

Vídeo HDR em dispositivos móveis

Desbloqueador de novas oportunidades de negócio digital

HDR video on mobile devices

Unlocker of new opportunities for digital business

Miguel Melo^a, Luís Barbosa^{b,c}, César Meira^a, Frederico Branco^{b,c}, Maximino Bessa^{b,c}

^aINESC TEC, Vila Real, Portugal

^bUniversidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal

^cINESC TEC e UTAD, Vila Real, Portugal

mcmelo@inesctec.pt, cesarmeira90@gmail.com, fbranco@utad.pt, lfb@utad.pt, maxbessa@utad.pt

Resumo — Até ao aparecimento das técnicas HDR (*High Dynamic Range*) certos níveis de luminosidade, característicos de ambientes reais, só podiam ser capturados pelo olho humano. Atualmente, com a tecnologia HDR, é possível ultrapassar as limitações das tecnologias convencionais de imagem e permitir a captura e entrega de conteúdos com gamas dinâmicas equivalentes às do mundo real. No entanto, no que respeita à visualização deste tipo de conteúdos, a grande maioria dos trabalhos realizados foca-se principalmente na visualização em computadores com ecrãs tradicionais. Uma vez que a utilização de dispositivos móveis para a reprodução de conteúdos continua a aumentar, devido à sua portabilidade e versatilidade, existe a necessidade de analisar o impacto da visualização de vídeos HDR neste tipo de dispositivos. Isto permitirá usufruir de todas as vantagens desta tecnologia, abrindo uma nova janela de oportunidades para o negócio digital pois permite, entre outros, a apresentação de produtos numa forma muito mais eficiente e cativante.

Neste artigo é apresentado um estudo que avalia o impacto da reprodução de vídeo HDR em dispositivos móveis comparativamente com a reprodução de conteúdos LDR (*Low Dynamic Range*). Os resultados demonstram que a visualização de conteúdo HDR nestes dispositivos já é possível, sem existir uma necessidade de recursos muito superior à necessária para conteúdos LDR

Palavras Chave - Computação Gráfica, Vídeo HDR, Dispositivos Móveis.

Abstract — Prior to having available the High Dynamic Range (HDR) techniques, certain levels of luminance could only be captured by the human eye. Currently, HDR technology overcomes the limitations of conventional imaging technology (also referred as *Low Dynamic Range* or LDR) and allows the capture and delivery of contents that can match the dynamic range of the real world. However, the state of the art of HDR video focus mainly on conventional sized displays typical of TVs or PCs. As the usage of mobile devices for multimedia consumption is increasing considerably, there is a need for studying the impact of the viewing of HDR video on such devices. This will allow to take full advantage of HDR technology, creating a set of opportunities for the digital business as it allows, among others, the presentation of products in a much more efficient and captivating way.

On this paper it is presented a study that evaluates the impact of the HDR video delivery on mobile devices and compares it with the impact of Low Dynamic Range (LDR) content. Results show that the delivery of HDR video on mobiles is possible without requiring much more resources when comparing the delivery of LDR video.

Keywords - Computer Graphics, HDR Video, Mobile Devices.

I. INTRODUÇÃO

O mundo real é composto por uma vasta gama de luminância e o Sistema Visual Humano (SVH) é capaz de distinguir detalhes numa gama próxima das 10 ordens de magnitude, sendo que apenas consegue perceber aproximadamente 4 ordens de magnitude em simultâneo [1]. No entanto, os dispositivos de visualização convencionais conseguem apenas representar cerca de 2 ordens de magnitude, causando uma perda de realismo nos conteúdos exibidos. Para ultrapassar esta limitação, a tecnologia *High Dynamic Range* (HDR) visa capturar, armazenar e entregar conteúdo com valores de luminância equivalentes ao mundo real para que seja possível processar/reproduzir toda a informação visual disponível na cena.

Com a crescente popularidade dos dispositivos móveis, que devido à sua contante evolução tornam-se, cada vez mais, uma plataforma de consumo de conteúdos multimédia incontornável, existe a necessidade de estudar o impacto que a tecnologia HDR tem sobre os mesmos de forma a permitir uma adoção eficaz da mesma. Essa adoção permitirá tirar partido dos benefícios da tecnologia HDR em áreas como a segurança onde possibilita a captura de informação em ambientes com condições de luz extremas ou com uma gama dinâmica elevada permitindo uma melhor monitorização do ambiente supervisionado; o entretenimento através duma melhor qualidade e realismo onde permite, por exemplo, eventos desportivos onde a sombra interfere sem perder detalhe (p. ex., num jogo de futebol quando a bola sai de uma zona de sol para uma zona de sombra em que na tecnologia convencional existe uma descompensação momentânea devido ao salto na janela da gama dinâmica); na área da investigação científica onde permite visualizar com mais detalhe e realismo aspetos que a tecnologia convencional não permite (devido às condições

