

**Escola das Artes da Universidade Católica Portuguesa  
Mestrado em Som e Imagem**



**Concepção de Estruturas Geológicas para Videojogos**

**Animação por Computador 2011/12**

*Diogo Barbosa*

Professor Orientador: Prof. Doutora Cristina Sá  
Professor Co-Orientador: Mestre Ricardo Megre, Prof. Doutora Sahra Kunz

Setembro de 2012

## **Agradecimentos**

Desejo agradecer a todas as pessoas da UCP que de uma forma ou de outra contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação e do projecto final.

Em particular gostava de mencionar os nomes da Prof. Doutora Cristina Sá, da Prof. Doutora Sahra Kunz, do professor Ricardo Megre e do professor Pedro Serrazina.

Também queria agradecer a todos os colegas da turma de Animação por Computador, em particular à colega Joana Pinho por todo o seu empenho e dedicação a este projecto.

## Resumo

Esta dissertação tem por objectivo estudar o processo de concepção e criação de estruturas geológicas tais como montanhas, pedras e desfiladeiros no âmbito exclusivo dos videojogos. Alguns métodos diferentes serão estudados, considerando que a base da geração de objectos 3D por computador passa sempre pela sua modelação e texturização. Esses serão os principais processos examinados nesta dissertação com o objectivo de conhecer melhor quais as técnicas que produzem os resultados mais convincentes e eficientes. Para isso também será vital fazer um estudo sobre geologia para conhecer as principais razões por detrás da aparência das rochas.

As limitações tecnológicas dos videojogos implicam que as técnicas usadas para gerar esse conteúdo necessitam de ser eficientes e optimizadas. Enquanto num filme de animação podem-se usar milhares ou mesmo milhões de polígonos para dar todo o detalhe necessário a um objecto, num videojogo é fundamental estabelecer um compromisso entre qualidade e rapidez.

Devido ao carácter poligonal dos videojogos, tentar simular as formas caóticas da natureza teve resultados pouco convincentes durante muito tempo. Contudo, devido à rápida evolução da capacidade dos computadores nestes últimos anos, cada vez mais os videojogos se aproximam da fidelidade de imagem da animação para cinema. O nível de detalhe necessário para ter em conta as pequenas ranhuras de superfícies rochosas é algo que apenas recentemente se tornou viável. Isto significa que a cada momento estão a surgir novas técnicas e métodos de gerar conteúdo. É uma indústria em constante evolução.

Esta investigação será feita no âmbito do projecto final do mestrado em animação por computador. Trata-se de um videojogo de ficção científica chamado “Twin Paradox”.

## **Abstract**

The main objective of this dissertation is to study the methods of creation of geological structures such as mountains, canyons and rocks for videogame environments. Different techniques will be explored, all of which in the context of 3D computer graphics content creation, such as modeling and texturing. After studying the main geological forces behind the appearance of rock formations the objective will be to find the most convincing technical methods of translating those features into 3D graphics.

The technological limitations of videogames provide a challenge in finding the most efficient ways of rendering realistic images. Motion picture animations are free to use as much detail as is required without needing to worry about computer performance. In the case of videogames, the images are not pre-processed. This means that each image needs to be created as fast as possible to provide a smooth experience for the player. As many as thirty images per second. It is important to establish a compromise between image quality and speed.

For many years videogames had trouble simulating the more chaotic aspects of nature. But the speed of technological progress is reducing those limitations at an increasingly faster pace. Soon, videogame graphics will be comparable to the image realism of major motion picture films.

Many of the techniques that allow videogames to surpass their visual limitations will be discussed in this dissertation. This, coupled with the scientific study of rock formation will be discussed under the framework of the final project of the master's degree in computer animation. This project is a science fiction adventure videogame called "Twin Paradox".

## Índice de Conteúdos

1	Introdução .....	1
1.1	Apresentação da Proposta de Trabalho.....	1
1.2	Estudo e Desenvolvimento do Projecto Final.....	3
1.3	Organização e Temas Abordados na Presente Dissertação.....	4
2	Caracterização do projecto .....	5
2.1	Passado/História do Projecto .....	5
2.2	Objectivos do Projecto .....	8
2.3	O Universo de Twin Paradox: A Narrativa.....	10
2.4	Influências.....	11
2.5	Pesquisa Efectuada para a Pré-Produção do Projecto .....	14
3	Revisão do Estado da Arte .....	17
3.1	Introdução à Geologia.....	17
3.1.1	A Origem da Terra .....	17
3.1.2	O Ciclo das Rochas .....	20
3.1.3	Propriedades das Rochas.....	23
3.1.4	Erosão e Intemperismo.....	26
3.2	Computação Gráfica .....	35
3.2.1	O que é a Computação Gráfica? .....	35
3.2.2	Limitações e Soluções.....	42
4	Criar o Mundo de Twin Paradox .....	53
4.1	Pré-Produção .....	53
4.2	Construção das Estruturas Geológicas.....	56
4.2.1	O Terreno .....	56
4.2.2	Desfiladeiros.....	62
4.2.3	Pedras .....	68
4.2.4	Restantes Elementos do Cenário .....	72
4.3	Produção do Vídeo .....	75
4.3.1	Implementação das Personagens e Ferramentas .....	75
4.3.2	Motion Capture .....	77
4.3.3	Construção das Cenas .....	79
4.3.4	Som e Edição .....	80
5	Conclusões Finais .....	82
	Referências e Bibliografia .....	84

## 1 Introdução

### 1.1 Apresentação da Proposta de Trabalho

Graças à flexibilidade do mestrado de animação por computador, foi possível escolher como projecto final a criação de um videogame em vez da mais tradicional curta-metragem de animação 3D. Este projecto intitula-se “Twin Paradox”. Trata-se de um videogame de ficção científica que de uma forma geral tem por objectivo fazer o jogador passar pela experiência de estar perdido num planeta alienígena. É um jogo de aventura em primeira pessoa onde o jogador terá de explorar o cenário à procura de recursos para sobreviver na natureza hostil de um planeta que desconhece. O formato do jogo é descrito com mais pormenor no capítulo 2.2. No entanto é importante salientar que este projecto final de mestrado é apenas uma demonstração jogável, e não o produto final na sua totalidade. Trata-se de uma prova de conceito. É um trabalho realizado em grupo, que para além do autor contou com a participação da colega Joana Pinho e da colega Sofia Simões (Aluna do 2º Ano do mestrado em *design* de som).

O enredo e mecânica do jogo podem ser resumidos da seguinte forma: No futuro, um grupo de cientistas desenvolve tecnologia de teletransportação. Matt Lightspear, piloto marciano, é chamado para fazer parte da viagem inaugural. Ele e uma tripulação de seis conduzem uma nave para o interior da máquina de teletransportação em órbita de Marte tendo a Terra como destino. Contudo eles acabam por ser transportados não para a Terra mas para a órbita de um planeta desconhecido. Matt perde controlo da nave e acaba por se despenhar na superfície rochosa deste misterioso planeta. Para além dele, apenas a jovem cientista Paige Lenora sobrevive ao acidente. No entanto Paige fica gravemente ferida e precisa de cuidados médicos com urgência. Felizmente encontram-se na posse de tecnologia de ponta, uma fábrica molecular portátil. Esta ferramenta define o jogo tematicamente e a nível de jogabilidade. Com ela o jogador dispõe da possibilidade de criar e fazer cópias de qualquer objecto, bastando para isso reunir os elementos químicos necessários. Esta recolha de materiais é uma das chaves da jogabilidade. O jogador terá que explorar o cenário à procura de fontes ricas de elementos como ferro, alumínio, carbono, entre outros. Contudo as personagens encontram-se num mundo hostil cheio de predadores e outros perigos. A sobrevivência não será garantida. Ocorre aos personagens usar a fábrica molecular em casos extremos. Caso um deles seja morto, será possível fazer uma cópia idêntica do seu corpo, e assim ressuscitar o personagem.

Esta característica não só define as regras do jogo, como será parte da problemática narrativa do jogo, levantando questões morais. Para uma descrição mais aprofundada da narrativa ver o ponto 2.3.

Um dos objectivos para este projecto é que toda a experiência seja credível e tão cientificamente correcta quanto possível. A pesquisa para a criação dos ambientes do planeta é portanto uma prioridade. O primeiro nível do jogo é principalmente caracterizado por desfiladeiros, grutas, quedas de água, estruturas cristalinas e precipícios. Estas qualidades conduzem ao tema central desta dissertação, a criação de estruturas geológicas para videojogos. Tal como um bom pintor precisa conhecer as propriedades físicas da luz, alguém que pretende recriar rochas, deve ter conhecimento dos processos geológicos da natureza, pois a geologia é a base fundamental para a criação de qualquer ambiente natural. Nesta dissertação é feito um estudo da origem das rochas e das suas principais propriedades físicas. A grande variedade de formas e texturas que as rochas exibem pode ser compreendida através de um estudo das acções que estão por detrás da sua origem e dos processos que as continuam a transformar ao longo do tempo. Esse conhecimento irá possibilitar resultados mais convincentes na fase de criação dos modelos.

Existem uma série de etapas na construção de conteúdo 3D por computador. No caso específico dos videojogos é necessário ter em atenção uma série de técnicas que permitem superar algumas das suas limitações. Trata-se de uma indústria que têm evoluído drasticamente a nível de tecnologia e a cada ano surgem novos métodos que tiram partido de computadores cada vez mais poderosos. É importante conhecer como esses métodos se alteraram ao longo dos anos para estar a par das técnicas mais recentes.

Para melhor interiorizar todo este conhecimento técnico e científico, este é posto à prova ao longo do desenvolvimento de diversas estruturas geológicas para o projecto “Twin Paradox”. A análise da construção de modelos 3D de rochas é uma parte fundamental do desenvolvimento do projecto final. Serão explicados os métodos de modelação e de texturização e por fim como implementar esses modelos no jogo.

## 1.2 Estudo e Desenvolvimento do Projecto Final

O projecto “Twin Paradox” é um videjogo que tem vindo a ser desenvolvido desde 2005. A primeira versão do jogo era bastante diferente do que é agora e todo o trabalho produzido para essa versão de uma forma ou de outra foi descartado. No entanto a nível narrativo e temático o projecto manteve-se consistente e isso possibilitou um avanço na fase de pré-produção para o projecto final de mestrado. Como já tinha sido decidido com bastante antecedência qual seria o tema do projecto foi possível desenvolver conteúdo durante os meses de verão de 2011. Assim, no início do primeiro semestre do mestrado de Animação por Computador, já se possuía trabalho realizado a nível de escrita de argumento, desenhos conceptuais, *storyboards*, e mesmo testes realizados no motor do jogo, o programa que permite criar o jogo em si. O plano seria utilizar um novo motor de jogo que estava previsto ser lançado no final de Agosto de 2011 para realizar uma demonstração de prova de conceito. Iríamos desenvolver uma demonstração jogável e um vídeo promocional. Na nossa calendarização foram dedicadas algumas semanas do início do primeiro semestre para aprender a utilizar o *software*.

A escrita da documentação de *design* do jogo continuou pelo semestre dentro à medida que se iam ajustando os parâmetros de jogabilidade. A nível de produção foi definido realizar a construção do cenário principal dentro do primeiro semestre. Seria um ambiente natural principalmente marcado por estruturas geológicas. Essa característica ligou o projecto directamente com o tema da dissertação. Ainda dentro do primeiro semestre surgiram alguns contratempos devido à falta de documentação do *software* utilizado. O local onde isso afectou mais o projecto foi na importação de personagens com animações para o motor.

No segundo semestre o projecto foi focado mais no desenvolvimento da parte do vídeo promocional. Reestruturou-se a calendarização para ter em conta os atrasos que surgiram. Em Fevereiro a prioridade foi garantir que as personagens eram importadas correctamente para o motor de jogo. Em Março foram capturadas todas as animações no estúdio de captura de movimentos. No mesmo mês essas animações foram implementadas nas personagens e no motor de jogo. Até ao final de Abril desenvolveu-se o resto dos elementos necessários para o vídeo promocional, incluindo todo o tratamento de som e de pós-produção de vídeo.

### 1.3 Organização e Temas Abordados na Presente Dissertação

No capítulo 2 é feita a caracterização do projecto final através de cinco pontos distintos. Primeiramente é feita uma descrição do passado do projecto, que motivos estiveram por detrás da sua origem e como este evoluiu até ao presente momento. De seguida são delineados quais os objectivos que se pretendem com a criação do projecto final e como estes se relacionam com o tema da dissertação. É também feito um resumo da temática e da narrativa presente no projecto e descritas as influências principais. O capítulo termina com uma descrição da pesquisa elaborada para a fase de pré-produção do projecto.

O capítulo 3, denominado de revisão do estado da arte, encontra-se dividido em dois pontos principais. O primeiro é dedicado a uma análise dos elementos da geologia que serão relevantes para o tema da dissertação. Faz-se um resumo da história da Terra, explica-se o ciclo das rochas, faz-se uma descrição dos três tipos de pedras que existem e analisa-se de que modo a erosão as afecta. A segunda parte deste capítulo é dedicada à geração de imagens por computador. É feito um breve resumo desta arte, faz-se uma comparação entre os métodos utilizados em cinema e em videojogos, e explora-se de que modo se pode tirar partido de algumas técnicas para ultrapassar as limitações gráficas dos videojogos.

O capítulo 4 funciona como um relatório de produção do projecto. A divisão do capítulo é feita mediante as três etapas de produção. A pré-produção, a produção e a pós-produção. Os pontos levantados no capítulo anteriores são postos à prova através de uma análise do processo de criação de rochas para videojogos da sua concepção até à sua implementação final no projecto “Twin Paradox”.

O capítulo 5 termina a dissertação com uma análise reflectiva dos pontos anteriores e também do desenvolvimento do projecto final. As conclusões finais serão aqui expostas e também serão detalhadas algumas perspectivas futuras.

## 2 Caracterização do projecto

### 2.1 Passado/História do Projecto

Este videojogo em particular é uma ideia que já existe há vários anos. Por volta de 2003 surgiu a ideia de uma história para um filme sobre um grupo de astronautas que se despenham na superfície de um misterioso planeta alienígena. Como uma produção cinematográfica dessa envergadura estava longe das capacidades de um adolescente, seria necessário encontrar uma alternativa para dar vida a esta história. Foi então que no início de 2005, com a ajuda de um programador, Francisco Araújo, deu-se início à criação deste novo jogo. Chamava-se “Twin Paradox” e contava com um aspecto 2D de baixa resolução. O género em que o jogo se inseria denomina-se na indústria por jogo de aventura *point & click*. Este estilo de jogo caracteriza-se por deixar de lado a acção física em prol de uma jogabilidade mais centrada na narrativa e na resolução de problemas mentais. Inicialmente os cenários e personagens eram desenhados e pintados à mão.

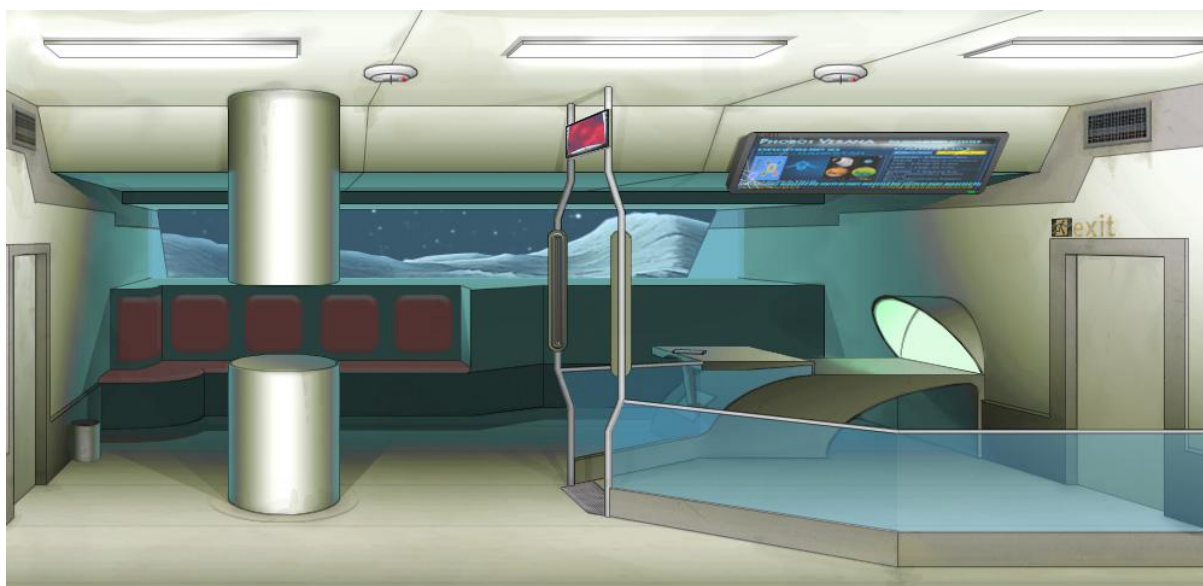


Figura 2.1 – Cenário 2D da versão de 2005 do projecto “Twin Paradox”.

Isto revelou-se ser um processo moroso pois um cenário levava cerca de uma semana a ser concluído devido às dificuldades de desenhar em perspectiva. Procurando formas de acelerar o processo surgiu a ideia de tentar usar *software* de geração de imagens 3D. O plano seria usar esse *software* apenas para delimitar alguns objectos geométricos simples que serviriam de suporte para o desenho em perspectiva. Ao explorar as potencialidades deste programa 3D apercebemo-nos rapidamente do poder de uma ferramenta destas. Decidimos recomençar o projecto, desta vez com imagens totalmente geradas em 3D. (É importante

mencionar que embora as imagens fossem geradas em 3D, eram apenas imagens, e o jogo continuava na sua essência uma experiência 2D). Através da ajuda de tutoriais contidos na documentação do programa, foi possível aprender as bases da modelação, texturização e iluminação em 3D.



