena real, como a avaliação subjectiva, sem uma referência real. Foi conduzido um teste piloto inicial para melhor preparar a experiência. Os atributos escolhidos para caracterizarem uma imagem foram o brilho, contraste, cor e detalhe.

A primeira experiência foi baseada em pontuação, sendo apresentadas simultaneamente aos observadores a cena real (*indoor*) e a imagem mapeada correspondente a essa cena. Depois de criada a imagem HDR da cena, foram obtidas 14 imagens mapeadas com 14 TMOs diferentes [15], [8], [35], [7], [9], [11], [36], [12], [30], [37], [10], [5], [38]. As imagens foram mostradas aleatoriamente e cada participante

pôde visualizar tanto a cena real como a imagem LDR da cena num monitor CRT calibrado. O teste decorreu numa sala escura sob nível de luz ambiente controlado. A 10 participantes com idades compreendidas entre os 26 e os 52 anos foi pedido que avaliassem a qualidade geral da imagem e os 4 atributos básicos para cada imagem, atribuindo pontuações (entre 1 e 14), com respeito à cena real. Os observadores tinham visão normal ou corrigida e eram leigos no campo da Computação Gráfica.

Na segunda experiência participou um conjunto diferente de 10 observadores que nunca tinham visto a cena real. A tarefa consistiu em ordenar impressões de cada imagem resultantes da aplicação dos 14 operadores, de acordo com a qualidade geral da imagem e a qualidade do contraste, brilho, cor e reprodução de detalhe. As impressões visualizadas eram imagens a cores de alta qualidade em papel *glossy*.

Para determinar a importância de cada atributo, os autores recorreram à regressão linear, concluindo que o brilho é o atributo com maior peso e a reprodução de detalhe com menor.

3.2.5 Ashikhmin and Goyal [39]

Este trabalho mostrou que é muito difícil julgar o desempenho de técnicas modernas de *tone mapping* com os métodos comparativos existentes e ainda que é fundamental usar ambientes reais nas experiências.

Foram conduzidos três conjuntos de experiências, cada um envolvendo 4 ou 5 cenas. Em todos os casos foi pedido aos participantes que ordenassem as imagens de cada cena, obtidas por diferentes técnicas de *tone mapping* [35], [7], [11], [12], [5]. A interface desenvolvida permitiu visualizar todas as imagens, ao mesmo tempo, num só ecrã e também ver uma imagem específica numa resolução de 1024 x 768. O monitor estava cuidadosamente calibrado.

Quinze pessoas de diversas áreas participaram no estudo. Experiências diferentes foram realizadas em dias distintos e todas as imagens foram apresentadas aleatoriamente. Os participantes tinham visão normal ou corrigida e foi-lhes dado tempo suficiente para se adaptarem ao local antes do início da sessão. Não foi imposto qualquer limite de tempo para o processo de selecção.

As duas primeiras experiências não envolveram cenas reais. Na primeira, foi perguntado a cada participante qual a imagem de que mais gostava, e na segunda qual achava que era a mais real. Na terceira

experiência foi perguntado a cada participante qual a imagem que mais se aproximava à cena real à sua frente.

Não foi encontrada nenhuma diferença na ordenação depois de vários testes piloto ao variar algumas condições experimentais: distância ao local da cena, nível de luz ambiente e restrição ou não do campo de visão. As cenas deveriam ser fielmente reproduzidas, uma vez que as experiências se prolongavam por diversos dias. Em virtude deste factor, as cenas de exterior foram excluídas, seleccionando-se, assim, quatro cenas de interior (*indoor*), cada uma cobrindo uma vasta gama de factores que influenciam o desempenho dos TMOs. As cenas escolhidas tinham diferentes gamas dinâmicas e variavam no número de objectos que continham e nos níveis de detalhe.

Os autores optaram pela ordenação simples, em vez de comparação par-a-par, por ser muito menos cansativo para os participantes.

3.3 Outras Experiências Relacionadas

3.3.1 Kate Devlin [40]

Kate Devlin descreveu um método para medição do efeito da luz ambiente sem recorrer a equipamentos especializados, utilizando a resposta visual do observador ao ambiente em que está situado.

Para isso, realizou experiências que, por terem sido, a nosso entender, convenientemente elaboradas e onde todas as opções foram plenamente justificadas, foram cautelosamente dissecadas e tidas em conta para a preparação de novas experiências.

3.3.2 McNamara [41]

A experiência psicofísica levada a cabo por McNamara trouxe um elemento, no mínimo interessante e que poderá ser incluído nas nossas experiências. Trata-se da restrição na maneira como as cenas reais são visualizadas. Assim, por forma a eliminar a percepção de profundidade e o efeito 3D, as cenas reais foram observadas monocularmente. Isto proporciona uma melhor comparação das imagens visualizadas num ecrã com a cena observada no mundo real.