extremas de luminosidade, a tecnologia convencional não permite a captura deste momento para posterior análise); ou até mesmo na área do comércio onde a qualidade e realismo que a tecnologia HDR suporta pode ser a plataforma ideal para a apresentação ou divulgação de produtos e angariação de novos clientes ou oportunidades de negócio, estando já a despertar interesse de muitas multinacionais de referência [2]. Outro dado importante acerca desta tecnologia é o seu potencial de mercado, sendo o valor da tecnologia HDR atualmente avaliado em cerca de 1,82 milhares de milhões de dólares, prevendo-se uma franca expansão até 2022, onde se prevê que atinja os 36,82 milhares de milhões de dólares [2]. Os dispositivos móveis oferecem uma vantagem adicional pois, devido à sua massificação, é mais fácil chegar ao utilizador final e as suas características permitem uma utilização mais flexível em inúmeros aspetos.

Dado que os ecrãs HDR ainda não são comercializados em larga escala, existe a necessidade de transformar a gama dinâmica do conteúdo HDR, para que este possa ser exibido em ecrãs convencionais. Essa transformação de gama dinâmica serve para adaptar a gama dinâmica do conteúdo à gama dinâmica suportada pelo dispositivo que o irá exibir tirando o máximo partido possível da informação HDR. A redução da gama dinâmica é efetuada através de algoritmos de mapeamento de tons conhecidos como *Tone-Mapping Operators* (TMO). Com os avanços feitos na área de investigação do HDR, diversos TMO foram desenvolvidos com o intuito de melhor adaptar os conteúdos HDR para serem exibidos em monitores LDR seguindo variadas abordagens por terem em consideração diferentes características do conteúdo, escolhendo entre a preservação do contraste, do detalhe, da luminância ou da cor [3]. Sendo que a tecnologia HDR é exigente ao nível de consumo de recursos devido ao enorme volume de informação associada, a aplicação de TMO em tempo real é um desafio adicional que pode comprometer a performance dos dispositivos móveis devido aos seus limitados recursos. Assim, torna-se importante estudar a reprodução de vídeo HDR neste tipo de dispositivos. Estudos já demonstraram que é possível reproduzir vídeos HDR em HD com um número de *frames* adequado [4]. No entanto, não foram apresentados quaisquer resultados que permitam perceber que tipo de impacto a reprodução destes conteúdos causa nos dispositivos móveis, nomeadamente ao nível da bateria, da memória e do processamento.

Neste artigo pretende-se avaliar o impacto da reprodução de vídeo HDR em dispositivos móveis comparativamente com a reprodução de conteúdos LDR, com a finalidade de verificar o grau de maturidade destes dispositivos para suportarem novos produtos/serviços dos negócios digitais emergentes. Na próxima secção é apresentada uma visão sobre o estado da arte da visualização de vídeos HDR em dispositivos móveis. A terceira secção do presente artigo expõe a abordagem experimental utilizada para a concretização da avaliação. Por fim, os resultados são apresentados e discutidos, seguidos de algumas conclusões e sugestões para trabalho futuro.

II. TRABALHO RELACIONADO

A tecnologia HDR é capaz de processar os níveis de luminância e intensidades de cores do mundo real sendo que a

captura de toda esta informação implica que cada minuto de vídeo HDR possa ocupar até 42 GB por minuto, comparando com os meros 9 GB por minuto de vídeo LDR para vídeos capturados a 30 *frames* por segundo (FPS) com uma resolução *Full HD* [5]. De forma a armazenar eficientemente toda esta informação, foram propostos vários métodos tais como a extensão ao *standard MPEG-4* [6], o *HDR-MPEG* [7] ou o método *goHDR* [8]. Um dos mais populares, e o selecionado como referência no âmbito deste artigo, é o método *goHDR* que divide a informação de cada *frame* em duas componentes (i.e., luminância e crominância) e é capaz de atingir taxas de compressão significativas [8]. A escolha recai sobre este método pois o trabalho apresentado neste artigo associa-se ao *COST Action IC1005* que tem como objetivo a definição de *standards* para a tecnologia HDR a nível europeu. Nesse âmbito, o método *goHDR* foi um dos métodos de referência para esta tecnologia, assim como a maioria do material disponível está codificado utilizando este método.

A visualização de vídeos HDR em dispositivos móveis é ainda uma área de investigação que está numa fase inicial, existindo atualmente um número muito limitado de trabalhos de investigação efetuados nesta área. Isto deve-se ao facto de apenas recentemente ter sido criado o primeiro visualizador de vídeos HDR para dispositivos móveis [4].