Figura 2.2 – Cenário 3D da versão de 2005 do projecto “Twin Paradox”.

Visualmente, o resultado talvez não fosse tão interessante como os desenhos, mas a nível de produção era possível criar um cenário em apenas dois dias. Fez-se muito progresso nesse primeiro ano, mas o projecto era ambicioso demais para apenas duas pessoas. Embora se tenha produzido bastante conteúdo, no final não era mais do que 10% do que seria necessário para concluir a história que se tinha em mente. Com o passar do tempo, devido à dificuldade de gerir o tempo entre o jogo e as aulas, a produção foi suspensa.

Passaram-se alguns anos mas as ideias para o jogo continuaram a evoluir. Evoluíram de tal modo que o formato 2D e o género *point & click* já não se justificavam. A nova versão exigia um formato verdadeiramente tridimensional e uma perspectiva na primeira pessoa. Uma vez mais tornou-se uma produção demasiado grande para um par de pessoas. Mas devido à velocidade com que os computadores evoluem cada vez mais o *hardware* ficava mais rápido e o *software* mais potente e acessível. Bastava esperar poucos anos para que o *software* das grandes empresas de jogos se tornasse acessível ao público em geral. Por volta dessa altura, dando início ao curso em Som e Imagem na Universidade Católica Portuguesa, os próximos 5 anos seriam dedicados ao curso e poderia continuar-se a desenvolver o “Twin Paradox” apenas a nível de história e de ideias. Entretanto, no terceiro ano da licenciatura surgiu a oportunidade de poder voltar a desenvolver um videojogo na cadeira de Projecto

Artístico. Desta vez a equipa tinha crescido em um elemento com a adição da colega Joana Pinho. Desenvolveu-se um novo jogo durante o ano de 2009/2010 chamado "Fusebox".



Figura 2.3 – "Fusebox" (Barbosa, Pinho, & Araújo, 2010).

Este projecto revelou-se uma experiencia de aprendizagem extremamente valiosa e cimentou o nosso desejo de continuar a desenvolver videojogos.

Terminando a licenciatura, demos início ao mestrado de animação por computador, dedicando-nos ao projecto de grupo do primeiro ano. Entretanto tínhamos já uma ideia do que queríamos fazer para o projecto final no segundo ano. Até este momento reunimos uma lista extensa de ideias para o "Twin Paradox", e como não possuíamos ainda os meios para as concretizar, achamos que deveria ser feito um vídeo *mock-up*<sup>1</sup> de como o jogo seria. Usaríamos as técnicas de animação que tínhamos aprendido até então para falsear um vídeo que promovesse as ideias chave do jogo. A ideia seria usar esse vídeo como prova de conceito para angariar fundos ou recrutar mais elementos para a equipa após concluir o mestrado. No entanto, antes que o primeiro ano terminasse, surgiu uma notícia de que o mais recente motor de jogos da *Crytek*<sup>2</sup>, o *CryEngine 3*<sup>3</sup>, seria lançado brevemente para o público numa versão

<sup>1</sup> *Mock-up* refere-se a um modelo de um projecto com a sua funcionalidade falseada apenas para motivos de demonstração.

<sup>2</sup> <http://www.crytek.com/>

<sup>3</sup> <http://www.crytek.com/cryengine>

gratuita. Era a ferramenta pela qual tínhamos esperado. Encaixava perfeitamente nas necessidades do “Twin Paradox” e surgiu no momento ideal.

Como prometido pela *Crytek*, a empresa responsável pelo *CryEngine 3*, este foi lançado em Agosto de 2011, dando algum tempo para nos familiarizar com o programa antes de iniciar o último ano do mestrado. Embora a tecnologia tenha-se tornado mais acessível como previsto, continuava a ser um esforço que exigiria tudo de nós a nível técnico e artístico. Contudo a própria equipa também tinha evoluído muito nestes últimos anos e sentimos que estávamos à altura do desafio. Uma vez mais seria um trabalho de grupo. Decidimos manter a ideia de um vídeo promocional de prova de conceito. A diferença seria que não haveria qualquer tipo de falseamento, o jogo seria real. Propomo-nos a desenvolver uma demonstração jogável para PC. Um nível apenas que demonstrasse o essencial.

Ao longo de todos estes anos a ideia central manteve-se intacta. Queríamos contar uma história onde o objectivo era deixar o jogador viver a experiência de estar perdido num planeta distante.

## 2.2 Objectivos do Projecto

Como já foi referido na introdução, este projecto final de mestrado é um vídeo de prova de conceito para um jogo de computador a ser continuado no futuro. Trata-se de uma demonstração que permite exhibir as principais qualidades do projecto. Dentro deste contexto falar-se-á principalmente das características relevantes ao vídeo e protótipo e não do jogo na sua totalidade.

“Twin Paradox” é um jogo de ficção científica em primeira pessoa que possui elementos de aventura e de *role-playing game*. Estes são termos que possuem conotações específicas dentro da indústria dos videojogos. Um jogo em primeira pessoa significa que a perspectiva usada tenta simular a de uma pessoa real, ou seja, a câmara é colocada na posição dos olhos da personagem. É um formato que possui uma série de vantagens para se criar uma experiência imersiva. Na grande maioria dos casos é um estilo que é usado em jogos de acção. São os chamados FPS’s ou *first-person-shooters*. Neles, o objectivo é o de disparar sobre os inimigos utilizando armas de fogo e evitar ser atingido. Desde que foram primeiro

popularizados em 1993 pelo jogo “DOOM” da Id software<sup>4</sup>, os FPS’s pouco mudaram a nível de mecânica.

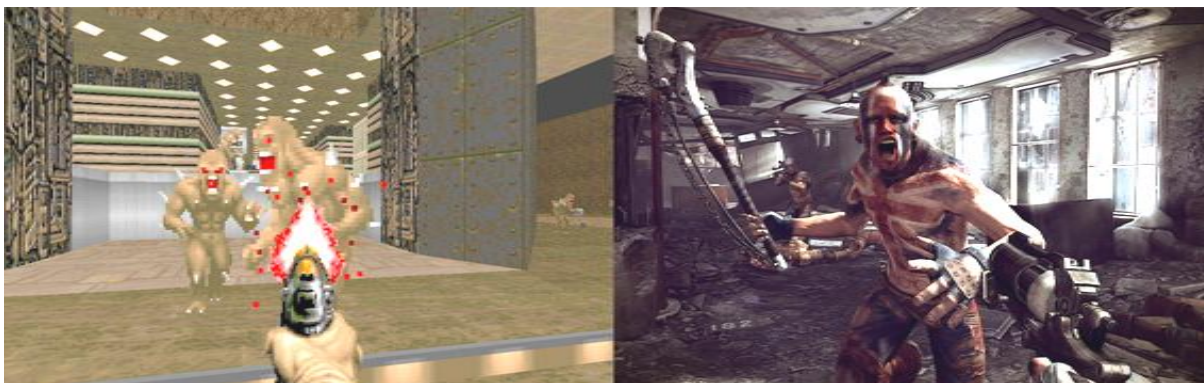


Figura 2.4 – Doom<sup>5</sup> (Id Software, 1993) à esquerda e Rage<sup>6</sup> (Id Software, 2011) à direita. Ambos os jogos da Id software, separados por 18 anos de diferença.

O género seguinte mencionado denomina-se de jogo de aventura. Embora aventura seja um termo abrangente, no contexto dos videojogos descreve um estilo bastante específico. No género de aventura encaixam-se jogos que são fortemente focados na narrativa e na resolução de puzzles deixando de lado o combate. Por fim, os *role-playing games* ou RPGs são jogos onde a personagem que o jogador encarna vai evoluindo certas capacidades ao longo do jogo dependendo das decisões tomadas. O jogador pode assim adaptar a sua personagem para um estilo de jogo que seja da sua preferência. “Twin Paradox” reúne qualidades de todos estes géneros. É um híbrido de jogo de aventura, de FPS e de RPG.

A história do jogo transporta o jogador por uma série de ambientes diversos, desde desertos a lagos, de florestas a ruínas de civilizações alienígenas. Para este protótipo foi decidido que o segundo capítulo na história seria o mais apropriado de se desenvolver. Esse nível é caracterizado por um ambiente montanhoso com grandes desfiladeiros, rios que recortam curvas na rocha, quedas de água, cavernas, e corredores estreitos formados por paredes altas de pedra. No início do nível, após a nave se despenhar, o jogador está livre para explorar este cenário. Para poder sobreviver terá que examinar bem os recursos que existem disponíveis. Existem minérios valiosos embutidos nas rochas que será necessário extrair de forma a utilizá-los como recursos na fábrica molecular. Na introdução desta dissertação a fábrica molecular foi descrita como uma máquina capaz de materializar qualquer objecto. Trata-se de um mecanismo que é capaz de analisar a estrutura atómica de um objecto, e que

<sup>4</sup> <http://www.idsoftware.com/> [02-09-2012]

<sup>5</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://www.droiddog.com/wp-content/uploads/2010/11/doom2-550x412.jpg>

<sup>6</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://www.nofrag.com/2010/jun/15/34867/>

de seguida pode criar cópias idênticas, molécula a molécula. Contudo ela necessita dos materiais brutos para trabalhar. Muitos deles são abundantes e de fácil acesso tal como carbono, mas outros como titânio vão exigir uma procura mais extensiva por parte do jogador.

A vários níveis a criação deste jogo envolveu uma forte vertente de pesquisa científica, e como podemos ver, as ciências do estudo das pedras foram de particular importância para este projecto. Uma vez mais, o tema desta dissertação é a concepção de estruturas geológicas para videojogos. É importante conhecer que tipos diferentes de pedras existem, e que processos estão por detrás da sua origem. Que particularidades as distinguem a nível de forma, cor e textura? Que processos as transformam ao longo do tempo e quais os resultados? Estas são questões que irão ajudar a criar um mundo visualmente credível.

Contudo há uma série de particularidades que é necessário ter em conta quando se cria conteúdo para videojogos. Existem limitações que obrigam os criadores a estabelecer um compromisso entre qualidade e rapidez. Fala-se de qualidade relativamente ao nível de detalhe dos objectos. Quanto mais detalhado for um modelo 3D, mais este vai exigir capacidade de processamento por parte do computador. Um jogo acima de tudo precisa de responder rapidamente e fluidamente aos comandos do jogador, e a fidelidade visual torna-se uma prioridade secundária relativamente a isso. Porém existem várias técnicas que possibilitam extrair o máximo de qualidade possível sem comprometer a fluidez do jogo. Para esta dissertação, essas técnicas são analisadas e postas à prova na criação de estruturas geológicas para os cenários do jogo. Este estudo é feito no âmbito do projecto “Twin Paradox”, mas a informação contida é suficientemente abrangente para servir como guia prático para a criação de rochas virtuais em variados contextos.

### **2.3 O Universo de Twin Paradox: A Narrativa**

Na segunda metade do século XXI a humanidade esforça-se para tentar sobreviver à sua adolescência tecnológica. O desenvolvimento de novas tecnologias é regulado com extrema precaução. As guerras deste tempo são para prevenir que certas tecnologias caiam nas mãos erradas. A revolução nano tecnológica alterou a percepção da realidade que os homens conheciam, e eles temem perder a sua humanidade. Manipulações genéticas são apenas permitidas no combate a doenças e acidentes. O desenvolvimento de inteligência artificial é proibido.

No entanto existem aqueles que acreditam que se está apenas a adiar o inevitável. A missão da nossa espécie é dar início ao próximo paradigma de evolução do universo mesmo que isso signifique o nosso fim.

Longe dos governos terrestres, uma empresa em Marte tem andado a explorar secretamente algumas dessas tecnologias banidas. Fábricas moleculares, nano máquinas que aperfeiçoam os sentidos humanos e mesmo inteligência artificial. Um dos projectos principais desta empresa é criar um teletransportador capaz de transportar pessoas à velocidade da luz entre a Terra e Marte. A tecnologia por detrás do teletransportador envolve um *scanner* que capta toda informação atómica do objecto, um desmolecularizador que o desintegra instantaneamente, e uma fábrica molecular que reconstrói o objecto com fidelidade atómica num outro local.

Um dia, um teste é feito onde uma nave com seis tripulantes é teletransportada com destino à Terra. A viagem parece ter corrido sem percalços, mas Matt Lightspear, o piloto, apercebe-se rapidamente que o planeta que observa pela janela da nave não é a Terra. Sem compreenderem como, a equipa encontra-se em rota de colisão com um planeta alienígena. Acabam por se despenhar violentamente na superfície rochosa. Agora vão ter de aprender a sobreviver neste mundo misterioso para desvendarem os seus segredos e possivelmente um dia regressarem a casa.

## 2.4 Influências

Embora “Twin Paradox” conte já com vários anos de desenvolvimento, na sua essência manteve-se fiel às suas origens. Existe uma influência em particular que se destaca acima de todas as outras pois foi uma inspiração directa para a sua criação. Trata-se de um videojogo de aventura chamado “The Dig” (Lucasarts, 1995). Nele, também seguimos as aventuras de um grupo de astronautas que se vêm perdidos num planeta alienígena. Não se trata apenas de uma influência narrativa, visualmente o jogo distingue-se pelos seus ambientes maioritariamente rochosos e de cariz geométrico. A variedade de estruturas geológicas caracterizadas pelos seus formatos exóticos define a identidade visual do jogo.



Figura 2.5 – Imagens de The Dig (Lucasarts, 1995). (Montagem de imagens e captura feita pelo autor.)

Acima de tudo a principal influência que o “The Dig” (Lucasarts, 1995) teve neste projecto foi a nível do ambiente que pretende criar. Sean Clark, o director do “The Dig”, descreve no manual do jogo qual foi a sua intenção ao desenvolver o jogo.

“I decided early on that the game should be more than a story on an alien world—it should be a story *in* an alien world. That is, you should be immersed (as well as can be done with current technology) in an alien environment. Toward that end, we tried to push every aspect of the game as hard as we could. Music and sound design go way beyond the usual "filler" and off-the-shelf sound effects. The full-digital music, ambient noises and sound effects play an important role in setting the mood and feel of the environment.” (Clark, 1995)

Os objectivos aqui expressos reflectem aquilo que também é desejado para o “Twin Paradox”. Nenhum projecto vive apenas de uma só influência, muito menos um com uma pré-produção tão longa como este. No campo do cinema destaca-se o “Forbidden Planet” (Wilcox, 1956) e o “2001: Odisseia no Espaço” (Kubrick, 1968) Ambos são marcos da ficção científica mas em termos de execução são praticamente pólos opostos.



Figura 2.6 – Forbidden Planet<sup>7</sup> (Wilcox, 1956)

“Forbidden Planet” praticamente define o estilo *retro* da ficção científica dos anos 50 com as suas naves em forma de disco voador, os cenários exteriores filmados em estúdio com panos de fundo pintados à mão, os *robots* interpretados por actores vestidos em fatos grosseiros entre outros elementos que consideramos hoje como clichés característicos da altura. Outrora essas qualidades eram vistas como inovadoras. A própria banda sonora do filme foi a primeira a ser totalmente electrónica e para além disso tratava-se de música atonal e sem melodia composta por sons computadorizados que hoje em dia descrevemos como evocadora de ambientes espaciais. Este filme foi uma grande influência estética no que toca à criação de ambientes de mistério e estranheza relativamente a um planeta desconhecido.



Figura 2.7 – 2001: A Space Odyssey<sup>8</sup> (Kubrick, 1968)

<sup>7</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://departments.rwu.edu/theatre/current/indexcurrent.htm>

<sup>8</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: [http://www.thefilmframes.com/2001\\_a\\_space\\_odyssey/](http://www.thefilmframes.com/2001_a_space_odyssey/)

Do lado oposto do espectro está “2001: Odisseia no Espaço”. O crítico de cinema norte-americano Emanuel Levy diz o seguinte acerca do filme: “The most influential sci-fi film ever made, 2001 caused culture shock when released, forever changing the conventions, style, and prestige of the previously debased genre.” (Levy, 2000) Até então a ficção científica nunca tinha sido levada a sério pelo cinema, mas o realizador Stanley Kubrick tinha o objectivo de alterar esse estigma. O filme é celebrado pela sua exactidão científica. No vácuo do espaço não existe ar, e por isso não existe propagação de som. Também não existe gravidade dentro das naves. Ao contrário de outros filmes, 2001 não tenta ultrapassar o problema justificando-o com tecnologia de gravidade artificial. As técnicas usadas são soluções reais como salas cilíndricas que rodam sobre si para gerar força centrípeta mantendo os tripulantes fixos ao chão e simulando assim o efeito da gravidade.

Muitos diriam que o cinema tem como principal função entreter o público, e que esta atenção ao realismo apenas irá prejudicar a experiência, tornando-a mais maçadora para o espectador. Não é um argumento sem validade, mas de outro ponto de vista, a ficção científica é um género que tem elementos do imaginário e do fantástico, tal como o género da fantasia, mas que ao contrário desta esses elementos são fundamentados na nossa realidade. Isto significa que as histórias de ficção científica se forem bem fundamentadas, podem um dia reflectir a realidade. Essas histórias para além de cativarem a nossa imaginação, são também mensagens de alerta para os perigos da tecnologia, e também para as suas vantagens. 2001 é portanto uma grande referência para “Twin Paradox” pois mostra-nos a importância do realismo.