4. PROPOSTA DE CONCEPÇÃO EXPERIMENTAL

Após o estudo explanado estamos em condições de agrupar as vantagens

observadas em experiências prévias e utilizá-las nas que iremos a realizar. Da mesma forma queremos evitar pontos fracos e erros cometidos em algumas dessas experiências. De seguida será descrito o processo que concluímos ser o mais indicado para a realização de experiências psicofísicas para avaliação de TMOs em dispositivos móveis em comparação com a avaliação de TMOs em dispositivos CRT.

4.1 Hipótese Estatística

A hipótese estatística do nosso estudo será que o melhor TMO para dispositivos móveis, em particular PDAs, é diferente do melhor TMO para ecrãs CRT.

4.2 Condições Experimentais

Iremos realizar uma experiência dividida em duas fases com condições experimentais semelhantes onde a única diferença será nos dispositivos de visualização usados (CRTs e PDAs). Assim, teremos 2 variáveis independentes, os tipos de dispositivos e os TMOs; e 4 variáveis dependentes, os atributos de imagem que servirão de base à avaliação, a naturalidade, contraste, cor e detalhe.

4.3 Participantes

Iremos proceder a um teste piloto com poucos mas experientes participantes para afinar as condições da experiência e, em particular, para verificar a importância da visão monocular da cena real sugerida por McNamara [41].

Na experiência real, participarão pelo menos 18 observadores. Uma vez que, para experiências psicofísicas o factor cognitivo dos participantes não tem qualquer influência, o número de pessoas a usar, dependerá da análise estatística procedente. Os participantes terão idades compreendidas entre os 18 e os 45 anos, com visão normal ou corrigida.

Será dado a cada participante tempo suficiente para se adaptar ao local e às condições da experiência.

4.4 Procedimento

Na primeira fase da experiência, as imagens mapeadas serão mostradas aos pares a cada participante em dois CRTs semelhantes e calibrados. A ordem e a localização das imagens serão aleatórias. A resolução e número de cores de cada imagem serão 1024x768 e 24-bit, respectivamente.

Na segunda fase, também as imagens mapeadas serão mostradas aos pares a cada participante mas agora em dois PDAs semelhantes. A ordem e a localização das imagens serão aleatórias. A resolução e número de cores de cada imagem serão os mesmos dos PDAs. Assim, teremos imagens 240x320 (QVGA) e 65.536 cores.

Em ambas as fases, a escolha entre as duas imagens será efectuada, para cada atributo de imagem, tendo como referência a cena real à frente do observador. Este processo de selecção será confirmado pelo participante clicando no ecrã do PDA em cuja imagem o atributo a avaliar é considerado mais similar à cena real.

Uma vez que a experiência se prolongará por diversos dias, será fundamental reproduzir fielmente todas as condições existentes. Apenas consideraremos uma cena de interior, onde o nível de luz ambiente é facilmente controlado.

4.5 Análise Estatística

A análise estatística passa por verificar se a variação entre dispositivos e operadores é ou não significativa. Para a medirmos utilizaremos a Análise de Variância (ANOVA) e, como suporte aos resultados obtidos, serão realizados *paired t-tests* para demonstrar onde se situam as diferenças.

Temos em mente recorrer também a ferramentas estatísticas como o Coeficiente de Concordância de Kendall e/ou à Lei do Julgamento Comparativo de Thurstone para testar a similaridade das escolhas dos participantes e ao Coeficiente de Consistência para verificar a transitividade nas opções de cada participante.

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Este estudo sobre concepção de experiências psicofísicas foi de inegável importância para a correcta preparação de estudos similares. Muitos aspectos aparentemente irrelevantes e que facilmente poderiam passar despercebidos foram realçados permitindo despertar a atenção para novos factores que possam surgir em experiências com âmbitos particulares.

O futuro próximo passa pela realização das experiências para definir quais os operadores de *tone mapping* (TMO) mais adequados para visualização de imagens HDR em dispositivos limitados (VLDR) e compará-los com os melhores para dispositivos CRT.

Outro dos nossos objectivos será a correcção do contraste dependendo das condições de

luminosidade existentes no local. Pretende-se, assim, que uma imagem seja percebida da mesma maneira quando vista à noite, de dia, com luz artificial e outras, controlando o efeito provocado pela luz que incide na superfície de visualização e que é reflectida. Obviamente, apenas teremos em consideração a luz difusa, uma vez que a luz especular é praticamente impossível corrigir com os meios actuais.