Entretanto, já foram executadas algumas avaliações [9][10][11][12] que se focaram na visualização de vídeo HDR neste tipo de dispositivos, mais concretamente na avaliação da performance de TMO. Em relação à avaliação do desempenho da reprodução desses conteúdos HDR em diferentes dispositivos móveis, o estado da arte conta apenas com uma avaliação [4]. Eilertsen *et al.* [9] avaliou 11 TMO aplicados a vídeos HDR para avaliar a resposta dos TMO à variação temporal dos conteúdos reproduzidos. Este estudo mostrou que alguns TMO introduzem alguns artefactos, *flickering* e saturação aos conteúdos e que, em alguns casos, os TMO mais simples podem ter uma melhor performance do que os TMO mais complexos.

Os estudos feitos por Melo *et al.* [10], tiveram como objetivo avaliar a visualização de vídeos HDR em dispositivos móveis. A investigação pretendia avaliar se o tamanho do ecrã influenciava a preferência dos utilizadores em relação ao TMO aplicado, tal como acontece em imagens HDR [13]. Estes estudos revelaram que, ao contrário do sucedido com imagens HDR, a preferência dos utilizadores sobre os TMO aplicados não difere de ecrãs de pequenas dimensões para ecrãs com tamanho convencional.

Em relação ao estudo conduzido por Melo *et al.* [11], este destinou-se a avaliar o impacto da luz ambiente na visualização de vídeo HDR em dispositivos móveis e os resultados revelaram que a performance dos TMO difere consoante o nível de luminância ambiente. Ainda no estudo do contexto de visualização, Melo *et al.* [12] realizou um outro estudo que estudou o impacto dos reflexos no ecrã e comprovou que este fator prejudica a experiência de visualização e que uma abordagem de *tone-mapping* híbrida desenhada para lidar com os reflexos não traz vantagens sobre uma abordagem de *tone-mapping* convencional.

TABELA I. VISTA GERAL SOBRE AS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS DISPOSITIVOS MÓVEIS ATUAIS.

Dispositivo	Lançamento (mês/ano)	Bateria (mAh)	RAM (GB)	CPU		GPU		Ecrã			Benchmarks*
				Nº de Núcleos	Clock (GHz)	Nº de Núcleos	Clock (MHz)	Resolução	PPI	Polegadas	
iPhone 4	06/2010	1 420	0,5	1	1	2	200	960x480	330	3.5"	7793
iPad 2	03/2011	6 930	0,5	2	1	2	200	1024x768	132	9.7"	14030
iPhone 5	09/2012	1 440	1	2	1.3	3	325	1136x640	326	4"	25234
Nexus 4	11/2012	2 100	2	4	1.5	4	400	1280x768	318	4.7"	16749
iPad 4	11/2012	11 560	1	2	1.4	4	200	2048x1536	264	9.7"	29690
Nexus 7	07/2012	4 325	1	4	1.2	12	416	1280x800	216	7.0"	19786
Nexus 5	11/2013	2 300	2	4	2.3	4	450	1920x1080	445	4.95"	26340
LG G3	04/2014	6 121	3	4	2.5	4	578	2560x1440	538	5.5"	30634
iPhone 6	09/2014	1 810	1	2	1.4	4	450	1334x750	326	6.0"	50888
Galaxy Note 4	09/2014	3 220	3	4	2.7	4	600	1440x2560	515	5.7"	41185
iPad Air 2	10/2014	7 340	2	3	1.5	4	450	2048x1536	264	9.7"	62856
Nexus 6	10/2014	3 220	3	4	2.7	4	600	1440x2560	493	6.0"	49480

*Baseado no *AnTuTu benchmarking* que mede a performance das variáveis GPU, CPU, RAM, UX e I/O. Um valor mais alto é melhor.

Em termos de performance e avaliação da viabilidade de ter vídeo HDR a ser reproduzido em dispositivos móveis, o único estudo conhecido até ao momento foi desenvolvido por Meira *et al.* [4] onde foram testados 2 dispositivos móveis com o sistema operativo iOS (iPhone 5 e iPad 4). Foi avaliado um total de 11 vídeos e a avaliação baseou-se na repetição de cada vídeo por quatro vezes por cada TMO testado (foram testados no total 11 TMO diferentes) e no registo da informação de segundo a segundo do estado do dispositivo que estava a ser avaliado. As informações retiradas durante a reprodução foram: o número de FPS mínimo, o número de FPS máximo, o número de FPS médios e o consumo de bateria. Os resultados obtidos demonstraram que os dispositivos obtiveram resultados muito satisfatórios e permitiram demonstrar que a reprodução de vídeos HDR em dispositivos móveis é atualmente possível.

