

# Fundamentos de uma auditoria em realidade misturada



## Aroldo Cedraz de Oliveira

é presidente do Tribunal de Contas da União, doutor em Medicina Veterinária pela Universität Hannover – Alemanha, mestre em Medicina Veterinária pela Universidade Federal de Santa Maria/RS, além de Professor Honorário (h.c.) da Universidade de Auditoria de Nanjing (NAU) e ex-congressista por quatro legislaturas. É coordenador de edição da obra “O controle da administração na era digital”.



## Francisco Osório Ramos

é servidor do Tribunal de Contas da União, formado em Engenharia Elétrica pela UnB, com mestrado em Física pela UnB. Professor de Física da UnB, de Engenharia Elétrica da UNIP e do IESB e de Ciência da Computação do UniCEUB, ministrando as disciplinas Inteligência Artificial, Computação Gráfica e Arquitetura de Computadores.

## RESUMO

Com suporte em informações colhidas no site da *National Aeronautics and Space Administration–NASA* e do *Jet Propulsion Laboratory–JPL*, são analisadas as técnicas de computação gráfica empregadas no projeto *OnSight–NASA*, aplicando-as à auditoria de obras públicas. Com base nesta reconstrução teórica, estabelecem-se os alicerces de uma nova modalidade de auditoria, denominada *MRA–Mixed Reality Auditing*, ou auditoria em realidade misturada. Esta consiste em uma fiscalização remota, em tempo real, que utiliza imagens de câmeras digitais no local de fiscalização, transmitidas para *Head-mounted Displays–HMDs*, ou óculos especiais de realidade misturada, utilizados por um observador situado em uma localidade distinta.

**Palavras-chave:** Computação gráfica. Realidade misturada. Renderização. *Frustum*. *Quadtree*. Motor de jogo. Fiscalização de obras.

## 1. INTRODUÇÃO

O *Jet Propulsion Laboratory–JPL*, um centro tecnológico de pesquisa e desenvolvimento ligado à NASA, começou a oferecer ao público, a partir de março de 2016, um passeio dirigido em uma área do planeta Marte (JPL, 2016). Trata-se da missão *Destination: Mars*, uma exibição interativa utilizando óculos de realidade misturada, um dos desdobramentos da realidade virtual. Os visitantes



podem percorrer vários locais de Marte, reconstruídos a partir de imagens reais enviadas para a Terra pelo veículo *Curiosity*, um jipe robô motorizado que explora a superfície do planeta vermelho desde agosto de 2012 (Ibid., 2016).

*Destination: Mars* é uma adaptação do projeto *OnSight*, uma ferramenta de software para missões em Marte. Os dados e imagens transmitidos diariamente pelo veículo *Curiosity* são captados na Terra por três antenas gigantes de 80m, sendo utilizado um dispositivo de realidade misturada para transportar essas informações da superfície de Marte até um laboratório na Terra. Os cientistas são envolvidos pelas imagens captadas nas proximidades do veículo em Marte, podendo passear em torno de superfícies rochosas ou agachar-se para examinar formações geológicas de diferentes ângulos. O *OnSight* fornece aos cientistas um meio de planejar e, juntamente com o veículo *Curiosity*, conduzir operações em Marte, explorando o planeta diretamente de seus escritórios em Pasadena, na Califórnia (Ibid., 2016).

## 2. HMDS E REALIDADE DIGITAL

HMD ou *Head-mounted display* é um dispositivo de vídeo usado sobre a cabeça como um capacete, contendo amplo visor, fones de ouvido e uma interface através da qual o usuário pode experimentar um ambiente de realidade virtual (MELZER; MOFFITT, 2011). Consiste em um visor transparente montado na cabeça do observador, de onde a informação é apresentada sem exigir que o usuário olhe para fora de seu campo de visão normal, como ilustra a figura 1 (CANON, 2016). Desde os estudos pioneiros,

o campo de pesquisa da realidade virtual tem utilizado HMDs como dispositivos essenciais de exibição visual.

