

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

Visitas Virtuais de Elevada Fidelidade Visual para a Web.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
EM COMUNICAÇÃO E MULTIMÉDIA

JOSÉ MANUEL CARVALHO DE SOUSA



Vila Real, 2011

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Curso de Mestrado em Comunicação e Multimédia

Visitas Virtuais de Elevada Fidelidade Visual para a Web.

Dissertação do curso de Mestrado em Comunicação e Multimédia

de

José Manuel Carvalho de Sousa

Dissertação submetida à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Comunicação e Multimédia, elaborada sob a orientação do Professor Doutor Maximino Esteves Correia Bessa e Professor Doutor Emanuel Soares Peres Correia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Vila Real, Dezembro de 2011

“Nunca ande pelo caminho traçado, pois ele conduz somente até onde os outros foram.”

Alexandre Graham Bell

Resumo

Esta dissertação apresenta uma metodologia que permite a construção de visitas virtuais de elevada fidelidade visual e assim, garante que as vistas resultantes possam ser uma alternativa consistente à visita presencial. No sentido de proporcionar ao visitante uma visita imersiva, que permita experienciar as cenas com um grau de realismo o mais fiel possível ao que podemos encontrar no próprio local, torna-se essencial perceber quais as características que influenciam o grau de realismo percebido pelos utilizadores em cada cena. Assim, foi conduzido um estudo cujo principal objetivo era o de identificar as várias características que contribuem para a perceção de um elevado grau de realismo de uma visita virtual. Os resultados alcançados permitiram destacar o impacto de características como o detalhe, a união entre as várias imagens que compõem a panorâmica e o *ghost* na perceção de realismo.

Com base nos resultados obtidos no estudo efetuado propõe-se uma metodologia que detalha todos os procedimentos a realizar em todas as fases da criação de visitas virtuais de alta-fidelidade visual a serem disponibilizadas através da internet. A metodologia esclarece a melhor forma de lidar com as características identificadas como influenciadoras da fidelidade visual de uma visita virtual nomeadamente: o detalhe, a cor, a resolução, navegação, erros de “costura” e “*ghost*”. Por fim é efetuada a exemplificação prática para a implementação da metodologia, onde são detalhadas todas as fases desde a captura, passando pela criação das imagens panorâmicas e finalmente a publicação da visita virtual num sítio web. Realça-se, na exemplificação da metodologia, o recurso a técnicas e procedimentos que assegurassem uma elevada fidelidade visual como por exemplo a utilização de imagens de elevada gama dinâmica (HDR).

Palavras-chave: Fidelidade Visual, HDR, Visitas Virtuais, Fotografia panorâmica 360°.

Abstract

This thesis presents a methodology that enables the construction of virtual tours with high-fidelity ensuring that the resulting virtual tours can be a reliable alternative to the real visit. In order to provide the visitor an immersive experience, allowing scenes to be experienced with a high degree of realism compared to what one can find on the real world. Thus, a study was conducted with the objective of identifying which features contribute to the perception of a high degree of realism of a virtual tour. The results as achieved highlight the impact of features like the detail, the union between the different images that make up the panoramic and the ghost elements in the perception of realism.

Based on the results obtained in the conducted study we propose a methodology that details all the procedures to be carried out at all stages concerning the creation of virtual tours of high visual fidelity to be published over the internet. The methodology explains the best way to deal with the features identified as important to achieve high-fidelity in a virtual tour including: the detail, color, resolution, navigation errors "stitching" and "ghost". Finally, a practical exemplification of the methodology is made; all stages are detailed from capture, through the creation of panoramic images and finally by publishing the virtual tour on a website. In the exemplification of the methodology we emphasize the use of techniques and procedures which guarantee high-fidelity visuals such as the use of images with high dynamic range (HDR).

Palavras-chave: High-Fidelity Virtual Tours, HDR, Panoramic Photography

Agradecimentos

Esta dissertação é um produto resultante de um ano de trabalho desenvolvido no âmbito do mestrado em Comunicação e Multimédia Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Um trabalho destes é sem dúvida alguma o resultado do trabalho e dedicação não só do seu autor mas também de todas as pessoas que serviram de apoio, não só em termos materiais mas sobretudo psicológicos, para que se tenha levado a cabo todos os objetivos aos quais me propus.

Assim, a todos os que, a nível profissional e pessoal, me transmitiram toda a confiança e energia que foram essenciais para que esta dissertação fosse possível, manifesto nalgumas palavras a minha sincera gratidão deixando os meus mais sinceros agradecimentos, pois sem o seu apoio e amizade a tarefa teria sido mais complicada.

À Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro agradeço a disponibilização de condições para a realização deste mestrado, concluindo mais um etapa da minha formação académica.

Ao Presidente da Escola de Ciências e Tecnologia, Professor Doutor José Afonso Moreno Bulas Cruz, pelas facilidades concedidas e meios colocados ao dispor para a realização deste trabalho.

Aos meus orientadores e amigos Professor Doutor Emanuel Soares Peres Correia e Professor Doutor Maximino Esteves Correia Bessa, pela forma incansável e inexcedível como me orientaram, pelo entusiasmo e motivação, orientação científica, dedicação incondicional à elaboração deste trabalho e genuína afetividade;

Por todo o apoio prestado, pelos conselhos, pelas sugestões e compreensão demonstrada, por acreditarem em mim, me mostrarem o caminho da ciência, por serem exemplos de profissionalismo, contribuírem para o meu crescimento profissional e por serem também um exemplo a ser seguido. Pela sua competência, paciência e por me terem dado a possibilidade de ser seu orientando. É uma honra e um privilégio tê-los ao meu lado como amigos e orientadores, sem eles este percurso não era possível.

Aos alunos de Comunicação e Multimédia que me ajudam todos os dias a crescer a nível pessoal e profissional.

À Ana Rosa pelo suporte, carinho, incentivo e companheirismo durante todos estes anos, tornando-se o meu norte e porto seguro.

À minha filha Cátia pelo muito carinho e incentivo, importantes e decisivos para que esta caminhada fosse assegurada.

Aos meus amigos..., pela força, apoio incondicional, carinho e amizade.

A todos os professores que colaboraram na minha formação.

A todos os funcionários da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro com quem trabalhei ao longo deste tempo.

A todos os funcionários da Escola de Ciências e Tecnologia com quem trabalho e convivo diariamente, pela disponibilidade e simpatia sempre demonstrada.

Enfim, a todos aqueles que não foram citados, mas que direta ou indiretamente colaboraram na realização deste trabalho, quero deixar os meus afetuosos agradecimentos.

A participação de todos foi fundamental para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO

Índice

Resumo	i
Abstract.....	iii
Agradecimentos	v
Índice	vii
Índice de figuras	xi
Glossário	xv
1. Introdução	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Organização da dissertação	2
2. Estado da arte	5
2.1. Sistema visual humano	5
2.1.1. Acuidade Visual	8
2.1.2. Adaptação ao escuro e à luz	8
2.1.3. Contraste	9
2.1.4. Mascaramento Visual	10
2.2. High Dynamic Range (HDR)	10
2.2.1. Formatos de Imagem HDR	11
2.2.2. Como obter imagens HDR	14
2.2.3. Tone mapping	19
2.3. Fotografia panorâmica	21
2.3.1. Ponto Nodal	23
2.3.2. Equipamento especializado	26
2.4. Visitas virtuais	28
2.4.1. Portal Cultura Online	29
2.4.2. Google Art Project	31
2.4.3. Google Street View	33

2.5. Sumário	35
3. Fatores que influenciam o Realismo/Fidelidade Visual de uma visita panorâmica ..	37
3.1. Participantes	37
3.2. Visitas Virtuais Analisadas.....	38
3.2.1. Capela da Sé Catedral de São Paulo - visita número um	38
3.2.2. Paris - visita número dois	38
3.2.3. Abadía Benedictina - visita número três	39
3.2.4. Museu do Louvre - visita número quatro	40
3.2.5. Estádio Rei Balduino - visita número cinco.....	40
3.2.6. Vila Nova de Gaia - visita número seis.....	41
3.2.7. Hoover Dam - visita número sete.....	42
3.3. Recolha de Dados	42
3.4. Procedimento.....	43
3.5. Resultados, análise e discussão	45
3.6. Sumário	53
4. Metodologia para a criação de visitas virtuais de elevada fidelidade visual	54
4.1. Captura das imagens.....	54
4.1.1. Seleção de Equipamento e <i>Software</i> necessários	55
Software necessário:.....	55
4.1.2. Instalação e configuração do Equipamento.....	56
4.2. Criação das imagens panorâmicas para a visita virtual	59
4.2.1. <i>Software</i> e <i>hardware</i>	60
4.2.2. Edição das imagens e criação da imagem panorâmica	60
4.2.3. Guardar panorâmica	62
4.3. Criar a visita virtual.	62
4.3.1. Conversão de HDR para LDR	62
4.3.2. Criação da Visita	63

4.4. Publicação	63
4.5. <i>Exemplo da aplicação da metodologia - Visita Virtual à UTAD</i>	64
4.5.1. Captura das imagens	64
4.5.2. Edição das imagens panorâmicas	68
4.5.3. Guardar a panorâmica	72
4.5.4. Publicação da Visita Virtual.....	73
4.6. Sumário	73
5. Conclusões e trabalho futuro	75
6. Bibliografia	77
7. ANEXOS	87
7.1. ANEXO A- Informação ao sujeito	87
7.2. ANEXO B - Declaração de consentimento	88
7.3. ANEXO C - Questionário	89

Índice de figuras

Figura 1 - O olho humano (Olho, 2011)	5
Figura 2 - Cones e Bastonetes - Adaptado de: (Colors Theory, 2011)	6
Figura 3 - Níveis de luminância, adaptado a partir de (Ferwerda J. A., 1996).	7
Figura 4 - Limites de acuidade visual devido à função de propagação da linha ótica do olho (Adaptado de (Ferwerda J. A., 1998)	8
Figura 5 - A experiência visual em determinados intervalos de tempo e a adaptação temporal à luz e ao escuro causado pela mudança brusca na iluminação (Krawczyk, 2007)	9
Figura 6 - Teste de sinal (esq.) e sinal de mascaramento com o sinal de teste sobreposto (dir.) Adaptado de: (Krawczyk, 2007)	10
Figura 7 - Adaptado de: (Cambridge in Colour, 2011)	11
Figura 8 - Câmara Fotográfica DSLR (Adaptado de: (Canon , 2001))	14
Figura 9 - Cenários ao ar livre (médio alcance dinâmico).	16
Figura 10 - Cenário de High Dynamic Range: Adaptado de: (Correll, 2009).	17
Figura 11 - Câmara Pentax 645 D - Adaptado de: (Pentax A Ricoh Company, 2012)	18
Figura 12 - Câmara fotográfica Pentax K7 (Adaptado de: (Digital SLR, 2011)).	18
Figura 13 - SpheroCam HDR - Adaptado de: (SpheronCam HDR, 2011)	19
Figura 14 - Adaptado de: (Lang, 2007)	21
Figura 15 - Panorâmica de Edimburgo - Robert Barker - 1788 - Adaptado de: (Panorama of London Barker, 2011)	22
Figura 16 - Perspetiva a partir de pontos diferentes - Adaptado de: (Nikonland, 2012)	24

Figura 17 - Perspetiva a partir do mesmo ponto - Adaptado de: (Nikonland, 2012)	24
Figura 18 – Suporte Nodal - Adaptado de: (Panorama-Hardware, 2012).....	25
Figura 19 - Exemplo de erro de paralaxe - Adaptado de: (Create high quality panoramic images, 2012).....	25
Figura 20 - Cabeça Panorâmica motorizada Adaptado de: (Image Stitching and Virtual Tour Solutions, 2012).....	26
Figura 21 – Tripé com suporte nodal (Adaptado de: (Frich, 2007)	27
Figura 22 - Objetiva Zoom - Adaptado de: (Canon, 2012).....	27
Figura 23 - Imagem Interior do Convento de Cristo (Detalhe dos menus de navegação; pontos de entrada para outros locais e caixa de texto com informação adicional)	30
Figura 24 - Imagem da fortaleza de sagres (Perda de detalhe nas altas luzes)	30
Figura 25 - Art Project (Palácio de Versailles)– Perda de detalhe nas altas luzes	32
Figura 26 - Art Project – Imagens de baixa resolução	32
Figura 27 - Carrinho de mão Art Project	33
Figura 28 - Reprodução de parte de uma visita panorâmica esférica (Google Maps).....	34
Figura 29 - Veículo do Street View Google Maps (Carros, triciclos e mais, 2011)	35
Figura 30 - Imagem da visita número um (Panoramic Earth, 2012).....	38
Figura 31 - Imagem da visita número dois (Paris 26 Gigapixels, 2011).....	39
Figura 32 - Imagem da visita número três (360 Cities, 2011)	39
Figura 33 - Imagem da visita número quatro (Louvre - Apollo galleries, 2011)..	40

Figura 34 - Imagem da visita número cinco (Memorial Van Damme 360, 2011)	41
Figura 35 - Imagem da visita número seis (Google Maps, 2012).....	41
Figura 36 - Imagem da visita número sete (Hoover Dam, 2011).....	42
Figura 37- Imagem da visita virtual modelo (Google Maps).....	44
Figura 38 - Classificação atribuída pelos utilizadores à qualidade e realismo das visitas virtuais	45
Figura 39 - Classificação genérica atribuída a cada uma das visitas virtuais pelos utilizadores	46
Figura 40 - Impacto das características negativas apontadas.....	47
Figura 41 - Número de Pessoas que identificaram caraterísticas negativas nas visitas.....	47
Figura 42 - Número de caraterísticas negativas identificadas em todas as imagens.	48
Figura 43 - Impacto das características positivas.....	48
Figura 44 - Realismo vs Impacto negativo dos erros de <i>Ghost</i> e <i>Stitching</i>	49
Figura 45 - Realismo vs Impactos negativo e positivo do Detalhe.....	50
Figura 46 - Realismo vs Impacto negativo e positivo da Cor	51
Figura 47 - Realismo vs Impacto negativo e positivo da Resolução	52
Figura 48 - Realismo vs Impacto negativo e positivo da Navegação	52
Figura 49 - Preferências de Navegação.....	53
Figura 50 - Cabeça motorizada para captura das imagens e vista do ponto da captura	65
Figura 51 - Software Papywizard.....	67

Figura 52 – Orientação e rotação da cabeça motorizada – Adaptado de: (Lupo Fotografia Digital)	68
Figura 53 - Exemplo da imagem obtida pela costura automática do <i>software</i>	69
Figura 54 - Identificação dos pontos onde a costura não foi bem efetuada a vermelho. A verde os pontos cuja correspondência é boa.....	69
Figura 55 - Zonas de ligação entre imagens.....	70
Figura 56 - Exemplo de pontos de ligação.....	70
Figura 57 - Renderização da panorâmica.....	72
Figura 58 - Menu do Editor KRpano c/hotspots ativos.....	73

Glossário

AEB	Auto Exposure Bracketing - é um recurso que a câmara tem para ajustar automaticamente a exposição para uma série de fotos, resultando num conjunto de pelo menos três fotos. As Câmaras diferem no número de valores de exposição que oferecem normalmente. Algumas oferecem valores de ± 2 EV de suporte ($-2 / 0 / 2$ EV), enquanto outros oferecem mais, tipicamente ($-5 / 0 / 5$ EV).
APS-C	Tamanho do sensor da maioria das máquinas digitais atuais; herdado do antigo formato APS de película.
Bracketing	Uma técnica que consiste em realizar várias fotografias seguidas variando a configuração de abertura do diafragma ou a velocidade de obturação da câmara fotográfica. Isto permite dispor numa mesma fotografia vários níveis de exposição.
EV	EV (Exposure Value) ou Valor de exposição, é o produto das combinações possíveis entre a velocidade de obturação e abertura do diafragma conjugadas. A escala em EV é decimal, onde cada unidade corresponde a um "valor". O aumento de valor na escala EV significa uma exposição para o dobro.
f-stop	O número f é a distância focal da objetiva dividido pelo diâmetro do diafragma. (cada alteração no anel de uma objetiva) corresponde a uma situação em que o diafragma deixa entrar o dobro (ou metade) da luz do f-stop anterior.
Full Frame	Tamanho do sensor de 24x36mm (igual ao dos antigos negativos/slides de película de 35mm).

Ghost	Termo atribuído ao efeito “fantasma”, provocado por elementos que se movimentam entre a captura das várias imagens fotográficas que constituem uma imagem panorâmica.
HDR	High Dynamic Range.
ISO	Uma abreviatura de Internacional Standard Organization. Foi originalmente à luz. Usado para descrever a velocidade (sensibilidade à luz) da película, mas na era do mundo digital, é usado para descrever ou transformar a sensibilidade à luz do sensor das câmaras digitais.
Live View	Capacidade de uma câmara DSLR mostrar a imagem através do LCD antes de disparar, ao contrário do usual que é ver apenas a imagem através do visor ótico reflex.
Nadir	Ponto verticalmente abaixo do observador/fotógrafo; neste âmbito refere-se à fotografia tirada para baixo, a -90° .
Pitch	Rotação em volta do eixo horizontal
Stitching	Termo atribuído à “costura” das imagens na construção da fotografia panorâmica.
Yaw	Rotação em volta do eixo vertical.
Zénite	Ponto verticalmente acima do observador/fotógrafo; neste âmbito refere-se à fotografia tirada para cima, a $+90^{\circ}$.

1. Introdução

Quer seja por questões económicas, temporais ou de acessibilidade, por exemplo, nem todos têm a possibilidade de se deslocarem fisicamente a determinados destinos e de disfrutarem de tudo aquilo que estes lhes podem proporcionar. Contudo, com a constante evolução das novas tecnologias, estas limitações deixam de constituir um problema uma vez que já é possível “viajar virtualmente” pelo mundo sem sair de casa, desde que se disponha de um computador e ligação à Internet.

Atualmente, as visitas virtuais realizadas através da Internet representam a forma mais rápida, cómoda e económica de se conhecer um local, em qualquer parte do globo e a qualquer hora. Dependendo da qualidade da experiência e das preferências pessoais de cada um, estas visitas podem contribuir para que os locais virtualmente visitados se tornem realmente atrações turísticas pelo que encerram em si grande potencial turístico.

Por outro lado, se estas visitas virtuais não retratarem fielmente os locais que se propõem, o realismo da experiência pode ser seriamente comprometido e até, afastar os potenciais turistas desses locais. Uma das principais causas deste problema prende-se com a reduzida qualidade das imagens que compõem a visita o que, por sua vez, pode resultar de diversos fatores, como: a existência de uma elevada amplitude de luz no momento de captura das imagens de uma cena e que as câmaras fotográficas comuns não conseguem capturar numa única exposição; a má “costura” (*stitching*) entre as imagens que estão na base da construção da imagem panorâmica e o aparecimento de alguns artefactos estranhos, como é o caso dos “fantasmas” (*ghosts*).

Com o intuito de proporcionar ambientes imersivos mais aproximados da realidade que representam, torna-se necessária uma abordagem adequada ao processo de recolha, edição e representação dos elementos que constituem a cena que se pretende representar. Há diversos fatores que contribuem para a qualidade percebida da representação de uma cena, entre os quais se encontra a fidelidade visual. No contexto das visitas virtuais, define-se fidelidade visual como o nível de precisão com que é representada uma cena real, num dispositivo de visualização de imagem (Winkler, 2001)

Assim, a determinação em criar visitas virtuais que sejam realmente imersivas e que permitam experienciar da forma mais realista possível um determinado local constitui a motivação subjacente à realização deste trabalho, que estuda a questão da fidelidade visual da visita virtual através da fotografia panorâmica 360° e das técnicas que podem ser aplicadas para melhorar a experiência do utilizador.

1.1. Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é propor uma metodologia que permita a criação de visitas virtuais de elevada fidelidade visual através de fotografias panorâmicas. Assim, e para atingir este objetivo deve-se conseguir resolver as seguintes questões:

- Efetuar uma revisão bibliográfica de técnicas/ferramentas que auxiliem na criação de visitas virtuais de alta-fidelidade visual.
- Identificar qual/quais a(s) característica(s) de uma imagem panorâmica que mais contribui para a elevada fidelidade visual.
- Definir uma metodologia que permita construir visitas virtuais de alta-fidelidade visual para a web.
- Exemplificar a aplicação da metodologia proposta.

1.2. Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada em sete capítulos. No primeiro capítulo é feita uma introdução à temática onde este trabalho se enquadra e é também apresentada a motivação para a sua realização. São ainda apresentados os objetivos e a organização do presente documento.

No segundo capítulo, é apresentada a revisão bibliográfica onde são abordadas as seguintes temáticas: O sistema Visual Humano e a Perceção Visual, High Dynamic Range, Tone Mapping, Exposição Fotográfica, Fotografia Panorâmica 360° e Visitas

Virtuais. Serão também tratadas as respectivas ferramentas e equipamentos para a sua criação e edição.

O terceiro capítulo destaca um estudo efetuado sobre as características relevantes para a construção de visitas virtuais de elevada fidelidade visual, seguida pela descrição da implementação da metodologia proposta com uma exemplificação da aplicação dessa mesma metodologia, tal como surgem abordados no quarto capítulo.

Finalmente, são apresentadas respetivamente nos capítulos cinco, seis e sete as conclusões deste trabalho e apontadas áreas de trabalho futuras, as referências bibliográficas e os anexos relativos a este documento.

2. Estado da arte

De forma a garantir a uma melhor compreensão deste trabalho torna-se necessário a apresentação de alguns conceitos e técnicas de várias áreas, nomeadamente a Percepção Visual Humana, a HDR, a Fotografia Panorâmica e as Visitas Virtuais. Assim, expõe-se neste capítulo uma revisão bibliográfica com o propósito de apresentar ao leitor uma base teórica que permita uma melhor compreensão deste trabalho

2.1. Sistema visual humano

O Sistema Visual Humano (Figura 1) é considerado um sistema ótico complexo podendo ser comparado a uma câmara fotográfica ou a um microscópio ótico, pois apresenta um sistema de lentes (cristalino e córnea), um sistema de abertura variável (íris e pupila) e uma película ou sensor fotográfico (retina).