## **2.5 Pesquisa Efectuada para a Pré-Produção do Projecto**

Tematicamente este projecto contou com anos de pesquisa para a pré-produção. A estética visual exigiu muita exploração de arte conceptual tanto para os personagens como para os cenários. Foi feita uma recolha extensiva de imagens de referência. Possuímos uma base de dados com mais de 2000 imagens.

Para garantir a realismo científico da história, sempre que surgia uma nova ideia, era feita uma pesquisa *online* para confirmar se essa ideia era possível. Muitas vezes, dessa pesquisa surgiam novas ideias inspiradas nas leituras feitas. Por vezes as dúvidas que pretendiam-se esclarecer eram demasiado específicas para serem resolvidas com uma

pesquisa em sites como o wikipédia<sup>9</sup>. Nessas ocasiões as questões eram colocadas directamente em fóruns de conversa especializados no tema. Numa ocasião foi necessário esclarecer uma dúvida de astronomia relativamente a ciclos de dia e noite em planetas que se encontram fixos por acoplamento de maré à sua estrela. No fórum *online* “www.physicsforums.com” foi colocada a questão<sup>10</sup> na secção de astrofísica, e após uma conversa estimulante não só foi resolvida a dúvida como outros elementos surgiram que acabaram por contribuir positivamente para o enredo do jogo. Contudo, em certas ocasiões a melhor solução seria mesmo fazer experiências em programas de simulação. Para a criação de um sistema solar estável que possibilitasse vida num dos planetas utilizou-se um *software* chamado UniverseSandbox<sup>11</sup>. Este *software* permite criar e manipular sistemas de estrelas e planetas simulando o efeito da sua interacção com física correcta.

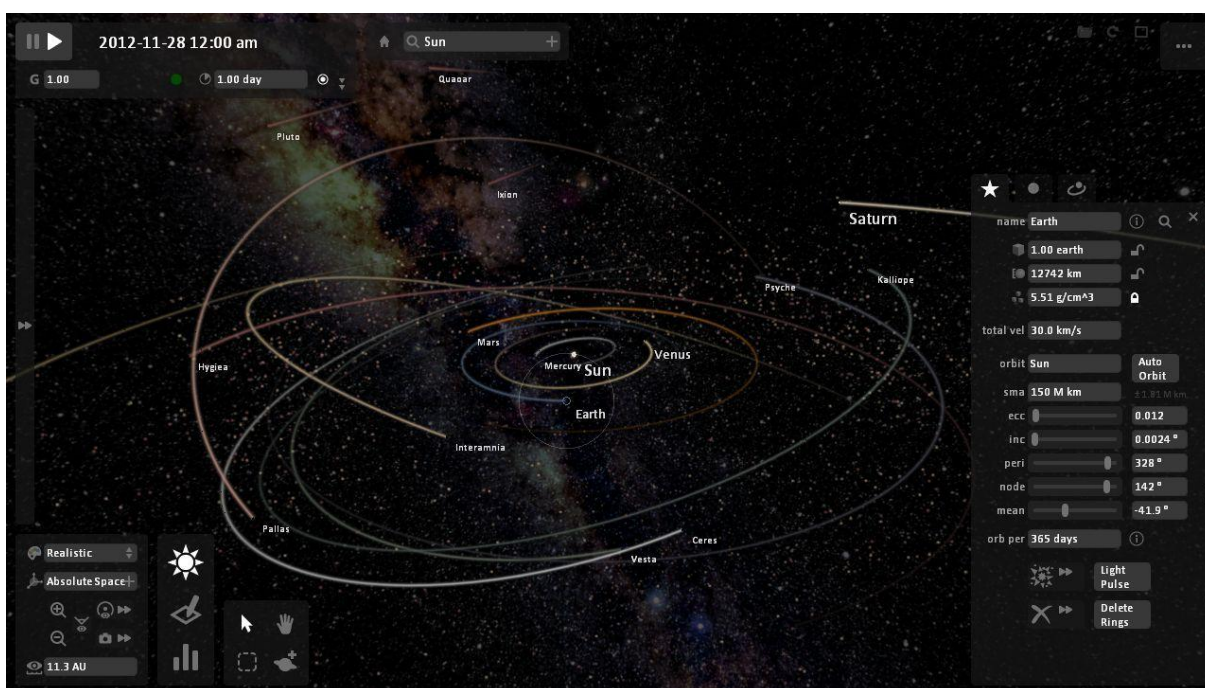


Figura 2.8 – Screenshot de Universe Sandbox.

O enredo exigia um sistema invulgar com um buraco negro no seu centro. À volta deste orbitava uma estrela anã vermelha que completava uma orbita em apenas 12 horas. O nosso planeta teria de orbitar à volta destes dois simultaneamente. Foi um processo delicado conseguir formar um sistema estável com esta configuração, mas graças ao uso do simulador foi verificado que se tratava de um sistema possível de existir na realidade.

<sup>9</sup> <http://www.wikipedia.org/> [02-09-2012]

<sup>10</sup> <http://www.physicsforums.com/showthread.php?t=529585> [02-09-2012]

<sup>11</sup> <http://universesandbox.com/> [02-09-2012]

Relativamente à pesquisa técnica, o maior esforço foi atribuído à aprendizagem do software CryEngine 3. Meses antes de ser iniciado o primeiro semestre do último ano de mestrado, já tinha sido projectado para o projecto que seria utilizado este *software*, contudo este só seria lançado no final de Agosto de 2011. Para tirar maior proveito das férias de verão adquiriu-se a versão anterior do programa, o CryEngine 2 para ir aprendendo as funcionalidades principais. Chegando ao mês de Agosto fez-se a passagem para o CryEngine 3 sem percalços devido à semelhança entre as duas versões. Dentro do programa foi necessário adquirir conhecimentos relativamente aos métodos de: construir terrenos, iluminação, texturização, importação de modelos feitos em programas externos como o “Maya”<sup>12</sup> e programação. Como o *software* tinha sido recentemente lançado não existiam tutoriais oficiais que apoiassem a aprendizagem, contudo foi fácil descobrir a informação necessária através de vídeos produzidos por amadores em canais como o YouTube<sup>13</sup>. Quando surgiam dúvidas recorreu-se aos fóruns oficiais da Crytek dedicados ao desenvolvimento de jogos independentes, o crydev.net<sup>14</sup>. Aqui as nossas questões podiam ser resolvidas com a ajuda de utilizadores mais experientes ou mesmo funcionários da Crytek.

---

<sup>12</sup> <http://usa.autodesk.com/maya/> [02-09-2012]

<sup>13</sup> <http://www.youtube.com> [02-09-2012]

<sup>14</sup> <http://www.crydev.net/viewtopic.php?f=325&t=76155> [02-09-2012]

### 3 Revisão do Estado da Arte

No contexto do desenvolvimento de estruturas geológicas para videogames, este capítulo será iniciado com uma breve descrição dos principais conceitos e elementos da área da geologia. Começando com um resumo da origem da Terra e os processos envolventes na sua criação, passando para uma análise do ciclo das rochas e uma descrição dos três tipos de pedras que existem. Ainda dentro do tema da geologia será importante examinar quais os principais processos de erosão e intemperismo que existem e quais os resultados da sua acção nos diferentes tipos de pedras.

Na segunda parte deste capítulo será abordado o tema da geração de imagens por computador. Após um breve resumo da história dos gráficos de computador, será feita uma análise dos processos que permitem aos videogames superarem as suas limitações de modo a atingirem resultados visuais de maior fidelidade.

#### 3.1 Introdução à Geologia

A geologia é a ciência que estuda o planeta Terra do ponto de vista da sua formação e composição. Procura-se com a geologia examinar os materiais que compõem a Terra e os processos que estão por detrás da sua origem e transformações. A geologia também pretende compreender o desenvolvimento da Terra ao longo do tempo, estabelecendo assim uma organização cronológica dos eventos que a modificaram, desde a sua origem até à sua presente forma (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 2).

##### 3.1.1 A Origem da Terra

Para contar a história do planeta Terra é necessário recuar no tempo até à origem do Universo. Há cerca de 13.7 mil milhões de anos surgiu uma súbita expansão de energia que deu origem ao espaço, ao tempo e à matéria. Esse evento denomina-se de *Big-Bang* e é o ponto de origem de tudo o que conhecemos. Originalmente o universo era composto quase exclusivamente por hidrogénio e hélio, os dois elementos mais leves. Devido à força da gravidade e ao arrefecimento do universo estes elementos começaram a acumular-se em nuvens de gás que se iam condensando em aglomerados cada vez mais densos e cada vez mais quentes. Quando atingiram uma certa densidade e temperatura iniciou-se o processo de fusão, dando origem a estrelas que emitiam luz própria. A fusão que ocorre no interior das estrelas é o processo que está por detrás de quase todos os elementos que conhecemos. O único próton existente num átomo de hidrogénio funde-se com outro para dar origem a um

átomo de hélio que possui dois prótons. À medida que as temperaturas sobem, mais pesados se tornam os elementos criados. O átomo de carbono possui seis prótons. Para formar elementos mais pesados como ferro e ouro as temperaturas necessárias só são possíveis no momento em que a estrela entra em colapso, formando uma explosão ultra violenta conhecida por super-nova. Todos os elementos que estavam contidos no interior da estrela são espalhados pelo espaço nessa explosão. O processo agora repete-se. Devido à atração da gravidade esses materiais voltam a unir-se em aglomerados cada vez maiores, que podem dar origem a novas estrelas e também a planetas. Há cerca de 4.5 mil milhões de anos foi isso que aconteceu no nosso sistema. O Sol a Terra e os restantes planetas do sistema solar formaram-se mais ou menos simultaneamente (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 20).

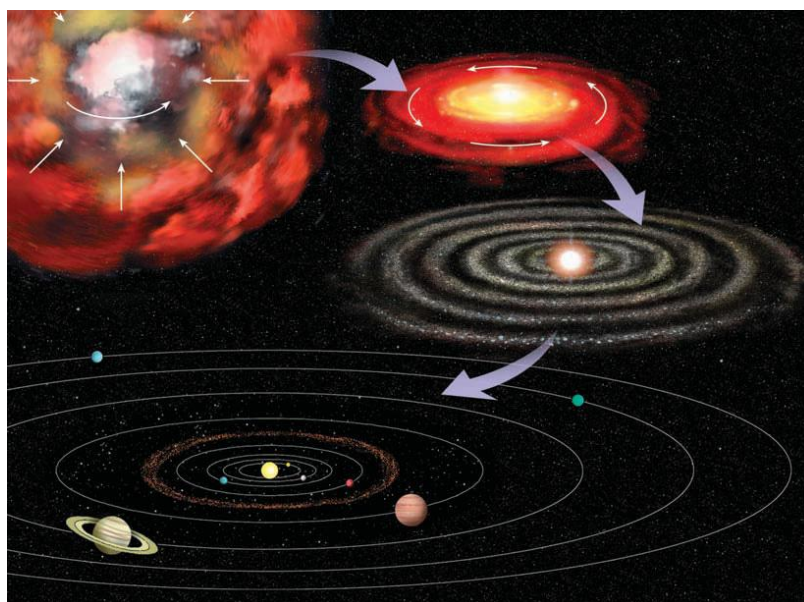


Figura 3.1 – Formação do sistema solar<sup>15</sup>.

O nosso sistema solar teve início numa nebulosa, um conjunto de poeiras e gases. Esses materiais contraíram-se para formarem um disco rotativo. O arrefecimento dessa nuvem levou a que materiais rochosos e metálicos se condensassem em pequenas partículas. Com o tempo essas partículas foram colidindo, formando corpos cada vez maiores como asteróides, e resultando finalmente em planetas. À medida que esses materiais se foram acumulando para formar a Terra, a temperatura desta aumentou consideravelmente devido aos impactos constantes de asteróides. Com o aumento da temperatura, metais como ferro e níquel começaram a derreter e afundaram-se para o centro da Terra. Outros materiais rochosos de menor densidade flutuaram para a superfície formando a crosta terrestre. Assim se separaram as diferentes camadas que formam o interior da Terra (Lutgens & Tarbuck, 2009, pp. 21-22).

<sup>15</sup> Imagem retirada do livro *Essentials of Geology* (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 21)

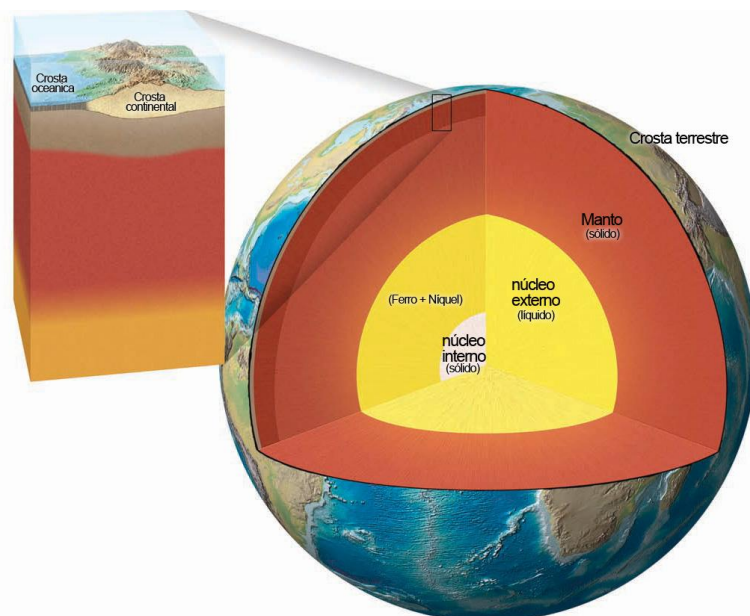


Figura 3.2 – Camadas do planeta Terra<sup>16</sup>.

No centro temos o núcleo interno (sólido), depois o núcleo externo (líquido). Estes dois são constituídos por metais. É devido aos movimentos do núcleo líquido externo que o nosso planeta possui o seu campo magnético. As camadas seguintes são o manto inferior e superior que são formadas principalmente por rochas de grande densidade. São camadas sólidas mas movem-se devido às elevadas temperaturas que dão ao material qualidades maleáveis. Por fim temos a camada superior da Terra, a crosta, que é definida por ser de dois tipos diferentes. Temos a crosta continental que tem em média cerca de 35 quilómetros de espessura e a crosta oceânica que em média tem 7 quilómetros de espessura (Lutgens & Tarbuck, 2009, pp. 23-24).

A Terra é um planeta dinâmico. Talvez isso não seja aparente durante o período de vida de um ser humano, mas numa escala de milhões de anos podemos ver como a superfície da Terra se altera constantemente. Os continentes como os conhecemos hoje tinham formatos e localizações bastante diferentes há milhões de anos atrás. A crosta terrestre está dividida em diferentes placas denominadas de placas tectónicas que se movem continuamente. Estas placas por vezes colidem, obrigando rochas a elevarem-se milhares de metros acima do nível do mar. A cordilheira dos Alpes, por exemplo, resultou da colisão da placa africana com a placa euro-asiática. É devido a este dinamismo que podemos encontrar na superfície terrestre a grande variedade de rochas que vemos. Grande parte das rochas são formadas sob grandes pressões subterrâneas e tornam-se visíveis apenas quando certas forças as fazem emergir (Lutgens & Tarbuck, 2009, pp. 28-34).

<sup>16</sup> Imagem retirada do livro “Essentials of Geology” (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 23) Tradução feita pelo autor.

### 3.1.2 O Ciclo das Rochas

Como vimos no subcapítulo anterior, a Terra é um sistema complexo em constante transformação. À escala humana as rochas parecem-nos fixas no tempo, constantes e imutáveis. No entanto podemos contemplar uma variedade exaustiva de diferentes tipos de pedras. Variam em formato, em escala, em cor e textura. Como podemos justificar tal variedade? Existe um processo cíclico que justifica toda a gama de rochas que encontramos no nosso planeta. Chama-se o ciclo das rochas. Este diz-nos que existem três tipos de rochas diferentes. São estas as rochas magmáticas (ou ígneas), as rochas sedimentares e as rochas metamórficas. Estes três grupos básicos de rocha estão sempre em mudança, transformando-se uns nos outros e reformando-se constantemente. A figura seguinte descreve o processo de transformações e as ligações entre os diferentes grupos (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 18).