A. Estado da Arte dos Dispositivos Móveis

Devido à constante evolução dos dispositivos móveis e para uma melhor reflexão sobre os resultados obtidos, existe a necessidade da contextualização do estado dos dispositivos móveis aquando da realização deste trabalho (2015). A Tabela I apresenta as especificações principais dos dispositivos móveis, incluindo informações sobre a memória RAM, CPU, GPU e as especificações técnicas dos ecrãs dos mesmos.

III. VISUALIZADOR DE VÍDEO HDR

Para a realização deste trabalho foram utilizados dois visualizadores de vídeo HDR para dispositivos móveis: um para dispositivos com o sistema iOS e outro para dispositivos com o sistema Android, ambos os sistemas foram desenvolvidos para o estudo deste tópico. A abordagem utilizada para dispositivos iOS foi a mesma utilizada nas experiências realizadas na pesquisa de Meira *et al.* [4]. Já para o sistema Android, apesar de ser baseado na aplicação do sistema iOS, foi necessário aplicar algumas alterações para que fosse possível atingir um número aceitável de *frames* por segundo. Em ambos os visualizadores a aplicação dos TMO é realizada através da utilização de *shaders*. Para esta avaliação, o TMO implementado foi o Exposure, como primeira abordagem visto ser simples e de rápida implementação. Na

Fig. 1 é apresentado o modo de funcionamento das aplicações implementadas.

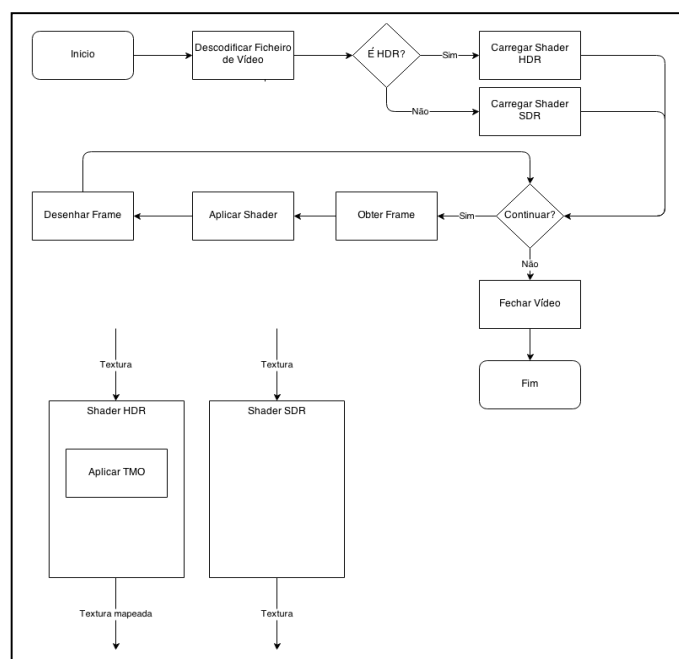


Figura 1. Esquematização do funcionamento dos visualizadores.

Ambos os visualizadores utilizam o GPU do dispositivo para a transformação e exibição do *frame*. No entanto, o modo como o *frame* é decodificado difere entre os sistemas. Na fase inicial, era pretendido que o sistema Android seguisse o modo de funcionamento do sistema iOS, no entanto, com esse modo foi impossível alcançar os FPS desejáveis (> 25 FPS em média). Isto porque devido ao facto de o FFmpeg ser implementado em código nativo houve a necessidade da transportação de toda a informação de cada *frame* para o código de alto nível do Android, tornando o processo mais lento, conduzindo, assim, a uma taxa de *frames* durante a reprodução muito mais baixa que a atingida nos sistemas iOS. Tendo isso em conta, optou-se então por descartar a biblioteca FFmpeg e implementar o visualizador HDR para sistemas Android utilizando a decodificação por *hardware*, aliviando

TABELA II. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS VÍDEOS AVALIADOS.

Vídeo	Duração (seg)	Gama Dinâmica Média	Modo de Captura	F-Stops Máximos	Resolução	Tamanho (MB)
Kalabsha (K)	27	18.5	CG	20	1024x768	70.9
Morgan Lovers (ML)	55	19.5	Spheron HDRv	20	1280x720	134
Tears of Steel (ToS)	731	18	Sony CineAlta F65 + vfx	20	1920x800	5 131

assim a carga de processamento ao nível do CPU e alcançando uma média de FPS mais elevada. No entanto, como esta funcionalidade só se encontra disponível para dispositivos mais recentes, o modo semelhante ao sistema iOS (i.e., utilização do *FFmpeg*) ainda se mantém em utilização para dispositivos sem capacidade de descodificar os vídeos por *hardware*.