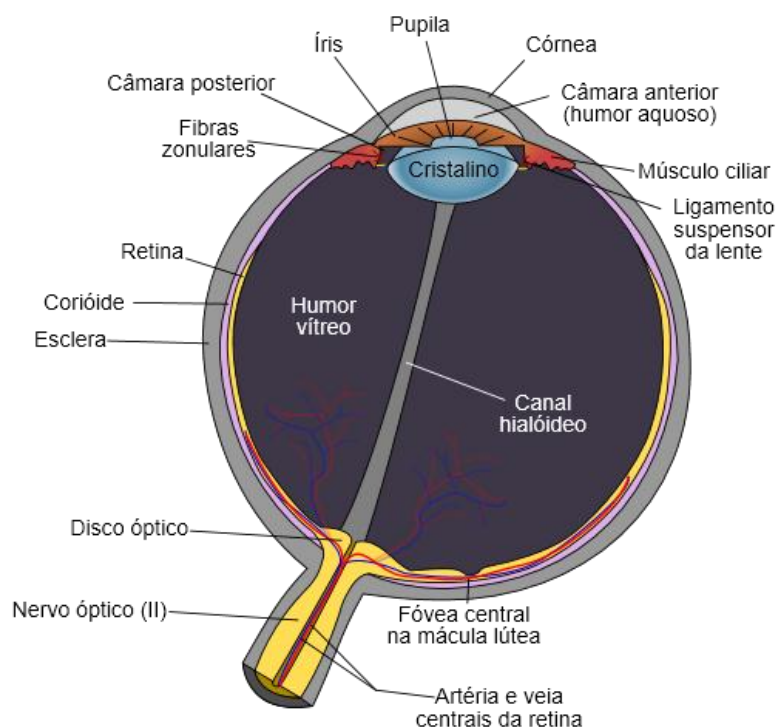


Figura 1 - O olho humano (Olho, 2011)

O processo do sistema visual humano é iniciado na córnea onde chegam os raios luminosos. Estes passam pela pupila de forma controlada através do esfíncter da pupila

(músculo que abre e fecha a íris) que se contrai ou dilata para determinar o seu tamanho conforme a quantidade de luz que recebe. Este processo visual é continuado pelo cristalino (lente flexível do olho), onde a imagem é focada através do músculo ciliar que ao contrair-se, quando relaxa para o olho focar objetos mais distantes, altera a sua espessura ficando mais estreito, acontece o inverso para objetos mais próximos do olho. Depois de focada, a imagem é projetada na retina. (Dome, 1995)

A retina contém dois tipos de células nervosas sensíveis à luz, os cones e os bastonetes (Figura 2). Estas células ao serem estimuladas transformam-se em impulsos elétricos que são transmitidos ao cérebro. A retina possui cerca de 126 milhões de fotorreceptores (120 milhões de bastonetes e 6 milhões de cones) sensíveis apenas a uma pequena parte do espectro eletromagnético.

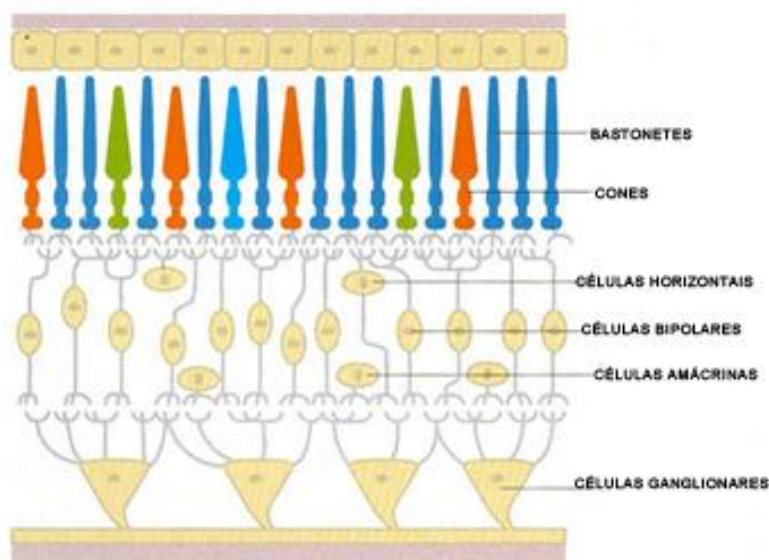


Figura 2 - Cones e Bastonetes - Adaptado de: (Colors Theory, 2011)

Os bastonetes são relativamente longos e finos e cobrem toda a retina estando mais concentrados na sua zona mais periférica. Responsáveis pelo campo de visão periférico, são muito sensíveis à luz e mais eficientes que os cones em condições de baixa iluminação, daí a sua importância para a visão noturna. Não possuem a capacidade de diferenciar as cores. A sua informação é extraída apenas da luz branca comum por isso, tudo o que é "visto" com os bastonetes é visto em tons de cinza. Os bastonetes proporcionam a chamada visão escotópica ou noturna onde se percebe

apenas brilho e não cores. Em média, a visão escotópica humana ocorre em luminâncias¹ entre 10^2 e 10^6 cd/m². (ex: detetar uma estrela numa noite sem luar)

Por sua vez, os cones concentram-se na sua grande maioria na região da fóvea, sendo responsáveis pela captação da informação de cor e acuidade espacial. São em menor número (6-7 milhões) e de três tipos diferentes (*Short*, *Medium* e *Long*), sensíveis respetivamente ao azul, verde e vermelho. Essas células são as responsáveis pela visão fotópica, a resposta visual a elevados níveis de intensidade luminosa (níveis de luminância entre 1 e 10^6 cd/m). (ex: detetar um avião no céu em plena luz do dia.). Existe ainda um ponto cego na retina que não tem sensores que é onde o nervo ótico liga ao cérebro. Esse ponto não é perceptível porque o cérebro “preenche” esse vazio com informação interpolada da vizinhança da imagem e com informações capturadas pelo outro olho. (Barton, 2007)

À combinação da visão fotópica e da visão escotópica dá-se a designação de visão mesópica (Figura 3) que ocorre em situações de luminosidade baixa, mas não tão baixa que elimine de todo a componente fotópica da visão. Nesta situação estão ativos tanto os bastonetes como os cones.

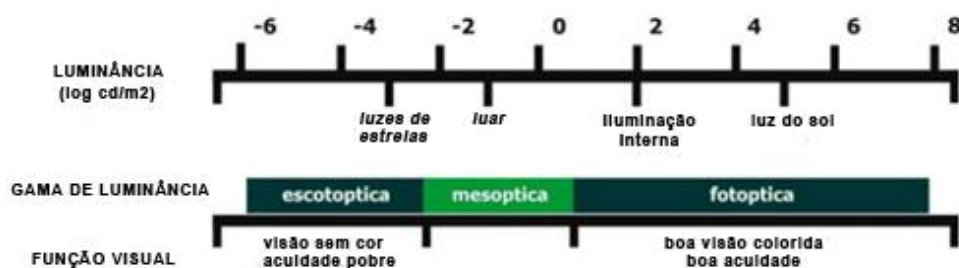


Figura 3 - Níveis de luminância – adaptado de: (Ferwerda J. A., 1996).

¹ Os níveis de luminância são medidos em candelas. A Candela é uma das sete grandezas de base do Sistema Internacional (SI) de Unidades. Esta unidade (cd) refere-se à intensidade luminosa, numa determinada direção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz e cuja intensidade energética nessa direção é de 1/683 watt por esterorradiano (Taylor & Thompson, 2008)

2.1.1. Acuidade Visual

Acuidade Visual (AV) é o grau de aptidão do olho humano, para discernir os detalhes espaciais, isto é, a capacidade do olho em perceber o contorno e a forma dos objetos. Esta capacidade é um atributo dos cones responsáveis pela acuidade visual central que compreende a visão da forma e a visão das cores. (Ferwerda J. A., 1998)

Na Figura 4 pode-se observar os limites da acuidade visual do olho, Assim quando estimulado pela visualização de 2 linhas suficientemente afastadas Figura 4 (esquerda), estas são percebidas como 2 linhas distintas. Na mesma Figura 4 (direita), observa-se o estímulo do olho ao visualizar 2 linhas demasiado próximas, não sendo capaz de discernir o detalhe espacial, percebendo as 2 linhas, como se de uma apenas se tratasse.

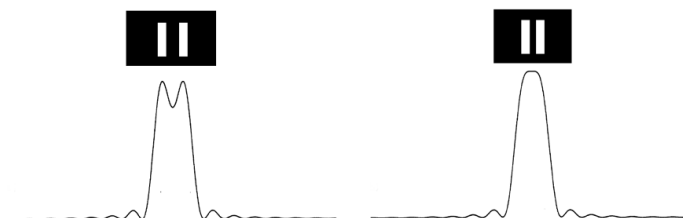


Figura 4 - Limites de acuidade visual devido à função de propagação da linha ótica do olho -

Adaptado de: (Ferwerda J. A., 1998)

2.1.2. Adaptação ao escuro e à luz

O processo de adaptação do Sistema Visual Humano a diferentes condições de iluminação é, na maioria das vezes, quase impercetível, dado que as mudanças de iluminação ao longo do dia são bastante lentas, existindo uma fácil adaptação às diferentes condições de luz. No entanto, mudanças bruscas de luz provocam uma aparente perda de sensibilidade. Isto é, ao passarmos bruscamente de um ambiente de bastante luminosidade para a escuridão, necessitamos de algum tempo de adaptação até começar a vislumbrar gradualmente as silhuetas dos elementos que lá se encontram. A visibilidade melhora com o tempo porque a faixa de resposta dos fotorreceptores ajusta a iluminação média da cena, como ilustrado na Figura 5. Esta adaptação dos

fotorreceptores à luz é um processo temporal e efetuada através de processos neurais. O tempo necessário para a adaptação da passagem da luz brilhante do sol para a escuridão completa é de cerca de 30 minutos, já o processo inverso demora cerca de 5 minutos até à adaptação total. (Krawczyk, 2007)

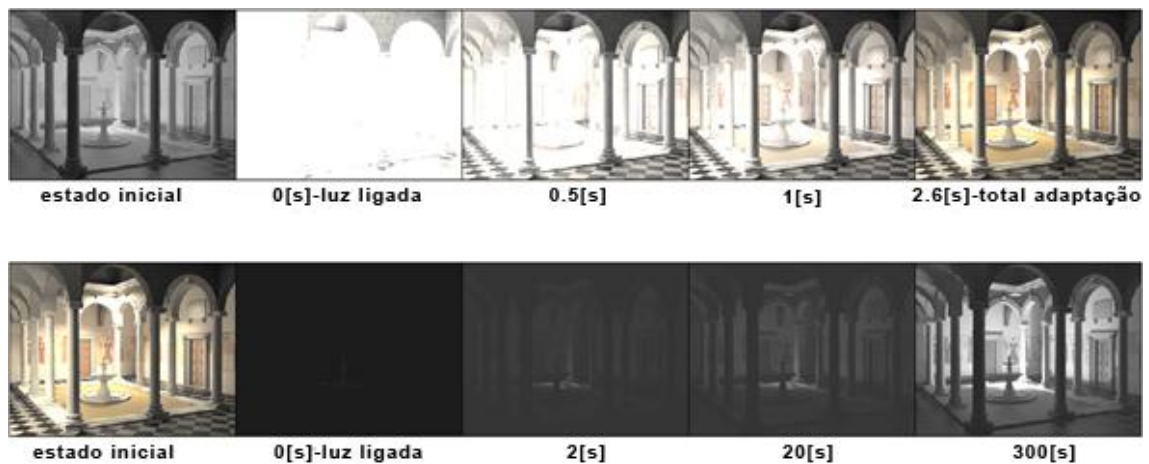


Figura 5 - A experiência visual em determinados intervalos de tempo e a adaptação temporal à luz e ao escuro causado pela mudança brusca na iluminação (Krawczyk, 2007)

2.1.3. Contraste

O contraste é a diferença entre zonas adjacentes ou distantes, sendo esta a forma primária de informação visual que chega ao cérebro. A nossa sensibilidade visual é medida pela capacidade que temos de responder aos contrastes físicos de diferentes propriedades em diferentes condições de observação (Mantiuk R. , 2006)

A sensibilidade do Sistema Visual Humano ao contraste, varia de acordo com a sua frequência espacial e temporal, orientação, comprimento de onda, adaptação à luminância e outros fatores que estão ligados com a ótica do olho e com os mecanismos neurais da retina. Existem dois aspetos importantes na perceção de contraste: São a capacidade para a deteção de um sinal num fundo uniforme - deteção de contraste – e a capacidade de perceber se um sinal gera um contraste mais forte que o outro – discriminação de contraste.

2.1.4. Mascaramento Visual

O mascaramento visual é um fenómeno perceptual que pode ser definido como uma situação em que um determinado padrão visual modifica a nossa capacidade para detetar um padrão de outro tipo. (Ferwerda J. A., 1998)

A capacidade da visão humana para detetar sinais de determinadas preferências é ainda mais dificultada pela presença de outros sinais visuais na área de interesse (Krawczyk, 2007). Na Figura 6 pode-se ver um exemplo de mascaramento de contraste, a visibilidade do sinal de teste na imagem Figura 6 (esquerda) depende do conteúdo da imagem local Figura 6 (direita). O sinal de teste, dificilmente é perceptível nas áreas com alta frequência de texturas ou com padrões de orientação similar.

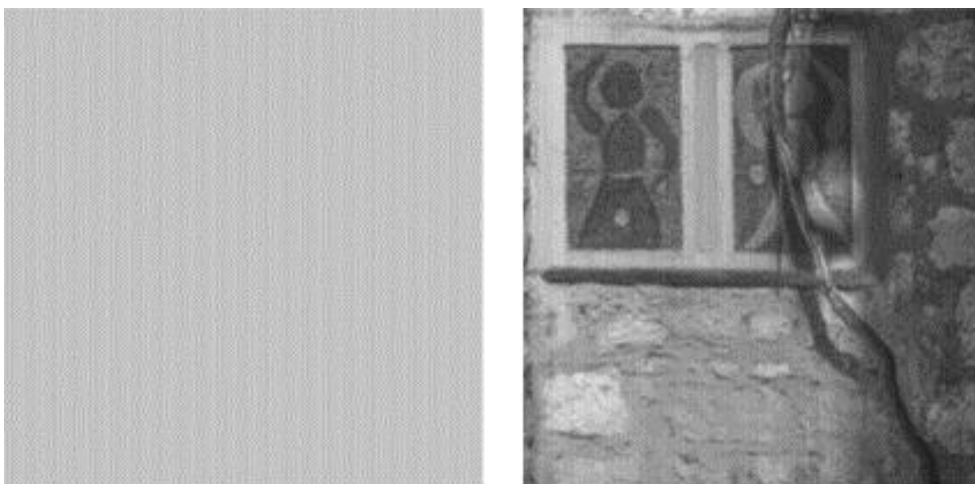


Figura 6 - Teste de sinal (esq.) e sinal de mascaramento com o sinal de teste sobreposto (dir.)

Adaptado de: (Krawczyk, 2007)

2.2. High Dynamic Range (HDR)

As imagens HDR caracterizam-se por possuírem uma gama dinâmica muito elevada. Esta gama de valores é possível porque este formato utiliza um grande número de bits por canal (até 32 bits) para representar um pixel permitindo assim, representar todos os níveis de intensidade e cor que o olho humano é capaz de diferenciar. Isto significa que as imagens HDR são capazes de armazenar muito mais informação (detalhes) do que as imagens tradicionais cuja gama dinâmica é baixa (LDR) (Wandella,

2000) sendo que utilizam normalmente 8 bits por canal para representarem um pixel. (Chalmers A. a., 2009)

A designação “Gama Dinâmica” (Dynamic Range) é utilizada para descrever o valor da razão entre o brilho mais intenso (pixel mais claro) e o menos intenso (pixel mais escuro) que se pode encontrar em qualquer ambiente ou representado numa imagem.



Figura 7 - Adaptado de: (Cambridge in Colour, 2011)

De seguida serão expostas as formas de captura e formatos de imagens HDR e também as diferenças entre formatos HDR e LDR.

2.2.1. Formatos de Imagem HDR

Existem vários formatos para imagens HDR, sendo que alguns deles são sem perdas (lossless) e com perdas (lossy). De seguida irão ser apresentados os principais formatos, nomeadamente:

- **OpenEXR (Extended Range)** - é um formato standard open-source, criado em 2002, pela Empresa Industrial Light and Magic (Industrial Light and Magic, 2012), para a descrição de imagens de alta gama dinâmica. Este formato permite a compressão com ou sem perdas, disponibiliza uma biblioteca pública e é compatível com muitos programas (Montabone, 2010)

- **TIFF- IEEE RGB** - Este formato permite representar cerca de 79 ordens de magnitude², com variações diminutas, para representar imagens HDR. Tem 32 bits por cada um dos 3 canais de cor, ocupando 96 bits cada pixel. Tem ainda a vantagem de ser de fácil leitura e escrita. (Reinhard E. a., 2005)
- **HDR ou RGBE** (Red-Green-Blue-Exponent) – este é um formato de imagem inventado por Greg Ward Larson (Ward G. , Encoding, 2011), utiliza um byte por cor RGB (vermelho, verde e azul) e um quarto byte que serve para armazenar o valor exponencial partilhado. Assim, armazena no total quatro bytes por pixel. A solução encontrada permite ter uma performance similar à utilização da vírgula flutuante sem necessitar de utilizar 12 bytes por pixel para obter precisão única ou 6 bytes, metade da precisão, podendo assim lidar com pixéis muito brilhantes sem perder precisão em pixéis mais escuros.

Formato	Codificação	Color Space	Bits/pixel	Dynamic Range (log10)
HDR	RGBE	positive RGB	32	76
	XYZE	(CIE) XYZ	32	76
TIFF	IEEE RGB	RGB	96	79
	LogLuv24	$\log Y + (u, v)$	24	4.8
	LogLuv32	$\log Y + (u, v)$	32	38
EXR	Half RGB	RGB	48	10.7

Tabela 1 - Tabela comparativa dos formatos analisados Adaptado de (Reinhard E. a., 2005)

Na tabela (Tabela 1) podemos ver um resumo das codificações suportadas por cada um dos formatos acima apresentados. Estes formatos utilizam codificação sem perdas, uma vez que os valores originais da cena se mantêm. Não existem perdas adicionais durante múltiplos armazenamentos ou recuperações subsequentes.

Esta, é uma característica importante em vários contextos, especialmente quando uma imagem tem que passar por armazenamentos múltiplos e por recuperações (com possíveis manipulações) antes de atingir o seu estado final. Existem, contudo, algumas

² Magnitude:

aplicações onde os formatos com perdas são preferíveis, em particular se os custos de armazenamento forem elevados.

Existem alguns formatos HDR de codificação com perdas. Os principais são:

- **Dolby's JPEG-HDR Format** - é um formato criado por Greg Ward e Maryann Simmons, como forma de armazenar imagens de alta gama dinâmica dentro de um ficheiro JPEG padrão, visando reduzir o tamanho do ficheiro necessário para armazenar imagens HDR em comparação com outros formatos como TIFF ou RGBE, formatos de ficheiros excessivamente grandes. (Ward, Maryann, 2006)
- **The XDepth Format** - é um formato que permite a compressão com perdas, tem taxas de compressão semelhantes e é compatível com o formato JPEG, permite uma boa qualidade e um muito pequeno tamanho para armazenamento. Baseado no algoritmo Jpeg-1, oferece qualidade e taxas de compressão semelhantes. Este formato, mantém a mesma qualidade percebida por toda a imagem, independentemente do contraste e oferece uma profundidade de bits variável ao longo de cada imagem HDR proporcionando uma maior precisão apenas quando necessário. (Xdepth, 2011).
- **Microsoft's HD Photo Format** ou **JPEG XR** (HD Photo Format Overview, 2011) - é uma proposta Windows Media Format projetada para câmaras digitais e impressoras, que segundo a Microsoft, oferece compressão até ao dobro da eficiência do JPEG, com menos artefactos prejudiciais, resultando numa maior qualidade das imagens ocupando metade do tamanho do ficheiro. Preserva integralmente a fidelidade da imagem original com high dynamic range, permitindo uma melhoria significativa no tamanho de compressão. Além disso, o HD Photo oferece compressão de imagens sem perdas e com perdas, e pode reter toda a gama dinâmica do sensor de uma câmara. Estes ficheiros, são propriedade da Microsoft, tendo de possuímos um *software* especial para os ler ou instalar *plugins* para Adobe Photoshop (HD Photo Format Overview, 2011).

2.2.2. Como obter imagens HDR

As imagens HDR podem ser obtidas fundamentalmente da seguinte forma:

- A primeira, através da síntese de imagem utilizando algoritmos da área da computação gráfica.
- O segundo método utiliza imagens com diferentes exposições da mesma cena e combina-as de forma a obter uma imagem HDR. As várias imagens (LDR) podem ser obtidas através da utilização de diferentes sensores embora, o mais normal seja a sua obtenção através de câmaras fotográficas convencionais. (Malik, 1997)
- Finalmente, através da utilização de dispositivos que permitem capturar diretamente imagens HDR.

Dada a natureza do trabalho a ser desenvolvido apenas serão detalhados os métodos que utilizam câmaras fotográficas para a obtenção de imagens HDR.

2.2.2.1. Utilização de câmaras fotográficas DSLR

Apesar de ser possível obter fotografias utilizando vários tipos de câmaras fotográficas que não câmaras DSLR (Figura 8) o método apresentado aqui dirige-se especialmente a estas.



Figura 8 - Câmara Fotográfica DSLR - Adaptado de: (Canon , 2001)

Uma câmara reflex digital (SRL digital ou DSLR "digital single-lens reflex camera") (Figura 8) é uma câmara fotográfica digital que utiliza um sistema mecânico de espelho e um pentaprisma para direcionar a luz que chega através da objetiva para o visor ótico existente na parte traseira da câmara. Estas câmaras oferecem maior flexibilidade no ajuste de configurações proporcionando ao utilizador a escolha de grande variedade de objetivas ao permitirem a sua troca conforme as necessidades e garantirem também a pré-visualização precisa do enquadramento.

Os sensores de aquisição de imagens (CCD), (CMOS) (Reinhard E. a., 2005) em máquinas digitais possuem alcance de valores menos abrangente, geralmente de apenas 8 bits por canal de cor (256 valores de intensidade). Assim, para fotografar um motivo de alto contraste, capturando informações tanto nas zonas claras (altas luzes) como nas zonas de sombra, cobrindo adequadamente o alcance dinâmico de todo o cenário, é necessário fazer várias exposições.

Alcançar toda a gama dinâmica depende do intervalo de Valor de Exposição (EV) que separam as fotografias. Se fizermos etapas de EV (por exemplo, -1, 0, +1 EV), necessitaremos de mais fotografias do que se fizermos em dois intervalos EV (por exemplo, -2, 0, +2 EV). Um intervalo de dois EV entre as imagens, significa que o tempo de exposição de uma fotografia será quatro vezes maior ou quatro vezes menor do que o tempo de exposição na sequência. Por exemplo, se a fotografia na exposição média é feita em 1/15 segundo, um intervalo de dois EV em que a fotografia sobre-exposta será feita em 1/4 segundo e a sub-exposta a 1/60 segundo.

Cenários de alto contraste podem ser agrupados em dois tipos, dependendo da sua faixa dinâmica:

- Cenários de médio alcance dinâmico (Figura 9): A maioria das paisagens e outros tipos de cenários ao ar livre enquadram-se nesta categoria. Três exposições feitas com dois intervalos EV (ou seja, -2, 0 +2 EV), ou cinco exposições feitas num intervalo EV geralmente são suficientes para este tipo de cenários.
- Cenários de Alto Alcance Dinâmico (HDR): Um exemplo típico é o interior de um quarto com vista para fora da janela num dia ensolarado ou dentro de um túnel como é ilustrado na Figura 9. Aqui podemos conseguir

cobrir toda a gama dinâmica com três exposições, mas dado o alto contraste entre a escuridão do quarto e as altas luzes do exterior podemos necessitar de efetuar mais exposições em dois passos EV de cada vez, para capturar toda a gama dinâmica nesse tipo de cenário. Efetuar as exposições manualmente é recomendado nestas situações.



Figura 9 - Cenários ao ar livre (médio alcance dinâmico).

O dilema típico do utilizador, é encontrar a velocidade correta do obturador para cenas com alto contraste e movimento, como o referido na Figura 10. É claro que o interior do túnel precisaria de uma exposição mais longa para permitir que os detalhes pudessem ser vistos. No entanto, retardando a velocidade do obturador para efetuar uma exposição mais longa, a quantidade de luz que entraria seria substancialmente maior, o que iria iluminar não somente o interior do túnel, mas faria com que a imagem vista fora do túnel ficasse reduzida a uma mancha clara, incluindo o céu.