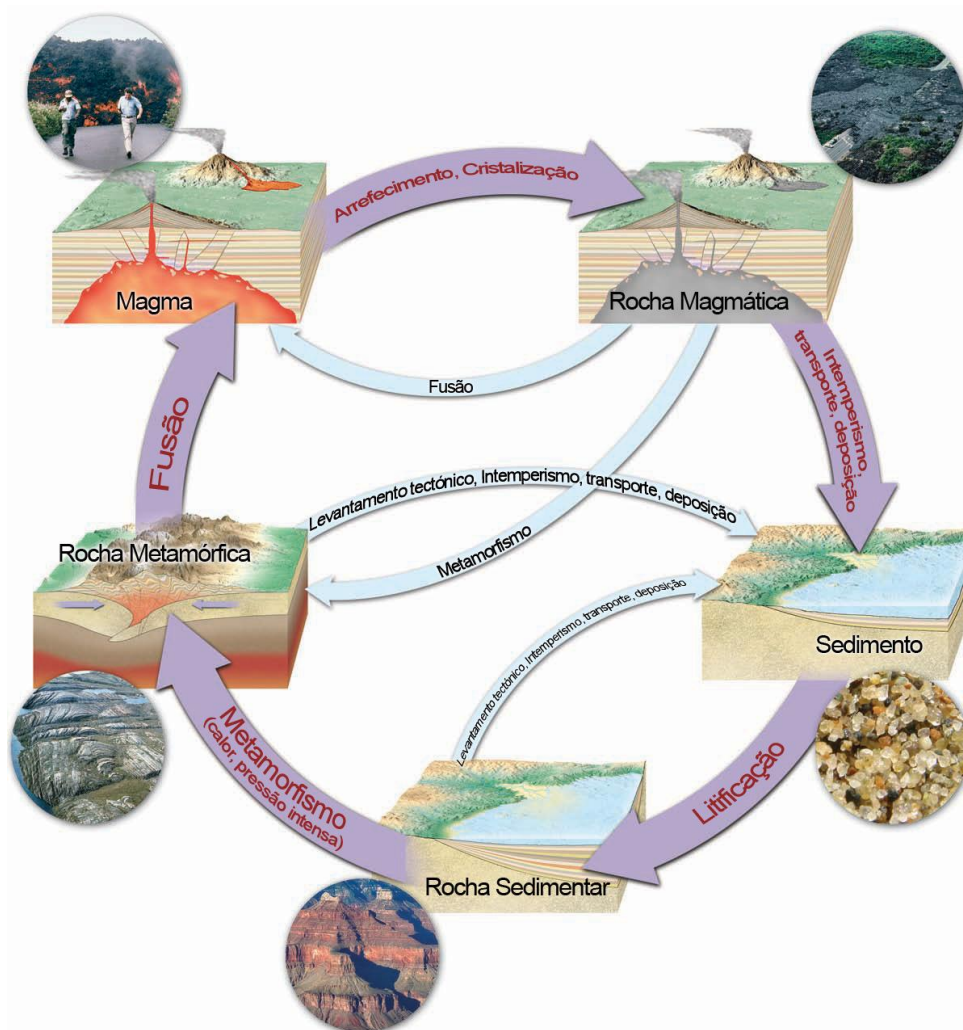


Figura 3.3 – Ciclo das rochas<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> Imagem retirada do livro “Essentials of Geology” (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 19) Tradução feita pelo autor.

Iniciamos o ciclo a uma grande profundidade onde podemos encontrar magma. O magma é um material formado principalmente por rocha em estado líquido devido às grandes temperaturas encontradas no subsolo da superfície terrestre. Quando este material arrefece passa por um processo chamado de cristalização, formando assim rocha sólida chamada de rocha magmática. Isto pode acontecer tanto no subsolo ou à superfície quando o magma se torna em lava ao ser expelido por um vulcão (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 20).



Figura 3.4 – Lava em estado líquido (à esquerda<sup>18</sup>) e rocha magmática (à direita<sup>19</sup>)

Essa nova rocha, agora encontra-se exposta aos elementos da superfície como o vento e a água. Pouco a pouco a acção desses elementos sobre a rocha (erosão) acabam por a desgastar, dando a origem a sedimentos que podem ser constituídos por seixos, areia ou pó. Esses sedimentos são transportados por rios ou pelo vento e acabam por ser depositados no fundo de zonas deprimidas da crosta continental ou oceânica. Pouco a pouco várias camadas de sedimentos vão-se formando umas em cima de outras. Estas vão-se compactando e acabam por formar rocha sedimentar através de uma série de processos chamados de litificação (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 20).

<sup>18</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://hitokirivader.deviantart.com/art/Cooling-Lava-7839911>

<sup>19</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://mayaocean.com/wp-content/2008/03/maya0308-061.jpg>



Figura 3.5 – Grand Canyon (à esquerda<sup>20</sup>) e rocha sedimentar (à direita<sup>21</sup>).

Em certos casos essa rocha sedimentar pode-se encontrar a grandes profundidades tornando-se exposta a níveis de pressão e temperatura extremas. A rocha vai então reagir a essas condições e transformar-se no terceiro tipo de rocha, a rocha metamórfica. Esse processo chama-se de metamorfismo (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 20).

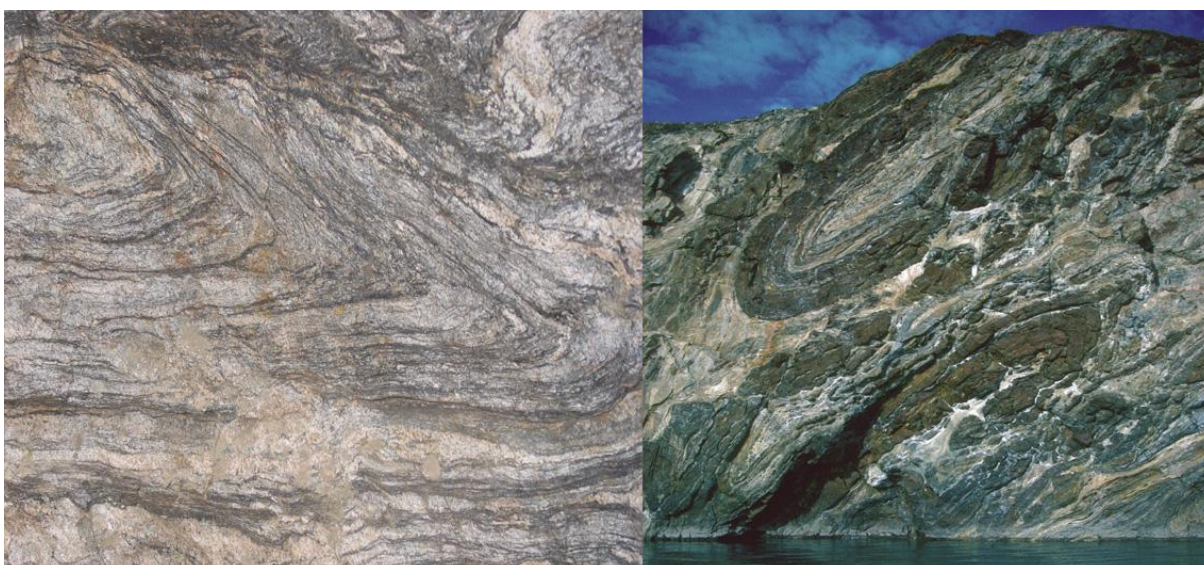


Figura 3.6 – Rochas metamórficas<sup>22</sup>.

Se os níveis de temperatura e pressão aumentarem ainda mais essas rochas irão fundir-se, passando do estado sólido ao estado líquido, convertendo-se novamente em magma.

---

<sup>20</sup> Imagem retirada do livro “Essentials of Geology” (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 6)

<sup>21</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://itonlycomesnaturally.blogspot.com/2010/07/notom-bullfrog-road-en-route-to-capitol.html>

<sup>22</sup> Imagens retiradas de [02-09-2012]: [http://hays.outcrop.org/images/rocks/metamorphic/132\\_3264\\_IMG.jpg](http://hays.outcrop.org/images/rocks/metamorphic/132_3264_IMG.jpg) e de <http://www.npolar.no/no/arktis/svalbard/geologi.html> (Montagem feita pelo autor)

No entanto esta não é a única direcção do ciclo pois não se trata de um processo linear. Cada uma destas transformações pode ocorrer em ordens diferentes. Rocha magmática pode tornar-se directamente em rocha metamórfica. Se esta for elevada à superfície será exposta a condições de erosão e poderá tornar-se sedimentar. Uma vez iniciado o ciclo este toma todo o tipo de percursos possíveis e é daí que podemos observar a grande variedade de rochas que existem à superfície da Terra (Lutgens & Tarbuck, 2009, pp. 18-20).

### 3.1.3 Propriedades das Rochas

Todas as rochas são constituídas por minerais. Um mineral é definido como um sólido inorgânico que surge por processos naturais. Estes quando são formados possuem uma estrutura cristalina. Isto significa que a sua estrutura atómica está organizada em padrões tridimensionais que se repetem. É devido a essa estrutura que podemos observar as formas geométricas características de cristais como quartzo ou pirite (Lutgens & Tarbuck, 2009, pp. 38-39).



Figura 3.7 – À esquerda<sup>23</sup> um exemplo do mineral quartzo e à direita<sup>24</sup> um exemplo do mineral pirite.

<sup>23</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Quartz,\\_Tibet.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Quartz,_Tibet.jpg)

<sup>24</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://earth.uwaterloo.ca/museum/woe-pyrite>

Muitos minerais formam-se no momento de arrefecimento de um corpo de magma ao cristalizar-se em forma sólida. Existem uma série de variantes que vão determinar o resultado final da cristalização. A composição química dos ingredientes existentes no magma e a velocidade de arrefecimento dos minerais são duas características importantes que irão determinar o aspecto da rocha. Na imagem seguinte podemos observar três exemplos de rochas magmáticas que possuem texturas distintas.



Figura 3.8 – Exemplos<sup>25</sup> de variação de textura em rochas magmáticas.

A obsidiana é um vidro vulcânico que ocorre naturalmente. O arrefecimento do magma é tão rápido que não existe possibilidade de formação de cristais, resultando numa massa homogénea de elementos sem uma organização ordenada na sua estrutura. No caso do pagmatito podemos observar uma grande diferenciação na sua constituição. Devido ao longo tempo de arrefecimento do magma formam-se cristais de grande dimensão que conferem uma textura heterogénea e rugosa à pedra. Por vezes durante o processo de cristalização formam-se bolhas de gás no interior da rocha. Após a solidificação as cavidades mantêm-se e isso é visível na rocha de scoria. A estrutura desta assemelha-se a uma esponja (Lutgens & Tarbuck, 2009, pp. 67-69).

Certos padrões cristalinos desenvolvem pontos de maior fraqueza ao longo da sua estrutura. Devido à ordenação inerente da estrutura dos cristais, quando estes se quebram revelam esses pontos de fraqueza em padrões ordenados. O ponto de quebra segue sempre o caminho de menor resistência. A esse atributo dá-se o nome de clivagem. Em certos casos a clivagem é tão evidente que podemos observar ângulos rectos e linhas paralelas na forma como certas rochas se desgastam (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 47).

---

<sup>25</sup> Imagens legendadas pelo autor e retiradas de [02-09-2012]: <http://geology.com/rocks/>



Figura 3.9 – À esquerda<sup>26</sup> e no centro<sup>27</sup> temos exemplos dos efeitos da clivagem. À direita<sup>28</sup> podemos ver diferentes tipos de planos de clivagem.

Embora as rochas magmáticas possuam uma grande diversidade composicional, estas podem ser divididas em grupos simples dependendo da sua proporção de minerais escuros e claros. De um extremo do espectro temos rochas compostas quase totalmente por minerais claros como quartzo. Estas são designadas por rochas graníticas. Do outro lado do espectro temos rochas escuras designadas por rochas basálticas. O tom mais escuro destas pode ser atribuído a uma percentagem alta de ferro na sua composição (Lutgens & Tarbuck, 2009, pp. 66-67). Rochas que se situam em pontos intermédios do espectro e possuem qualidades de ambos os lados são chamadas de andesito.



Figura 3.10 – Muitas calçadas portuguesas (à esquerda<sup>29</sup>) são formadas pela justaposição de blocos de basalto e granito (à direita<sup>30</sup>).

<sup>26</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: [www.thepaperwall.com](http://www.thepaperwall.com)

<sup>27</sup> Imagens montadas pelo autor e retiradas de [02-09-2012]: <http://geology.com/rocks/>

<sup>28</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: [http://biopensamentos.blogspot.com/2010/02/propriedades-fisicas-dos-minerais\\_15.html](http://biopensamentos.blogspot.com/2010/02/propriedades-fisicas-dos-minerais_15.html)

<sup>29</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <https://picasaweb.google.com/lh/photo/Vq79qM2efd3sz-daTXAbXA>

<sup>30</sup> Imagens legendadas pelo autor e retiradas de [02-09-2012]: <http://geology.com/rocks/>

Como podemos ver as rochas variam a nível cromático, mas não estão limitadas a tons de cinza. Dependendo dos ingredientes que as constituem a nível de minerais podemos encontrar todo o tipo de colorações.



Figura 3.11 – Exemplos<sup>31</sup> de variação cromática em diferentes rochas e minerais.

#### 3.1.4 Erosão e Intemperismo

Na grande maioria dos casos, as rochas são formadas subterraneamente. As exceções são as rochas vulcânicas que cristalizam após serem expelidas no formato de lava por um vulcão. Contudo muitas das rochas que são formadas subterraneamente acabam por emergir e tornam-se expostas aos elementos da superfície. Como já foi referido no ponto 3.1.1 deste capítulo, o movimento das placas tectónicas por vezes forçam as rochas a elevarem-se acima do solo. É a partir desse momento que as rochas sofrem um novo tipo de alterações que marcam significativamente a sua aparência. Os efeitos do vento e da água e outros processos unidos com a força da gravidade desgastam e decompõem as rochas ao longo de milhares de anos, esculpindo assim a superfície da Terra. Chamamos a esses processos de erosão e de intemperismo e são uma parte fundamental do ciclo das rochas pois são responsáveis por tornar as rochas em sedimento.

Tanto a erosão como o intemperismo são responsáveis pela degradação das rochas mas embora tenham uma função semelhante trata-se de dois processos distintos. O intemperismo envolve dois métodos que agem em união para decompor pedra, os químicos e os mecânicos.

---

<sup>31</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://www.flickr.com/photos/horsepunchkid/5561397153/lightbox/>

O intemperismo mecânico fragmenta a pedra em pedaços progressivamente mais pequenos sem alterar a sua composição química e o intemperismo químico envolve alterações a nível molecular dos minerais, transformando-os em novos compostos. Estas duas acções ocorrem sem movimento. No momento em que uma partícula de rocha é solta e move-se, seja por acção da gravidade do vento ou da água, chama-se erosão. A erosão é portanto o transporte de material solto por acção do intemperismo (Bourke & Viles, 2007, p. 49).

Um dos principais processos mecânicos que contribui para o desgaste das rochas é a acção da variação de temperatura que expande e contrai o material. Isto provoca o surgimento de quebras e fissuras. Essas fissuras promovem a infiltração de agentes como a água que após congelar expande-se, o que torna as fendas ainda maiores. Forma-se assim um ciclo onde as fendas alojam cada vez quantidades maiores de gelo e pouco a pouco vão fragmentando a rocha (Bourke & Viles, 2007, p. 49).



Figura 3.12 – A infiltração de gelo em fendas provoca quebras na rocha<sup>32</sup>.

Este estilo de intemperismo não está limitado à acção da água. A formação de cristais de sal no interior das fendas também gera forças de expansão e são comuns em zonas áridas ou regiões costeiras. A acção de agentes biológicos como raízes de plantas também são capazes de abrir fendas e dividir pedras (Bourke & Viles, 2007, p. 49). O resultado de todas estas forças produzem fragmentos de pedra com algumas características únicas relativamente à sua aparência. Os clastos<sup>33</sup> resultantes geralmente possuem feições angulares e a área de superfície é demarcada por descamação<sup>34</sup> e rachaduras.

<sup>32</sup> Imagem legendada pelo autor e retirada de [2-09-2012]: [http://schools.bcsd.com/fremont/4th\\_Sci\\_earth\\_slow-changes.htm](http://schools.bcsd.com/fremont/4th_Sci_earth_slow-changes.htm)

<sup>33</sup> Clasto - Um fragmento de rocha ou grão resultante da decomposição de rochas maiores.

<sup>34</sup> Descamação - Separação em forma de escama das partes exteriores de uma rocha.



Figura 3.13 – Resultados estéticos do efeito do intemperismo mecânico sobre rochas<sup>35</sup>.

O intemperismo mecânico raramente age sozinho, beneficiando sempre da ajuda do intemperismo químico. Este envolve processos complexos que decompõe os componentes das rochas e a estrutura interna dos minerais. Um exemplo disso é a oxidação do ferro. Quando os átomos de ferro entram em contacto com átomos de oxigénio estes formam óxido de ferro, também conhecido por ferrugem. Algumas das propriedades da ferrugem são a corrosão do metal, tornando-o mais fraco e susceptível a desintegração. Outra propriedade característica da ferrugem é a sua cor vermelha. Quando rochas contêm minerais ricos em ferro a sua superfície torna-se avermelhada quando esta oxida. Outros reagentes como o ácido carbónico são responsáveis por dissolverem calcário, uma rocha sedimentar. É assim que são formadas vastas redes de cavernas subterrâneas, pela acção de transporte da água e do seu conteúdo ácido (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 129).

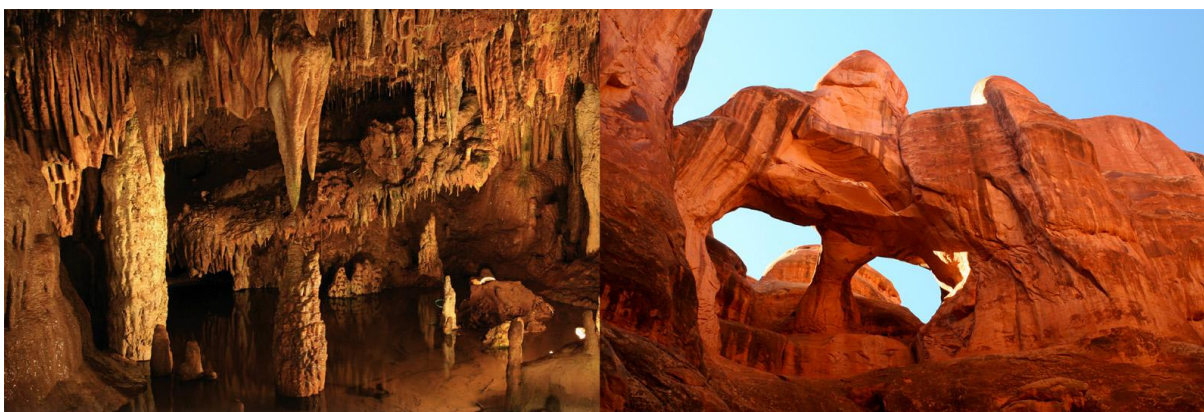


Figura 3.14 – À esquerda<sup>36</sup> uma caverna de calcário, à direita<sup>37</sup> os efeitos de coloração da oxidação do ferro.