**Figura 1:**

Dispositivo de vídeo HMD



Fonte: CANON (2016)

A realidade virtual consiste em uma realidade multimídia imersiva ou simulada por computador que replica um ambiente, simulando a presença física em locais do mundo real ou de um mundo imaginário, permitindo ao usuário interagir com este mundo específico. Em outras

palavras, trata-se de um termo genérico, aplicável a todos os tipos de experiências imersivas, criadas usando somente conteúdo do mundo real, sintético, ou um híbrido de ambos (LACKEY; SHUMAKER, 2016). São exemplos de óculos de realidade virtual o Oculus Rift, do Facebook; o Gear VR, da Samsung; e o Projeto Morpheus, da Sony.

Ainda segundo Lackey e Shumaker (2016), realidade aumentada é uma visão direta ou indireta de um ambiente físico do mundo real, cujos elementos são aumentados ou suplementados com entradas geradas por sensores, tais como som, vídeo, gráficos ou dados de GPS. Trata-se de uma sobreposição de conteúdo sintético sobre o mundo real, em que este conteúdo não é ligado a ele ou mesmo parte dele. O conteúdo de mundo real e o de computação gráfica não são capazes de interagir um com o outro. Constituem-se em óculos de realidade aumentada o Google Glass, o Daqri Smart Helmet e o Moverio, da Epson.

Realidade misturada, também denominada realidade híbrida, consiste em uma fusão entre os mundos real e virtual para produzir novos ambientes e visualizações, onde objetos físicos e digitais coexistem e interagem em tempo real. Trata-se de uma sobreposição de conteúdo sintético sobre o mundo real do usuário, ligado a ele ou que com ele interage (Ibid., 2016). Contam-se entre os óculos de realidade misturada o HoloLens, o Canon MREAL Display MD-10 e o Magic Leap.



Modernamente, admite-se que as realidades virtual, aumentada e misturada podem ser reunidas sob uma denominação mais genérica: realidade digital.

### 3. NÍVEL DE DETALHE E RENDERIZAÇÃO

A visão estereoscópica por computador (*stereovision*) consiste na extração de informação 3D de imagens, como aquelas obtidas por uma câmera digital. Comparando a cena a partir de dois pontos selecionados, a informação 3D pode ser extraída a partir do exame das posições relativas de objetos nos dois cenários. As informações detectadas a partir destas imagens estereoscópicas são lançadas sobre uma superfície livre, criada com esta finalidade (AKENINE-MÖLLER; HAINES; HOFFMAN, 2008).

Duas câmeras, afastadas horizontalmente uma da outra, são usadas para obter duas visões diferentes de uma cena, de forma semelhante à visão humana binocular. Comparando estas duas imagens, a informação de profundidade relativa pode ser obtida na forma de um mapa de disparidade (*disparity map*), que codifica a diferença entre as coordenadas horizontais de pontos correspondentes nas imagens. Os valores neste mapa de disparidade são inversamente proporcionais à profundidade da cena na localização correspondente dos pixels (Ibid., 2008).

Utilizando a visão estereoscópica por computador, para cada imagem que chega ao HMD do observador, é gerado um modelo 3D completamente novo por meio de algoritmos automáticos que constroem um modelo matemático e estatisticamente acurado da superfície analisada, denominada correlação estereoscópica (COLANER, 2016). Observando duas imagens, encontrando as diferenças entre elas com auxílio de um mapa de disparidade e usando um modelo específico de câmera, conclui-se quão distante cada ponto se encontra e geram-se os mapas de alcance destas imagens.

Com a finalidade de acelerar o processamento das imagens tratadas, todos os objetos que se encontram fora do campo de visão do observador são removidos no processo de renderização (processo de gerar uma imagem a partir de um modelo 2D ou 3D por meio de processamento digital, consistindo em três etapas básicas: determinação da câmera virtual, da superfície visível e das fontes de luz). Somente os pixels que são visíveis no *frustum* necessitam ser renderizados. Todos os objetos que são visíveis a partir de um ponto em particular são pré-computados, sendo imediatamente removidos todos os objetos não visíveis, reduzindo-se dessa forma, o número de objetos que interceptam o *frustum* (Ibid., 2016).