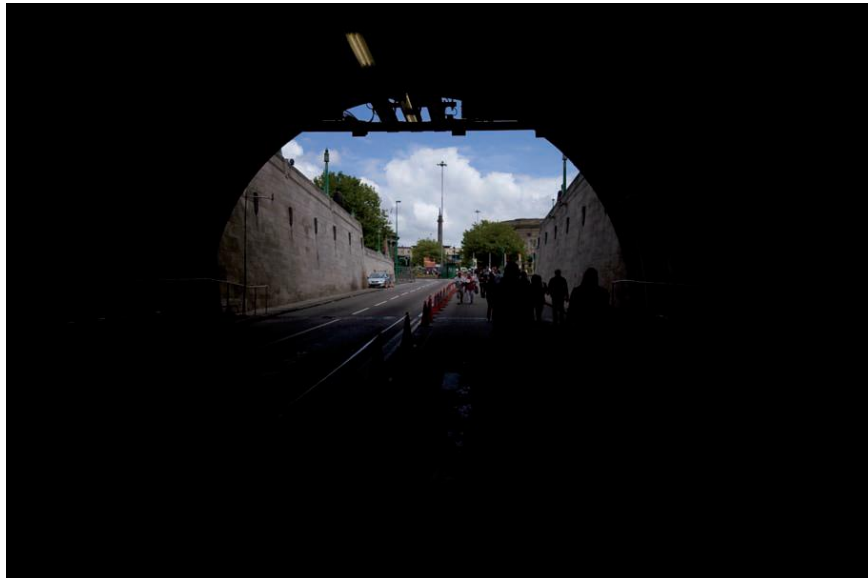


Figura 10 - Cenário de High Dynamic Range - Adaptado de: (Correll, 2009).

2.2.2.2. Câmaras com função HDR

Já existem no mercado dispositivos capazes de capturar diretamente imagens HDR, gerando assim imagens de alta gama dinâmica. Contudo a maioria desses dispositivos ao produzirem dados em bruto dessas mesmas imagens, criam enormes ficheiros, exigindo grande capacidade de processamento e de memória para armazenamento dessas imagens.

Assim, por exemplo, a câmara reflex digital 645 D da Pentax (Pentax 645D, 2011) (Figura 11), oferece uma função HDR, que permite tirar três fotos seguidas com tempos de exposição diferentes, calculadas automaticamente num conjunto no interior da câmara.



Figura 11 - Câmara Pentax 645 D - Adaptado de: (Pentax A Ricoh Company, 2012)

Ou a câmara fotográfica Pentax K7 (Primeira câmara HDR do mundo, 2011) (Figura 12) que possui um modo *Bracketing* que trabalha com 3 ou 5 imagens com a variação de +/- 2 pontos de compensação de exposição que depois de serem capturadas leva cerca de 10 segundos para montar o HDR final.



Figura 12 - Câmara fotográfica Pentax K7 - Adaptado de: (Digital SLR, 2011)

Também podemos capturar imagens HDR e simultaneamente a $360^{\circ} \times 180^{\circ}$, recorrendo a outro hardware, próprio para o efeito, como por exemplo a câmara “SpheroCam HDR”, (SpheronCam HDR, 2011) (Figura 13) capaz de capturar uma alta gama dinâmica numa amplitude até 26 f-stops através de uma única exposição. Oferece também controlo completo através de um computador portátil para configurações, armazenamento e visualização em tempo real, durante a captura.



Figura 13 - SpheroCam HDR - Adaptado de: (SpheronCam HDR, 2011)

Esta câmara faz-se acompanhar de *software* proprietário que permite configurar, ajustes de exposição, balanço de brancos, correções de objetiva, controlo na captura de imagens e outros ajustes, guardando em diversos formatos HDR.

Configurar este equipamento para a captura só leva alguns minutos fazendo em situações de iluminação típica, uma panorâmica $360^\circ \times 180^\circ$ em HDR em menos de 3 minutos, embora, dependendo do alcance dinâmico escolhido, possa ir de 60 segundos a 30 minutos.

2.2.3. Tone mapping

As imagens HDR podem possuir uma gama dinâmica ($10^6:1$) que a maioria dos dispositivos de visualização não consegue representar. Assim, antes de podermos visualizar estas imagens em ecrãs tradicionais é necessário efetuar o mapeamento de tons (*tone mapping*) para uma gama que seja possível representar por dispositivos de visualização (por exemplo $100:1$) não HDR. A imagem resultante da operação de *tone mapping* é uma imagem de Baixa Gama Dinâmica (LDR). (Ward, Maryann, 2006) (Akyüz, Fleming, Riecke, E., & Reinhard, 2007).

A forma como o mapeamento dos tons HDR é efetuada para tons LDR leva a que haja perda de informação, no entanto, aplicando-se um mapeamento de tons adequado,

consegue-se preservar determinadas características. Estas técnicas, denominam-se operadores de mapeamento de tons (*Tone Mapping Operators* - TMO). Diferentes operadores resolvem o problema de *tone mapping* recorrendo a uma multiplicidade de abordagens, obtendo muitas vezes resultados bastante diferentes uns dos outros. É perfeitamente notória a diferença visual, ao comparamos o resultado final de uma imagem usando operadores de *tone mapping* diferentes (Mantiuk R. , 2008).

Assim, dependendo da forma como os operadores de *tone mapping* reduzem a gama dinâmica de uma imagem HDR, podem ser classificados em diferentes categorias. Os operadores desenvolvidos, como (Ward G. , 1994) (Tumblin, 1999); em que se aplica a mesma função de mapeamento através da imagem, são conhecidos como operadores globais. Embora não lidem bem com rácios elevados de contraste, são simples de implementar e computacionalmente rápidos, uma vez que mapeiam cada *pixel* baseando-se apenas na sua intensidade e nas características globais da imagem, independentemente da sua posição na mesma. Os operadores em que o mapeamento varia espacialmente, de acordo com a vizinhança de um pixel, são conhecidos como operadores locais (Purgathofer, 2002).

Os operadores de *tone mapping* locais têm em conta a vizinhança (pixels vizinhos) de cada *pixel* que se pretende mapear. Isto significa que *pixels* com a mesma intensidade podem ser mapeados com valores distintos dependendo da sua respetiva vizinhança. Os operadores locais (Martin Čadík, 2007), são geralmente capazes de um maior contraste e redução significativa de compressão da gama dinâmica de uma cena. Existem ainda, alguns operadores que tentam explorar o sistema visual humano adotando funções de mapeamento que se assemelham ao sistema da visão humana (Khan, 2009) (Seidel, 2005)

No futuro, com a popularização de ecrãs High Dynamic Range o uso de TMOs não será tão comum. Porém, existirá sempre a necessidade da sua utilização por exemplo na imagem impressa, já que o papel não consegue reproduzir uma gama dinâmica tão elevada, Figura 14 (Chalmers P. L., 2005).

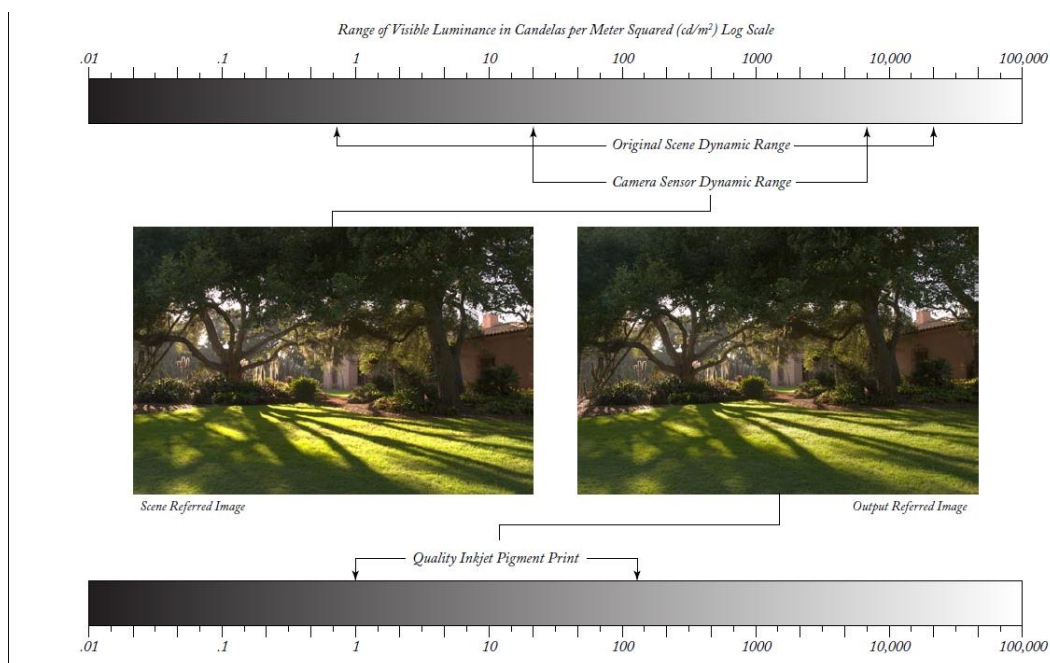


Figura 14 – Reprodução da Gama dinâmica em Vários dispositivos de visualização - Adaptado de: (Lang, 2007)

Sem o algoritmo adequado de *tone mapping*, a qualidade do resultado visual pode não corresponder ou ser perdida, podendo ocorrer a saturação dos valores não suportados pelo dispositivo. (Martins, 2006)

Um requisito essencial para a criação, visualização e manipulação destas imagens HDR, é o de possuímos o *software* adequado para esse fim, existindo várias aplicações para o efeito, como sejam o Photomatix (HDR photography software, 2012), Adobe Photoshop CS6 (Adobe, 2012), AKVIS HDRFactory (Akvis, 2011), easyHDR PRO (easyHDR PRO, 2011), Dynamic Photo-HDR (Dynamic-photo-hd, 2012), Qtpfsgui (Luminance HDR, 2012), hdr-efex-pro (HDR efex pro 2, 2012).

2.3. Fotografia panorâmica

A origem da fotografia panorâmica é atribuída ao pintor e professor Robert Barker que no final do século XVIII patenteou um dispositivo denominado “panorama”. A palavra tem origem Grega: pan – total, horama – visão; e foi criada para descrever a experiência visual presente no dispositivo (DALVI, 2011). Em 1788 Robert Barker exibiu em Edimburgo (Figura 15), uma visão da cidade.



Figura 15 - Panorâmica de Edimburgo - Robert Barker - 1788 - Adaptado de: (Panorama of London Barker, 2011)

Uma imagem, verdadeiramente panorâmica, deve capturar um campo de visão comparável (ou maior do que) ao do olho humano, que é de 160° por 75° a partir de um ponto de vista. (Fotografia panorâmica, 2011) A fotografia panorâmica é um meio privilegiado de proporcionar uma sensação de completa harmonia e abrangência de um lugar, ultrapassando o mero detalhe isolado. Esta, caracteriza-se pelo seu ângulo de visão possuir um formato tipicamente alongado, para além de se apresentar como um meio por excelência a utilizar nas visitas virtuais, pois permite um campo visual bastante abrangente e consequentemente mais imersivo (Junior, 2010).

O conceito em que se baseia a fotografia panorâmica consiste em capturar fotografias com um campo visual abrangente, tão abrangente que vai muito para além dos limites proporcionados pelas objetivas da câmara fotográfica e mesmo dos limites do olho humano. Para o efeito, fotografa-se uma sequência de imagens com pontos de referência comuns que serão depois “cozidas” umas nas outras, com a ajuda de *software* especializado. Isto é, fotografa-se uma cena completa aos pedaços, juntando-se depois as fotografias como se fossem peças de um qualquer puzzle. A este processo de junção das imagens dá-se o nome de “*stitching*” (Fay Huang, 2008) ou seja, costura das imagens. O resultado é uma imagem com um grande ângulo de visão, que no limite pode chegar aos 360×180 graus. Para atingir esse objetivo o mais prático é usar uma objetiva com uma distância focal reduzida, como por exemplo uma grande-angular ou mesmo uma objetiva ultra grande-angular “olho-de-peixe” (8 ou 12mm), embora se possa usar qualquer objetiva com maior distância focal. O que vai variar (e muito) é a quantidade de fotografias individuais necessárias para abranger os 360° de uma panorâmica esférica e, aumentar a resolução final. Consequentemente, a capacidade de processamento do computador para alinhar e renderizar corretamente um maior número de imagens, será necessariamente maior.

As imagens panorâmicas são de quatro tipos. As panorâmicas mais simples são as planas, feitas a partir da união de quatro ou cinco imagens, num único plano. A fotografia panorâmica esférica 360° é uma montagem fotográfica que resulta numa fotografia plana que completa uma volta de 360° no eixo horizontal e 180° no eixo vertical do ponto de vista do fotógrafo. Ao invés, a fotografia panorâmica cilíndrica reproduz apenas uma volta de 360° na horizontal no interior de um cilindro e a panorâmica cúbica é projetada nas faces de um cubo. Estas disponibilizadas em visitas virtuais, permitem ao observador interagir de forma autónoma, proporcionando-lhe a imersão na imagem e acionar o seu imaginário.

2.3.1. Ponto Nodal

O primeiro passo para criar uma fotografia panorâmica é tirar as fotografias individuais que vão depois juntar-se no *software* de criação de panorâmicas. Estas fotografias têm de ser efetuadas a partir do mesmo ponto de perspetiva (Figura 17) ou seja deve ser encontrado o ponto nodal (John & Gerlach, 2010) também conhecido como centro ótico da objetiva. Isto é muito importante pois a câmara ao ser movida para outra posição pode impossibilitar ou dificultar a junção das imagens na construção da imagem panorâmica. Para uma melhor compreensão ilustra-se o problema recorrendo a uma analogia com o corpo humano: Quando olhamos para um qualquer cenário e movemos a cabeça de um lado para o outro, podemos verificar que a posição dos objetos que estão mais perto do observador, mudam mais rapidamente que a posição dos objetos que estão longe, tal acontece com as câmaras fotográficas (Figura 16). Se o observador ficar imóvel e mover apenas os olhos, a posição dos objetos permanece a mesma. Isto acontece porque os olhos se movem em torno de seu centro ótico, não havendo qualquer mudança de perspetiva.

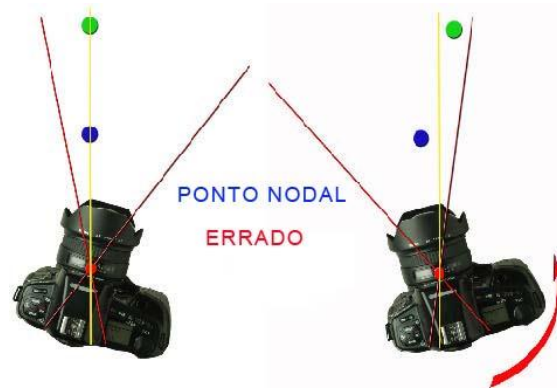


Figura 16 - Perspetiva a partir de pontos diferentes - Adaptado de: (Nikonland, 2012)

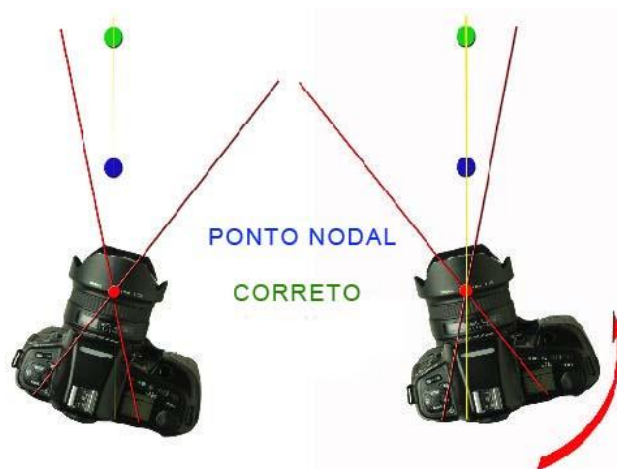


Figura 17 - Perspetiva a partir do mesmo ponto - Adaptado de: (Nikonland, 2012)

É exatamente o que é necessário para fazer boas fotografias na produção da panorâmica, isto é, girar a câmara em torno de seu centro ótico, tal como fazemos com os olhos. Para isso, é preciso um tripé resistente e uma cabeça panorâmica ou suporte nodal (Figura 18) que é um dispositivo encaixado no tripé e que permite definir o eixo específico de rotação que a câmara necessita, para manter o mesmo ponto de vista enquanto se gira em qualquer ângulo. A câmara desloca-se de um lado para o outro de modo a que o seu centro ótico, visto a partir da frente, esteja alinhado com o seu eixo de rotação.



Figura 18 – Suporte Nodal - Adaptado de: (Panorama-Hardware, 2012)

A câmara deve girar em torno do seu centro ótico (John & Gerlach, 2010). Caso contrário, como as imagens a seguir exemplificam, dá-se aquilo a que se designa de erro de paralaxe (Figura 19). As fotografias foram capturadas a partir de duas posições de câmara diferentes, a câmara não girou sobre o seu centro ótico. Assim, resultou que os edifícios ao fundo mudaram em relação à posição dos edifícios em primeiro plano. Isto não acontece apenas com objetos distantes da câmara pois, até movimentos de câmara de apenas alguns centímetros, podem resultar em erros de paralaxe visíveis se houverem objetos próximos.

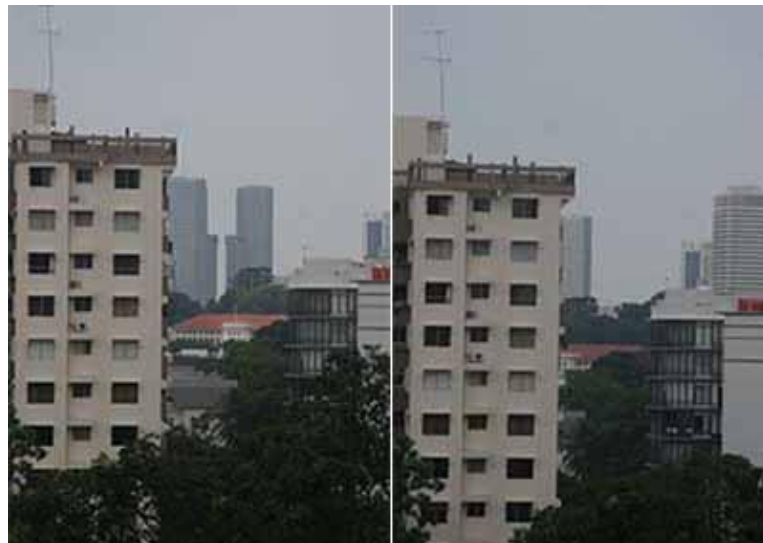


Figura 19 - Exemplo de erro de paralaxe - Adaptado de: (Create high quality panoramic images, 2012)

O erro de paralaxe constitui um problema quando se realiza a operação de costura das imagens: o *software* de costura pode alinhar os objetos em primeiro plano ou os objetos em segundo plano, mas não ambos ao mesmo tempo. Incapaz de determinar eficazmente os pontos de interceção irá causar também desalinhamentos em outras áreas da panorâmica. Corrigir os erros de paralaxe é extremamente difícil, o melhor que se

pode fazer é tentar mascarar os desalinhamentos retocando a panorâmica depois de montada.

2.3.2. Equipamento especializado.

Existem vários equipamentos que permitem efetuar a captura de fotografias panorâmicas de forma mais expedita. São apresentados em seguida vários equipamentos específicos, nomeadamente: Cabeças motorizadas panorâmicas; suportes nodais; tripés; objetivas.

2.3.2.1. Cabeças motorizadas

Uma cabeça panorâmica é um dispositivo especial que garante que a câmara e a objetiva giram em torno de seu centro ótico. As cabeças motorizadas (Figura 20) operam automaticamente a câmara fotográfica (disparo das fotografias) através do cabo disparador ligado entre ambas e colocam também a câmara em movimento de forma a percorrer todas as posições necessárias à cobertura da cena pretendida.



Figura 20 - Cabeça Panorâmica motorizada Adaptado de: (Image Stitching and Virtual Tour Solutions, 2012)

2.3.2.2. Suporte Nodal

Como foi referido anteriormente, de modo a que as imagens capturadas fiquem bem preparadas para a imagem final devemos alinhar a câmara montada num tripé com

suporte de rotação nodal, (Figura 21) ou ajustar a câmara/objetiva na cabeça rotativa mecânica. Assim, elimina-se o ponto de vista ou o mais conhecido erro de paralaxe entre as várias vista da cena como referido no ponto 2.3.1.



Figura 21 – Tripé com suporte nodal - Adaptado de: (Frich, 2007)

2.3.2.3. Objetivas

Para a captura das fotografias que formam as panorâmicas 360° podem ser usadas objetivas de várias distâncias focais (ângulo de visão da objetiva) (John & Gerlach, 2010). As de menor distância focal como por exemplo as ultra-grandes-angulares, chamadas normalmente de olho de peixe e as de maior distância focal, as teleobjetivas. As primeiras, permitem efetuar menor número de imagens mas perdem em termos de resolução e as segundas, obrigam a efetuar um número bastante grande de imagens mas permitem obter enormes resoluções podendo fazer imagens panorâmicas de giga pixéis. Existem no entanto objetivas (*Zoom*), que permitem percorrer várias distâncias focais, sendo as mais versáteis por permitirem escolher a distância focal pretendida a qualquer momento sem ter de trocar de objetiva.



Figura 22 - Objetiva Zoom - Adaptado de: (Canon, 2012)

As objetivas olho de peixe, normalmente com a distância focal de 8 mm, disponíveis para a maioria das câmaras DSLR, são capazes de capturas de 180 graus numa única imagem. Desta forma, conseguem cobrir a visão completa de um ambiente em apenas duas imagens mas perdem no nível de resolução que vão permitir atingir. Um outro problema colocado na utilização destas objetivas, é o facto de nem todas as câmaras digitais capturarem o pleno campo de visão de uma câmara de sensor *Full Frame* 35 mm. Como possuem um sensor de imagem menor dá-se um fenómeno chamado de fator de corte das objetivas em câmaras não *full frame* (John & Gerlach, 2010). Neste caso, a parte superior e inferior da imagem da objetiva circular olho de peixe são normalmente cortadas. Isto leva a que possa ser necessário efetuar a captura de mais imagens, de forma a cobrir o ambiente completo, tal como acontece com objetivas com outras distâncias focais se não estiverem a ser utilizadas em câmaras sem este fator de corte.

Existem câmaras digitais *full frame*, tal como a Canon EOS 1Ds e a Nikon D3S com sensores de imagem que são do mesmo tamanho (35 mm) da película (36×24 mm), onde o fator de corte não acontece.

2.4. Visitas virtuais

As visitas virtuais são construídas a partir de um conjunto de fotografias transformadas em imagens panorâmicas mostrando uma visão completa (360°) interativa do ambiente onde se inserem, através de funcionalidade multimédia que permitem a navegação e exploração por parte do utilizador. O utilizador é um sujeito ativo que se deixa imergir na simulação e que interage com um dispositivo para percorrer a cena e promover a sua relação sensorial com a imagem. Desta forma o utilizador tem poder sobre a imagem, podendo-a percorrer livremente, criando uma sensação de realidade presencial.