<sup>35</sup> Imagens montadas e legendadas pelo autor e retiradas do livro “A Photographic Atlas of Rock Breakdown Features in Geomorphic Environments” (Bourke & Viles, 2007, pp. 51-64)

<sup>36</sup> Imagem retirada do livro “Essentials of Geology” (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 129)

<sup>37</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://beautifulplacestovisit.com/national-parks/arches-national-park-utah-usa/>

Existem rochas que são solúveis em certas condições como o calcário e outras mais resistentes como o granito. Se uma rocha sedimentar for constituída por uma mistura de minerais solúveis e não solúveis, os efeitos do intemperismo vão afectar com mais vigor os minerais mais frágeis, deixando expostos os minerais que resistiram. Isto dá origem uma grande variedade de texturas na superfície de certas rochas.



Figura 3.15 – Exemplos de texturas criadas por desintegração granular de rochas compostas por diferentes minerais.<sup>38</sup>

Ficamos então a conhecer alguns dos efeitos dos dois tipos de intemperismo, mas esta é apenas uma parte da história de como as rochas se desgastam, igualmente importante é a acção da erosão. No início deste capítulo foi feita uma distinção entre intemperismo e erosão, destacando a erosão como um processo de transporte. O intemperismo reduz a rocha em fragmentos cada vez menores e a gravidade, o vento e a água transportam esses materiais para outros locais. Contudo a acção dessas forças não se limita unicamente ao transporte, pois o acto do arrastamento e das colisões que daí surgem também moldam a forma das rochas.

No caso da erosão eólica, que consiste na acção do vento, o desgaste é feito através de um processo chamado de abrasão, que consiste na passagem repetida de partículas rígidas sobre a superfície das rochas. Partículas de areia suficientemente pequenas para serem transportadas pelo ar colidem com as rochas e soltam novas partículas. A erosão eólica produz uma série de características diferentes através deste processo e as rochas resultantes são chamadas de ventifactos. Uma dessas características é a formação de superfícies facetadas que se cruzam em ângulos agudos (Bourke & Viles, 2007, p. 8).

---

<sup>38</sup> Imagens montadas pelo autor e retiradas do livro “A Photographic Atlas of Rock Breakdown Features in Geomorphic Environments” (Bourke & Viles, 2007, pp. 57-60)



Figura 3.16 – Características angulares dos efeitos da erosão eólica.<sup>39</sup>

A abrasão por areia ou outras partículas também pode produzir gravuras em superfícies de rochas. Tal como no intemperismo, se a rocha for constituída por diversos tipos de minerais, os mais resistentes serão acentuados, pois os outros minerais serão desgastados com mais facilidade. É possível encontrar uma grande variedade de formatos de marcas nas rochas causadas pela abrasão. Os resultados dependem sempre da constituição das rochas, do nível de dureza dos minerais e também do número de diferentes tipos de minerais na mesma rocha.



Figura 3.17 - Exemplos de texturas criadas por abrasão em rochas compostas por diferentes minerais.<sup>40</sup>

No caso de uma rocha de constituição homogénea a abrasão eólica produz resultados mais suaves. De facto o polimento e alisamento das faces das rochas são das características mais comuns associadas á abrasão do vento. O nível de polimento é também um bom indicador da idade da rocha em questão (Bourke & Viles, 2007, p. 20).

<sup>39</sup> Imagens retiradas do livro “A Photographic Atlas of Rock Breakdown Features in Geomorphic Environments” (Bourke & Viles, 2007, pp. 8-9)

<sup>40</sup> Imagens montadas pelo autor e retiradas do livro “A Photographic Atlas of Rock Breakdown Features in Geomorphic Environments” (Bourke & Viles, 2007, pp. 13-18)



Figura 3.18 – Rochas polidas pela acção da erosão eólica.<sup>41</sup>

Por vezes o efeito da abrasão de vento dá origem a estruturas invulgares. Ao polir a superfície da rocha o vento cria curvas e essas curvas canalizam a força do vento de forma a esculpir características sinuosas e silhuetas marcantes na pedra.



Figura 3.19 – Esculturas de vento<sup>42</sup>

Noutras ocasiões os efeitos resultantes parecem desafiar a gravidade quando uma rocha fica suspensa por um pequeno pedestal que a suporta e a eleva do solo. Isto deve-se ao facto da areia quando transportada pelo vento raramente se elevar acima de um metro de altura. Isto implica que as partes mais próximas do solo serão as mais afectadas pela abrasão (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 299).

<sup>41</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://rammuseum.org.uk/collections/geology/beneath-your-feet/plenty-of-pebbles>

<sup>42</sup> Imagens montadas pelo autor e retiradas de [02-09-2012]: <http://www.mcmlter.org/lostseal/photos3.html>  
<http://streamteamventures.blogspot.com/2010/12/mt-falconer.html> <http://www.freerepublic.com/focus/f-chat/1839194/posts>



Figura 3.20 – Rochas suportadas por pedestais criados por erosão de vento.<sup>43</sup>

Por fim resta falar do outro tipo de erosão principal, a erosão fluvial. De facto a acção da água sobre a rocha é o agente que maior impacto tem na alteração das paisagens, erodindo mais terreno e transportando mais sedimento de que qualquer outro processo. (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 215) O mais famoso desfiladeiro do mundo, o *Grand Canyon*, é um exemplo claro do poder da água. O rio Colorado unido com a força da gravidade foi responsável por cortar os mais de 400 km de extensão deste desfiladeiro que em certas zonas atinge os 1600 metros de profundidade. A uma escala geológica todo esse processo aconteceu num período de tempo relativamente curto, poucas dezenas de milhões de anos, deixando expostas as diferentes camadas sedimentares que outrora se encontravam no fundo do oceano. (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 6)



Figura 3.21 – O rio Colorado<sup>44</sup> e o *Grand Canyon*<sup>45</sup> no estado de Arizona nos Estados Unidos da América.

<sup>43</sup> Imagem retirada do livro “Essentials of Geology” (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 299)

<sup>44</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: [http://en.wikipedia.org/wiki/Colorado\\_River](http://en.wikipedia.org/wiki/Colorado_River)

<sup>45</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://www.edupics.com/photo-grand-canyon-i8982.html>

Tal como o vento, a água também produz abrasão nas rochas pois transporta sedimentos de areias e outras partículas. Os resultados são semelhantes mas ainda mais evidentes. Devido à força da gravidade a tendência da água é a de descer a encosta procurando o caminho de menor resistência. A forma como a água flui fica marcada na rocha moldando o caminho e removendo progressivamente os pontos de maior atrito. (Lutgens & Tarbuck, 2009, p. 223)

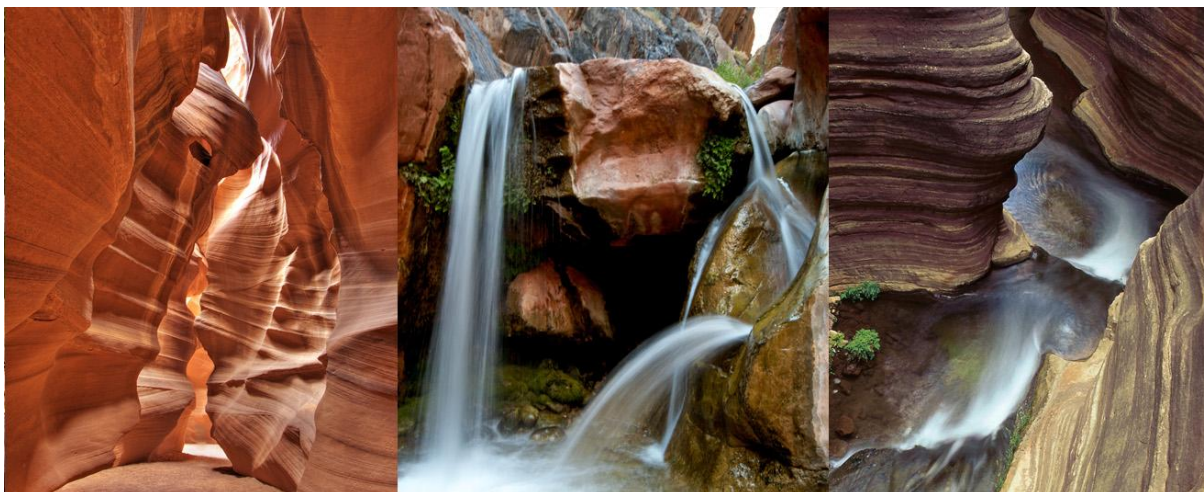


Figura 3.22 – Efeitos de abrasão fluvial<sup>46</sup>

Os efeitos da água não se fazem apenas sentir a grande escala, a erosão fluvial também deixa marcas características em pedras individuais. Um dos sinais mais comuns do efeito de transporte fluvial é o arredondamento de pequenas pedras chamadas de seixos. Como é costume no ciclo das rochas estas começam por ser bastante maiores. A erosão e o intemperismo quebram fragmentos progressivamente mais pequenos. Uma vez encontrando-se na corrente de um rio esse processo continua. Correntes fortes conseguem mover pedregulhos e fazê-los colidir entre si, fracturando e continuando o processo de criar pedras de menor dimensão. Estas continuamente chocam umas nas outras e as suas imperfeições vão sendo limadas até as suas superfícies se tornarem arredondadas e lisas. (Bourke & Viles, 2007, p. 28) Também vemos resultados semelhantes em praias, onde a erosão das ondas do mar também produzem seixos. Continuando o processo acabamos por obter areia.

<sup>46</sup> Imagens montadas pelo autor e retiradas de [02-09-2012]: [http://wallpaper-million.com/Nature/Canyons-wallpapers/Colorado-river-in-Grand-Canyon-National-Park-wallpaper\\_7418.html](http://wallpaper-million.com/Nature/Canyons-wallpapers/Colorado-river-in-Grand-Canyon-National-Park-wallpaper_7418.html)  
<http://beautifulplacestovisit.com/category/canyons/> <http://www.ke6lbn.com/>

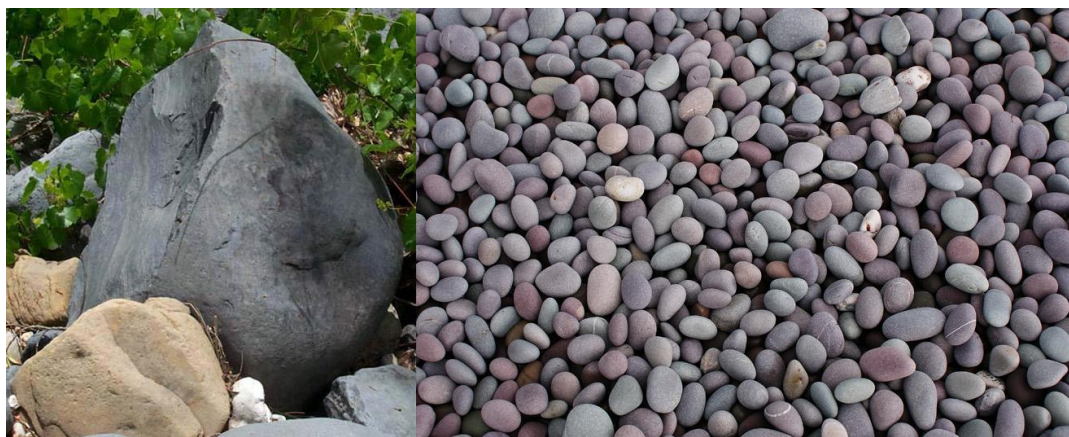


Figura 3.23 – À esquerda<sup>47</sup> um exemplo de fractura de rochas causadas por transporte fluvial e à direita<sup>48</sup> seixos.

Nesta breve introdução à geologia ficamos a conhecer bastantes conceitos que revelam as razões por detrás da aparência das rochas. Não é de todo um catálogo exaustivo, apenas o essencial para pensar em termos científicos a criação de estruturas geológicas. Trata-se de um conjunto de ferramentas importantes para qualquer artista que pretenda criar ambientes naturais mais realistas. Isto é verdade para qualquer tipo de arte, mas nos videojogos é de particular importância devido à liberdade que os jogadores têm de examinar ao pormenor todos os cantos dos cenários. Contudo, para se criar rochas para videojogos este conhecimento é apenas parte da equação. No próximo ponto deste capítulo iremos explorar a parte tecnológica do problema, a computação gráfica.

---

<sup>47</sup> Imagem retirada do livro “A Photographic Atlas of Rock Breakdown Features in Geomorphic Environments” (Bourke & Viles, 2007, p. 31)

<sup>48</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pebbleswithquartzite.jpg>

## 3.2 Computação Gráfica

Como os últimos quatro pontos deste capítulo foram inteiramente dedicados à geologia, talvez seja importante relembrar que o objectivo central desta dissertação é criação de modelos de rochas para videojogos. Neste novo ponto será então explorada uma área totalmente diferente, a computação gráfica.

### 3.2.1 O que é a Computação Gráfica?

Simplificando a questão, a computação gráfica é a área da informática que lida com a geração de imagens. Quando pensamos num computador, uma das primeiras imagens que nos surge na cabeça é a de um monitor ou ecrã, isto porque esse periférico é a janela pela qual acedemos à informação existente no computador. Os resultados dos cálculos e processos complexos que ocorrem no processador seriam inúteis se não existissem formas de traduzir essa informação numa simples linguagem visual à qual podemos aceder (Hill, 2008, pp. 1-2).

O elemento básico do qual as imagens são formadas nos monitores é o pixel. A palavra advém da união das palavras *picture* e *element*. Os pixéis são organizados em colunas e linhas formando uma grelha bidimensional de pequenos pontos que podem alterar dinamicamente de cor e brilho. Para um computador, um ficheiro de imagem é uma lista que indica a cada pixel que cor este deve tomar (O'Callaghan, 2011). Em união esta grelha de pixéis resulta nas imagens que vemos no ecrã. Estas podem ser tão simples como texto ou uma fotografia a cores de alta definição.



Figura 3.24 - Este exemplo<sup>49</sup> mostra uma imagem com uma parte aumentada onde é possível ver os pixéis individuais que constituem a imagem.

---

<sup>49</sup> Imagem alterada pelo autor e retirada de [02-09-2012]:  
[http://wallpaperswide.com/bisti\\_badlands\\_san\\_juan\\_county\\_new\\_mexico\\_us-wallpapers.html](http://wallpaperswide.com/bisti_badlands_san_juan_county_new_mexico_us-wallpapers.html)

Os computadores não têm dificuldade em produzir imagens bidimensionais, mas uma das qualidades que os torna tão úteis, particularmente para as indústrias do cinema e dos videogames é a sua capacidade de gerar conteúdo 3D.

Com a evolução da tecnologia, cada vez mais as imagens 3D geradas por computador atingem níveis de realismo maiores. Na indústria cinematográfica usa-se a abreviatura CGI (*Computer generated imagery*) para se referir a esse tipo de imagens. O filme Avatar (Cameron, 2009) surpreendeu espectadores mundialmente devido à qualidade da sua reprodução de personagens e ambientes, tornando-se no maior êxito de bilheteira da história. E não é apenas a indústria do cinema que tem atingido níveis maiores de realismo, os videogames rapidamente se estão a aproximar desse mesmo nível de qualidade.



Figura 3.25 - Cena<sup>50</sup> do filme Avatar (Cameron, 2009)



Figura 3.26 – Cenário<sup>51</sup> do videogame Rage (Id Software, 2011)

<sup>50</sup> Imagem retirada de [9-02-2012]: <http://www.hd-wallpapers.com/wide/movies/avatar/>

<sup>51</sup> Imagem retirada de [9-02-2012]: <http://www.gameranx.com/img/12-Feb/rage.jpg>

Mas para compreendermos como essas imagens 3D são geradas num computador temos de começar por definir qual o elemento básico da sua constituição. O resultado final que vemos no ecrã acaba sempre por ser um conjunto de pixéis, mas a forma como os computadores processam informação 3D é distinta. Se o pixel é unidade base de uma imagem 2D então o elemento fundamental de um objecto digital 3D é o *voxel* (*Volumetric Picture Element*). Para além de possuir coordenadas no eixo do X e do Y, o *voxel* possui uma coordenada extra no espaço, o eixo do Z. Podemos imaginar uma grelha cúbica onde um grande número de *voxels* estão organizados de modo a formar um objecto. Esse método pode ser comparado com a forma como compreendemos a matéria no mundo real, sendo esta constituída por pequenas unidades elementares, os átomos.

Contudo existe um senão, pois o método de geração de imagens por *voxels* raramente é utilizado seja no cinema ou em videojogos. Na realidade é uma técnica custosa a nível de processamento do computador, os resultados obtidos são pouco convincentes e sofrem sempre do efeito de escada. Para se poder atingir uma superfície que aparente ser suave ao olhar humano seria necessária uma resolução de *voxels* de tamanho astronómico e poucos computadores conseguiriam processar tamanha quantidade de informação. Esta tecnologia é mais útil em áreas como a medicina onde a informação recolhida dos *scans* ao interior do corpo melhor se adequam ao posicionamento em grelha dos *voxels* (Accomazzi, 2009).