*Frustum* é o campo de visão a partir do olho do observador, podendo ser representado por um volume espa-

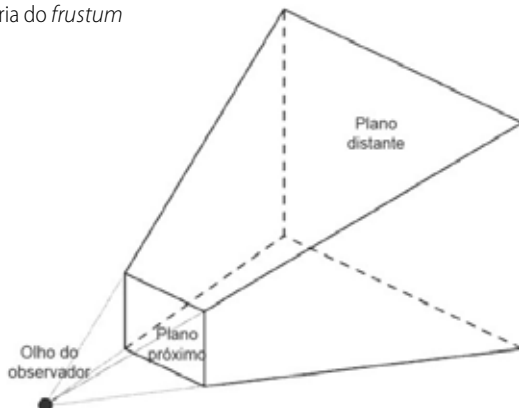
cial imaginário contendo tudo o que é visível em uma cena tridimensional. Pode ser representado por uma pirâmide truncada constituída por seis planos. Quatro desses planos correspondem aos lados da tela, sendo chamados de *frustum* direito, esquerdo, de base e de topo. Os dois planos restantes são chamados planos *frustum* próximo e distante, e definem as distâncias mínima e máxima em que os objetos de uma cena são visíveis para o observador (DUNN; PARBERRY, 2002). A figura 2 ilustra a geometria do *frustum*.

Para gerenciar o nível de detalhe, a superfície da cena é dividida em ladrilhos ou *tiles* de diferentes tamanhos, cada um com um determinado nível de detalhe, seguindo uma divisão da superfície (espaço 2D) conhecida como *quadtree* (COLANER, 2016).

O *quadtree* consiste em uma estrutura de dados em árvore, na qual cada nó interno possui exatamente quatro filhos, sendo utilizada para particionar um espaço bidimensional (2D), por exemplo, uma superfície mediante subdivisão recursiva em quatro quadrantes, regiões ou células adaptáveis. Cada célula ou reservatório possui uma capacidade máxima. Quando esta capacidade é atingida, o reservatório sofre uma divisão. A estrutura da árvore segue a decomposição espacial do *quadtree*, ou seja, cada nó sofre uma divisão em quatro sub-nós (LENGYEL, 2004).

A figura 3 exibe um *quadtree* construído para uma área contendo um único objeto. A ilustração à direita mostra como a estrutura de dados correspondente é organizada. Cada nó possui quatro sub-nós. Se nenhuma geometria de mundo interceptar um quadrante, então este quadrante não é subdividido. Qualquer quadrante que não contém objetos é removido da árvore. Assume-se também que quaisquer quadrantes ausentes estão vazios.

**Figura 2:**  
Geometria do *frustum*



Fonte: Dunn e Parberry (2002)

Segundo Lengyel (2004), organizar a geometria em um *quadtree* traz o benefício de que sempre que um nó da árvore puder ser determinado como não visível, tem-se a informação imediata de que todos os sub-nós daquele são também não visíveis e podem ser eliminados, melhorando o gerenciamento do nível de detalhe.

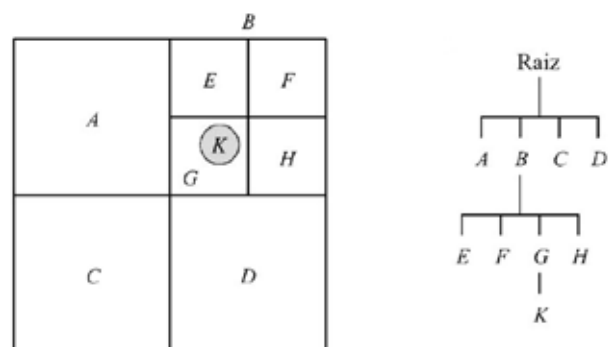
#### 4. O MOTOR DE JOGOS

Um motor para criação de jogos digitais como o *Unity*<sup>1</sup> gera o software para integração com o hardware envolvido, mostrando-se adequado para a interação do usuário com a realidade misturada, visto que os óculos disponíveis possuem uma interface com o referido motor. Utiliza-se um *frame rate* de 60 fps (quadros por segundo). *Frame rate* é a frequência (*rate*) com que um dispositivo de processamento de imagens as exibe de forma consecutiva, sendo estas chamadas de *frames* (quadros).

O motor de jogos *Unity* emprega a técnica de *mipmaps*, que consistem em sequências de texturas do mundo 3D otimizadas e pré-calculadas, sendo cada uma delas uma representação em resolução progressivamente mais baixa da mesma textura, o que incrementa a velocidade de renderização. Texturas *mipmaps* de alta resolução são usadas para amostras de alta densidade, como objetos próximos à câmera. Texturas de baixa resolução são usadas quando o objeto aparece mais distante. A técnica de *mipmap* pode melhorar o desempenho de processamento em até 33% no *Unity*.