Estas visitas virtuais, constituídas por fotografias panorâmicas esféricas (360°x180°), acrescentam normalmente funcionalidades extras de navegação e de informação. Ao percorrer as cenas, o utilizador vai encontrar a possibilidade de navegar clicando nos pontos assinalados para obter informações textuais, vídeo ou sonoras sobre o sítio em causa, ou para passar a outro local ou ponto de vista diferente, tornando desta forma a visita mais interessante.

Dado o âmbito deste trabalho, onde são tratadas visitas virtuais que utilizam fotografia, foram estudados alguns Sítios Web que as disponibilizam, realizadas a partir de fotografias panorâmicas esféricas. Assim sendo, estes Sítios foram analisados de forma a poder ser avaliado o nível de qualidade percetual e a vantagem da riqueza de detalhe conforme o nível de contraste da cena. No que toca à interação, navegação, serviços ou suporte informativo que podem ser proporcionadas pelas visitas virtuais, apresentaram-se aquelas que eram comuns ou mais funcionais na interação com os utilizadores e que pudessem ser uma mais-valia na sua área de intervenção. A integração de textos, fotografias estáticas, vídeos, *links* e outros conteúdos multimédia, são uma nova e poderosa ferramenta de marketing e de comunicação elegante para várias áreas, como o turismo, hotelaria, cultura, património, indústria e serviços.

Foram assim analisados alguns Sítios Web que disponibilizam visitas virtuais e que oferecem aos utilizadores, um leque variado de funcionalidades e interação, próximas daquelas que seriam disponibilizadas pelas visitas virtuais deste estudo. Assim, seria possível compreender quais as funcionalidades mais em prática e, principalmente, qual o nível percetual que é oferecido por cada uma destas visitas.

2.4.1. Portal Cultura Online

Este portal do Ministério da Cultura Portuguesa disponibiliza visitas virtuais a alguns locais e monumentos nacionais (Culturaonline, 2011). Aqui foram escolhidas as visitas ao Convento de Cristo (Virtual Tour, 2012) e à Fortaleza de Sagres.

No que diz respeito à análise efetuada às ferramentas de interação com o utilizador nas visitas virtuais disponibilizadas neste portal, verificou-se que além da navegação utilizando o rato do computador para percorrer os vários pontos de vista da cena, existem menus de navegação com setas de direção e de *Zoom In/Out* como alternativa à navegação com o rato. Para navegar diretamente para uma zona específica pretendida dentro da visita virtual, é disponibilizado um menu *c/ scroll* (atalho) não sendo assim necessário ao utilizador percorrer a visita virtual de ponto em ponto, até encontrar o local pretendido. Para o utilizador que prefere explorar percorrendo livremente todo o local, existem pontos “quentes” de ligação ou passagem a outras zonas da visita virtual. Em algumas das visitas ainda é disponibilizada informação,

detalhe que é proporcionado por imagens com baixa gama dinâmica, sendo uma desvantagem em elementos que exigem maior riqueza de detalhe. Verificou-se igualmente que as imagens que constituem estas visitas virtuais são de baixa resolução. Constatou-se este facto ao fazer *zoom* sobre qualquer local e comprova-se ao disponibilizarem imagens de alta resolução nalguns elementos de maior interesse, clicando sobre essa área (quadro de pintura, detalhes, etc.) para que surja uma imagem única ampliada e com resolução elevada. O *plugin* de visualização utilizado é o Adobe Flash Player.

Na análise efetuada não foi possível perceber qual a metodologia empregue, tanto na aquisição, como na junção das imagens que compõem a visita virtual.

2.4.2. Google Art Project

O sítio da internet Art Project (Googleartproject - Collections, 2011) (promovido pelo Google) disponibiliza visitas virtuais a museus, galerias e palácios como o Palácio de Versailles, a National Gallery, o Museu Metropolitano de Nova Iorque, a Tate Gallery, o Hermitage, os Uffizi de Florença, o Museu Van Gogh, entre outros.

Em relação à interação, navegação, serviços ou suporte informativo que são proporcionados nas visitas virtuais que podem ser visualizadas, verificou-se que não difere muito do que referimos na visita virtual anterior. Revelou-se simples de navegar, com setas de direção para ajudar a percorrer o espaço e opção de *zoom in/out*. A opção de percorrer o espaço usando o rato do computador também está disponível para quem pretende escolher a direção do percurso, auxiliado por uma barra lateral existente através de um menu *dropdown*. Aí podem ser vistas indicações como uma planta de setorização, informando o piso ou zona em que o utilizador se encontra no momento e as áreas mais próximas que poderá visitar. Este menu disponibiliza ainda um mapa de localização do museu e informação sobre a história do mesmo.

É possível visualizar vídeos explicativos sobre as obras de arte e outra informação adicional de interesse, especialistas falam sobre elas, podem-se procurar outras obras do mesmo artista e o utilizador pode ainda organizar as próprias colecções da forma que mais gostar, comentar e enviar para amigos e redes sociais.

Como se verificou nas visitas virtuais aqui disponibilizadas, a fraca resolução nas visitas a cada espaço e a enorme perda de detalhes em especial nas altas luzes, faz com que se considere que estas são pouco realistas, estando muito longe das experiências percecionadas ao vivo.

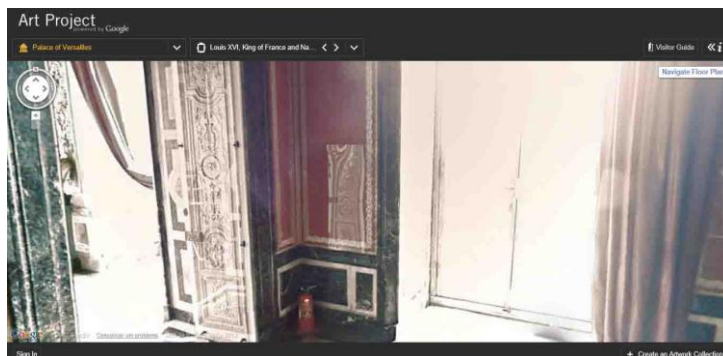


Figura 25 - Art Project - Palácio de Versailles – (Perda de detalhe nas altas luzes)

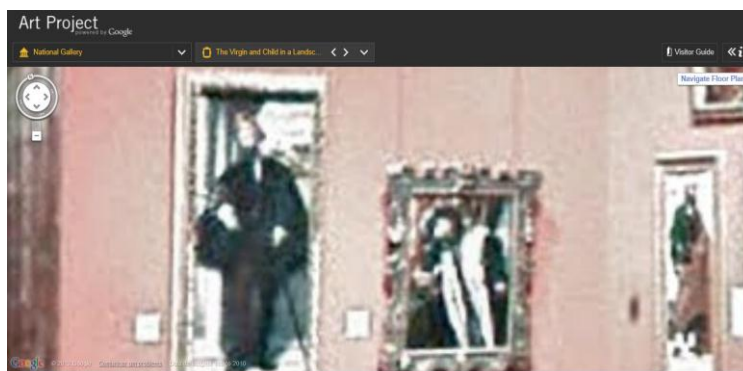


Figura 26 - Art Project – (Imagens de baixa resolução)

Só é permitido ver em alta resolução determinadas zonas da panorâmica (algumas obras de arte) com a opção do *zoom* (quase todos os detalhes das peças são exibidos em alta resolução com esta ampliação disponível). Como nota de destaque a possibilidade de visualizar a 3 Dimensões.

Na criação desta visita virtual é utilizada a seguinte metodologia: para a captura das imagens é usado um carrinho de mão (Figura 27), onde está acoplado o sistema fotográfico usado, que permite movimentar-se com alguma facilidade nas entradas dos museus e circular à volta de esculturas ou de qualquer obstáculo. As características do equipamento fotográfico usado não se conseguiram recolher por não se encontrar

documentação referente ao Art Project. O mesmo acontece com o *software* e os procedimentos usados quer na edição quer na união das imagens que resultam na panorâmica 360°.



Figura 27 - Carrinho de mão Art Project

2.4.3. Google Street View

O Google Street View (Explore the world at street level, 2012) é um recurso integrado do Google Maps e do Google Earth que disponibiliza visitas virtuais 360° e permite que os utilizadores vejam partes de algumas regiões do mundo ao nível do solo.

No que respeita à interação e navegação, as visitas podem ser efetuadas usando tanto o rato como o teclado ou usando ainda as teclas de direção do menu disponibilizado. Dessa forma, o utilizador pode mover-se pela cena clicando nas setas que indicam os possíveis caminhos para percorrer todos os pontos e inclui, tal como as visitas disponibilizadas no Art Gallery, a opção de *zoom in/out*. Podem ver-se as vistas a partir de qualquer direção e de diversos ângulos, surgindo linhas nas ruas que estão a ser visualizadas indicando a direção seguida pelo carro equipado com a câmara do Street View. Inclui também uma opção de vista em ecrã inteiro.

Verificou-se que a nível de realismo estas visitas também não vão ao encontro da experiência visual que as visitas presenciais nos oferecem. Apresentam pouca riqueza de detalhe, notando-se claramente que se as zonas de sombra estiverem pelo menos razoavelmente expostas, as zonas de maior luminosidade estão sobre-expostas e vice-versa, desaparecendo o detalhe ora numa ora na outra zona.

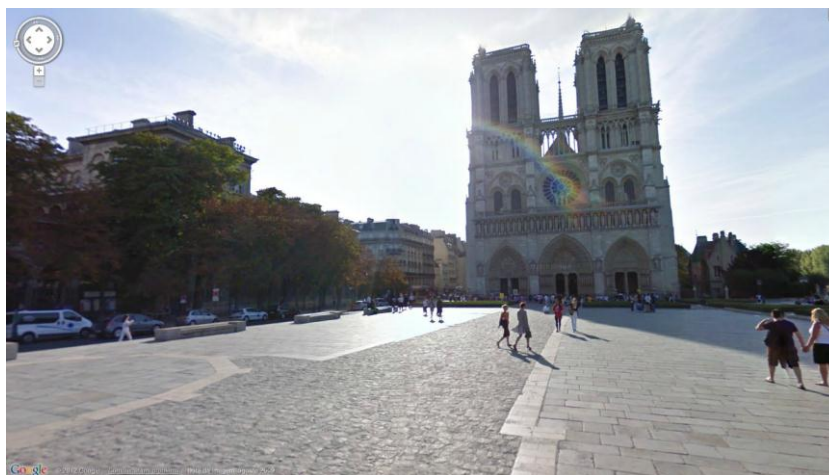


Figura 28 - Reprodução de parte de uma visita panorâmica esférica (Google Maps, 2012)

Relativamente à resolução das imagens que compõem estas visitas verificou-se que são de baixa resolução, perfeitamente perceptível quando se fazem aproximações, notando-se igualmente enormes aberrações cromáticas. Em termos de impacto visual salienta-se também a existência de vastos problemas na ligação “cosedura” das imagens que compõem as visitas, pois é notória a má ligação ou a passagem pouco suavizada entre as imagens.

Da informação disponível e que se conseguiu recolher acerca da metodologia empregue para a criação das visitas virtuais do Google Street View, apenas se pode referir a que se relaciona com a aquisição/captura das imagens. É constituída por um veículo automóvel, equipado com um sistema fotográfico com 15 objetivas que fazem as fotografias a 360 graus, um aparelho GPS e um sistema de lasers para determinar distâncias nas imagens do Street View montados no tejadilho do veículo (Figura 29), 1 computador que executa o sistema e 1 disco externo para armazenar dados.

Não foi possível recolher informação sobre o *software* usado para a ligação das imagens, apenas se constatou a má ligação entre elas como acima se referiu.

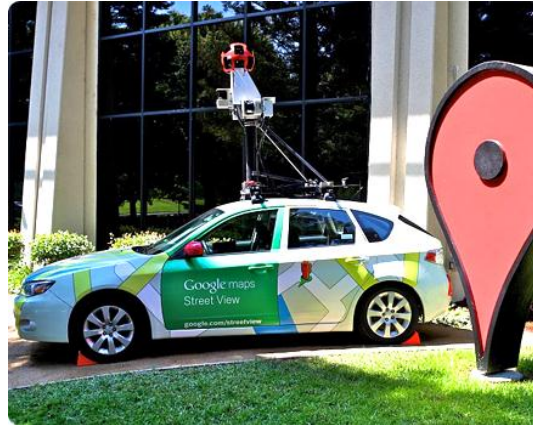


Figura 29 - Veículo do Street View Google Maps (Carros, triciclos e mais, 2011)

2.5. Sumário

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica efetuada. Esta debruçou-se sobre as seguintes temáticas: Sistema Visual Humano, desde a compreensão do seu sistema ótico e de que forma este órgão faz a perceção da cor, níveis de luminância e acuidade visual, até à sua adaptação ao escuro e à luz; a técnica HDR (High Dynamic Range), os vários formatos de compressão e como obter as estas imagens; as câmaras fotográficas DSLR e quais as que possuem função HDR; conceitos de exposição fotográfica; o sistema de mapeamento de tons “*tone mapping*” de imagens HDR e os vários *softwares* para a sua manipulação; tipos de fotografias panorâmicas e *softwares* para a sua criação; o ponto nodal e a sua importância; os equipamentos especializados panorâmicos, desde o suporte nodal à cabeça panorâmica motorizada; tipos de objetivas fotográficas e aplicações; captura das imagens da panorâmica e respetiva montagem. Por fim apresentaram-se alguns exemplos de visitas virtuais 360°.

3. Fatores que influenciam o Realismo/Fidelidade Visual de uma visita panorâmica

Existem na Internet inúmeros sítios que disponibilizam visitas virtuais 360°, no entanto é necessário compreender quais são as características que tornam a visita mais imersiva. Depois de efetuada uma pesquisa sobre esta problemática, não foi encontrada qualquer informação sobre a forma de produção de visitas virtuais de elevada fidelidade visual e consequentemente quais os fatores que influenciam a qualidade das mesmas.

Assim, de forma a perceber quais são os fatores que influenciam a perceção da qualidade/realismo de uma visita virtual por parte utilizadores, foi desenhada uma experiencia que permitiu avaliar várias características presentes em visitas virtuais e que influenciem a forma como os visitantes as experienciam. Este capítulo apresenta os resultados de uma experiencia que foi conduzida com 20 participantes de forma a conseguir-se perceber os fatores que os utilizadores consideram importantes para a qualidade de uma visita virtual e assim percebermos melhor quais as características que estão associadas a visitas virtuais imersivas/realistas.

3.1. Participantes

Neste estudo participaram 20 indivíduos, todos estudantes na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Destes, 40% eram do sexo feminino e 60% do sexo masculino, cujas idades estavam compreendidas entre os 16 e os 32 anos. De acordo com informação, recolhida através de inquérito, 14 dos sujeitos tinham visão normal e os restantes 6 tinham visão corrigida. Destes, 70% fazem mais de 4 horas de navegação diárias na internet e os restantes 30% entre 2 a 4 horas tendo-se observado ainda que 90% destes não têm qualquer dificuldade na utilização do *browser* e que os restantes 10% sentiam pouca dificuldade na sua utilização.

3.2. Visitas Virtuais Analisadas

Foram selecionadas sete visitas virtuais onde as características que eram pretendidas identificar estavam presentes. Assim de seguida é efetuada uma descrição sumária de cada uma destas visitas virtuais selecionadas.

3.2.1. Capela da Sé Catedral de São Paulo - visita número um

Esta visita virtual exibe uma vista da Capela da Sé Catedral de São Paulo e Cripta subterrânea (Panoramic Earth, 2012) apresentando o Santo Sudário como podemos ver na Figura 30. Esta tem como principais características a sua navegação ser cilíndrica e possuir baixa resolução. No que respeita a erros de *stitching* estes são poucos e apenas com ligeiros desvios tornando-os pouco perceptíveis. Aqui podemos encontrar de forma pouco significativa alguma perda de detalhe nas sombras e nas altas luzes.

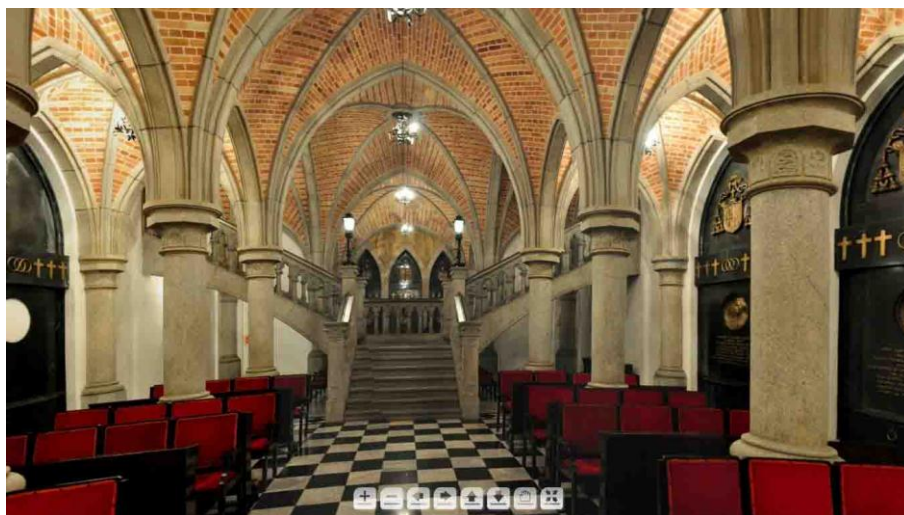


Figura 30 - Imagem da visita número um (Panoramic Earth, 2012)

3.2.2. Paris - visita número dois

Esta é uma visita que mostra uma grande parte da cidade de Paris (Paris 26 Gigapixels, 2011) com referências a alguns dos pontos turísticos. Esta visita (Figura 31) foi escolhida pela sua alta resolução (26 *Gigapixels*) e detalhe. Em termos de gama dinâmica nota-se que poderia ser mais alta pois é visível a perda de detalhe nas altas luzes e nas sombras. A navegação é realizada apenas num plano. Erros de *ghost* e de *stitching* não são facilmente identificados mesmo efetuando uma análise mais detalhada.

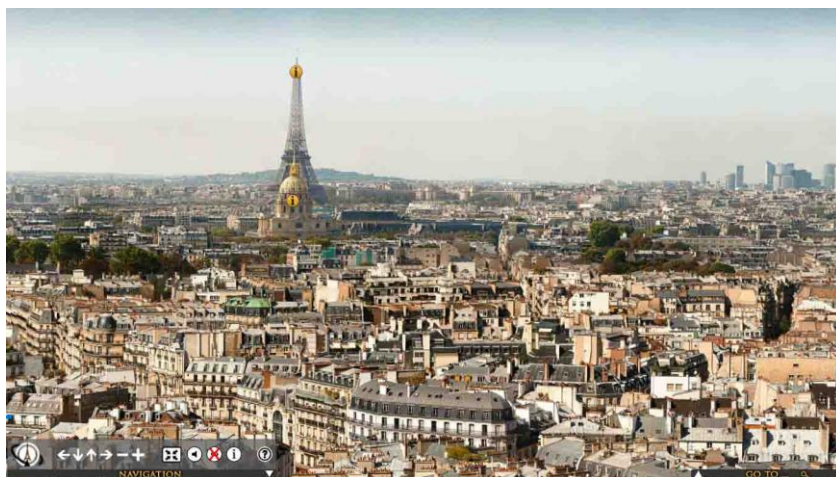


Figura 31 - Imagem da visita número dois (Paris 26 Gigapixels, 2011)

3.2.3. Abadía Benedictina - visita número três

Visita virtual de exterior no Claustro Românico da Abadía Benedictina (360 Cities, 2011) de Santo Domingo de Silos em Burgos (Espanha). Esta visita (Figura 32) caracteriza-se sobretudo pelas altas luzes “rebentadas” levando à perda de detalhe nessas zonas e pela perspetiva “esticada” que é encontrada ao ser feito *zoom* sobre a mesma. A resolução é bastante elevada e a navegação é de 360°.



Figura 32 - Imagem da visita número três (360 Cities, 2011)

3.2.4. Museu do Louvre - visita número quatro

Visita ao interior das Galerias Appolo no Museu do Louvre, (Figura 33) que fica instalado no Palácio do Louvre em Paris (Louvre - Apollo galleries, 2011). Esta visita de interior foi escolhida por possuir múltiplas características que pretendíamos analisar. Ao navegar por esta visita encontram-se facilmente vários erros de *ghost*, de *stitching* e de forma bastante pronunciada. Além destas características, aquilo que é realmente mais perceptível é a enorme perda de detalhe nas sombras e sobretudo nas altas luzes provocado pelo alto contraste entre o exterior e o interior do local. A resolução é igualmente muito baixa, não permitindo procurar detalhes mais pormenorizados e as cores também não nos parecem ser muito realistas. A navegação é 360°, no entanto ao fazer *zoom* sobre esta visita, a imagem surge “esticada” notoriamente provocada pelo uso de uma objetiva ultra grande-angular na captura das imagens que constituem esta visita.



Figura 33 - Imagem da visita número quatro (Louvre - Apollo galleries, 2011)

3.2.5. Estádio Rei Balduíno - visita número cinco

Visita virtual ao interior do Estádio Rei Balduíno, (Figura 34) em Bruxelas (Bélgica), no decorrer do Memorial Van Damme (Memorial Van Damme 360, 2011), evento anual de atletismo. Esta visita 360° de exterior possui inúmeros erros de *stitching* e de *ghost*. Estes erros são facilmente perceptíveis. O contraste é elevado, notando-se

baixa gama dinâmica uma vez que existe uma enorme perda de detalhe quer nas altas luzes quer nas sombras. A resolução é um aspeto positivo desta visita pela sua elevada capacidade embora seja notório ao fazer *zoom* a baixa velocidade a carregar a imagens. As cores são pouco naturais e apresentam aberrações cromáticas significativas.



Figura 34 - Imagem da visita número cinco (Memorial Van Damme 360, 2011)

3.2.6. Vila Nova de Gaia - visita número seis

Visita virtual sobre Vila Nova de Gaia, (Figura 35) Porto (Portugal) (Google Maps, 2012). Esta visita virtual evidencia numerosos erros de *stitching* cujos desalinhamentos ressaltam facilmente aos nossos olhos. A amplitude dinâmica é baixa, pois é perfeitamente notória a perda de detalhe tanto nas zonas mais claras como nas zonas mais escuras. A resolução é muito baixa ao ser feito *zoom* para aproximação de qualquer zona, as imagens demoram a formar-se até ficarem com detalhe. As cores apresentam alguns artefactos e aberrações cromáticas são também perceptíveis.



Figura 35 - Imagem da visita número seis (Google Maps, 2012)

3.2.7. Hoover Dam - visita número sete

Esta é uma visita virtual (Figura 36) efetuada na barragem Hoover Dam, (Hoover Dam, 2011) no Black Canyon do rio Colorado, na fronteira entre os estados dos EUA do Arizona e Nevada. Esta visita apresenta valores médios nos parâmetros avaliados, nomeadamente no que diz respeito aos detalhes nas sombras e nas zonas claras dado que não existem perdas significativas nestas zonas. Não foram detetados quaisquer erros de *stitching* nem de ghost. As cores parecem bastante naturais e a navegação é prejudicada pelo aparecimento de uma perspetiva de afunilamento ao ser feito zoom em determinadas perspetivas daquele local, resultado da utilização de objetiva ultra grande-angular na captura das imagens que compõem esta visita, o que levou também a originar uma visita com baixa resolução.