IV. AVALIAÇÃO

O principal objetivo desta avaliação é analisar o desempenho da reprodução de vídeos HDR em dispositivos móveis comparativamente ao desempenho da reprodução de vídeos convencionais. Para avaliar esse desempenho foi recolhida a seguinte informação: FPS médios, máximos e mínimos, memória utilizada, processamento, e bateria.

A. Vídeos

Foram usados três vídeos denominados “*Kalabsha*” [14], “*Morgan Lovers*” [15] e “*Tears of Steel*” [16]. As principais características dos vídeos são apresentadas na Tabela II. Cada vídeo tinha uma versão HDR e uma versão LDR com um TMO previamente aplicado. O TMO aplicado nesses vídeos é o mesmo que o visualizador aplica nos vídeos HDR (Exposure). Ou seja, os vídeos HDR são transformados em LDR durante a reprodução, e os vídeos LDR foram previamente transformados não havendo a necessidade do tratamento da informação, mas sim só a sua reprodução. Isto faz com que seja possível comparar os recursos utilizados na reprodução de vídeos HDR que precisam de ser descodificados no momento com os vídeos HDR previamente processados (sendo vídeos LDR). Todos os vídeos foram codificados em mp4 utilizando o mesmo CFR (*Constant Frame Rate*) em x.264 com 25 FPS e os vídeos HDR utilizam o método de codificação *goHDR*.

As características mais importantes a ter em conta são a resolução do vídeo e o seu tamanho, devido à incompatibilidade de alguns dispositivos de conseguirem reproduzir vídeos com resoluções demasiado elevadas, e o tamanho do próprio vídeo também influência devido à memória limitada para as aplicações nos dispositivos móveis.

B. Dispositivos Móveis

Foram realizados testes com 3 dispositivos baseados em iOS (iPad 4, iPhone 6 e iPad Air 2) e 4 dispositivos baseados em Android (Nexus 7, Nexus 4, Nexus 5 e LG G3).

C. Procedimento

Para efeitos da avaliação cada vídeo foi reproduzido repetidamente durante uma hora e meia de modo a simular a duração média de um filme ou de um evento desportivo, isto permite uma vasta gama de informação recolhida e garante que

todos os vídeos são reproduzidos nas mesmas condições, podendo assim ser comparados. Durante a reprodução do vídeo foram recolhidas informações sobre o número de FPS, a memória utilizada, o consumo de bateria e o nível de processamento. Este processo foi efetuado para os 6 vídeos (3 vídeos HDR e as respetivas versões LDR resultantes do processo de *tone-mapping*).

V. RESULTADOS

Os resultados obtidos das experiências foram compilados, obtendo-se quatro gráficos correspondentes à análise de cada uma das grandezas medidas. Durante os testes não foi possível reproduzir o vídeo “*Tears of Steel*” nos dispositivos Nexus 4 e Nexus 5, devido ao tamanho do vídeo ser demasiado grande, ao ponto de os dispositivos não serem capazes de o descodificar, o que tornou impossível a recolha desse vídeo nesses dois dispositivos, aparecendo resultados nos gráficos apenas para os vídeos “*Kalabsha*” e “*Morgan Lovers*”. Devido ao acesso limitado aos dispositivos, também não foi possível testar o vídeo “*Tears of Steel*” nos dispositivos LG G3, iPhone 6 e iPad Air 2.

Como é possível observar na Fig. 2, todos os vídeos obtiveram uma taxa de FPS semelhante (na sua maioria superior a 24 FPS), à exceção do iPad 4 que obteve valores ligeiramente mais baixos.

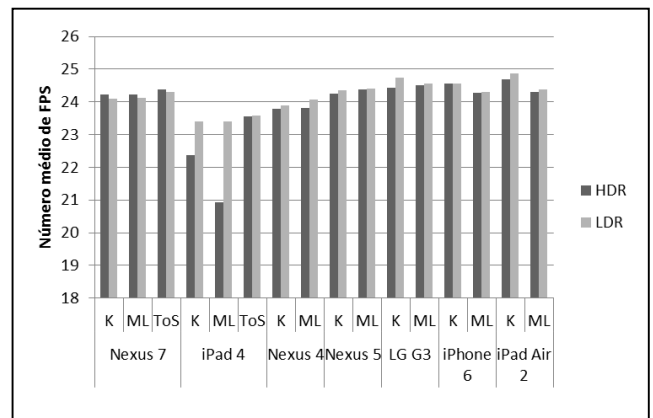


Figura 2. Número médio de FPS dos vídeos nos diferentes dispositivos.