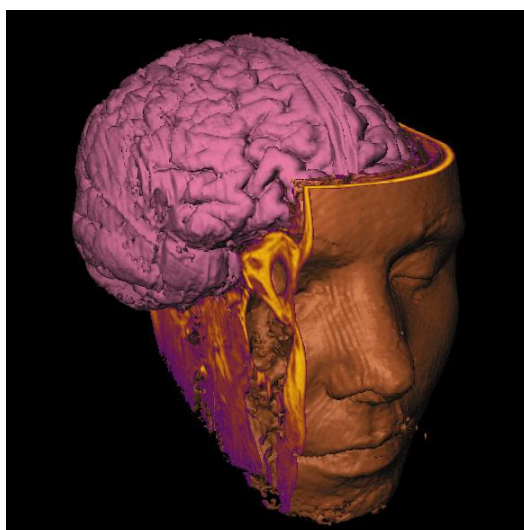


Figura 3.27 - Modelo 3D<sup>52</sup> do crânio humano em *voxels* criado com base em dados de uma ressonância magnética

---

<sup>52</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: [http://ex.osaka-kyoiku.ac.jp/~fujii/JREC6/onlinebook\\_selman/Htmls/3DJava\\_Ch07.htm](http://ex.osaka-kyoiku.ac.jp/~fujii/JREC6/onlinebook_selman/Htmls/3DJava_Ch07.htm)



Figura 3.28 - Comparação<sup>53</sup> entre modelo poligonal (à esquerda) e modelo constituído por *voxels*(à direita).

Salvo raras exceções, a vasta maioria dos gráficos 3D gerados por computador que vemos em jogos ou em filmes utilizam uma tecnologia bastante diferente. Esse método tem por base o uso de polígonos. Em vez do *voxel*, a unidade elementar dos modelos poligonais é o triângulo. Isto porque o triângulo possui o mínimo de informação necessária para formar uma face, três pontos no espaço. Em linguagem de computação gráfica esses pontos são chamados de vértices. No livro *Computer Graphics for Artists*, Andrew Paquette faz a seguinte descrição:

“A vertex is a single coordinate for a point in world space. It has no dimension and very few properties by itself. To make it into an edge, it requires another point. This only defines a line, and as such, still cannot be rendered. To render it, a third point must be defined, to create a triangle, also known as a face or a polygon” (Paquette, 2008, p. 6).

Isto significa que nenhum ponto individual é capaz de reflectir luz, e por isso é invisível. Apenas uma superfície formada com pelo menos 3 pontos pode ser visível. Desta forma os objectos 3D que habitam os ambientes virtuais do computador são formados por uma colecção de triângulos organizados logicamente. O processo de construção destes objectos chama-se de modelação. “Modeling is where all 3D projects must begin, because without a model, there is nothing to animate or render” (Paquette, 2008, p. 2).

<sup>53</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://blog.wolfire.com/2009/11/Triangle-mesh-voxelization>

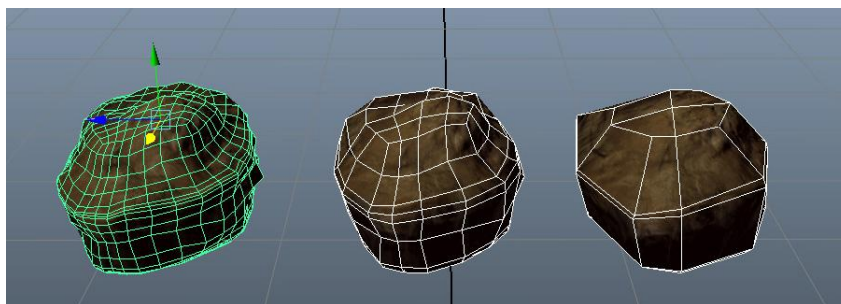


Figura 3.29 – Topologia de rochas.<sup>54</sup>

Existem várias soluções de *software* para criar objectos 3D no mercado, sendo o “Maya” e o “3D Studio Max”<sup>55</sup> os mais populares na indústria. Tradicionalmente quando se está a modelar é recomendado o uso de quadriláteros ou *quads* pois isso facilita o processo de construção e de animação devido à maior facilidade em criar divisões na geometria. Contudo, quando vemos topologias<sup>56</sup> de modelos que consistem primariamente em faces quadradas, trata-se apenas de uma simplificação gráfica para o utilizador, pois o computador pensa sempre na geometria em termos de triângulos.

Tal como no mundo natural, para tornar os objectos visíveis é necessário luz, e esta em combinação com um mapa de textura são o que dão informação de cor aos modelos 3D. Para as faces do modelo receberem correctamente luz e um mapa de texturas precisam de mais um componente que se denomina de *normal*. Um *normal* pode ser definido como um vector perpendicular à face que indica qual dos lados da face receberá luz e textura. Dependendo da intensidade da luz e do ângulo de incidência, cada face vai adquirir uma cor, e são essas variações de tonalidade de face para face que dão volume aos objectos (Paquette, 2008, p. 12). Contudo existe um problema com este método, pois a passagem de cor de face para face é abrupta e resulta em superfícies duras que chamam atenção à estrutura poligonal do modelo.

Para combater essa dificuldade foram inventadas algumas soluções que permitem gerar uma continuidade gradual de cor ao longo das faces do modelo. Uma dessas técnicas de computação gráfica é chamada de *gouraud shading*. O seu objectivo é simular a aparência de superfícies suaves nos modelos quando na realidade estes são poligonais. (Thomas, 1998)

<sup>54</sup> Imagem retirada do projecto final “Twin Paradox”.

<sup>55</sup> [02-09-2012] <http://usa.autodesk.com/3ds-max/>

<sup>56</sup> Topologia em termos de computação gráfica 3D refere-se à distribuição e organização dos polígonos num modelo.

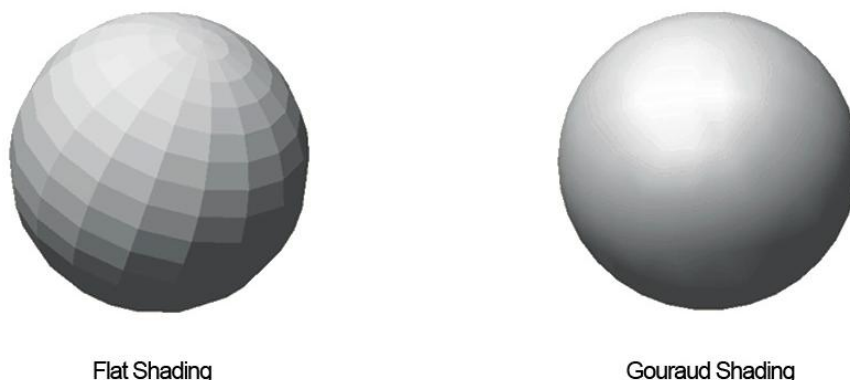


Figura 3.30 – Comparação<sup>57</sup> de duas esferas idênticas a nível de topologia mas utilizando métodos de *shading* diferentes.

Pequenas inovações como esta permitiram aumentar consideravelmente a qualidade dos gráficos 3D sem grandes custos de processamento. Este tipo de saltos qualitativos é algo que acontece repetidamente ao longo da história da computação gráfica e examinaremos com mais pormenor alguns deles no ponto seguinte deste capítulo.

Até agora expuseram-se as bases por detrás de um modelo 3D com volume e uma superfície suavizada, mas é ainda possível atribuir cor ao modelo. Isso pode ser feito de algumas maneiras diferentes. Quando um modelo é criado, por padrão é lhe atribuída automaticamente uma cor. No caso do *software* “Maya” a cor pré-definida é o cinzento, mas esta pode ser alterada ao gosto do utilizador. Contudo trata-se apenas de uma só cor para todo o objecto. É possível pintar um modelo com cores diferentes e isso pode ser feito ao definir uma cor por vértice do modelo. Neste caso a informação de cor é guardada na própria geometria por isso é de rápido processamento e ocupa pouco espaço no disco. A desvantagem principal deste método é que a definição da pintura está directamente relacionada com o número de polígonos do modelo. Apenas é possível controlar a informação de cor nos vértices, não existindo possibilidade de dar detalhe ao centro de uma face, por exemplo.

---

<sup>57</sup> Imagem legendada pelo autor e retirada de [9-02-2012]:  
<http://www.mactech.com/articles/mactech/Vol.14/14.11/PoorMansBrycePartII/index.html>

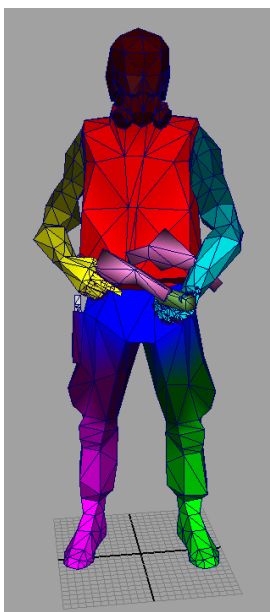


Figura 3.31 – Modelo<sup>58</sup> pintado através do método de *vertex color*.

Devido a essas fraquezas esta técnica não é usada com o intuito de definir os detalhes de cor nos objectos. Para isso, o método mais utilizado consiste em usar ficheiros de imagem para cobrir a superfície do modelo. Chama-se a esse processo de mapeamento de texturas e pode ser comparado com o acto de embrulhar um presente. No caso de um modelo simples como um cubo o processo é fácil, mas quando passamos para modelos mais detalhados como personagens torna-se bastante mais complexo. Temos um objecto 3D que tem de ser envolto por uma imagem 2D. Para isso é preciso atribuir coordenadas na superfície do modelo, e a esse mapa de coordenadas chama-se de mapa de *UV's*. O processo consiste em espalmar a informação dos polígonos do modelo numa superfície bidimensional para que possa receber o ficheiro de imagem. (Ingrassia, 2009, p. 40)



Figura 3.32 – Exemplo<sup>59</sup> das fases do processo de mapeamento de texturas.

<sup>58</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://swat3.furycat.net/gsm/maya/>

<sup>59</sup> Imagem retirada do projecto final “Twin Paradox”.

No caso do mapeamento de texturas o detalhe final está dependente da resolução do ficheiro de imagem. No exemplo da figura anterior o mapa de textura possui apenas informação de cor. No ponto seguinte deste capítulo iremos ver como existem variados tipos de mapas de imagem que podem ser combinados por camadas para obter resultados ainda mais realistas. Serão exploradas quais as limitações principais que existem actualmente na computação gráfica e quais as melhores soluções para as superar.

### 3.2.2 Limitações e Soluções

Recuando um pouco no tempo, grande parte dos monitores produzidos antes do novo milénio possuíam um número muito reduzido de pixéis. Essa baixa resolução de pixéis foi das primeiras limitações que os *designers* de videojogos tiveram de enfrentar. O criador do Super Mario, Shigeru Miyamoto diz que as famosas características desse icone dos videojogos foram-lhe impostas pelas limitações da altura. No documentário de videojogos Thumb Candy de 2000, Miyamoto descreve algumas dessas limitações: “Mario wears a hat because I couldn’t do his hair move realistically; he’s got a moustache to hide his mouth, because I couldn’t draw the mouth properly.” (Lee, 2000)

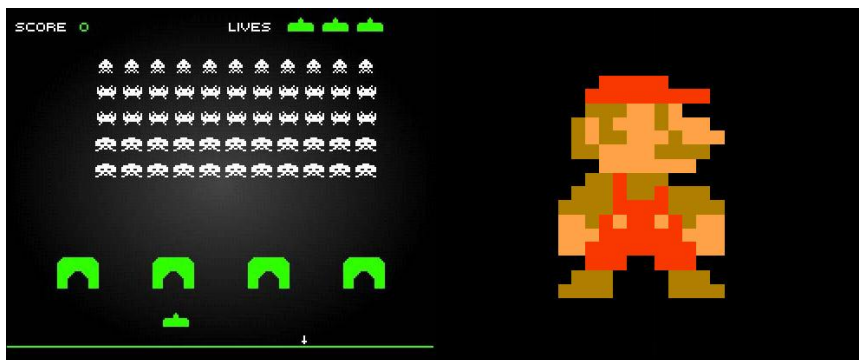


Figura 3.33 À esquerda<sup>60</sup> uma imagem de Space Invaders (Taito, 1978), à direita<sup>61</sup> a versão do Super Mario usado no jogo Super Mario Bros (Nintendo, 1985)

Os criadores de jogos sempre tiveram que se adaptar às limitações da tecnologia. Hoje em dia facilmente se encontra um monitor com uma resolução superior a 1 milhão de pixéis, mas mesmo assim são necessários filtros especiais para suavizar o efeito de escada inerente a uma grelha quadriculada. Esse efeito de escada é chamado de *aliasing* e os filtros de *anti-aliasing* suavizam principalmente as linhas diagonais nas bordas dos objectos ao gerar um efeito gradiente de cor.

<sup>60</sup> Imagem retirada de [2-09-2012]: <http://www.youremgn.com/550/space-invaders-video-game-hitting-cinemas/>

<sup>61</sup> Imagem retirada de [2-09-2012]: <http://www.1up.com/boards/posts/list/53874.page>



Figura 3.34 – Exemplos<sup>62</sup> do efeito *anti-aliasing* em gráficos de computador.

Mesmo que o número de pixéis já não seja a limitação tão grande que era há alguns anos atrás, ainda existem outras limitações que obrigam os artistas de CGI a pensar em estratégias inovadoras para atingir o máximo de realismo. Possivelmente a maior limitação seja ainda o número de polígonos que um computador consegue processar a cada momento. Um jogo moderno a correr num computador ou consola actual consegue lidar com cerca de 300 milhões de polígonos por segundo. (Chubb, 2007)

À primeira vista pode parecer um número elevado, mas em apenas um segundo o computador tem de gerar pelo menos 30 imagens. Na realidade existe um grande número de jogadores que exigem não menos que 60 *frames* por segundo para garantirem uma experiência fluida. Fazendo as contas, o computador gera 5 milhões de polígonos por *frame*, só que nem toda a capacidade de processamento é focado na geração de polígonos, é igualmente necessário lidar com os mapas de texturas, o som e a inteligência artificial dos personagens. Mesmo com esses 5 milhões de polígonos é um desafio tentar simular a minúcia de detalhe que existe no mundo real. Basta observar o relevo existente nas rugas da pele humana para ver como rapidamente esgotamos o nosso orçamento de polígonos se tentarmos atingir esse nível de detalhe.

Contudo vemos frequentemente jogos modernos a atingirem níveis de realismo surpreendentes. Isto é possível devido a um uso eficiente dos recursos disponíveis em conjunto com uma série de técnicas. Imaginemos novamente um orçamento de 5 milhões de polígonos por *frame*. Esse não é o número total de triângulos que dispomos para distribuir pelo cenário e personagens. O número total pode exceder os 5 milhões, mas não do ponto de vista da câmara do jogador.

<sup>62</sup> Imagens criadas pelo autor.

O programa base que corre o jogo (o motor de jogo) vai a cada momento tentar exibir apenas aqueles polígonos que se encontram no campo de visão do jogador. Se o jogador se encontrar numa sala sem janelas, não é necessário para o motor calcular todo o mundo que existe no exterior. Apenas quando o jogador sair pela porta é que esses elementos serão carregados. Isto significa que dentro da sala pode-se utilizar grande parte do orçamento para dar maior detalhe aos móveis, por exemplo. Uma vez no exterior seria de esperar que o orçamento fosse facilmente ultrapassado devido à quantidade de objectos e terreno que se pode enquadrar no campo de visão. Devido a uma técnica chamada de LOD (*Level of Detail*) apenas aqueles objectos mais próximos da câmara irão exibir a totalidade do seu detalhe. Objectos mais distantes possuem menos triângulos e o motor aumenta e diminui a qualidade do objecto consoante nos aproximamos ou afastamos deles.

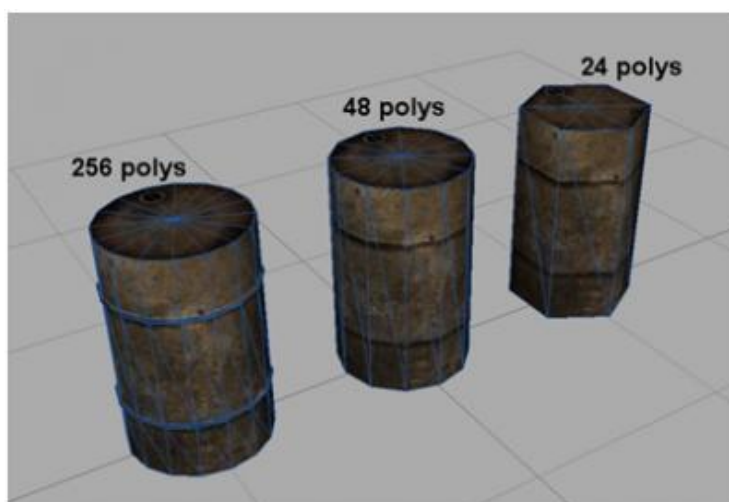


Figura 3.35 – Exemplo<sup>63</sup> de níveis de detalhe diferentes para o mesmo objecto.

Na maior parte dos casos isto não acontece automaticamente. Normalmente os artistas precisam de modelar 3 versões diferentes de cada objecto. (Ingrassia, 2009, p. 69) Esta continua a ser das formas mais eficazes de distribuir o orçamento de polígonos mas tem a desvantagem de por vezes se notar os objectos a fazerem a transição de um modelo para outro. Isso pode quebrar o sentido de imersão do jogador.

No entanto continua a não ser suficiente para tratar do tipo de detalhe que ocorre à escala do centímetro ou milímetro. Durante muito tempo essa tarefa coube somente à textura de cor (*diffuse color map*). A limitação deste processo é que se trata de uma imagem 2D, por isso todo o detalhe fica espalmado na superfície do objecto.