Figura 36 - Imagem da visita número sete (Hoover Dam, 2011)

3.3. Recolha de Dados

Para a recolha de dados recorreu-se à observação direta e a um questionário (ANEXO C) este permitiu recolher informação acerca de quais as características mais importantes que possibilitam a obtenção de visitas virtuais de elevada fidelidade visual. Assim, teve-se em conta os seguintes aspetos: o impacto negativo e/ou positivo do detalhe; a resolução, de forma a perceber-se a importância da dimensão das imagens; a cor, para se obterem indicações precisas sobre a causa do realismo/irrealismo da cor na imersão. Para saber se a interatividade é importante para uma imersão mais efetiva,

procurou-se igualmente saber qual era o impacto que cada uma das visitas visualizadas pelos participantes provocava em termos de facilidade e modo ideal de navegação (360° ou cilíndrica). Por fim interessava obter opiniões sobre o grau de Realismo e de Qualidade que estas visitas provocavam nos participantes.

Para a classificação genérica de todas estas características, a métrica usada foi uma escala de Má a Boa, onde os participantes/inquiridos marcavam um ponto entre estas duas referências, onde consideravam que se encontrar o grau de impacto da característica.

O restante do questionário foi reservado para se registar o que os inquiridos apontavam como sendo as características que destacavam tanto pela negativa como pela positiva da panorâmica visualizada e por cada característica apontada classificavam o grau de impacto que esta tinha na visualização da visita. A métrica usada para esta classificação de grau de impacto foi: Nenhum, Pouco, Algum ou Muito, sucedendo que a cada uma foi atribuído um valor de 1 a 4 pela ordem crescente do grau de impacto.

Aqui, era importante perceber até que ponto a presença/ausência de alguns artefactos fantasmas (*Ghost*) provocados por elementos em movimento durante a captura das imagens, prejudicam o realismo efetiva da imagem e a ligação das imagens que constituem a panorâmica, para se compreender a relevância que uma boa/má costura (*Stitching*) entre imagens, tem na percepção de realismo. Nesta fase do questionário era também identificado o impacto positivo/negativo da resolução e da navegação de forma a perceber a percepção de imersão/realismo.

3.4. Procedimento

Todas as experiências foram conduzidas em ambiente controlado de forma individual. A sala onde foi efetuada a experiência com os utilizadores na visualização das visitas virtuais foi equipada com um computador portátil da marca Toshiba com o processador Intel Core 5 de 2.40 GHz. Este contava com o sistema operativo Windows 7 Profissional e dispunha de 4 GB de memória. O monitor era de 15 polegadas com a resolução a 1024x768.

No sentido de se tentar perceber o impacto da imagem das visitas virtuais alvo dos testes e para que o resultado dos mesmos fosse o mais heterógeno e abrangente possível, teve-se em atenção alguma informação genérica referente aos participantes: como o

género, a idade, a visão, a dificuldade na utilização do *browser*, o número de horas diárias de navegação, nível de conhecimento em fotografia e a experiência com visitas virtuais.

Os participantes preencheram uma folha de consentimento (ANEXO B), com alguns dados sobre a confidencialidade, benefícios, riscos e propósito da experiência e o seu consentimento para a utilização da informação.

Após preenchimento desta folha de consentimento, de forma individual, a cada um dos 20 participantes, foram dadas algumas indicações sobre os objetivos deste projeto assim como os procedimentos envolvidos na experiência. Para se efetuarem essas indicações foi selecionada uma visita virtual modelo (Figura 37) que serviu como base de demonstração para aquilo que era pretendido que identificassem. As sete visitas foram efetuadas de forma aleatória de modo a que não houvesse influência nos resultados.

No final de cada visita cada participante era questionado sobre quais as características da panorâmica visualizada que destacava pela positiva e negativa e ainda a classificação genérica da cor, detalhe, resolução, navegação, realismo e qualidade. Por cada característica apontada classificava-se o grau de impacto que esta tinha na visualização da panorâmica. O registo destes dados era efetuado apenas pelo responsável da experiência de forma a colocar as características identificadas pelos participantes no respetivo grupo de parâmetros identificados (*Ghost*; *Stitching*; cor; detalhe; resolução; navegação; resolução).



Figura 37- Imagem da visita virtual modelo (Google Maps, 2012)

3.5. Resultados, análise e discussão

Concluídas as experiências, apresenta-se nesta secção os resultados e a discussão dos mesmos, que são a base para a justificação da metodologia proposta para a elaboração de visitas virtuais de elevada fidelidade visual. Para melhor enquadramento e compreensão dos resultados, neste capítulo apresentam-se inicialmente alguns dados relativos à classificação genérica.

Assim começa-se por apresentar os resultados obtidos relativos à Qualidade e ao Realismo. No âmbito do estudo considero que quanto maior for a classificação atribuída a estes parâmetros maior é o grau de fidelidade visual. A questão que foi colocada aos sujeitos foi: *“Como considera esta visita em termos de realismo ao ponto de poder substituir a visita presencial? Como classifica em termos genéricos a qualidade desta visita virtual?”*

O gráfico apresentado na Figura 38 dá-nos a observar que os inquiridos classificaram de forma similar os parâmetros Qualidade e Realismo. Neste podemos verificar que a visita número 2 é aquela que é classificada pelos inquiridos como a mais realista atribuindo uma percentagem próxima dos 90%. Às visitas 1, 3 e 7, foram atribuídos valores sensivelmente entre os 60% e os 70%, ficando as restantes por valores a rondar apenas os 50% de realismo, permitindo, assim, perceber que estas seriam as menos imersivas e consequentemente aquelas que possuem menor fidelidade visual.

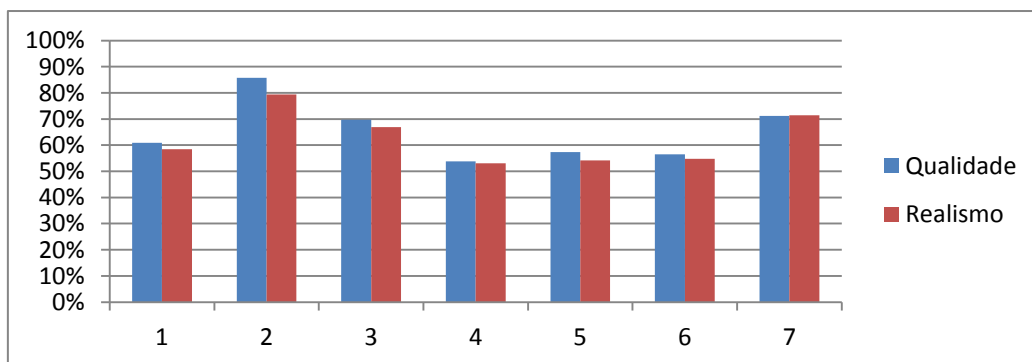


Figura 38 - Classificação atribuída pelos utilizadores à qualidade e realismo das visitas virtuais

Na apreciação genérica atribuída aos parâmetros: “cor”, “resolução”, “detalhe” e “navegação”, de cada uma das visitas virtuais, pelos utilizadores (Figura 39) destaca-se a semelhança entre os valores atribuídos ao realismo e aqueles resultantes da apreciação global destes quatro parâmetros. Todas as classificações genéricas atribuídas têm correlação com os valores atribuídos ao realismo mostrados no (Figura 38), no entanto realça-se como exemplo dessa semelhança a visita número 2, que ao ter sido considerada pelos inquiridos como a mais realista, volta a ser aqui novamente, aquela que apresenta classificações mais elevadas relativamente à cor, resolução, detalhe e navegação.

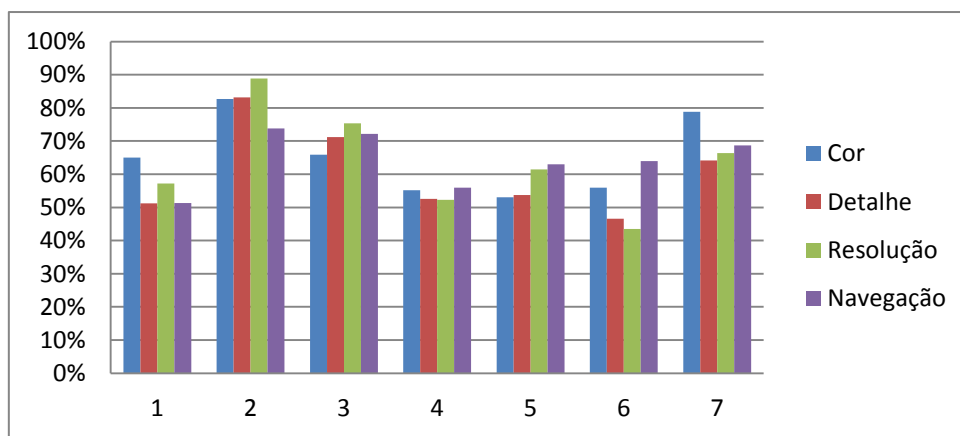


Figura 39 - Classificação genérica atribuída a cada uma das visitas virtuais pelos utilizadores

Neste estudo os sujeitos foram também questionados sobre quais as características positivas e negativas que gostariam de salientar em cada uma das visitas. Na Figura 40 podemos visualizar o impacto que as características negativas tiveram nas visitas virtuais. O valor do impacto para cada característica presente no gráfico foi obtido através da seguinte fórmula:

Impacto da Característica

$$= \frac{(\sum \text{Impactos} / \sum \text{ocorrencias}) \times \sum \text{pessoas que reportaram ocorrencias}}{\text{Total pessoas} \times \text{impacto máximo}}$$

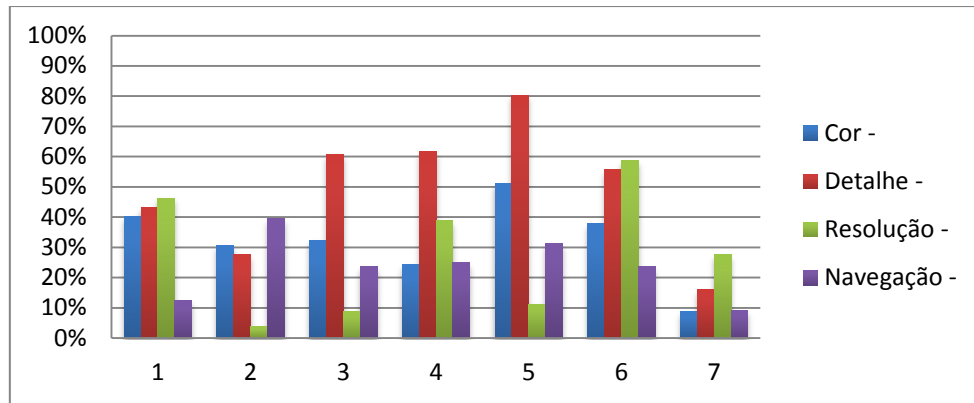


Figura 40 - Impacto das características negativas apontadas.

Assim, de forma a uma melhor compreensão do gráfico apresentado na Figura 41 podemos visualizar o número de indivíduos que referiram características negativas e na Figura 42, pode-se observar o número de problemas reportado pela totalidade dos inquiridos.

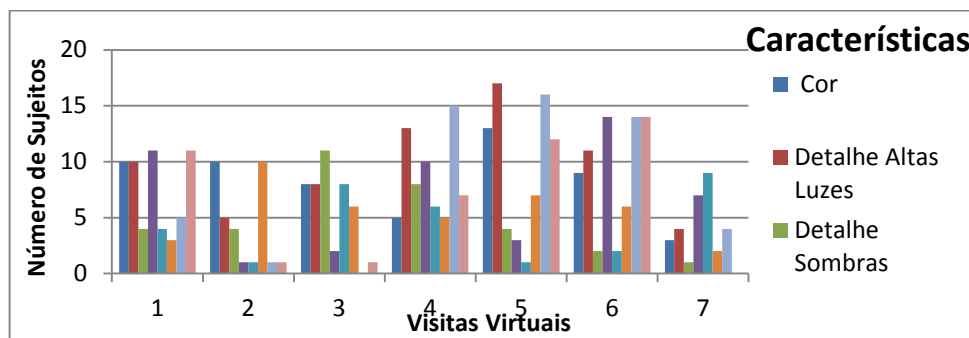


Figura 41 - Número de Pessoas que identificaram características negativas nas visitas.

Confrontando estes resultados com os resultados que os inquiridos atribuíram ao realismo (Figura 38) de cada visita percebe-se que quanto mais elevado for o impacto negativo dos parâmetros analisados menos realista é a visita virtual e vice-versa. Pode-se verificar facilmente esse facto olhando por exemplo para as visitas 2 e 7 como sendo as que são indicadas como as mais realistas e efetivamente são aquelas que possuem menor impacto das características negativas ou seja o número de aspetos negativos reportados será mais elevado (Figura 42). A mesma análise pode ser feita para as visitas que são apontadas como menos realistas como é o caso das visitas 4, visita 5, e visita 6. Constatando-se que estas são realmente aquelas onde os inquiridos reportam maior impacto nos aspetos negativos (Figura 42) e também o número de pessoas que os reportaram é mais elevado (Figura 41).

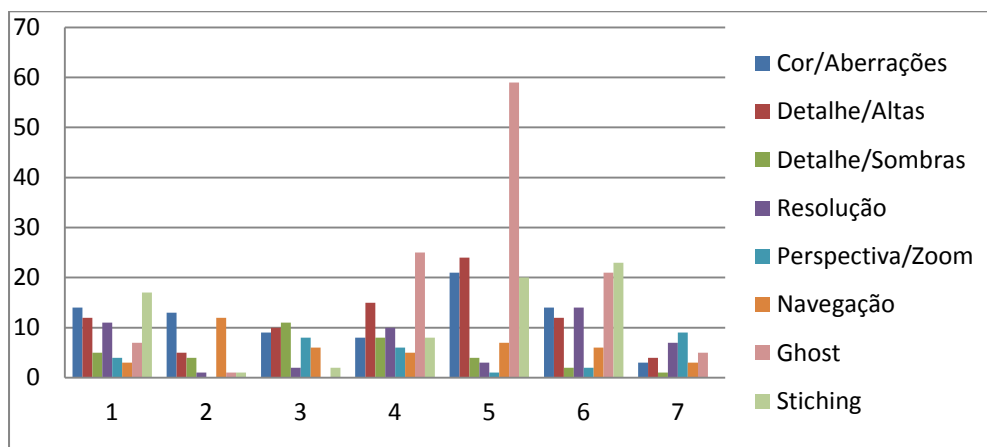


Figura 42 - Número de caraterísticas negativas identificadas em todas as imagens.

Dessa forma passa-se à análise do impacto das características positivas apontadas (Figura 43). O valor do impacto foi calculada da mesma forma que o das características negativas. Este gráfico mostra que o detalhe é a característica que os inquiridos mais destacam em todas as visitas, revelando a importância da alta gama dinâmica de forma que os detalhes estejam presentes, quer nas zonas escuras, quer nas zonas claras. O impacto positivo da cor aparece também como elemento importante a realçar. Já a resolução surge em geral com menor destaque positivo, reforçando de forma evidente que o destaque do impacto positivo dado ao detalhe advém de imagens com gama dinâmica mais elevada, contrariado apenas pela visita 2, embora seja compreensível por se tratar de uma visita virtual *Gigapixel*. Importância baixa é dada à navegação, significando que os inquiridos dão mais destaque a fatores relacionados com a qualidade e realismo da imagem.

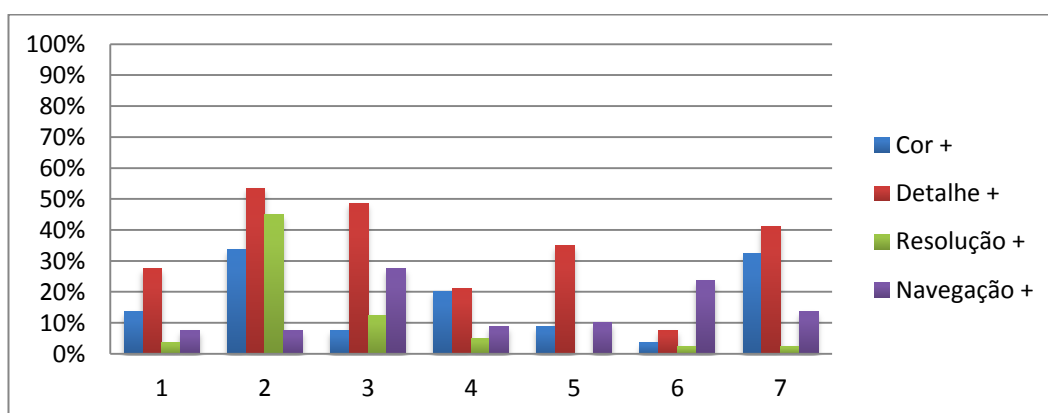


Figura 43 - Impacto das características positivas

Outras características também muito presentes nas visitas virtuais são os erros de *stitching* e *ghost*. De acordo com o gráfico (Figura 44) verifica-se que nas visitas onde o impacto negativo resultante dos problemas de *ghost* e *stitching* é mais baixo a classificação atribuída ao realismo e qualidade são mais elevados. Esta constatação é notória nas visitas 1, 2, 3, e 7, uma vez que sendo as que apresentam menor impacto negativo nos parâmetros *ghost* e *stitching* são aquelas que têm uma melhor classificação nos parâmetros realismo e qualidade. Inversamente as visitas 4, 5 e 6, são aquelas que apresentando maior impacto negativo nestes parâmetros, apresentam um valor menos elevado de realismo.

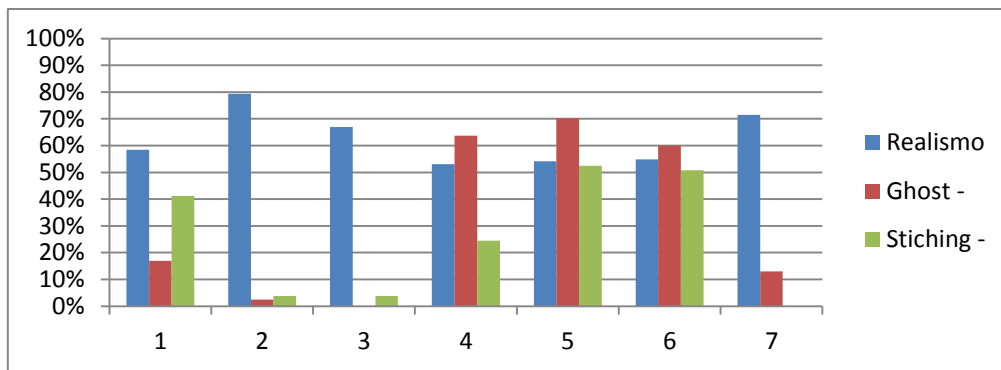


Figura 44 - Realismo vs Impacto negativo dos erros de *Ghost* e *Stitching*.

De seguida apresenta-se uma análise mais detalhada a cada uma das características e como estas influenciam a classificação da qualidade e realismo. Nos gráficos apresentado apenas o parâmetro realismo é incluído para comparação, já que, como vimos anteriormente, está muito próximo dos valores do parâmetro qualidade.

Na Figura 45 pode-se identificar uma forte correlação entre o impacto negativo da perda de detalhe nas sombras e nas altas luzes com o realismo, que se torna por demais evidente nas visitas 2 e 7, onde foi identificada pouca perda de detalhe e atribuídos valores altos de realismo ou ao invés, podemos verificar que na visita 5, para valores altos de perda de detalhe, correspondem valores apenas médios em realismo. Nas restantes visitas constata-se o mesmo princípio, percebendo-se que para valores médios atribuídos à falta de detalhe quer nas sombras quer nas altas luzes há reciprocidade nos valores atribuídos ao realismo. Considerando que os indivíduos possam relacionar o realismo com a importância do detalhe proporcionado por imagens com alta gama dinâmica, podemos interpretar o gráfico como representativo desse facto pelos resultados registados.

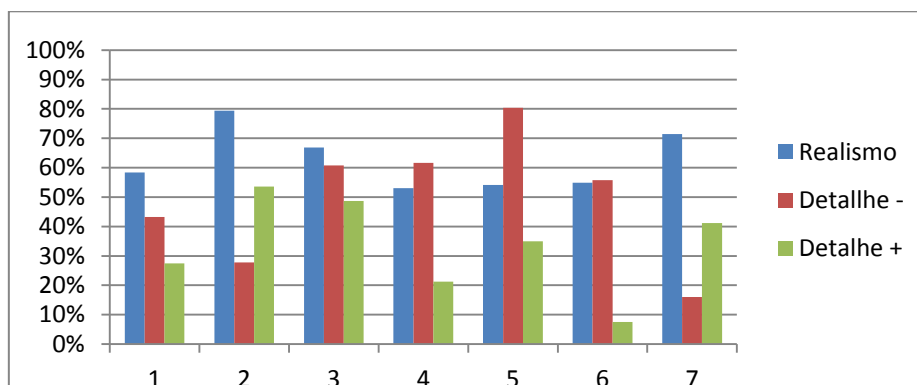


Figura 45 - Realismo vs Impactos negativo e positivo do Detalhe.

Conforme aquilo que foi dito anteriormente, denota-se nestes resultados, uma característica comum a todas as visitas, inerente ao tema da alta gama dinâmica, pois o impacto negativo bastante elevado da perda de detalhes quer nas altas luzes, quer nas sombras observado pelos utilizadores demonstra esse facto. Esse facto também se pode atestar na análise retirada ao impacto positivo observado pelos inquiridos como se verifica na Figura 45.

Desta forma pode-se verificar que a visita número 2 é aquela onde se verifica o valor mais elevado de Realismo é simultaneamente aquela em que o detalhe produz nos inquiridos um elevado impacto positivo. As visitas 4, 5 e 6 são as que possuem menor nível de Realismo e aquelas onde o detalhe tem um menor impacto positivo. No entanto deste conjunto, que possui manifestamente valores aproximados de Realismo, realça-se a visita número 5 que possui simultaneamente o valor mais elevado e o mais baixo de impacto no detalhe, este resultado parece desfasado e pouco coerente. Isto poderá ocorrer devido ao facto de esta visita possuir uma elevada resolução levando os inquiridos a atribuir um maior impacto positivo motivado pelo detalhe que é proporcionado pelo zoom à imagem.

Apesar de parecer existir uma forte correlação entre o detalhe (gama dinâmica) e realismo, outros atributos parecem também influenciar a percepção de realismo, pois os valores atribuídos ao parâmetro Realismo parecem estar associados às características como a cor, *ghost* e *stitching* como veremos adiante. Desta forma e a partir das indicações dadas no gráfico (Figura 46) podemos verificar que a existência ou ausência de problemas associados às cores das imagens também têm uma forte relação com os

valores atribuídos ao realismo. Assim, depreende-se que a ausência/presença de problemas relacionados com a cor como sejam aberrações, artefactos ou outros, sejam razões que levem à sensação de realismo ou falta dele.

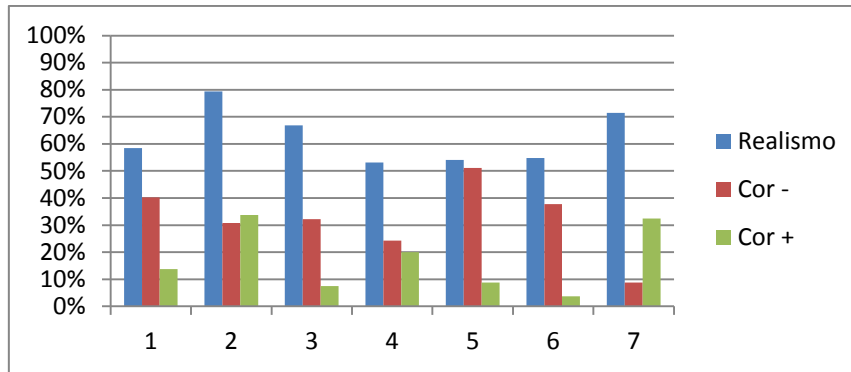


Figura 46 - Realismo vs Impacto negativo e positivo da Cor

Como acabamos de expor, observando a forte similaridade entre os valores atribuídos à cor (Figura 46) e ao detalhe (Figura 45), podemos assumir com alguma propriedade que estes dois parâmetros têm importância idêntica no que diz respeito à imersão que podem proporcionar nas visitas virtuais.