Dessa forma, para os *tiles* mais próximos do observador, a resolução torna-se máxima. Para *tiles* mais distantes de seu campo de visão, a resolução vai diminuindo exponencialmente. Quando o observador dirige seu olhar mais para frente, as texturas de resolução menor

**Figura 3:**  
Particionamento de um espaço 2D com *quadtree*



Fonte: Lengyel (2004)



são sobrepostas às texturas de mais alta resolução. Com esta técnica, imagens locais captadas por câmeras do veículo *Curiosity* podem ser combinadas com imagens de satélites orbitando Marte no local de observação, já que estas exibem uma resolução que é constante na região (COLANER, 2016).

Adicionalmente, se o observador clicar em algum detalhe da imagem podem ser exibidas outras imagens com zoom, tomadas de outro ângulo ou mesmo de um satélite orbital. Por seu turno, os óculos de realidade misturada (HMDs) suportam olhar fixo (*gaze*), gestos e comandos de voz.

## 5. AUDITORIA EM REALIDADE MISTURADA

A auditoria em realidade misturada consiste na realização de uma fiscalização em que o auditor não está presente no local da obra, encontrando-se distante, em outra localidade. Os sinais eletromagnéticos, relativos às imagens da superfície que são captadas por câmeras digitais no local, são transmitidos para o HMD do auditor que recebe as referidas imagens e consegue percorrer a obra virtualmente e em tempo real, mesmo estando a distância, por exemplo, em uma sala na sede do TCU. Assim, auditores do TCU podem realizar fiscalizações de obras em locais distantes de Brasília sem abandonarem a sede na Capital Federal.

O auditor é, portanto, envolvido pelas múltiplas imagens captadas nas proximidades da obra, todas com elevado nível de detalhe, além de várias posições e ângulos diferentes, podendo passear em torno dessa superfície ou

até agachar-se para examinar detalhes de diferentes perspectivas e reunir achados de auditoria.

Para o caso de fiscalizações em obras rodoviárias, podem ser observados remotamente, utilizando a Auditoria em Realidade Misturada–MRA, os seguintes defeitos na rodovia: formação de painelas; afundamentos; escorregamento de aterros; desgaste e fissuras em revestimentos; dispositivos de drenagem danificados; exsudação em trecho de curva; remendo; degradação, ruptura e erosões de borda etc.

No que diz respeito às fiscalizações em obras ferroviárias, a observação visual em MRA pode detectar os seguintes defeitos, tanto nas obras de terraplenagem e de artes correntes e especiais, quanto na plataforma ferroviária e na via permanente: apodrecimento; fratura ou excesso de furos em dormentes de madeira; queima por patinação; e corrosão ou flambagem da via em trilhos de aço. Pode ocorrer ainda deslocamento longitudinal dos trilhos (ou arrastamento), desnivelamento nas juntas, desaparecimento de folga entre eles, ocorrência de vazio ou bolsa de contração, bem como o seu desalinhamento.

Quanto a fiscalizações de obras de edificações com MRA, podem ser verificadas irregularidades na locação da obra (construção da estrutura na posição incorreta); na terraplenagem (escavação, transporte e aterro); nas fundações (fissuras nos tubulões ou nas sapatas); nas estruturas de concreto armado ou protendido (incorrecções nos prumos de cantos externos, pilares e poços de elevadores); na alvenaria de vedação (trincas ou rachaduras, utilização de tijolos danificados, locação das paredes e dos vãos das esquadrias); na cobertura



(vazamentos, telhas quebradas, inclinação do telhado e calhas), bem como nos revestimentos (placas soltas).

Podem ser inseridas no software de realidade misturada todas as informações relativas aos projetos básico e executivo, como quantidade de materiais, qualidade dos mesmos e preços por unidade para serem conferidas com as constatações visuais das obras sob fiscalização, simplesmente encarando um alvo e utilizando controles baseados em gestos para selecionar os comandos na barra de menu. Da mesma forma, pode ser inserida uma régua virtual para medir a distância entre dois pontos da obra.