---

<sup>63</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]:

[http://www.leadwerks.com/werkspac/page/Documentation/le2/\\_/tutorials/introduction-to-models-r471](http://www.leadwerks.com/werkspac/page/Documentation/le2/_/tutorials/introduction-to-models-r471)

Isso é mais evidente se observarmos a textura de perto e de certos ângulos. Neste caso efeitos como brilho e sombra são pintados directamente na textura, significando que independentemente do movimento das luzes no cenário, as sombras de detalhe do objecto irão manter-se fixas. A esta técnica chama-se de *texture baking* e continua a ser usada extensivamente devido à sua versatilidade. Se um objecto ou cenário mantêm-se sempre sobre as mesmas condições de iluminação, faz sentido fazer *bake* das sombras na própria textura, pois calcular sombras dinamicamente é um processo custoso para o motor.



Figura 3.36 – Exemplo<sup>64</sup> de sombras pré-calculadas no jogo Mirror's Edge (Dice, 2008)

Na figura anterior temos o exemplo de um jogo que faz isso mesmo. As sombras neste caso são pré-calculadas. Isto significa que computadores poderosos calcularam durante várias horas a acção da luz sobre o cenário utilizando um tipo de iluminação chamado de GI (*global illumination*). A GI simula o efeito que a luz tem nos objectos à medida que ressalta de umas superfícies para as outras. Uma vez concluído o cálculo as sombras são gravadas num ficheiro de imagem e sobrepostas em cima dos objectos (Ingrassia, 2009, pp. 316-318).

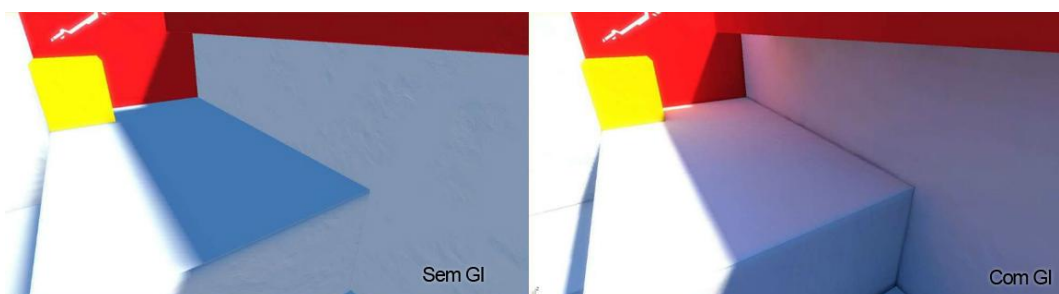


Figura 3.37 – Efeito da *Global Illumination*<sup>65</sup>.

<sup>64</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://forums.overclockers.co.uk/showthread.php?p=15463486>

<sup>65</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://www.slideshare.net/DICEStudio/henrikgcd09-compat>

Pode-se ver na figura anterior, no exemplo do lado direito como a luz ressaltou da parede vermelha para a parede branca adjacente, ganhando um tom avermelhado. Com esta técnica podemos atingir resultados fotorrealistas mas não é possível mover ou alterar a posição das luzes. Alguns motores de jogos mais avançados já conseguem simular esse efeito dinamicamente. Em termos de computação gráfica quando algo é chamado de dinâmico significa que pode ser manipulado pelo utilizador em tempo real. A expressão tempo real é extremamente relevante neste contexto pois é a qualidade que permitem aos videojogos serem interactivos. É o oposto de pré-calculado. O cálculo acontece a cada momento, 30 ou 60 vezes por segundo. Na realidade, esta é a distinção principal que separa o cinema de animação dos videojogos. A qualidade de imagem do cinema é superior porque cada imagem pode levar dias a ser gerada por super computadores. Os videojogos não dispõem desse luxo e frequentemente necessitam de fazer sacrifícios de qualidade para manter o número de imagens por segundo estável.

Contudo, dentro de um videojogo, nem todos os processos ocorrem em tempo real. Como já foi visto, existem sistemas de iluminação não dinâmicos. O efeito resulta bem maioritariamente em superfícies baças, mas não é capaz de reproduzir convincentemente materiais brilhantes ou reflectores. Isto porque na realidade os brilhos e reflexos alteram-se conforme o ponto de vista. Se o ponto de vista se mover e os brilhos se mantiverem fixos, vai transparecer a ideia de estarem pintados na superfície e traem as propriedades do material.

Uma vez mais, existem formas de contornar esse problema. Da mesma forma que se aplica uma textura de cor difusa num modelo, é possível aplicar uma segunda textura noutra camada que irá apenas ter em conta informação relativa aos brilhos. Chama-se a essa textura de *specular map*. Trata-se de uma imagem a preto e branco onde os tons mais claros indicam locais de maior reflectividade e tons mais escuros indicam locais mais baços. Isto possibilita distribuir heterogeneamente os níveis de brilho ao longo de uma superfície (Ingrassia, 2009, p. 316). Um bom exemplo para demonstrar a utilidade de um *specular map* seria num modelo do planeta Terra. A textura principal, o *diffuse color map* contém os continentes e oceanos mas apenas os oceanos devem reflectir o brilho do sol. Para isso basta que o *specular map* seja totalmente branco na zona dos oceanos e preto nos continentes.

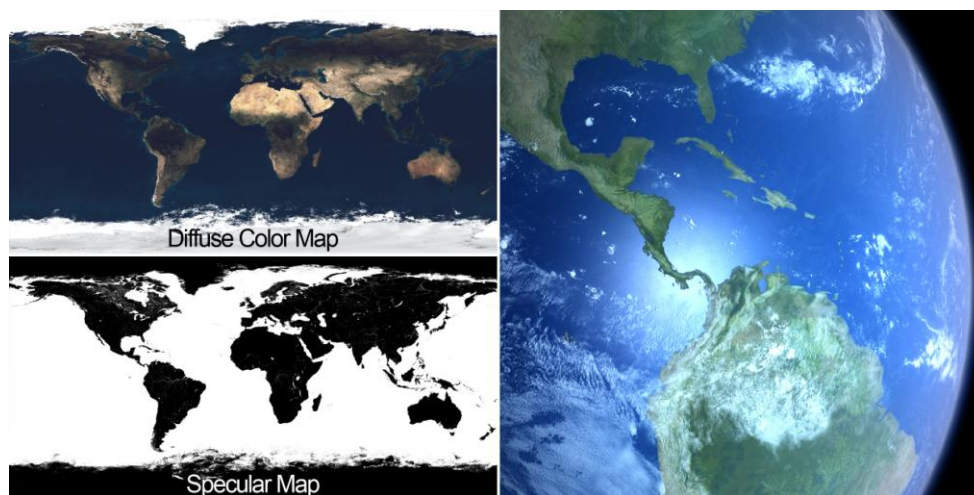


Figura 3.38 – Specular Map e Diffuse Map (à esquerda<sup>66</sup>) e resultado no modelo 3D do planeta Terra (à direita<sup>67</sup>).

Um uso bastante comum para o *specular map* é o de definir as zonas mais oleosas da pele humana, particularmente do rosto. Também ajuda a definir a ideia de rugas na textura da pele, mas para que estas possuam um efeito de relevo vai ser necessário utilizar um terceiro tipo de mapa de imagem, um *bump map*. Esta foi a técnica que verdadeiramente possibilitou trazer níveis de detalhe minuciosos aos modelos sem necessidade de aumentar o número de polígonos.

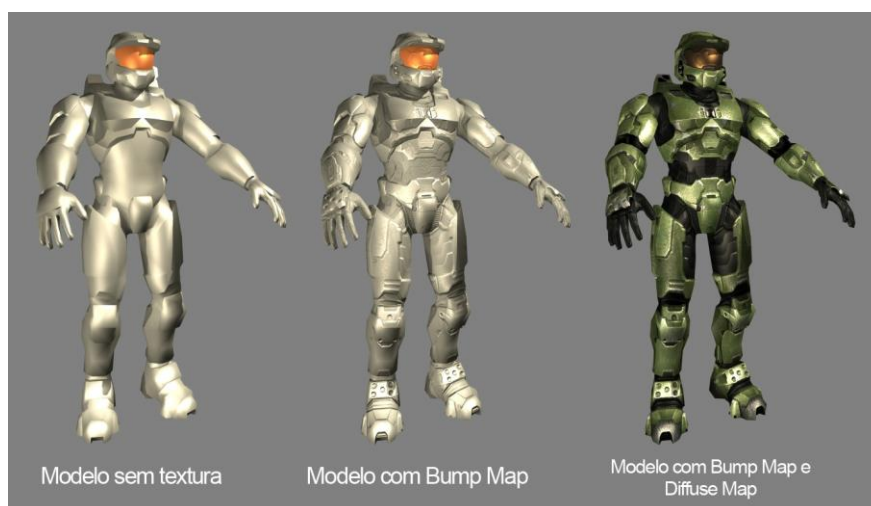


Figura 3.39 – Demonstração<sup>68</sup> da técnica de *bump mapping* utilizada no jogo Halo 2 (Bungie, 2004).

O *bump map* também tem por base uma imagem a preto e branco. Neste caso a variação de cor irá definir o efeito de elevação ou depressão na superfície dos modelos. Assim é possível que as texturas ganhem um efeito de profundidade em tempo real.

<sup>66</sup> Imagens legendadas pelo autor e retiradas de [9-02-2012]: <http://planetpixelemporium.com/earth.html>

<sup>67</sup> Imagem retirada de [9-02-2012]: <http://rainybrain.org/?p=131>

<sup>68</sup> Imagem legendada pelo autor e retirada de [9-02-2012] : <http://halo.bungie.org/misc/mc2xray/>

É possível simular riscos e arranhões, superfícies irregulares, padrões complexos, orgânicos ou mecânicos (Ahearn, 2006, p. 67). O efeito é tão convincente que, quando começou a tornar-se popular alguns estúdios aproveitaram para reduzir o número de polígonos dos seus jogos.



Figura 3.40 – Comparação entre carro sem *bump map* (à esquerda<sup>69</sup>) do jogo Halo (Bungie, 2001) e do mesmo carro com *bump map* (à direita<sup>70</sup>) do jogo Halo 2 (Bungie, 2004)

Esta técnica é particularmente evidente em movimento pois a sua característica principal é ser capaz de se adaptar às condições de iluminação de forma dinâmica. É importante mencionar que hoje em dia esta tecnologia é mais conhecida por outro nome. Devido a alguns melhoramentos foi criada uma variante do *bump map* que utiliza todo o espectro de cor e não apenas tons de cinza. Chama-se *normal map* e produz resultados mais precisos que o *bump map* (Ahearn, 2006, p. 67).

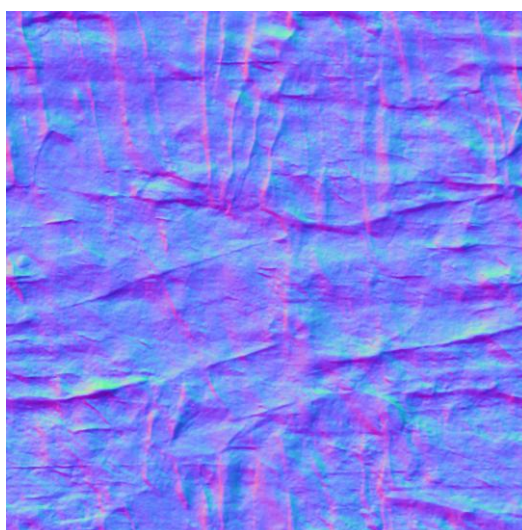


Figura 3.41- Exemplo<sup>71</sup> de um *normal map*.

<sup>69</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: [http://www.hollywood-diecast.com/warthog\\_large.jpg](http://www.hollywood-diecast.com/warthog_large.jpg)

<sup>70</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://www.thegamingonline.com/Xbox/Screenshots/halo2.htm>

<sup>71</sup> Imagem criada pelo autor

A razão pela qual os *bump maps* e os *normal maps* são tão valiosos é porque reduzem consideravelmente a necessidade do uso de polígonos. Contudo esta técnica não passa de um truque convincente. De facto não existe profundidade real na textura, trata-se de uma combinação de algoritmos complexos que distorcem o modo como a luz incide sobre a superfície do polígono, tal como a técnica do *gouraud shading* mencionada no ponto 3.2.1 deste capítulo. A melhor forma de perceber que os *normal maps* de facto não estão a gerar profundidade real é observando a silhueta do objecto.

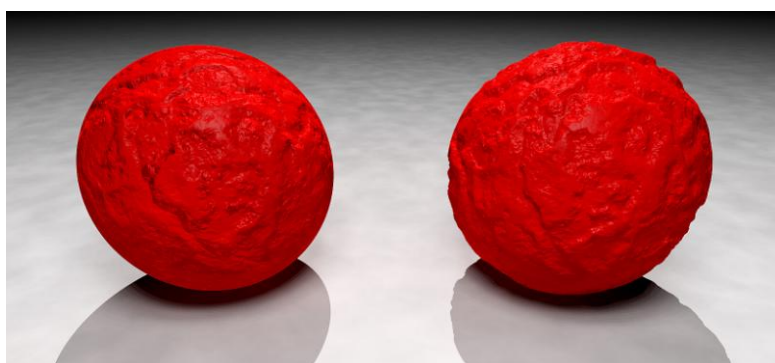


Figura 3.42 – Comparação<sup>72</sup> entre o uso de *bump map* e de geometria real.

Podemos ver na imagem anterior como um *bump map* é capaz de simular a irregularidade da textura que lhe foi aplicada, mas deixa o formato esférico do modelo original intacto.

Existe ainda outra limitação inerente a todos os tipos de mapas de imagem que foram mencionados. Tanto o *bump map* como o *specular map* e o *diffuse color map* são ficheiros de imagem, e conseqüentemente a qualidade vai depender do tamanho destas. A resolução das imagens é medida pela sua largura em pixéis vezes a sua altura em pixéis. Geralmente esses números são múltiplos de dois. Alguns exemplos de resoluções comuns são 512x512, 1024x1024 e 2048x2048. Raramente se ultrapassam esses tamanhos por questões de memória e performance. Tal como para os polígonos, o orçamento de memória reservado para texturas é limitado e deve ser distribuído eficazmente. A melhor forma de poupar recursos é reutilizar as mesmas texturas tanto quanto possível. Para áreas extensas como terrenos existe uma técnica que permite utilizar uma grelha repetitiva da mesma textura para cobrir toda a extensão. Para que o efeito resulte essa textura precisa de se repetir de forma a que os seus pontos de contacto não sejam visíveis.

---

<sup>72</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: [http://en.wikipedia.org/wiki/Bump\\_mapping](http://en.wikipedia.org/wiki/Bump_mapping)



Figura 3.43 – Exemplos<sup>73</sup> de texturas diferentes repetidas em grelhas de 4 por 4

No topo da imagem anterior temos dois exemplos de texturas que não repetem correctamente. Os limites dessas imagens não foram tratados de modo a tornar contínuo o padrão de repetição e os pontos de contacto tornam-se evidentes. No caso das duas texturas abaixo o padrão é muito menos evidente e estas repetem mais harmoniosamente. (Ahearn, 2006, pp. 129-130) Esta técnica de repetição de texturas é extremamente versátil para poupar recursos mas a estética do jogo pode sofrer se for usado em demasia ou incorrectamente.

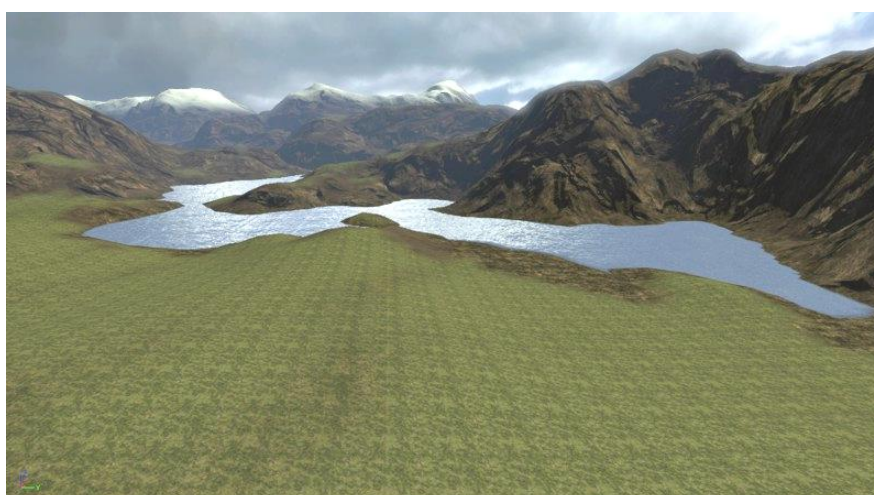


Figura 3.44 – Terreno<sup>74</sup> com padrão de repetição visível.

<sup>73</sup> Imagem retirada do livro “3D Game Textures” (Ahearn, 2006, p. 130)

<sup>74</sup> Imagem retirada de [9-02-2012]: <http://udn.epicgames.com/Three/TerrainAdvancedTextures.html>

A imagem anterior exemplifica bem como o acto de repetir a mesma textura numa grelha pode dar origem a padrões não naturais. É importante evitar texturas que possuam detalhes que saltem à vista, pois esses detalhes ao serem repetidos vão dar origem a padrões visíveis. É possível diminuir, mas não remover completamente o efeito de repetição, por isso é importante saber disfarçar bem a textura com outros elementos para quebrar o padrão. Existem muitas formas de fazer isso; misturando texturas de outro tipo em camadas diferentes, colocando vegetação sobre o terreno ou usando texturas especiais chamadas de *decals*. As texturas *decal* são imagens com transparência nas bordas e são projectadas por cima de outras texturas. Estas podem ser projectadas sobre qualquer superfície e são frequentemente usadas para simular o efeito de marcas de explosões ou manchas de sangue (Tracy & Tracy, 2011, p. 67).