REFERÊNCIAS

- [1] P. Ledda, L. P. Santos, and A. Chalmers, "A local model of eye adaptation for high dynamic range images," in *Proceedings of the 3rd international conference on Computer graphics, virtual reality, visualisation and interaction in Africa* Stellenbosch, South Africa: ACM Press, 2004.
- [2] J. Tumblin and H. Rushmeier, "Tone Reproduction for Realistic images," in *IEEE Computer graphics and Applications*, Vol. 13 (6):42-48, 1993.
- [3] A. K. Devlin, A. Chalmers, A. Wilkie, and W. Purgathofer, "STAR: Tone Reproduction and Physically Based Spectral Rendering," in *State of the Art Reports, Eurographics 2002*: Dieter Fellner and Roberto Scopigno, 2002.
- [4] S. S. Stevens and J. C. Stevens, "Brightness Function: Parametric Effects of Adaptation and Contrast," in *Journal Opt. Soc. Am.* 50, 11 (Nov.) (Program of the 1960 Annual Meeting), 1139, 1960.
- [5] G. Ward-Larson, H. Rushmeier, and C. Piatko, "A Visibility Matching Tone Reproduction Operator for High Dynamic range Scene," in *IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 3 (4):291-306, 1997.
- [6] J. A. Ferwerda, S. N. Pattanaik, P. Shirley, and D. P. Greenberg, "A Model of Visual Adaptation for Realistic Image Synthesis," in *ACM Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH)96*, pp. 249-258, 1996.
- [7] F. Drago, K. Myszkowski, T. Annen, and N. Chiba, "Adaptive Logarithmic Mapping For Displaying High Contrast Scenes," in *Eurographics EG2003*, 2003.
- [8] K. Chiu, M. Herf, P. Shirley, S. Swamy, C. Wang, and K. Zimmerma, "Spatially Nonuniform Scaling Functions for High Contrast Images," in *Graphics Interface '93*, San Francisco, CA, 1993, pp. p. 245-253.
- [9] F. Durand and J. Dorsey, "Fast Bilateral Filtering for the Display of High-Dynamic-Range Images," in *ACM Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH)2002*, pp. 257-266, 2002.
- [10] J. Tumblin and L. Turk, "LCIS: A Boundary Hierarchy For Detail-Preserving Contrast Reduction," in *Proceedings ACM SIGGRAPH Conference 1999 Los Angeles*, pp.83-90, 1999.
- [11] R. Fattal, D. Lischinski, and M. Werman, "Gradient Domain High Dynamic Range Compression," in *ACM Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH)2002*, pp. 249-256, 2002.
- [12] E. Reinhard, M. Stark, P. Shirley, and J. Ferwerda, "Photographic tone reproduction for digital images," in *Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques* San Antonio, Texas: ACM Press, 2002.
- [13] A. Adams, *The Print* Little, brown and Company, 1983.
- [14] J. B. Peter and H. A. Edward, "A multiresolution spline with application to image mosaics," *ACM Trans. Graph.*, vol. 2, pp. 217-236, 1983.
- [15] M. Ashikhmin, "A Tone Mapping Algorithm for High Contrast Images," in *Thirteenth Eurographics Workshop on Rendering*, 2002.
- [16] S. N. Pattanaik, J. Tumblin, H. Yee, and D. P. Greenberg, "Time-Dependent Visual Adaptation For Fast Realistic Image Display," in *ACM Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH)00*, 47-53, 2000.