No que toca ao consumo de bateria, este é apresentado na Fig. 3, onde é possível verificar um consumo mais elevado nos *smartphones* Android em comparação com os outros dispositivos, havendo mesmo um pico de consumo de bateria no LG G3. À parte dos resultados do LG G3, verifica-se que o iPad 4 consome, em média, mais energia do que os outros dispositivos, no entanto, é nos sistemas iOS que a descodificação dos *frames* é feita no processador, e utilizando

uma biblioteca externa, o que requer mais recursos. Verificou-se, também, que nos *smartphones* Android a diferença entre o esforço computacional para o processamento de vídeos HDR e para os vídeos LDR foi mínima à exceção do LG G3.

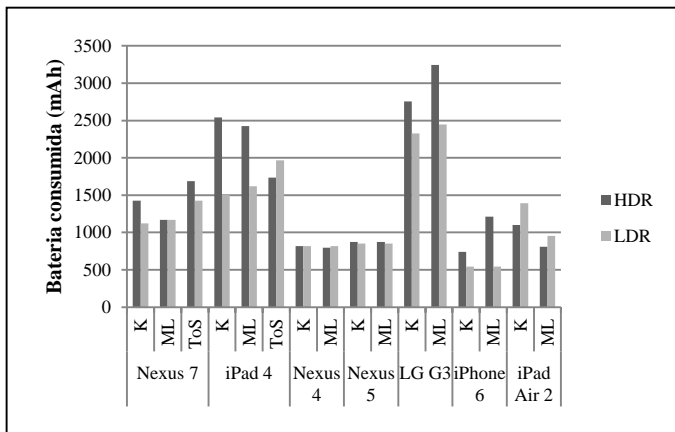


Figura 3. Consumo de bateria dos vídeos nos diferentes dispositivos.

No que diz respeito ao processamento (Fig. 4), existe uma considerável utilização média do CPU no iPad 4, iPhone 6 e LG G3. Um dado que é possível extrair dos resultados obtidos é que, apesar do iPad 4 apresentar um consumo de bateria considerável, este dispositivo apresentou uma menor taxa de FPS. Como se pode verificar, o Nexus 5 apresentou uma carga de processamento superior ao Nexus 4 e Nexus 7.

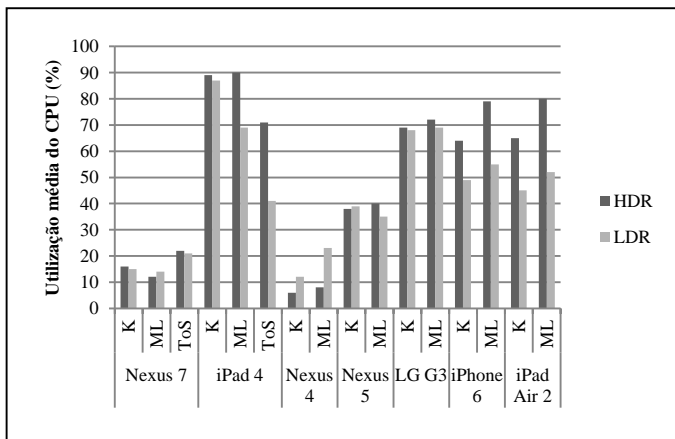


Figura 4. Utilização média do CPU nos dispositivos avaliados.

Em relação à utilização da memória durante as experiências realizadas (Fig. 5), o iPad 4 volta a destacar-se pois é possível verificar a diferença de memória utilizada entre vídeos LDR e HDR. Os dados recolhidos demonstram que os vídeos HDR necessitam de mais memória que vídeos LDR. Este maior consumo está associado ao facto de cada *frame* HDR conter mais informação visual do que um *frame* LDR. Em relação a a haver um mais memória RAM utilizada nos dispositivos iOS, esta diferença existe devido ao facto do visualizador para esse sistema operativo utilizar descompressão do vídeo por software (ou seja, os *frames* ficam armazenados na memória da aplicação), enquanto o visualizador desenvolvido para Android utiliza descompressão por hardware, ao nível do GPU, fazendo com que não haja necessidade de alocar os *frames* em memória.

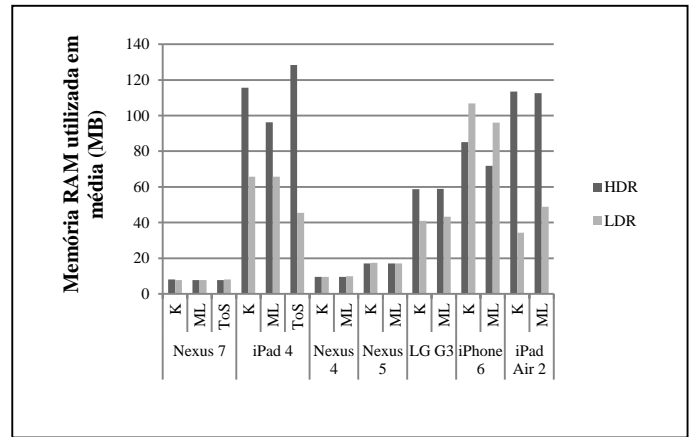


Figura 5. Utilização média de memória RAM registada durante os testes.