No âmbito internacional, a auditoria de recursos provenientes de auxílios, no caso de grandes desastres naturais, constitui-se em um tema recorrente no *International Journal of Government Auditing* da INTOSAI. Com as técnicas de auditoria em realidade misturada, especialistas do mundo inteiro, entre auditores de EFSs, geólogos, sismólogos, físicos e ambientalistas poderão acompanhar as ocorrências *in loco*, sem abandonar seus países, simultaneamente e em tempo real.

## 6. CONCLUSÃO

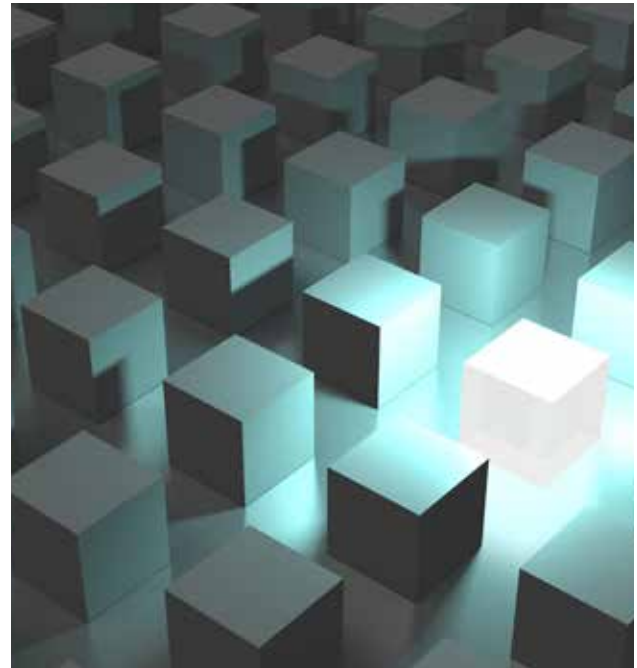
Este estudo teve como objetivo analisar as técnicas de computação gráfica empregadas no projeto *On-Sight- NASA*, aplicando-as à auditoria de obras públicas. Com esteio nesta reconstrução teórica, estabeleceram-se os alicerces de uma nova modalidade de auditoria denominada *MRA – Mixed Reality Auditing*, ou auditoria em realidade misturada.

A criação deste novo conceito de auditoria pelo Tribunal de Contas da União constitui-se em um grande avanço no campo da fiscalização de obras públicas e ambiental, com impacto imenso na forma como este trabalho é realizado até o momento, porquanto suprime as distâncias e a necessidade de viagens de especialistas aos locais de obras e desastres naturais, com evidente economia de tempo e recursos para viagens e hospedagens, bem como demais despesas concernentes.

As bases lançadas no presente estudo servem como diretrizes para que o TCU realize parceria com a NASA, efetivando projeto conjunto na área de interesse ou mesmo inicie projeto próprio, incluindo o desenvolvimento do software necessário, bem como a seleção do HMD mais adequado e a consequente integração com o hardware a ser utilizado.

## NOTAS

1 Disponível em: <<http://unity3d.com>>.



## REFERÊNCIAS

- AKENINE-MÖLLER, T.; HAINES, E.; HOFFMAN, N. *Real-Time Rendering*. 3rd ed. Massachusetts: A K Peters; Florida: CRC Press, 2008.
- CANON. MREAL Display MD-10, 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/wBeCih>>. Acesso em: 14 set. 2016.
- COLANER, S. VR and AR go to Mars: Interview with NASA Scientists Jeff Norris and Alex Menzies. *Tom's Hardware*, New York, April 7, 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/gvLN7H>>. Acesso em: 14 set. 2016.
- DUNN, F.; PARBERRY, I. *3D Math Primer for Graphics and Game Development*. Texas: Wordware Publishing, Inc., 2002.
- JPL. *Mixed Reality Technology Brings Mars to Earth*. Jet Propulsion Laboratory–NASA, California, March 30, 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/RYrCrZ>>. Acesso em: 14 set. 2016.
- LACKEY, S.; SHUMAKER, R. *Virtual, Augmented and Mixed Reality: 8th International Conference on Human-Computer Interaction*. 1st ed. New York: Springer, 2016.
- LENGYEL, E. *Mathematics for 3D Game Programming & Computer Graphics*. 2nd ed. Massachusetts: Charles River Media Group, 2004.
- MELZER, J. E.; MOFFITT, K. *Head-mounted Displays: Designing for the User*. South Carolina: Create Space Independent Publishing, 2011.