Relativamente à resolução, (Figura 47) as visitas onde esta tem baixo impacto negativo são as que apresentam maior realismo e em sentido inverso as visitas onde o impacto negativo é mais elevado aparecem como as menos realistas. Podemos observar no gráfico (Figura 47) que as visitas com valores de impacto negativo manifestamente medianos, a rondar os 50%, como sejam as visitas 1, 4 e 6, apresentam valores sensivelmente idênticos no que diz respeito ao realismo, com a exceção da visita 5, que mostra um valor bastante baixo de impacto negativo para valor a rondar os 50% de Realismo.

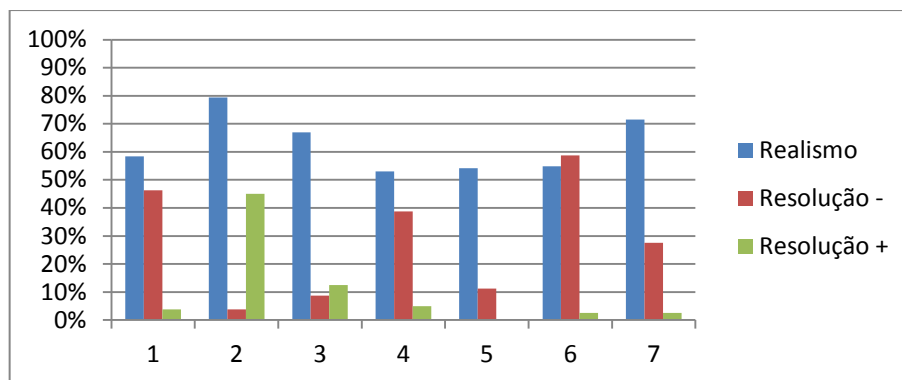


Figura 47 - Realismo vs Impacto negativo e positivo da Resolução

Na Figura 48. Podemos observar o impacto da característica navegação. Os valores consideravelmente menores quando comparados com por exemplo a característica cor ou detalhe. Destaca-se a visita 2 que pelo facto de a navegação ser realizada apenas num plano, não permitindo portanto a navegação de 360°x180°, é aquela que apresenta maior impacto negativo na navegação e também aquela onde o impacto positivo é menor. Constata-se ainda que a visita 5, apesar de ser 360°x180°, é apontada como a segunda de maior impacto negativo, mas parece ter forte justificação pelo facto de ser de alta resolução demorando a carregar as imagens, o que parece ter provocado nos inquiridos menor atração na navegação/interatividade.

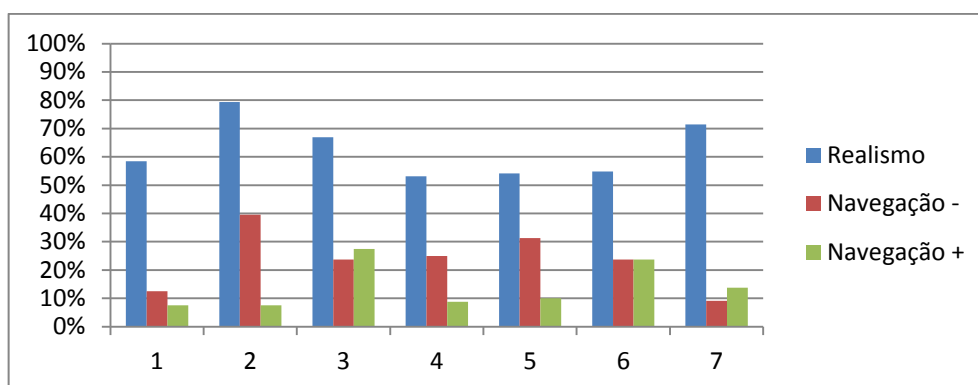


Figura 48 - Realismo vs Impacto negativo e positivo da Navegação

Acrescenta-se ainda que existe uma clara preferência dos inquiridos pelas visitas virtuais esféricas conforme se constata na Figura 49, e que vai ao encontro do que se referiu anteriormente sobre a visita número dois, que é simultaneamente aquela que tem

maior e menor impacto negativo, reforçando a ideia que isso se deve ao facto de não ser uma visita virtual esférica.

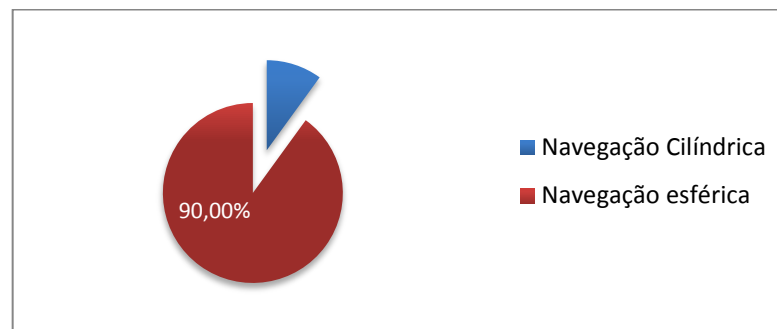


Figura 49 - Preferências de Navegação

3.6. Sumário

Neste capítulo apresenta-se um estudo que foi conduzido no sentido de perceber as características relevantes para obtenção de visitas virtuais de elevada fidelidade. Assim apresentou-se uma análise efetuada a algumas visitas virtuais que iriam também servir de teste com os participantes do inquérito, para o estudo e análise das características por eles identificadas e que contribuem para a construção de visitas virtuais de elevada fidelidade visual.

4. Metodologia para a criação de visitas virtuais de elevada fidelidade visual

Tendo por base os resultados apresentados no capítulo anterior e com o intuito de obter visitas virtuais de elevada fidelidade visual para a Web é apresentada uma metodologia adequada a esse propósito que contempla todas as fases, desde a escolha e configuração do *hardware*, captura das imagens, edição e criação das panorâmicas e posterior publicação, que explicamos de seguida.

4.1. Captura das imagens

É logo a partir desta fase que temos de garantir que toda a informação perceptualmente importante para o sistema visual humano é capturada. É necessário garantir também alguns cuidados para que não surjam artefactos que possam comprometer a fidelidade visual como por exemplo erros de *ghost* e de *stitching*.

Desta forma, o ideal para a captura das imagens necessárias à construção das imagens panorâmicas em alta gama dinâmica, é ter uma câmara que capture de uma só vez, como a SpheroCam (SpheronCam HDR, 2011) a imagem em alta gama dinâmica e sem costura de imagens individuais, proporcionado por uma unidade motorizada que garante posições precisas, evitando desta forma que a costura a partir de dezenas ou centenas de fotografias individuais possa resultar em imprecisões geométricas e outros problemas como aberrações cromáticas. No entanto estas câmaras não são comuns e o seu custo é extremamente elevado.

Na impossibilidade de se utilizar este tipo de câmaras, recorre-se a câmaras fotográficas DSLR comuns como por exemplo: Canon 550D (Canon, 2001). e Nikon D5100 (Nikon, 2012). Estas podem ser, acopladas a uma cabeça motorizada que garanta uma boa rapidez e eficácia na captura ou manualmente acoplando a câmara fotográfica a um suporte nodal.

4.1.1. Seleção de Equipamento e *Software* necessários

Para a escolha do equipamento e do *software* deve ter-se em atenção alguns aspetos, garantindo simultaneamente todos os requisitos necessários à captura das imagens para a implementação da metodologia.

Equipamento necessário:

- Tripé: Estável e resistente com regulação de altura e de nivelamento.
- Câmara Fotográfica Reflex DSLR - APS-C: Com controlo manual de Distância Focal, Foco, Velocidade, Abertura, ISO, Balanço de Brancos e *Bracketing*.
- Objetiva Zoom com distâncias focais abrangentes: Mais versátil ao permitir a escolha da distância focal mais adequada ao objetivo final da imagem.
- Cabeça motorizada: Para percorrer toda a cena na captura de todas as imagens necessárias à panorâmica de forma célere e precisa.
- Suporte nodal: Para evitar o erro de paralaxe.
- Deve-se evitar a utilização de objetivas ultra grande-angular como por exemplo as de 8mm (olho de peixe) muito usadas em espaços fechados, já que como foi visto no capítulo anterior, estas produzem imagens normalmente de baixa resolução que vai influenciar a percepção de realismo e provocar um impacto negativo na visita.

Software necessário:

O *software* a instalar e a ser usado para controlar a cabeça panorâmica motorizada deve ser compatível com a marca e modelo dessa cabeça a ser usada na captura das imagens, a não ser em casos de cabeças motorizadas como a GigaPan (Gigapan, 2011) em que este já vem integrado na própria cabeça, sendo a partir desta que se efetuam as configurações necessárias.

- *Software* “Papywizard” (Papywizard, 2011): No caso da implementação da nossa metodologia e dada a compatibilidade com a cabeça panorâmica motorizada, este foi o *software* a ser utilizado para a controlar e efetuar os ajustes dos parâmetros de captura.

4.1.2. Instalação e configuração do Equipamento

Após a seleção do equipamento a utilizar deverão ser realizados alguns procedimentos:

- A Montagem do tripé deverá ser executada em local estável e regulado com a altura pretendida, com a cabeça panorâmica e/ou com o suporte nodal acoplado. De seguida deve ser montada a câmara fotográfica com a objetiva adequada e regulada à distância focal pretendida, ou seja com distância focal da objetiva de comprimento necessário à obtenção de imagens com maior ou menor resolução. Deverá ter-se em atenção que com uma distância focal muito elevada serão necessárias muitas centenas de imagens capturadas para obter a imagem panorâmica.
- Depois de se ajustar a objetiva para a distância focal necessária ao objetivo final da imagem, a tarefa seguinte e de elevada importância é a calibração do ponto nodal na câmara/objetiva de forma a evitar qualquer efeito de erro de paralaxe (que posteriormente poderia dificultar o correto alinhamento “costura” das imagens), conforme explicado no capítulo 2.3.1.1. e como vimos igualmente no estudo efetuado, isso afeta claramente a qualidade final da imagem, conforme atesta os resultados que os inquiridos do estudo efetuado, atribuíram ao impacto negativo de *stitching* das visitas virtuais desse estudo.
- Posteriormente efetuam-se os ajustes e configurações na câmara fotográfica indispensáveis à captura das imagens de forma a atingir os requisitos necessários à criação de imagens de elevada fidelidade visual. Começamos por ajustar o foco em modo automático, escolhendo o modo de foco geral por toda a cena, prendendo-se posteriormente o seletor de foco da objetiva para o ajuste em modo manual de forma a permitir fazer ajustes de foco mais precisos, passando a câmara para o modo “*Live View*” e ampliando a imagem para que se veja com mais detalhe a focagem. De referir também que o modo de focagem deve ser mantido em modo manual para não se correr o risco da câmara andar permanentemente à procura de novo ponto de foco de cada vez que vai encontrando elementos mais próximos ou mais distantes, o que iria provocar profundidades de

campo diferentes entre imagens e consequentemente poderá dificultar igualmente a “costura das imagens”. (Perkins, 2005)

- Outro ajuste importante para garantir que as imagens capturadas possuem uma sobreposição suficiente de forma a permitir otimizar o processo da costura final das imagens é a configuração da cabeça motorizada. Assim, no caso de ser usada uma destas cabeças, deve-se assegurar através do *software* que a controla uma sobreposição de pelo menos 30% (Frich, 2007), quando a cena apresenta elementos, texturas e padrões que permita obter pontos de ligação entre imagens com relativa facilidade. Aconselha-se que em cenários com padrões e texturas, ou grandes áreas semelhantes, se faça uma sobreposição acima deste valor para garantir que exista maior número de pontos de ligação entre as imagens de forma a facilitar a “costura”. Salienta-se no entanto que quanto maior sobreposição, maior número de imagens será capturado, o que irá exigir mais recursos de processamento na fase de edição. No caso de ser usado apenas um suporte nodal, o avanço entre imagens deverá seguir exatamente o mesmo princípio no que toca à sobreposição das imagens. (Gerlach, 2010)
- No estudo efetuado, observou-se a importância do impacto negativo da perda de detalhe, quer nas zonas claras, quer nas zonas escuras da cena e o quanto esse aspeto se refletia no grau de Realismo atribuído. Para resolver esse problema terá de ser alcançada maior gama dinâmica e de forma a atingir esse objetivo é necessário ultrapassar as já aqui referidas limitações dos sensores das câmaras fotográficas digitais, procurando obter imagens o mais “Realistas” possíveis. Nesse caso, outro ajuste necessário, caso a câmara não seja capaz de capturar uma elevada gama dinâmica, é a configuração da câmara para ajuste do *bracketing* de forma a obtermos o número de exposições que cubram a maior amplitude dinâmica possível. Os valores de exposição que irão ficar definidos neste ajuste de *bracketing* são conseguidos depois de um teste de medição da luz do local, para perceber o ponto de partida da primeira exposição em termos de luminosidade (Montabone, 2010).

Como foi dito no capítulo 2, a determinação do ponto nodal é muito importante em determinadas situações. Se a fotografia panorâmica que se pretende fazer tiver os assuntos muito próximos, o uso do suporte nodal é mais aconselhado porque, pequenos erros no ângulo de rotação irão produzir grandes diferenças de perspetiva. Por outro lado, se os assuntos estão longe, não se nota tanto a falta do suporte nodal, porque pequenas alterações no ângulo de rotação irão produzir pequenas diferenças de perspetiva nesses assuntos. Uma outra regra geral para uma panorâmica ser bem executada é que cada imagem deve sobrepor pelo menos um terço da imagem anterior. Se sobrepusermos mais de um terço, os resultados serão ainda melhores (Correll, 2009).

Temos de ter em consideração, regiões na imagem pois o *software* que vai unir as fotos numa panorâmica, vai tentar juntar todas as imagens usando para o efeito pontos de referência. É assim muito importante, tentar fazer a sobreposição onde exista uma textura bem definida, ou elementos que ajudem à sobreposição da imagem seguinte sobre a anterior. Assim, podemos considerar como boas áreas de sobreposição aquelas com mais detalhes ou contrastes. Por outro lado, áreas com baixo contraste ou detalhe, como por exemplo um céu completamente azul, são áreas difíceis para sobreposição, porque cada *pixel* vai ser o mesmo para o *software* e ele não será capaz de diferenciar as imagens. Além disso, se houver movimento de elementos na cena, como por exemplo ramos ou folhas de árvores originados pelo vento, há uma mudança de posição de uma imagem para a outra. (Heo, 2011) (Correll, 2009)

O tempo gasto na captura é também muito importante. Todas as imagens devem ser feitas rapidamente para que a iluminação não mude muito ao longo da sessão de fotografias. Esta situação é especialmente crítica ao amanhecer e ao por do sol, quando temos pouquíssimos minutos para fazer panorâmicas sem mudanças notórias na iluminação. Em geral, devemos manter os mesmos valores de todos os controlos da câmara, entre imagens, como o balanço de brancos, abertura do diafragma, tempo de exposição e sensibilidade ISO. Devemos usar igualmente a mesma distância focal da objetiva e o mesmo ponto de foco. Se pretendermos efetuar uma panorâmica *gigapixel* o tempo necessário para a captura de todas as imagens irá ser elevado e, nestas circunstâncias, será necessário efetuar muitos ajustes em pós-produção para corrigir diferenças de temperatura, de cor e de luminosidade entre imagens. Este cenário não se

coloca, se a captura das imagens for em interiores com controlo sobre a iluminação artificial.

Outros elementos a que somos alheios como, um local movimentado na cidade com muitos elementos sempre em movimento, um automóvel que passa em frente à câmara no exato momento da captura, uma pessoa ou animal que teima em atrapalhar, o vento e o movimento das nuvens, também nos dificultam a tarefa e tornam muito difícil a “costura” das imagens para a panorâmica.

A focagem manual da câmara fotográfica e a distância focal inalterada são como já se referiu, fatores importantes e necessários a ter em conta. É necessário manter o foco sempre para a mesma distância enquanto efetuamos a captura das fotografias para assim manter a nitidez sempre ao mesmo nível. A manutenção da distância focal é necessária para garantir sempre o mesmo ângulo de visão e tamanho das imagens para facilitar a “costura” das imagens.

É igualmente fundamental que a abertura do diafragma se mantenha inalterada ao longo da captura de todas as imagens. Garante-se assim a mesma profundidade de campo (define o quanto os objetos “próximos” do objeto que definimos ser o ponto de foco, estarão focados também). O tempo de exposição deve ser fixo, garantindo que não haja alteração de luminosidade durante a captura das imagens, para que seja sempre a partir desse valor que se façam as outras exposições conseguindo um maior alcance dinâmico (HDR). (McCollough, 2008)

Como vimos anteriormente, é imprescindível um tripé estável e robusto pois um desvio da câmara para cima, ou para baixo, dificulta-nos a tarefa, obrigando a perder mais tempo com a tentativa de correções na má ligação das imagens, isto se a fotografia não estiver irremediavelmente perdida.

4.2. Criação das imagens panorâmicas para a visita virtual

Nesta secção vão-se expor os procedimentos necessários à criação das imagens panorâmicas, desde escolha do *software* e *hardware*, a edição/preparação das imagens capturadas, montagem da imagem panorâmica até ao seu armazenamento. Os procedimentos a observar devem garantir a homogeneidade da cor das imagens, a

correta costura das mesmas, a escolha do tipo de panorâmica (planar, esférica, cilíndrica, cúbica) e o formato de armazenamento.

4.2.1. *Software e hardware*

Para a edição das imagens capturadas é necessário:

- Computador: Os requisitos necessários em termos de processamento e memória são sempre elevados, no entanto dependem do formato e número de imagens capturadas.
- *Software* de edição de fotografias panorâmicas: Para a criação e edição de panorâmicas de elevada fidelidade visual é fundamental que o *software*, suporte trabalhar com imagens efetuadas com várias exposições (HDR). Como exemplo deste tipo de *software* temos: Kolor Autopano (Image-stitching software, 2012);PTGui (PTgui, 2012), Adobe Photoshop, (Image Editor Software, 2012) Panorama Maker, (Softonic, 2012) Panoweaver, (Panorama Software, 2012) Hugin (Hugin - Panorama photo stitcher, 2012), entre outros.

4.2.2. Edição das imagens e criação da imagem panorâmica

Para a criação da panorâmica é necessário reunir todas as imagens capturadas e uni-las de forma que o conjunto resulte no campo de visão total. Para o efeito é necessário *software* adequado à “costura das imagens”.

Costurar as fotografias pode exigir uma sequência complexa de etapas. A primeira etapa, para começar a usar *software* de “*stitching*”; envolve a escolha da ordem e posicionamento preciso que alinha todas as fotografias. Pode ser feito automaticamente ou manualmente selecionando pontos de controlo que deverão ajudar à boa sobreposição. Esta etapa também pode exigir a entrada de configurações da câmara e objetiva para que o *software* possa estimar o ângulo de cada fotografia. O *software* de costura da fotografia panorâmica é a força motriz do processo e pode variar fornecendo automatização da costura ou um processo manual mais demorado e preciso.

Se a etapa anterior tiver sido cumprida conforme as recomendações sugeridas, esta fase de edição e criação da panorâmica ficou consideravelmente facilitada, no

entanto existirão sempre alguns ajustes a efetuar, entre os quais se destaca as eventuais correções de luminosidade e contraste e de temperatura de cor nas imagens, pois se observarmos que dada a passagem do tempo ao logo da captura das imagens, estas podem ter temperaturas de cor diferentes. Ajustes de alinhamento das imagens também vão ser necessários e conforme se observou no estudo efetuado, as visitas virtuais onde o impacto negativo resultante dos problemas de *stitching* é mais alto apresentam valores baixos de Realismo, daí a importância da “costura” perfeita das imagens, que já começou no processo de captura ao se ter especial cuidado no valor de sobreposição atribuído entre imagens e na correção do erro de paralaxe.

Esta fase inicia-se então com a preparação as imagens a importar para o *software* de edição e costura “*stitching*”. Aqui o maior cuidado a ter prende-se com o ajuste preciso na costura das imagens, ou seja o ajuste na ligação entre a totalidade das imagens que vão constituir a panorâmica, de forma a corrigir algum problema que possa existir na ligação das imagens, reduzindo ao máximo os erros de “*stitching*”, ou de diferente luminosidade entre imagens. No caso de se observarem alterações de luminosidade ou de temperatura de cor entre imagens deve fazer-se a respetiva correção usando preferencialmente os ficheiros Raw. Esta ação vai assegurar consistência entre imagens, garantindo otimização para a fase de costura.

De seguida, para o ajuste de alinhamento das imagens sabe-se que quando as imagens têm detalhes bem definidos e são suficientes para a ligação entre elas, o *software* normalmente consegue um alinhamento automático aceitável. No entanto, especialmente em projetos com elevado número de imagens, algumas destas imagens podem não ficar bem orientadas e ligadas entre si, não conseguindo o resultado pretendido devido a alguns fatores, pois os pixels em camadas não são necessariamente idênticos. Esta situação é causada por problemas de costura quando o ponto nodal não é respeitado, quando a distorção da lente é difícil de corrigir e / ou existem objetos na imagem em movimento entre os disparos na captura das várias imagens e a repetição de padrões em posições diferentes também pode “confundir” o *software*. Em zonas bastante homogêneas na sua textura como sejam, céus sem nuvens, dificultam igualmente a ligação das imagens, provocando o aparecimento de erros de *stitching*, uma vez que o *software* tem dificuldade em perceber que imagens ligam entre si dada a grande homogeneidade entre elas. Nestas circunstâncias, a intervenção deve ser manual

para que se consigam ajustes precisos de forma a eliminar problemas de *stitching*, que possam perturbar o “Realismo” da visita virtual.

Reunidos todos os requisitos necessários para a criação da imagem panorâmica e feitas as correções tidas por necessárias como vimos anteriormente, tais como correção de balanço de brancos, ajustes de luminosidade, contraste e *stitching*, escolhe-se o formato de panorâmica (planar, esférica, cubica ou cilíndrica).

4.2.3. Guardar panorâmica

Após a fase da edição e costura das imagens e com a imagem final perfeitamente geométrica a fase seguinte é a renderização. Esta tarefa, é o processo onde a imagem final é efetivamente gerada pelo *software* após a edição, e aquela que mais recursos consomem. Aqui, deve definir-se o formato de saída da imagem em formato HDR (por exemplo: *hdr* ou. *exr*), para que toda a gama dinâmica capturada seja guardada e ainda a resolução máxima possível, pois conforme se verificou no estudo efetuado, a boa resolução e detalhe são também parâmetros apontados como determinantes na perceção de Realismo.

4.3. Criar a visita virtual.

Idealmente as visitas virtuais deveriam ser criadas a partir das imagens que foram obtidas no processo anterior em alta gama dinâmica (HDR), no entanto como a grande maioria dos dispositivos de visualização são de baixa gama dinâmica (LDR) (Montabone, 2010) que são inadequados para reproduzir toda a gama de intensidades de luz, é necessário fazer o *tone mapping*. Acrescenta-se ainda que na pesquisa efetuada não foi possível identificar qualquer *software* que permita construir visitas virtuais usando imagens em formato HDR, daí nesta fase ser obrigatório fazer uma conversão de formato HDR em LDR.