VI. DISCUSSÃO

Antes de abordar todos os dados obtidos é importante relembrar que os visualizadores utilizados para a avaliação não funcionam de modo equivalente, o que limita a comparação direta de resultados entre plataformas diferentes.

Relativamente aos FPS, podemos constatar que na maioria dos dispositivos os resultados entre LDR e HDR são muito próximos. No entanto, pode-se reparar que na maioria dos dispositivos, os vídeos LDR alcançaram resultados ligeiramente melhores. É possível, também, verificar uma diferença significativa de resultados no vídeo “*Morgan Lovers*” no iPad 4. Este resultado ocorreu devido às próprias características do vídeo HDR, tal como demonstra um estudo anterior que refere que diferentes vídeos poderão obter resultados diferentes [3].

No que diz respeito à bateria, podemos verificar que os gastos entre vídeos HDR e LDR são semelhantes nos *smartphones* (Nexus 4 e Nexus 5), sendo que, nos *tablets* é possível verificar que os vídeos HDR consomem mais energia do que a reprodução de vídeos LDR. Um resultado que se destaca é o elevado consumo de bateria no LG G3, o qual atribuímos ao sistema operativo, pois apesar de ser Android à semelhança do Nexus 4 e Nexus 5, trata-se de uma versão mais recente (Lollipop Vs. Kit Kat) e o Android Java Runtime como difere resulta num uso diferenciado no que diz respeito ao consumo de bateria. Pode-se verificar ainda uma diferença de percentagens de consumo de bateria, no entanto, é importante ter em conta que as baterias são diferentes entre os dispositivos, tendo os *tablets* maior capacidade de amperagem do que os *smartphones*, o que justifica resultados mais baixos de consumos percentuais.

Relativamente à utilização de processamento e de memória nos resultados apresentados na Figura 4 e na Figura 5, o iPad 4 obteve resultados muito superiores aos testes elaborados nos dispositivos Android. O iPad 6, apesar de menor consumo, apresenta um volume de recursos utilizados também, ainda que ligeiramente, superior aos dispositivos Android. A razão para tal resultado está relacionada com o facto do visualizador do sistema iOS descodificar o vídeo utilizando uma biblioteca externa, ou seja, a descodificação e armazenamento da informação de cada *frame* tem que ser tratado pelo CPU e armazenado na memória até que este seja enviado para o GPU.

A aplicação Android, como utiliza a descodificação por Hardware, alivia a carga de processamento no CPU e alivia também a necessidade de memória, pois a *frame* é diretamente descodificado para o GPU, não havendo a necessidade de armazenar em memória. Note-se que o LG G3 também apresenta valores elevados, o que se atribui também ao Android Java Runtime que exige um maior consumo de recursos em comparação aos dispositivos Android com a versão Kit Kat deste sistema operativo.

O que podemos retirar desta análise é que a visualização de vídeos HDR e LDR é praticamente semelhante, o que significa que os dispositivos de hoje em dia são capazes de reproduzir vídeos HDR sem a necessidade de um consumo adicional de recursos muito superior à requerida para visualização de conteúdos LDR.

VII. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

A reprodução de vídeos HDR pode consumir um pouco mais de recursos que um vídeo comum. Contudo, em ambos os casos o desempenho é aceitável e não causa demasiado processamento ao dispositivo, permitindo uma experiência de visualização bastante similar em qualquer um dos sistemas analisados. Tal resultado deve-se ao facto dos GPUs dos dispositivos móveis de última geração possuírem uma capacidade de cálculo significativa, o que permite realizar as operações necessárias para a visualização de vídeo HDR.

Os resultados obtidos demonstram que já é possível ter vídeo HDR em dispositivos móveis e com um consumo de recursos aceitável. Assim, estes resultados vêm demonstrar que é possível beneficiar de todas as vantagens da tecnologia HDR numa plataforma de acesso que está massificada e de fácil acesso. Como resultado, existe uma nova janela de oportunidades em várias áreas de aplicação que pode ser explorada com vários propósitos, desde investigação científica, passando pelo entretenimento e incluindo até o comércio de bens e serviços. Prova disto mesmo é o facto desta tecnologia já está a despertar o interesse de várias multinacionais de referência como a Samsung, a Apple, a LG, a Canon ou a Nikon que já estão a adotar as técnicas HDR e a integrá-las nos seus produtos [2][17].