- [17] R. Hunt, *The Reproduction of Colour in Photography, Printing and Television*, 5th ed.: Fountain Press, 1995.
- [18] F. Durand and J. Dorsey, "Interactive Tone Mapping," in *Proceedings Eurographics Workshop on Rendering EGWR02*, 2000.
- [19] A. Scheel, M. Stamminger, and H. P. Seidel, "Tone Reproduction for Interactive Walkthroughs," in *Proceedings Eurographics 2000, Vol. 19 (3)* 2000.
- [20] N. Goodnight, R. Wang, C. Woolley, and G. Humphreys, "Interactive Time-Dependent Tone Mapping Using Programmable Graphics Hardware," in *Eurographics Symposium on Rendering*, 2003.
- [21] A. Artusi, J. Bittner, M. Wimmer, and A. Wilkie, "Delivering Interactivity to Complex Tone Mapping operators," in *Proceedings Eurographics Symposium on rendering EGSR03*, pp. 38-44, June 2003, 2003.
- [22] G. Krawczyk, K. Myszkowski, and Hans-Peter Seidel, "Lightness Perception in Tone Reproduction for High Dynamic Range Images," in *The European Association for Computer Graphics 26th Annual Conference EUROGRAPHICS 2005* Dublin, Ireland: Blackwell, 2005.
- [23] R. Mantiuk, K. Myszkowski, and H.-P. Seidel, "A perceptual framework for contrast processing of high dynamic range images," in *Proceedings of the 2nd symposium on Applied perception in graphics and visualization* A Coruña, Spain: ACM Press, 2005.
- [24] R. E. Kirk, *Experimental Design: Procedures for the Behavioral Sciences*, Third ed.: Pacific Grove, CA: Brooks/Cole, 1995.
- [25] R. A. Fisher, *Statistical methods for research workers*. Edinburgh: Oliver & Boyd, 1925.
- [26] R. E. Kirk, "Promoting Good Statistical Practices: Some Suggestions," in *Educational and Psychological Measurement*, 2001.
- [27] I. B. Weiner, *Handbook of Psychology* vol. 12, 2003.
- [28] F. Drago, W. L. Martens, K. Myszkowski, and H.-P. Seidel, "Perceptual evaluation of tone mapping operators," in *ACM SIGGRAPH 2003 Sketches & Applications* San Diego, California: ACM Press, 2003.
- [29] J. Franke and J. J. McCann, "Method and Apparatus for Lightness Imaging," 1983.
- [30] C. Schlick, "Quantization Techniques for Visualization of High Dynamic Range Pictures," in *5th Eurographics Workshop on Rendering* Darmstadt, 1994.
- [31] A. Yoshida, V. Blanz, K. Myszkowski, and H.-P. Seidel, "Perceptual evaluation of tone mapping operators with real-world scenes," in *SPIE*, 2005.
- [32] P. Ledda, A. Chalmers, T. Troscianko, and H. Seetzen, "Evaluation of tone mapping operators using a High Dynamic Range display," in *ACM SIGGRAPH 2005 Papers* Los Angeles, California: ACM Press, 2005.
- [33] G. M. Johnson and M. D. Fairchild, "Rendering HDR Images," in *11th Color Imaging Conference*, 2003.
- [34] M. Cadik, M. Wimmer, L. Neumann, and A. Artusi, "Image Attributes and Quality for Evaluation of Tone Mapping Operators," in *Pacific Graphics 2006 (14th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications)*, 2006, pp. pages 35-44.
- [35] P. Choudhury and J. Tumblin, "The trilateral filter for high contrast images and meshes," in *ACM SIGGRAPH 2005 Courses* Los Angeles, California: ACM Press, 2005.
- [36] S. N. Pattanaik, J. A. Ferwerda, M. Fairchild, and D. P. Greenberg, "A Multiscale Model of Adaptation and Spatial Vision for Realistic Image Display," in *ACM Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH)98*, 287-298, 1998.
- [37] J. Tumblin and G. Turk, "Low Curvature Image Simplifiers (LCIS): A Boundary Hierarchy for Detail-Preserving Contrast Reduction," in *SIGGRAPH '99* Los Angeles, California, 1999.
- [38] G. Ward, "A Contrast-based Scale Factor for Luminance Display," in *In P.S. Heckbert (Ed.), Graphic gems IV*, Boston: Academic Press Professional, 1994.
- [39] M. Ashikhmin and J. Goyal, "A reality check for tone-mapping operators," *ACM Trans. Appl. Percept.*, vol. 3, pp. 399-411, 2006.
- [40] A. K. Devlin, "Perceptual fidelity for digital image display," in *Department of Computer Science*. vol. Doctor of Philosophy: University of Bristol, 2004.
- [41] A. McNamara, "Exploring visual and automatic measures of perceptual fidelity in real and simulated imagery," *ACM Trans. Appl. Percept.*, vol. 3, pp. 217-238, 2006.

Carlos Urbano Licenciado em Matemática (1997) pela Universidade de Coimbra; Mestrado em Sistemas de Informação (2006) pela Universidade do Minho. Docente do Departamento de Engenharia Informática da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria. Durante 3 anos foi investigador do Centro de Computação Gráfica/ZGDV.



Luís Magalhães Licenciado em Engenharia de Sistemas e Informática (1992) pela Universidade do Minho. Mestrado em Informática (1997) pela Universidade do Minho. Doutoramento em Ciências da Computação (2004) pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD). Docente do Departamento de Engenharias da UTAD. A sua investigação tem-se centrado na criação de sinergias entre a Computação Gráfica e a Visão por Computador.



João Paulo Moura Licenciatura e Mestrado em Engenharia de Electrotécnica e de Computadores pela Universidade de Evry, França. Doutoramento em Engenharia de Electrotécnica (2006) pela Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD). Docente do Departamento de Engenharias da UTAD. A sua investigação tem-se centrado na criação de sinergias entre a Computação Gráfica e os Sistemas de Informação Geográfica.



Adérito Fernandes Marcos Licenciatura em Engenharia Informática. Doutoramento em Computação Gráfica (1997) pela Technische Universität Darmstadt, Alemanha. Membro da Direcção e Administração do Centro de Computação Gráfica desde 1999. Docente do Departamento de Sistemas de Informação da Universidade do Minho onde é responsável por cursos de Mestrado e Doutoramento.