4.3.1. Conversão de HDR para LDR

Para realizar a redução da gama dinâmica aconselha-se a utilização de *software* que possua algoritmos de *tone mapping*, que tenham em conta a perceção visual humana. Entre outros, o *software* “Photomatix Pro”, desenvolvido pela HDRsoft (HDR

photography software, 2012) cumpre este requisito ao possuir configurações para diferentes modos de mapeamento de tom HDR permitindo ainda o processamento em lote. Pode-se fazer ainda recurso a outros *softwares* que permitam fazer o mapeamento de tom e que entre outros poderá ser o “fdrtools” (Full Dynamic Range Tools, 2012) ou o *software* “Picturenaut 3” (Picturenaut 3, 2012), que inclui o algoritmo de *tone mapping* “Reinhard” (Reinhard, Stark, Shirley, & Ferwerda, 2002) ou ainda o *software* easyHDR PRO (easyHDR PRO, 2011)

4.3.2. Criação da Visita

Após a obtenção das imagens em formato LDR, passa-se à criação da visita virtual. Nesse sentido é necessário *software* para a criação da mesma. A metodologia de criação da visita muda de *software* para *software* pelo que na metodologia proposta apenas se apresentam as características que são relevantes o *software* possuir:

- Permitir a criação de visitas com imagens de elevada resolução.
- Permitir a navegação entre imagens panorâmicas.
- Permitir escolher o formato da panorâmica (esférica, cilíndrica, cúbica).

4.4. Publicação

Ultrapassadas todas as outras fases chega-se ao momento de disponibilizar as visitas virtuais. Estas visitas criadas poderão ser disponibilizadas por exemplo em Sítios Web ou DVDs interativos. Para esse efeito é necessário *software* específico para a visualização das imagens criadas para a visita virtual como por exemplo o krpano (Krpano, 2011) QTVR (Apple, 2011) ou Panoweaver (Panorama Software - Virtual Tour Software, 2012)

Este *software* está normalmente associado ao *software* utilizado para criar as visitas. As características que este *software* deve possuir são:

- Fluidez na interação
- Suporte de imagens panorâmicas esféricas
- Suporte para visualização de imagens de elevada resolução

- Suporte de Plugins para funcionalidades adicionais e controlos de navegação

Para imagens de alta resolução (*Gigapixel*) torna-se muito difícil o seu carregamento numa aplicação Web, como tal se a visita criada for de grande resolução, o *software* deve suportar carregamento Multi-resolução (como sucede com o *software* KRpano) (Krpano, 2011) de forma que as imagens de alta resolução sejam redimensionadas para vários níveis de resolução que vão sendo carregados peça por peça e só quando necessário pelo visualizado ou seja só vai carregando à medida que o utilizador vai fazendo ampliação da imagem.

A navegação deve ser fluida e deve permitir ligar várias panorâmicas através de *Hotspots*. Outros atributos podem acrescentar maior interação como sejam: Mapas de Localização e Navegação; Miniaturas; Ferramentas de Navegação; Caixas de eleição e informação ou de quaisquer outras ações personalizadas; *Zoom*; *Full Screen*, entre outras ferramentas que possam fornecer atratividade à navegação.

4.5. Exemplo da aplicação da metodologia - Visita Virtual à UTAD

De forma a poder exemplificar a aplicação da metodologia proposta desenvolveu-se uma visita que se focou na visita virtual à UTAD. A visita proposta leva o visitante numa viagem à descoberta do Campus Universitário com vista sobre a cidade de Vila Real.

De seguida passa-se a explicar a aplicação da metodologia proposta.

4.5.1. Captura das imagens

4.5.1.1. Equipamento Utilizado

Para a realização desta visita virtual foi utilizado o seguinte equipamento:

- Tripé Manfrotto - modelo: 190XPROB
- Câmara fotográfica Canon 550 D
- Objetiva Zoom Canon 18-55mm com abertura f4.0 - f5.6.
- Cartão de memória SD 8 GB
- Cabeça motorizada Kolor PanoGear
- Computador Portátil Toshiba – Qosmio

4.5.1.2. Configuração do Equipamento:

Como mencionado na metodologia, é de extrema importância a boa configuração do equipamento na fase de captura, para que se possam obter resultados facilitadores do processo de edição e criação da panorâmica, levando à obtenção de visitas virtuais de elevada fidelidade visual.

Assim e dado o destaque negativo, atribuída a erros de *stitching* nos resultados do teste com os inquiridos, começou-se por o preparar o equipamento de forma a reduzir ou eliminar esses erros. Para isso, colocou-se o tripé no local, estabilizado e à altura adequada de acordo com a perspetiva pretendida e montou-se a cabeça motorizada panorâmica sobre o mesmo. De seguida colocou-se a câmara acoplada à cabeça motorizada, com a objetiva *Zoom 18-55* e regulou-se a sua distância focal para 35mm, um valor médio desta objetiva, que garantia um número total de imagens comedido, e consequentemente também assegurava um tempo baixo necessário à captura das mesmas. O próximo passo foi acertar o ponto nodal para evitar o erro de paralaxe e depois deste determinado procedeu-se à focagem, realçando-se aqui a importância que o tripé estável e o ponto nodal acertado têm para a junção correta das imagens, pois qualquer desvio de perspetiva implicará maior dificuldade de ligação das imagens no *software* de *stitching*.



Figura 50 - Cabeça motorizada para captura das imagens e vista do ponto da captura

Como é referido na metodologia deve-se capturar o máximo da gama dinâmica possível. Assim sendo, e tendo em atenção este fator como crucial para obtenção de imagens imersivas, é fundamental que na câmara se escolha a exposição correta em modo manual (depois de se medir e testar qual a melhor para a maior parte da cena), isto será importante pois se for usado o modo automático a alteração da luminosidade iria variar na imagem entre os vários disparos, conforme se fosse capturando zonas mais

claras ou zonas mais escuras. Para a melhor escolha em termos do valor de exposição e para evitar este tipo de variações, usou-se o modo de prioridade à abertura (AV), escolhendo a abertura do diafragma no valor que garantia boa profundidade de campo (f13) e o valor da sensibilidade do sensor à luz foi colocado em (ISO 100), garantindo a ausência de ruído digital. Com a conjugação destes dois parâmetros (abertura e sensibilidade) resultou um valor de tempo de exposição baixo (1/800), o que garantia uma velocidade suficientemente alta para “congelar” qualquer elemento em movimento na cena.

Esta medição da exposição foi efetuada, apontando a câmara para uma parte da cena a fotografar que não fosse nem muito iluminada, nem muito escura, fazendo algumas fotografias de teste. Quando a exposição pareceu a mais indicada, depois de se verificar também o histograma da imagem (Gerlach, 2010) para verificar se a câmara estava corretamente calibrada em termos de luminosidade por toda a cena, mudou-se a configuração da exposição para o modo manual e regulou-se a câmara para a exposição indicada para essa zona. A exposição selecionada foi usada durante toda a sequência de imagens a capturar para que não houvesse alterações de luminosidade entre zonas.

Conforme verificado no estudo, onde um dos problemas reportados pelos inquiridos era a perda de detalhe nas sombras e nas altas luzes, é importante alcançar uma elevada gama dinâmica de forma que estes problemas sejam solucionados para que as visitas sejam mais realistas. Esse objetivo implicou que, partindo do valor do tempo de exposição já encontrado (1/800) na medição efetuada, se realizasse além desta, a captura de mais 2 exposições por imagem, com a compensação de exposição de +2 e -2 stops, em cada imagem e nesse sentido configurou-se a câmara fotográfica para estes valores no modo de bracketing. Os modos de gravação escolhidos foram os formatos JPEG+RAW num cartão de memória de 8 GB.

De seguida seguiu-se a configuração e ajuste da cabeça panorâmica usada nesta exemplificação da metodologia proposta. Escolheu-se a cabeça motorizada em vez do suporte nodal, pois queria-se assegurar maior rapidez e precisão na captura, de forma a reduzir qualquer problema associado a eventual mudança de luminosidade durante a demorada captura ou a imprecisões na sobreposição das imagens para que não se tivesse problemas de “*stitching*”. Para controlar esta cabeça motorizada usou-se o *software* que a acompanha “Papywizard”, Figura 51). Neste *software* dão-se as instruções necessárias

à captura das imagens que vão constituir a imagem panorâmica, como as configurações de disparo; distância focal utilizada, neste caso foi de 35mm; fator de corte da objetiva, aqui foi usado 1,6, pois é o valor a atribuir à câmara utilizada “Canon 550D”, uma vez que o seu sensor não é *full-frame*. Outras configurações são também aqui efetuadas como as posições de disparo, a posição inicial da cabeça e, os limites para evitar colisões e o tipo de orientação (vertical ou horizontal). Este *software* vai gerar um ficheiro XML que irá dar as instruções necessárias ao *software* “Kolorpano” na fase de edição e criação da panorâmica.

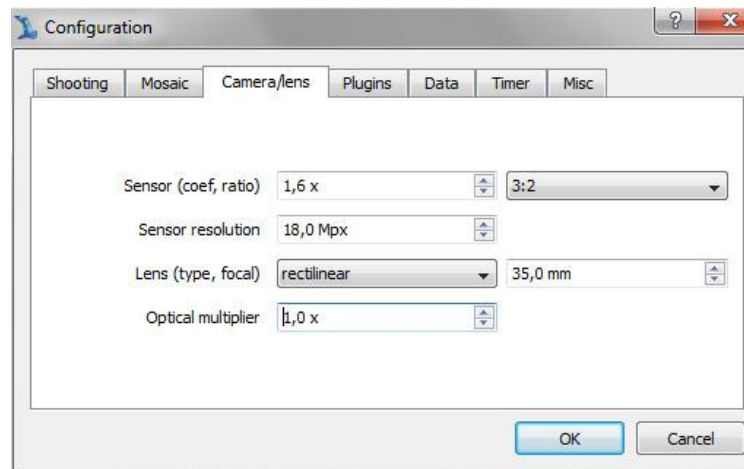


Figura 51 - Software Papywizard

Através das indicações dadas por este *software*, o computador portátil comunica por *bluetooth* com a cabeça motorizada e esta por sua vez acionava a câmara através do cabo de disparo ligado entre ambas.

As fotografias foram feitas com a câmara na orientação horizontal e da esquerda para a direita a partir do horizonte e para baixo no alto da torre elevatória (ponto de captura). Note-se que a orientação escolhida foi uma opção, uma vez que a orientação vertical também poderia ser usada alterando apenas a configuração para este modo no *software papywizard*, o que por sua vez iria modificar o mapa de recolha das imagens nomeadamente no que respeita ao ângulo de posicionamento inicial.

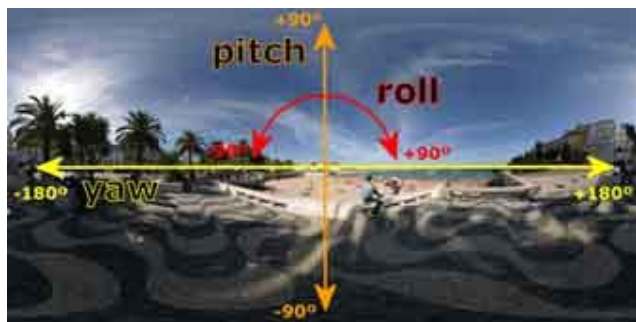


Figura 52 – Orientação e rotação da cabeça motorizada – Adaptado de: (Lupo Fotografia Digital, 25)

4.5.2. Edição das imagens panorâmicas

Como é referido na metodologia esta etapa (costura da imagem) é de vital relevância, sobretudo para o sucesso total na redução ou eliminação dos problemas de “*stitching*”

Para atingir este objetivo foram usados os seguintes equipamentos e *software*.

- Computador: Computador Portátil Toshiba – Modelo Tecra A11 -110 (Toshiba, 2011)
- *Software*: Kolor Autopano Giga 2.5 (Krpáno, 2011)

Como foi dito em capítulo anterior a costura em si é um pouco complicada especialmente em projetos com um número elevado de imagens. Mesmo utilizando uma cabeça motorizada panorâmica como a usada neste trabalho, que auxilia bastante durante a captura, a costura ainda não dá resultados perfeitos. O primeiro passo após a captura foi trabalhar os ficheiros *RAW* de modo a fazer alguns ajustes no contraste das imagens capturadas.

De seguida importam-se as imagens para o *software* Kolor Autopano Giga 2.5. Estas totalizando 396 imagens, pois temos de ter em conta as 3 exposições por imagem a importar e é composta por 11 colunas e 4 linhas. Na Figura 53 pode-se ver o resultado da importação.



Figura 53 - Exemplo da imagem obtida pela costura automática do *software*

Como o resultado não fica perfeito devido a alguns pontos ou *links* falsos de más ligações entre imagens, sobretudo nas zonas onde a textura é bastante semelhante (céu sem nuvens) levando a que o *software* lide mal com a união de imagens nestas circunstâncias, conforme se observou em capítulo anterior, procedeu-se a ajustes manuais.



Figura 54 - Identificação dos pontos onde a costura não foi bem efetuada a vermelho. A verde os pontos cuja correspondência é boa.

Esta imagem mostra uma deteção padrão, isto é aquela que foi efetuada automaticamente pelo *software*. Pode-se verificar a existência de bastantes zonas vermelhas, onde todos os *links* falsos foram encontrados. Isto acontece com a cabeça motorizada, onde essa questão não é tão significativa, mas apesar de mais baixo do que com uma cabeça manual ainda pode existir. Como se pode verificar, os *links* falsos estão em maioria na zona mais elevada (céu), o que é típico, pois como se explica na metodologia, em zonas de enorme homogeneidade, o *software* tem dificuldade em encontrar pontos comuns de referência entre imagens, daí ser necessário fazer-se o ajuste manualmente, tal como quando existem nas fotografias áreas de *pixels* repetitivos

como padrões, os pontos de controlo determinados automaticamente pelo *software* podem não ser precisos, sendo também necessária a nossa intervenção para a correção manual dessas más ligações (Figura 55) entre imagens através de algumas ferramentas fornecidas pelo *software* de *stitching*.

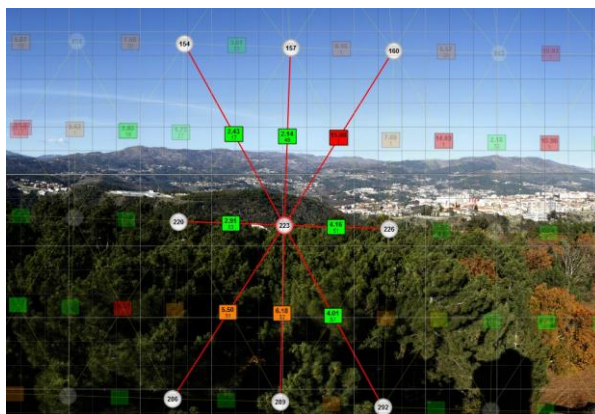


Figura 55 - Zonas de ligação entre imagens

Esse alinhamento é efetuado através da opção "*Control Points*". (Figura 56) É pretendido assim assegurar que existe um correto posicionamento dos pontos nas fotografias adjacentes. No nosso estudo foi necessário adicionar novos pares de pontos de controlo e remover alguns dos que foram criados pelo automaticamente pelo *software* e não tinham correspondência correta.

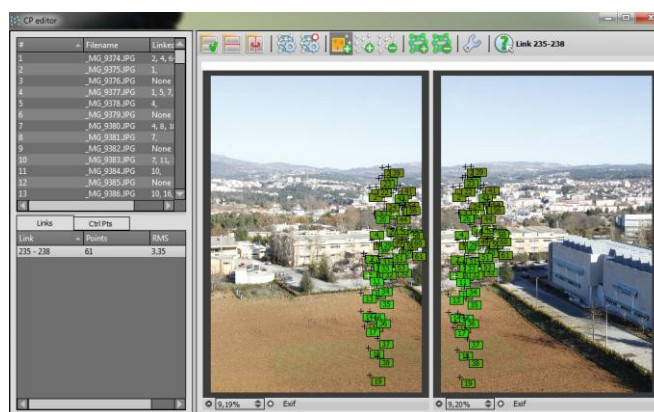


Figura 56 - Exemplo de pontos de ligação.

Com a prática, lidar com esses *links* falsos torna-se um pouco mais rápido, no entanto no início é bastante moroso até se perceber a forma como lidar com as zonas de ligação das imagens no *software* de edição da costura das imagens para se obter uma panorâmica perfeitamente geométrica, onde todas as imagens estejam corretamente

alinhadas. A qualidade da costura tem de se boa para que a imagem final seja o mais próximo daquilo que foi visualizado no local.

É necessário também lidar com a correção de cores e luminosidade, dado que a iluminação de toda a cena chega também a mudar durante a captura especialmente em tempos mais longos. Apesar do número de imagens necessárias para efetuar a captura de toda a cena fosse considerável, devido à necessidade de captura de três imagens em cada posição, para a criação do HDR, não foi necessário um tempo excessivo na captura (cerca de 15 minutos) que obrigasse a grandes ajustes, pelo facto de ser usada uma cabeça motorizada, fazer diminuir o tempo de captura, Assim foi necessário apenas harmonizar melhor as cores em algumas áreas do céu o que exigiu alguma paciência. Este aspeto não deve ser descurado pois foi dado a observar que os inquiridos do estudo efetuado, colocaram as visitas com mais problemas de cor como aquelas que ofereciam menor realismo e vice-versa, surgindo a cor com valores que demonstram a importância da obtenção de imagens com cores “realistas” e sem aparecimento de ruído digital ou de qualquer aberração cromática. Foram também encontrados problemas com elementos que se movimentaram na cena durante a captura das imagens, surgindo como “fantasmas”, e para resolver esse problema de “*ghost*” referidos na metodologia, foi utilizada a ferramenta, *Anti-Ghost* que é o algoritmo de corte de imagem inteligente do *software* KolorAutopano Giga. O *Anti-Ghost* foi projetado para encontrar um caminho de corte entre as imagens, com a finalidade de evitar a mistura de *pixeis* que não coincidem (objetos em movimento). A parte “inteligente” é escolher um corte que preserva a integridade dos elementos fotografados em movimento, tanto quanto possível.

Feita essa otimização temos o projeto quase concluído, como ilustrado abaixo:



4.5.3. Guardar a panorâmica

A etapa seguinte da metodologia e antes de se passar à criação da visita virtual é o *rendering* da imagem. Para esta tarefa efetuou-se a renderização, ou seja o processo onde a imagem final é efetivamente gerada no *software* “KolorAutoPano Giga” após a edição. Neste *software* fazem-se as configurações necessárias, para que toda a gama dinâmica capturada seja preservada, assim como a máxima resolução possível (Figura 57).

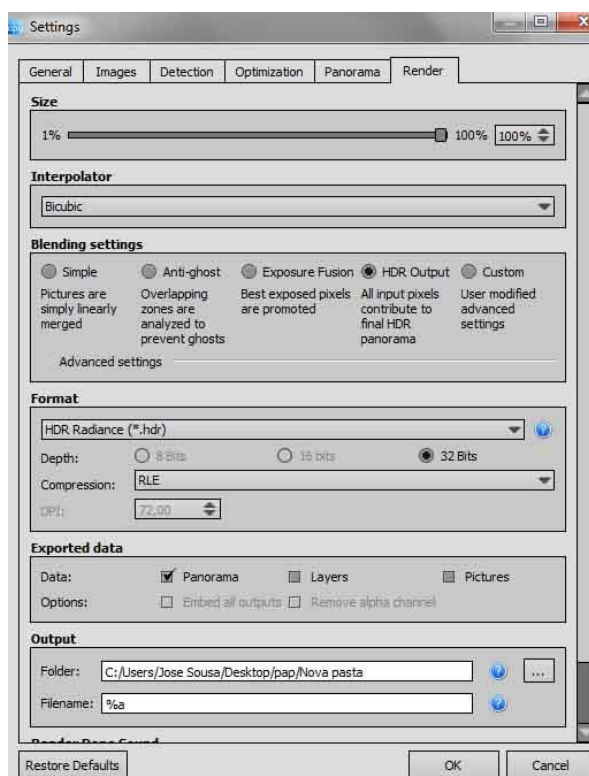


Figura 57 - Renderização da panorâmica

Como foi referido anteriormente esta tarefa exige bastantes recursos de processamento informático, como sejam capacidade elevada de memória do computador e igualmente uma capacidade de desempenho elevada do processador.

Assim após a conclusão do processo de criação da imagem panorâmica com elevada perceção visual criou-se a visita virtual. Para esta tarefa, usou-se o *software* KRpano (Krpáno, 2011). Foi neste *software* que se escolheu o formato esférico da panorâmica e se adicionou informação sobre o local. Esta visita virtual foi gerada num ficheiro em flash, podendo-se navegar pela imagem no plano horizontal e vertical, em direção à esquerda ou direita efetuando voltas que permitem a visão da cena em 360°.

Este *software* permite criar as imagens com elevada resolução, possuindo ferramentas que permitiram adicionar *hotspots* (Figura 58) para que se possa navegar entre as imagens panorâmicas.



Figura 58 - Menu do Editor KRpano c/hotspots ativos

4.5.4. Publicação da Visita Virtual

Para que estas visitas ficassem ao dispor de qualquer pessoa, foram integradas num Sítio Web. Então este Sítio, criado na plataforma Wordpress, foi preparado para receber as imagens para as visitas virtuais usando para esse efeito o *software* “KRpano Viewer” (Krpano, 2011), específico para a visualização das imagens criadas para a visita virtual e que suporta visualização a imagens de elevada resolução.

4.6. Sumário

Este foi o capítulo onde foi apresentada uma proposta de metodologia para a criação das visitas de elevada fidelidade visual. Esta proposta, que contempla todas as fases da criação das visitas virtuais, começou por detalhar o processo de captura das imagens necessárias para a construção da imagem panorâmica e seleção de equipamento e *software*, tal como a sua instalação e configuração de forma a conseguir implementar a metodologia. De seguida mostraram-se os procedimentos propostos para a edição das imagens capturadas, criação e armazenamento da imagem panorâmica e *hardware* e *software* necessário para esse fim. Criada a imagem panorâmica referiram-se os

processos a efetuar para a criação da visita virtual com a conversão do formato HDR em LDR, identificando alguns *softwares* com algoritmos de *tone mapping* e ainda a publicação da visita com a integração em Sítio Web com a utilização de *software* específico para a sua visualização. Finalmente foi dada uma demonstração da aplicação prática da metodologia proposta, seguindo os passos que se acabou de apresentar.

5. Conclusões e trabalho futuro

Neste capítulo são apresentadas as conclusões deste trabalho, assim com algumas reflexões acerca dele e de toda a experiência vivida, tal como o trabalho que poderá ser desenvolvido no futuro, potenciando o foi conseguido com a sua realização.

De modo geral este trabalho envolveu várias áreas do conhecimento, destacando-se aquelas mais diretamente relacionadas (dada a sua importância para o estudo), com a obtenção de imagens de elevada fidelidade visual.