Uma das limitações deste trabalho é o número de dispositivos utilizado. Assim, para trabalho futuro espera-se a realização de uma avaliação mais abrangente utilizando um maior número de dispositivos móveis, para a melhor compreensão das diferenças de visualização de vídeos HDR e LDR em dispositivos móveis. Será ainda necessário avaliar outros algoritmos de compressão de vídeo HDR.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é suportado pelo projeto NORTE-01-0145-FEDER-000020 denominado "TEC4Growth – FourEyes" através do NORTE 2020 (Programa Operacional Regional do Norte 2014/2020) integrado no Acordo de Parceria PORTUGAL 2020 e no atual ciclo de fundos estruturais da União Europeia destinados a Portugal (ERDF). Este trabalho é também parcialmente financiado pela Fundação para a Ciência

e Tecnologia (FCT) e pela União Europeia (COMPETE, QREN e FEDER) através do projeto REC-II/EEI-SII/0360/2012 denominado "MASSIVE — Multimodal Acknowledgeable multiSenSerial Immersive Virtual Enviroments".

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] CIE, "An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance", CIE technical report, Bureau Central de la CIE, 1981.
- [2] MarketsandMarkets, "High Dynamic Range Market by Product, Application, Geography - Forecast to 2022", 2016.
- [3] A. O. Akiüz and E. Reinhard, "Perceptual evaluation of tone-reproduction operators using the Cornsweet-Craik-O'Brien illusion" in ACM Transactions on Applied Perception (TAP), vol. 4, 2008.
- [4] C. Meira, M. Melo, M. Bessa, L. Barbosa and A. Chalmers, "Performance of hdr video in mobile devices" in HDRi2013 - First International Conference and SME Workshop on HDR imaging, pp 17-21, 2013.
- [5] A. Chalmers, G. Bonnet, F. Banterle, P. Dubla, K. Debattista, A. Artusi, C. Moir, "High-dynamic-range video solution" in ACM Siggraph Asia 2009 Art Gallery & Emerging Technologies: Adaptation, pp. 71-71, 2009.
- [6] R. Mantiuk, G. Krawczyk, K. Myszkowski, K., and H.-P. Seidel, "Perception motivated high dynamic range video encoding" in ACM Trans. Graph, vol 23(3), pp. 733-741, 2004.
- [7] R. Mantiuk, A. Efremov, K. Myszkowski, and H.P. Seidel, "Backward compatible high dynamic range mpeg video compression" in ACM Trans. Graph., vol 25(3), pp. 713-723, 2006.
- [8] F. Banterle, A. Artusi, K. Debattista, P. Ledda, G. Bonnet, G. Edwards, and A. Chalmers, A., Video data compression, US Patent App. 12/984,992, 2011.
- [9] G. Eilertsen, J. Unger, R. Wanat, and R. Mantiuk, "Survey and evaluation of tone mapping operators for HDR video" in ACM SIGGRAPH'13, pp. 11:1-11:1, New York, 2013.
- [10] M. Melo, M. Bessa, K. Debattista, and A. Chalmers, "Evaluation of HDR video tone mapping for mobile devices" in Image Commun., vol 29(2), pp. 247-256, 2014.
- [11] M. Melo, M. Bessa, K. Debattista, and A. Chalmers, "Evaluation of tonemapping operators for HDR video under different ambient luminance levels" in Computer Graphics Forum, vol. 34(8), pp. 38-49, 2014.
- [12] M. Melo, M. Bessa, L. Barbosa, K. Debattista, and A. Chalmers, "Screen reflections impact on HDR video tone mapping for mobile devices: an evaluation study", in EURASIP Journal on Image and Video Processing, vol. 2015(1), pp. 1-13, 2015.
- [13] C. Urbano, L. Magalhães, J. Moura, M. Bessa, A. Marcos and A. Chalmers, "Tone mapping operators on small screen devices: An evaluation study" in Computer Graphics Forum, vol. 29(8), pp. 2469-2478, 2010.
- [14] V. Sundstedt, A. Chalmers and P. Martinez, "High fidelity reconstruction of the ancient Egyptian temple of Kalabsha" in Proceedings of the 3rd international conference on Computer graphics, virtual reality, visualisation and interaction in Africa, pp. 107-113., ACM, 2004.
- [15] U. Warwick. "Morgan car lovers 1st to benefit from High Dynamic Range Television's arrival on domestic TV", <http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/mediacentre/wmgnews/?newsItem=094d439232249e4101324309d04942a1>. Acedido em 07/04/2016.
- [16] IMDB, "Tears of Steel", <http://www.imdb.com/title/tt2285752/>. Acedido em 07/04/2016.
- [17] SMPTE Study Group, "Study Group Report High-Dynamic-Range (HDR) Imaging Ecosystem", 2015.