A revisão bibliográfica efetuada permitiu identificar boas práticas e as principais técnicas/ferramentas a utilizar na criação de visitas virtuais de alta-fidelidade visual. Assim foi possível aprofundar os conhecimentos sobre o sistema visual humano, perceber as características da percepção visual e como estas influenciam a análise visual de uma cena. A técnica HDR e os seus formatos de compressão, tal como as formas de obter imagens usando esta técnica, abordada igualmente nesta revisão bibliográfica, contribuiu para se adotar a melhor conduta de forma a proporcionar imagens com elevada gama dinâmica. Compreender as técnicas e equipamentos para a captura e montagem de fotografia panorâmica foi de enorme importância tendo servido de alicerce para a construção da visita virtual da implementação da metodologia proposta, tal como o levantamento efetuado a algumas visitas virtuais serviu de base para o estudo realizado.

O estudo realizado com o intuito de se atingir o objetivo da construção de visitas virtuais de elevada fidelidade visual permitiu identificar o impacto que determinadas características das imagens provocam na visita virtual, tendo-se verificado que não é apenas uma característica que contribui para a elevada fidelidade visual, mas sim várias aquelas que estão associadas à sua produção. A ausência ou a incorreta implementação de qualquer uma destas características tem influência na obtenção da elevada fidelidade visual, na percepção de realismo e na imersão total da visita virtual.

Através do estudo apresentado no capítulo 3, apurou-se que apesar de parecer existir forte associação entre gama dinâmica e realismo, outros atributos parecem influenciar a percepção de Realismo, pois os valores obtidos do parâmetro Realismo, atribuído pelos indivíduos que colaboraram no estudo, também parecem estar

associados sobretudo a caracterizações como a cor, *ghost* e *stitching*, não existindo um claro e evidente destaque de qualquer um deles sobre os demais no que respeita à percepção de Realismo. No entanto constatando-se que, a perda de detalhe detetada nas visitas virtuais do estudo leva para valores baixos a percepção de Realismo e que se fica a dever em grande parte ao facto destas não serem em HDR. A aposta em resolver este problema identificado teria de passar pela obtenção de imagens de alta gama dinâmica.

Assim com suporte no estudo realizado, foi definida uma metodologia que permite construir as visitas virtuais de elevada fidelidade visual. Em todas as fases do método proposto são identificados Métodos/Ferramentas que permitem obter uma imagem de elevada fidelidade visual, visando que indivíduos que pretendam construir este tipo de visitas, possuam um guia de orientação que os leve a alcançar esses propósitos de uma forma mais fácil e consistente. Entre estas destaca-se; os algoritmos de que têm em conta a percepção visual humana; escolha e configuração do equipamento e *software* de captura, ferramentas de edição e criação das panorâmicas e as melhores práticas para alcançar o objetivo proposto. Realça-se que é importante seguir com rigor as recomendações efetuadas na metodologia, desde a seleção de equipamentos e *softwares* necessários à captura das imagens e criação e armazenamento da panorâmica, passando pela criação da visita virtual com a conversão para o formato LDR, até à publicação da mesma, pois observou-se que se qualquer dos procedimentos sofre alguma anomalia poderá comprometer todo o processo.

Como trabalho futuro irá ser realizada a validação da metodologia proposta. Para tal pretende-se conduzir o mesmo estudo, comparando os resultados obtidos do impacto das visitas virtuais visualizadas neste estudo com aquelas que foram criadas para a aplicação da metodologia. Assim poder-se-ão confrontar os dois resultados de forma que se perceba se a metodologia proposta cumpre com rigor o objetivo de proporcionar visitas virtuais de elevada fidelidade visual ou se são necessários novos estudos ou outras práticas para o desenvolvimento deste trabalho.

Resolvida essa questão o desafio seguinte poderá passar por aplicar esta metodologia na construção de visitas virtuais de elevada fidelidade visual em três dimensões (3D) oferecendo ainda maior imersividade à experiência.

6. Bibliografia

Canon . (11 de Dezembro de 2001). Obtido em 19 de Dezembro de 2011, de http://www.canon.pt/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_SLR/EOS_550D/

Wikipedia. (18 de Dezembro de 2010). Obtido em 18 de Dezembro de 2010, de Second Life: http://en.wikipedia.org/wiki/Second_Life

360 Cities. (30 de Novembro de 2011). Obtido em 20 de Abril de 2012, de <http://www.360cities.net/map#lat=39.96028&lng=-7.26196&name=claustrorom-nico-de-la-abad-a-benedictina-de-santo-domingo-de-silos-burgos&zoom=7>

Akvis. (2011 de Outubro de 2011). Obtido de <http://akvis.com/pt/hdrfactory/index.php>

Apple. (16 de Outubro de 2011). Obtido em 16 de Outubro de 2011, de <http://www.apple.com/support/quicktime/>

Carros, triciclos e mais. (18 de Novembro de 2011). Obtido em 30 de Abril de 2012, de <http://maps.google.pt/intl/pt/help/maps/streetview/technology/cars-trikes.html>

Colors Theory. (27 de Dezembro de 2011). Obtido em 10 de Novembro de 2011, de http://colorstheory.blogspot.com/2010_11_01_archive.html

Culturaonline. (28 de Dezembro de 2011). Obtido em 6 de Dezembro de 2011, de <http://www.culturaonline.pt>

Digital SLR. (22 de Dezembro de 2011). Obtido em 21 de Janeiro de 2012, de <http://www.pentax.co.uk/en/digital-slr.html>

easyHDR PRO. (26 de Dezembro de 2011). Obtido de <http://www.easyhdr.com/>

Fotografia panorâmica. (16 de Outubro de 2011). Obtido em 20 de Maio de 2012, de http://pt.wikipedia.org/wiki/Fotografia_panor%C3%A2mica

Gigapan. (2 de Novembro de 2011). Obtido de <http://gigapan.com/>

Googleartproject - Collections. (29 de Dezembro de 2011). Obtido em 22 de Janeiro de 2012, de <http://www.googleartproject.com>

HD Photo Format Overview. (7 de Dezembro de 2011). Obtido de [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/gg430023\(v=vs.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/gg430023(v=vs.85).aspx)

Hoover Dam. (9 de Dezembro de 2011). Obtido em 11 de Janeiro de 2012, de <http://www.samrohn.com/360-panorama/hoover-dam-nevada/>

Krpano. (11 de Novembro de 2011). Obtido em 9 de Outubro de 2011, de <http://krpano.com/>

Louvre - Apollo galleries. (3 de Novembro de 2011). Obtido em 7 de Fevereiro de 2012, de <http://www.virtualsweden.se/panorama/louvre-apollo-galleries-0?set=77>

Memorial Van Damme 360. (18 de Dezembro de 2011). Obtido em 23 de Janeiro de 2012, de <http://www.360-picture.be/FR/index.php?tag>

Olho. (28 de Dezembro de 2011). Obtido em 1 de 11 de 2011, de wikipedia: http://pt.wikipedia.org/wiki/Olho#Olho_humano

Panoguide . (28 de Dezembro de 2011). Obtido em 16 de Abril de 2012, de <http://www.panoguide.com/howto/panoramas/types.jsp>

Panorama of London Barker. (29 de Dezembro de 2011). Obtido em 7 de Fevereiro de 2012, de http://en.wikipedia.org/wiki/File:Panorama_of_London_Barker.jpg

Papywizard. (6 de Novembro de 2011). Obtido de <http://www.papywizard.org/>

Paris 26 Gigapixels. (30 de Novembro de 2011). Obtido de <http://www.paris-26-gigapixels.com/index-en.html>

Pentax 645D. (12 de Janeiro de 2011). Obtido em 12 de Novembro de 2011, de http://www.pentax.pt/productos/pdf/pt_INF_645D.pdf

Primeira câmara HDR do mundo. (3 de Dezembro de 2011). Obtido em 3 de Dezembro de 2011, de <http://meiobit.com/34633/primeira-camera-hdr-do-mundo/>

SpheronCam HDR. (5 de Novembro de 2011). Obtido em 9 de Dezembro de 2011, de <http://www.spheron.com>

Toshiba. (1 de Outubro de 2011). Obtido de <http://pt.computers.toshiba-europe.com/innovation/home/>

Xdepth. (21 de Novembro de 2011). Obtido em 28 de Outubro de 2012, de <http://www.xdepth.com/>

Adobe. (11 de Março de 2012). Obtido de <http://www.adobe.com/products/photoshop.html>

Canon. (15 de Maio de 2012). Obtido em 28 de Março de 2012, de http://www.canon.pt/For_Home/Product_Finder/Cameras/EF_Lenses/EF-S/EF-S_18-200mm_f3.5-5.6_IS

Create high quality panoramic images. (26 de Abril de 2012). Obtido em 26 de Fevereiro de 2012, de <http://www.ptgui.com/>

Dynamic-photo-hd. (10 de Abril de 2012). Obtido de <http://dynamic-photo-hdr.en.softonic.com/>

Explore the world at street level. (21 de Janeiro de 2012). Obtido em 27 de Abril de 2012, de http://maps.google.com/intl/en/help/maps/streetview/#utm_campaign=en&utm_medium=van&utm_source=en-van-na-us-gns-svn

Full Dynamic Range Tools. (11 de Maio de 2012). Obtido de [FDRTools: http://www.fdrtools.com/front_e.php](http://www.fdrtools.com/front_e.php)

Google Maps. (15 de Janeiro de 2012). Obtido em 20 de Dezembro de 2011, de <http://maps.google.pt/intl/pt/help/maps/streetview/gallery.html#seven-continents-of-street-view&douro-river-portugal>

Google Maps. (21 de Março de 2012). Obtido em 21 de Março de 2012, de <http://maps.google.com/help/maps/streetview/gallery.html#european-cities&big-ben-london-england>

Google Maps. (26 de Março de 2012). Obtido em 26 de Março de 2012, de <http://maps.google.pt/intl/pt/help/maps/streetview/gallery.html#seven-continents-of-street-view¬re-dame-cathedral-paris-france>

HD Photo Format Overview. (26 de Maio de 2012). Obtido de [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/gg430023\(v=vs.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/gg430023(v=vs.85).aspx)

HDR efex pro 2. (3 de Maio de 2012). Obtido de <http://www.niksoftware.com/hdrefexpro/usa/index.php?view=intro%2Fmain.shtml>

HDR photography software. (12 de Abril de 2012). Obtido de HDRsoft: <http://www.hdrsoft.com/>

Hugin - Panorama photo stitcher. (29 de Maio de 2012). Obtido de Hugin - Panorama photo stitcher: <http://hugin.sourceforge.net/>

Image-stitching software. (22 de Maio de 2012). Obtido de <http://www.kolor.com/image-stitching-software-autopano-giga.html>

Image Editor Software. (25 de Maio de 2012). Obtido de Adobe: <http://www.adobe.com/products/photoshop.html>

Image Stitching and Virtual Tour Solutions. (8 de Fevereiro de 2012). Obtido em 11 de Janeiro de 2012, de <http://www.kolor.com>

-
- Image-Stitching Software.* (25 de Maio de 2012). Obtido de <http://www.kolor.com/image-stitching-software-autopano-giga.html>
- Luminance HDR.* (3 de Abril de 2012). Obtido de http://qtpfsgui.sourceforge.net/?page_id=10
- Nikon.* (12 de Maio de 2012). Obtido de http://www.nikon.pt/pt_PT/product/digital-cameras/slr/consumer/d5100
- Nikonland.* (11 de Março de 2012). Obtido em 16 de Junho de 2012, de http://www.nikonland.eu/forum/index.php?/page/nl_index.html/_/ripresa/pa-noramiche-sferiche-equirettangolari-facciamo-un-po-dordine-r200
- Nikonland.* (11 de Março de 2012). Obtido em 16 de Junho de 2012, de http://www.nikonland.eu/forum/index.php?/page/nl_index.html/_/ripresa/pa-noramiche-sferiche-equirettangolari-facciamo-un-po-dordine-r200
- Panorama Software.* (Maio de 19 de 2012). Obtido de Easy Pano: <http://www.easypano.com/panoweaver400.html>
- Panorama Software - Virtual Tour Software.* (6 de Março de 2012). Obtido em 6 de Março de 2012, de <http://www.easypano.com/>
- Panorama-Hardware.* (6 de Abril de 2012). Obtido em 23 de Junho de 2012, de http://www.panorama-hardware.de/2/product_info.php?info=p7_pano-maxx-tripodhead.html
- Panoramic Earth.* (9 de Fevereiro de 2012). Obtido em 11 de Abril de 2012, de http://www.panoramicearth.com/5870/Sao_Paulo/Se_Cathedral_Crypt_with_Holy_Shroud
- Pentax A Ricoh Company.* (16 de Janeiro de 2012). Obtido em 3 de Janeiro de 2011, de http://www.pentaximaging.com/medium-format/645D_Black
- Picturenaut 3.* (11 de Abril de 2012). Obtido de <http://www.hdrilabs.com/picturenaut/>

PTgui. (27 de Maio de 2012). Obtido de <http://www.ptgui.com/>

Virtual Tour. (12 de Janeiro de 2012). Obtido em 11 de Janeiro de 2012, de <http://3d.culturaonline.pt/Content/Common/VirtualTour/Index.htm?id=82e66d80-439e-4f29-bc9b-576e98efee57>

Lupo Fotografia Digital. (25 de Outubro de 25). Obtido em 25 de Outubro de 2011, de http://www.luispontes.com/PanoVRweb/fot_panotut.html

Akyüz, A. O., Fleming, R. W., Riecke, B. E., E., B., & Reinhard, E. (2007). Do HDR displays support LDR content? A psychophysical evaluation. New York, NY, USA: ACM.

Barton, H. e. (2007). *Introdução à Visão Humana, defeitos visuais e testes oculares*.

Cambridge in Colour. (29 de Dezembro de 2011). *Dynamic Range in Digital Photography*. Obtido em 14 de Dezembro de 2011, de <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/dynamic-range.htm>

Chalmers, A. a. (2009). Human Vision and Electronic Imaging XIV - part of the IS&T-SPIE. *Exploring eye movements for tone mapped images*. Bernice E. Rogowitz and Thrasyvoulos N. Pappas.

Chalmers, P. L. (2005). Evaluation of tone mapping operators using a high dynamic range display. *ACM Transactions on Graphics*, 640--648.

Correll, P. C. (2009). *HDR Photography Photo Workshop*. Indianapolis: Wiley Publishing.

DALVI, A. C. (2011). *Fotografias Panorâmicas Multimédia em 360 Graus*. Universidade Federal do Espírito Santo.

Derr, L. (1906). *Photography for students of physics and chemistry*. London: The Macmillan Co.

Dome, E. F. (1995). *Estudo Do Olho Humano Aplicado à Optometria*. Senac.

- Fay Huang, R. K. (2008). Wiley-IS&T Series in Imaging Science. *Panoramic Imaging: Sensor-Line Cameras and Laser Range-Finders*. Wiley-IS&T Series in Imaging Science: A John Wiley and Sons, Ltd, Publication.
- Ferwerda, J. A. (1996). A model of visual adaptation for realistic image synthesis. *Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (pp. 249--258). New York, NY, USA: ACM.
- Ferwerda, J. A. (1998). Fundamentals of Spatial Vision. *In Applications of visual perception in computer graphics*. Cornell University.
- Frich, A. (2007). *Panoramic photography : from composition and exposure to final exhibition*. Elsevier.
- Gerlach, J. a. (2010). *Digital Landscape Photography*. Burlington, MA 01803, USA: Focal Press.
- Heo, Y. S. (2011). Proceedings of the 10th Asian conference on Computer vision. *Ghost-free high dynamic range imaging, Part IV*, pp. 486--500. Queenstown, New Zealand.
- Industrial Light and Magic. (4 de Abril de 2012). *OpenEXR*. Obtido de <http://www.openexr.org>
- John, & Gerlach, B. (2010). *Digital Landscape Photography*. Amsterdam • Boston • Heidelberg • London • New York • Oxford • Paris: Elsevier.
- Junior, E. d. (2010). Fotografia Panorâmica Multimídia: investigando a prática do dispositivo. (p. 15). Departamento de Comunicação Social da Universidade Federal do Espírito Santo.
- Khan, I. R. (2009). HDR image tone mapping using histogram adjustment adapted to human visual system. *Proceedings of the 7th international conference on Information, communications and signal processing*, (pp. 62--66). Macau, China.

- Krawczyk, G. M. (2007). *Perception-Inspired Tone Mapping*. SAARBRÜCKEN: Universität des Saarlandes.
- Lang, K. (2007). *Rendering the Print: the Art of Photography*. Adobe System Incorporated.
- Malik, P. D. (1997). *Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs*.
- Mantiuk, R. (2006). *High-fidelity imaging - the computational models of the human visual system in high dynamic range video compression, visible difference prediction and image processing*. Saarbrücken: Universität des Saarlandes.
- Mantiuk, R. (2008). Display adaptive tone mapping. (p. 10). Los Angeles, California: ACM.
- Martin Čadík, M. W. (2007). Evaluation of HDR tone mapping methods using essential perceptual attributes. *Journal of Visual Communication and Image Representation*.
- Martins, R. P. (2006). *Renderização em tempo real utilizando mapas de iluminação em alta precisão*. Rio de Janeiro: Departamento de Informática.
- McCollough, F. (2008). *Complete Guide to High Dynamic Range Digital Photography*. Lark Books.
- Montabone, S. (2010). *Beginning Digital Image Processing Using Free Tools for Photographers*. Apress.
- Montabone, S. (2010). *Beginning Digital Image Processing Using Free Tools for Photographers*. Apress.
- Perkins, M. (2005). *Digital Landscape Photography Step By Step*. Amherst Media, Inc.
- Purgathofer, K. D. (2002). STAR: Tone Reproduction and Physically Based Spectral Rendering. *State of the Art Reports, Eurographics 2002* (pp. 101--123). The Eurographics Association.

-
- Reinhard, E. a. (2005). *High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-Based Lighting*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Reinhard, E., Stark, M., Shirley, P., & Ferwerda, J. (2002). Photographic tone reproduction for digital images. *IN: PROC. OF SIGGRAPH'02* (pp. 267--276). ACM Press.
- Seidel, A. Y.-p. (2005). Perceptual evaluation of tone mapping operators with real-world scenes. *Human Vision & Electronic Imaging X, SPIE*.
- Softonic. (27 de Maio de 2012). *Panorama-maker*. Obtido de Panorama Maker: <http://panorama-maker.softonic.com.br/>
- Taylor, B. N., & Thompson, A. (2008). *Guide for the Use of the International System of Units (SI)*.
- Tumblin, J. a. (1999). Two methods for display of high contrast images. (p. 39). New York, NY, USA: ACM.
- Wandella, J. M. (2000). Rendering high dynamic range images. Department of Electrical Engineering, Stanford University.
- Ward, G. (1994). *Graphics gems IV*. San Diego, CA, USA: Academic Press Professional, Inc.
- Ward, G. (6 de Novembro de 2011). *Encoding*. Obtido em 6 de Novembro de 2011, de <http://www.anywhere.com>: <http://www.anywhere.com/gward/hdrenc/>
- Ward, G. a. (2005). JPEG-HDR: a backwards-compatible, high dynamic range extension to JPEG. *ACM SIGGRAPH 2005 Courses*. New York, NY, USA: ACM.
- Ward, Maryann, G. (2006). JPEG HDR: a backwards-compatible high dynamic range extension to JPEG. *ACM SIGGRAPH 2006 Courses*. New York, NY, USA: ACM.
- Winkler, S. (2001). Visual fidelity and perceived quality: Towards comprehensive metrics. *in Proc. SPIE*, (pp. 114--125).

7. ANEXOS

7.1. ANEXO A- Informação ao sujeito

Investigador: José Manuel Carvalho de Sousa, Mestrado em Comunicação e Multimédia (UTAD)

Propósito: O propósito não pode ser divulgado, pois esta informação pode alterar os dados recolhidos. No final da experiência, o sujeito é esclarecido.

Participantes: Os participantes são voluntários que se ofereceram para efetuar a experiência.

Confidencialidade: A informação recolhida apenas é identificada por um “ID” atribuído aleatoriamente.

Procedimento: O procedimento a efetuar é explicado antes do teste.

Benefícios: Os participantes não vão receber quaisquer benefícios pela realização da experiência.

Riscos: O procedimento não causa qualquer tipo de lesões e já foi utilizado em estudos previamente realizados.

Compensação: O correio eletrónico dos participantes vai ser introduzido numa base de dados. Quando o estudo tiver terminado os participantes vão receber um e-mail com todos os dados sobre a experiência.

Desistência: A participação neste estudo é completamente voluntária. Os voluntários não estão vinculados a nenhuma obrigação, estes podem terminar o teste quando o desejarem.

Questões ou Dúvidas posteriores: Em caso de dúvidas sobre qualquer um dos tópicos anteriormente descritos, pode enviar um e-mail ao investigador para: jmsousa@utad.pt

Nome: _____

Email: _____

7.2. ANEXO B - Declaração de consentimento

Declaração

Fui informado sobre os objetivos deste projeto, assim como dos procedimentos envolvidos nesta experiência. Eu reservo o direito de abandonar a experiência em qualquer fase da mesma e a não ser com o meu consentimento para a sua utilização, toda a informação previamente obtida é destruída ou a minha identidade retirada.

Assinatura: _____

Data: ____/____/____

7.3. ANEXO C - Questionário

Questionário N.º ____

Idade:

Género: Masculino ____ / Feminino ____

Visão: Normal ____ / Corrigida ____

Tem dificuldades na utilização do computador?

1	2	3	4
Nenhuma	Pouca	Alguma	Muita

Tem dificuldades na utilização do *browser*?

1	2	3	4
Nenhuma	Pouca	Alguma	Muita

Em média, qual o número de horas que navega na Internet por dia?

1. Menos de 2 horas
2. Entre 2 e 4 horas
3. Mais de 4 horas

Que nível de conhecimento de conceitos de fotografia possui?

1	2	3	4
Nenhum	Pouco	Algum	Muito

Já fez alguma visita virtual?

1. Não.
2. Sim, algumas.
3. Sim muitas.

Como classifica em termos genéricos a qualidade da visita virtual nº ____.

Má	Boa
----	-----

Qual dos tipos de navegação acha mais indicado para as visitas virtuais?

☐ Cilíndrica

☐ 360°

Sujeito nº ____

Imagem nº ____

Visita nº ____

Quais as características da panorâmica visualizada que destaca pela negativa? Por cada característica apontada classificar o grau de impacto que esta tem na visualização do sítio.

1.
a. Nenhum Pouco Algum Muito
2.
a. Nenhum Pouco Algum Muito
3.
a. Nenhum Pouco Algum Muito
4.
a. Nenhum Pouco Algum Muito
5.
a. Nenhum Pouco Algum Muito
6.
a. Nenhum Pouco Algum Muito
7.
a. Nenhuma Pouca Alguma Muita

Quais as características da visita panorâmica visualizada que destaca pela positiva? Por cada característica apontada classificar o grau de impacto que esta tem na visualização do sítio.

1.
a. Nenhum Pouco Algum Muito
2.
a. Nenhum Pouco Algum Muito
3.
a. Nenhum Pouco Algum Muito
4.
a. Nenhum Pouco Algum Muito
5.
a. Nenhum Pouco Algum Muito
6.
a. Nenhum Pouco Algum Muito

Como considera a Cor nesta Visita Virtual?

Má Boa

Como considera a Resolução nesta Visita Virtual?

Má Boa

Como considera o Detalhe nesta Visita Virtual?

Má Boa

Como considera a Navegação nesta Visita Virtual?

Má	Boa

Como considera esta visita em termos de realismo ao ponto de poder substituir a visita presencial?

Má	Boa