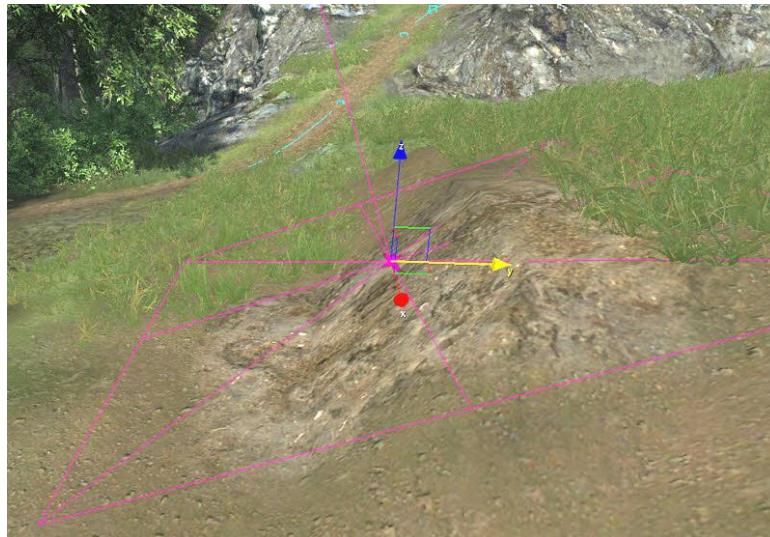


Figura 3.45 – Decal<sup>75</sup> projectado no solo para adicionar variação ao terreno.

De uma forma geral, as principais técnicas de texturização foram abordadas. Os melhores resultados são sempre obtidos através de uma mistura apropriada das ferramentas que temos disponíveis. Alguns mapas de imagem como os *normal maps* são mais dispendiosos que outros por isso é essencial saber utilizá-los com moderação.

É importante não esquecer que a indústria dos videojogos é das que mais rapidamente evolui tecnologicamente. Graças ao rápido avanço dos computadores sabemos que a cada momento o tecto de limitações está a subir e é possível ir mais longe. Faz sentido terminar este ponto olhando para o futuro e vendo uma técnica que já começa a surgir nos computadores mais potentes do mercado.

<sup>75</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://freesdk.crydev.net/display/SDKDOC2/Placing+Decals>

Trata-se de *tessellation*. Esta técnica usa o mesmo tipo de imagens de escala cinza que os *bump maps* usam. Ao contrário dos *bump maps* que apenas simulam o efeito de relevo, a *tessellation* gera polígonos em tempo real para abranger todo o detalhe necessário. É semelhante ao sistema LOD (*level of detail*) mas neste caso não existe substituição de modelos. Os polígonos são gerados pelo motor de jogo através da subdivisão do modelo original. Esta subdivisão torna-se maior quanto mais próxima for a distância da câmara. (Nvidia, s.d.)



Figura 3.46 – Exemplo<sup>76</sup> do poder da técnica de *tessellation*.

Finalmente os videojogos vão poder ultrapassar a estética angular que os tem assombrado durante todos estes anos.

No próximo capítulo, onde será analisada a produção do projecto “Twin Paradox”, iremos ver como as técnicas aqui discutidas contribuíram para o desenvolvimento das estruturas geológicas presentes no jogo (especificamente no capítulo 4.2). Não só das técnicas relativas à computação gráfica mas também da ciência relativa à geologia analisada nos primeiros pontos deste capítulo.

---

<sup>76</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://www.pcgameshardware.com/aid,698077/Unigine-Heaven-with-DirectX-11-Tessellation-Graphics-card-benchmarks-Top-article-of-October-2009/Practice/>

## 4 Criar o Mundo de Twin Paradox

Este novo capítulo é inteiramente dedicado ao desenvolvimento do projecto final “Twin Paradox”. No total o projecto abarcou um período de cerca de 9 meses, de Setembro de 2011 a Maio de 2012. Este capítulo encontra-se dividido em 3 pontos distintos. Numa primeira parte será feito um aprofundamento da fase de pré-produção do projecto onde serão discutidos elementos como o argumento e *storyboard*. O ponto seguinte será o de maior relevância para o tema desta dissertação, onde será detalhada a execução técnica da construção dos cenários do jogo. Por fim o tema final deste capítulo incide sobre a realização do vídeo promocional de “Twin Paradox” que inclui a fase de captação de movimentos para as personagens e toda a pós-produção.

### 4.1 Pré-Produção

Como já foi mencionado no capítulo 2.1, “Twin Paradox” é um projecto já com alguns anos que possui uma narrativa equivalente a um filme de longa-metragem em termos de escala. Para o projecto final de mestrado a primeira decisão importante incidiu sobre seleccionar um excerto dessa história que sintetizasse a sua essência. Era importante apresentar as personagens, as circunstâncias em que estes se encontram no início da aventura e a fábrica molecular, pois esta define uma das mecânicas principais do jogo e representa o tema central da história. Tudo isso teria de ser incluído num vídeo de cerca de 5 minutos. Foi feita a escolha de retratar o início do segundo capítulo da história onde os nossos heróis se encontram no planeta alienígena pela primeira vez.

Como a narrativa original foi elaborada em torno de um jogo, algumas características tiveram de ter sido tidas em conta para a adaptação para o vídeo. A narrativa possui alguns elementos dinâmicos, não sendo assim totalmente linear. Durante o jogo o ritmo e por vezes a ordem de certos eventos na história são determinados pelo jogador. Para o vídeo promocional foi necessário condensar muitos desses elementos para se adequarem ao formato. A primeira morte de Matt no vídeo é um exemplo de um evento que no jogo poderia ter ocorrido de outra forma num outro local.

Outra característica inerente ao formato do jogo que foi tida em consideração foi a perspectiva de primeira pessoa. De forma a ser fiel ao jogo o vídeo teria de abdicar da tradicional linguagem cinemática e contar a história puramente através da perspectiva do

protagonista. Essa linguagem trouxe alguns desafios, principalmente na elaboração dos *storyboards* pois todos os planos são semelhantes e corre-se o risco do espectador perder a noção do posicionamento geográfico das personagens e de outros elementos importantes.



Figura 4.1- Excerto do *storyboard* onde Matt se encontra com a criatura.

Por outro lado é um estilo que beneficia do ponto de vista da imersão e torna a acção mais visceral. Filmes como “Chronicle” (Trank, 2012) e “Cloverfield” (Reeves, 2008) tiram bom partido dessa vantagem para criar experiências intensas nos espectadores. Contudo de forma a poder contar a história de forma mais eficaz algumas cenas exigiam que a regra fosse de alguma forma contornada. Era importante que a personagem de Matt fosse apresentada ao público antes do confronto final entre ele e a sua cópia, isto para não existirem dúvidas que se trata de uma cópia e não de uma nova personagem. Também no confronto final era importante poder ver as duas personagens no mesmo plano para vincar ainda mais a ideia da duplicação. Para resolver estes problemas sem quebrar a regra surgiu a ideia da câmara ser um objecto físico que existe na realidade do jogo e faz parte dos óculos de Matt. Assim os óculos podiam ser ocasionalmente removidos do personagem e serem apontados na sua direcção.

A primeira versão do argumento foi concebida antes de se ter dado inicio ao primeiro semestre e de uma forma geral o argumento sofreu poucas alterações ao longo do desenvolvimento do projecto. O *storyboard* elaborado foi baseado nesta primeira versão do argumento por isso não reflecte a narrativa final a 100%. Devido à natureza flexível de um motor de jogo foi possível iterar diferentes versões do argumento praticamente até ao último momento da produção do vídeo. Num filme de animação tradicional é essencial ter o argumento e o *storyboards* fechados antes de se iniciar a produção. Qualquer alteração que seja feita nessa altura pode significar dias de *render* perdidos.

Num ambiente de jogo os tempos de *render* são inconsequentes pois trata-se de um mundo interactivo que pode ser alterado em tempo-real. A posição dos personagens ou iluminação pode ser alterada e numa questão de segundos pode-se visualizar o resultado final.

Para além do enredo e dos diálogos o argumento e storyboard também serviram para demarcar quais os locais que teriam de ser construídos para o jogo. A história tem início debaixo de água no momento em que Matt retoma os sentidos após ter despenhado a sua nave na superfície do planeta. Uma vez fora do rio passamos para uma praia e a aventura leva-nos por diversas quedas de água, desfiladeiros, precipícios vertiginosos, sistemas de grutas complexos e desertos de dunas extensos. Todos esses espaços tinham de encaixar uns nos outros num único nível coerente. Para isso foram desenhados alguns mapas diferentes que combinassem todos estes elementos e que permitissem o jogador fluir de umas zonas para outras tendo em conta as necessidades da narrativa.



Figura 4.2- Mapa do cenário

A figura anterior é uma representação esquemática do nível. Nesse mapa é possível ver uma selecção de referências visuais que captam o ambiente, a geografia ou os elementos geológicos desejados para cada uma das áreas. Esta técnica simplificou bastante a construção das variadas zonas do nível, processo que será explorado no próximo ponto deste capítulo.

Estando o autor encarregue do argumento e planeamento dos cenários, a colega de grupo Joana Pinho dedicou o seu tempo de pré-produção à criação de toda a arte conceptual das personagens, cenários, criaturas, objectos, veículos, armas etc. A figura seguinte ilustra alguns exemplos desse trabalho conceptual elaborado pela Joana.

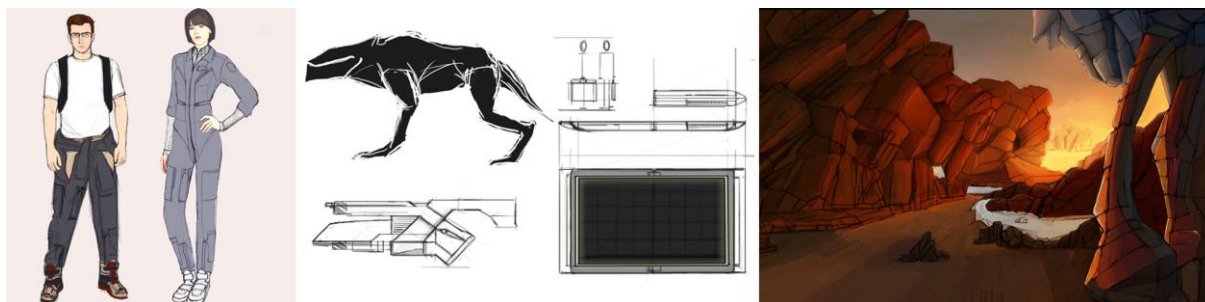


Figura 4.3 – Arte conceptual de Joana Pinho.

## 4.2 Construção das Estruturas Geológicas

Neste ponto do capítulo 4 iremos finalmente por em prática toda a teoria examinada no capítulo 3 desta dissertação. A divisão dos diferentes tópicos deste ponto foi feita sobre a noção de ir do geral para o particular. Sendo assim, iniciaremos com o maior elemento do cenário, o terreno em si, passando para estruturas geológicas de menor dimensão como os desfiladeiros e assim progressivamente até chegarmos a pedras que dão detalhe ao cenário.

### 4.2.1 O Terreno

Existem algumas definições diferentes para a palavra terreno, mas aquela mais apropriada neste contexto é a que diz que um terreno é um espaço de terra de certa extensão. Quando se fala em terreno no contexto de um motor de jogo como o “CryEngine”, estamos a referir-nos a uma tecnologia distinta que possui algumas características particulares. O terreno é a base de todo o cenário, é o maior objecto do jogo. No caso deste projecto o terreno usado possui uma área de 2 km<sup>2</sup> e uma resolução poligonal de 2048 por 2048 quadriláteros ou *quads*. Como vimos no capítulo 3.2, uma face quadrada equivale sempre a dois triângulos, e somando todos esses triângulos atingimos a soma de 8 388 608 polígonos. 8 milhões ultrapassa em grande medida o orçamento recomendado de polígonos e é por essa razão que a geração do terreno no motor de jogo é feita de forma diferente do resto dos objectos. O terreno é dinâmico e dispõe apenas a geometria necessária para cada instante. Zonas afastadas possuem menos polígonos que a área directamente em frente do jogador.

A construção do terreno é feita não por modelação tradicional mas através da criação de um mapa de elevação. Este mapa de elevação é uma imagem de escala cinza que funciona de forma semelhante a um *bump map*. As zonas mais claras serão pontos altos como picos de montanhas e as zonas escuras serão zonas baixas como vales.

A criação dessa imagem pode ser feita de diversas formas. Pode ser pintada manualmente num programa como o “Photoshop<sup>77</sup>”, ou mesmo gerada aleatoriamente dentro do mesmo programa com um filtro de ruído Perlin<sup>78</sup>. O ruído Perlin foi criado por Ken Perlin, professor do departamento informático da Universidade de Nova Iorque em 1985 e consiste “...numa função para gerar ruído coerente. Ruído coerente significa que para cada dois pontos num espaço, o valor da função de ruído altera-se suavemente de um ponto para o outro sem descontinuidade.” (Zucker, 2001)

Mas usando estes métodos os resultados dificilmente serão realistas. É possível também tirar partido de imagens de satélite com dados relativos à elevação do terreno. Esta última permite resultados realísticos pois trata-se de dados de terreno real mas a não ser que se encontre uma imagem com as qualidades que desejamos não é possível controlar a sua forma.

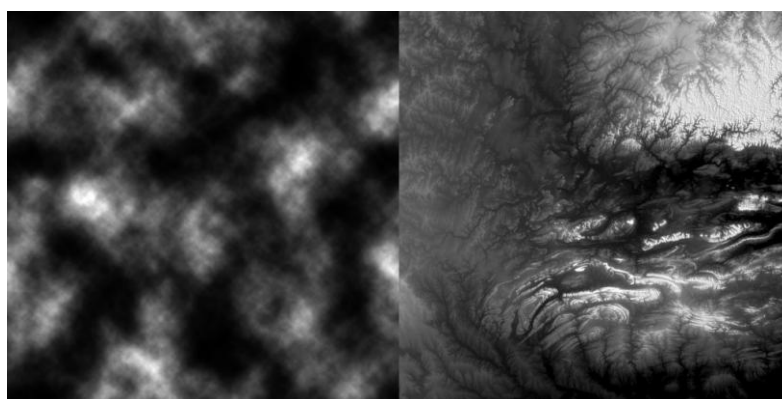


Figura 4.4 – Ruído Perlin (à esquerda<sup>79</sup>) e mapa de elevação de terreno real (à direita<sup>80</sup>).

Felizmente existe ainda uma outra opção, a utilização de *software* dedicado à geração de mapas de elevação para terrenos. O *software* utilizado para o projecto foi o “World Machine”<sup>81</sup>. Este *software* permite a criação de terrenos realísticos que simulam efeitos como erosão eólica e fluvial. Isto é feito através de avançados algoritmos que geram conteúdo fractal por cima de uma base de ruído Perlin. O interface é baseado numa rede de gráficos onde é possível ir misturando diferentes nós ou *nodes* que produzem diferentes efeitos no terreno.

<sup>77</sup> O Photoshop é o *software* de manipulação de imagens líder do mercado. [02-09-2012] [www.photoshop.com](http://www.photoshop.com)

<sup>78</sup> [02-09-2012] <http://webstaff.itn.liu.se/~stegu/TNM022-2005/perlinnoiselinks/perlin-noise-math-faq.html>

<sup>79</sup> Imagem gerada pelo autor.

<sup>80</sup> Imagem retirada de [02-09-2012]: <http://www.jegas.com/?MT=1&MID=2012050412193120102>

<sup>81</sup> [02-09-2012] <http://www.world-machine.com/>

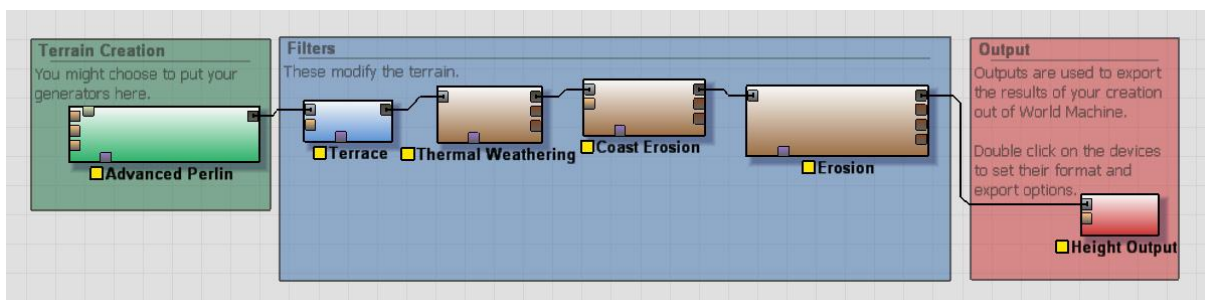


Figura 4.5 – Interface<sup>82</sup> gráfico de *nodes* do software “World Machine”.

A imagem anterior demonstra o esquema utilizado para a geração de um terreno. Iniciamos do lado esquerdo com um gerador de ruído Perlin avançado. De seguida temos todos os filtros que foram escolhidos para modificar a base. O filtro *terrace* produz terraços escalonados no declive das montanhas dando a ideia de diferentes níveis de rocha sedimentar. *thermal weathering* é um filtro que simula a acção do intemperismo térmico e cria fendas nas rochas. O filtro *coast erosion* ou erosão litoral simula o efeito de erosão que rios ou mares possuem sobre a costa dando origem a praias. Por ultimo o filtro *erosion* ou erosão simula o efeito do transporte fluvial e eólico sobre a rocha. Cada um destes nós possui uma série de controlos que permitem manipular o aspecto do terreno. Nas imagens seguintes vemos como esses parâmetros transformam o terreno.



Figura 4.6 – Terreno gerado no “World Machine” somente com um mapa de elevação de ruído *Perlin*.

<sup>82</sup> Imagem do software “World Machine” montada e capturada pelo autor.

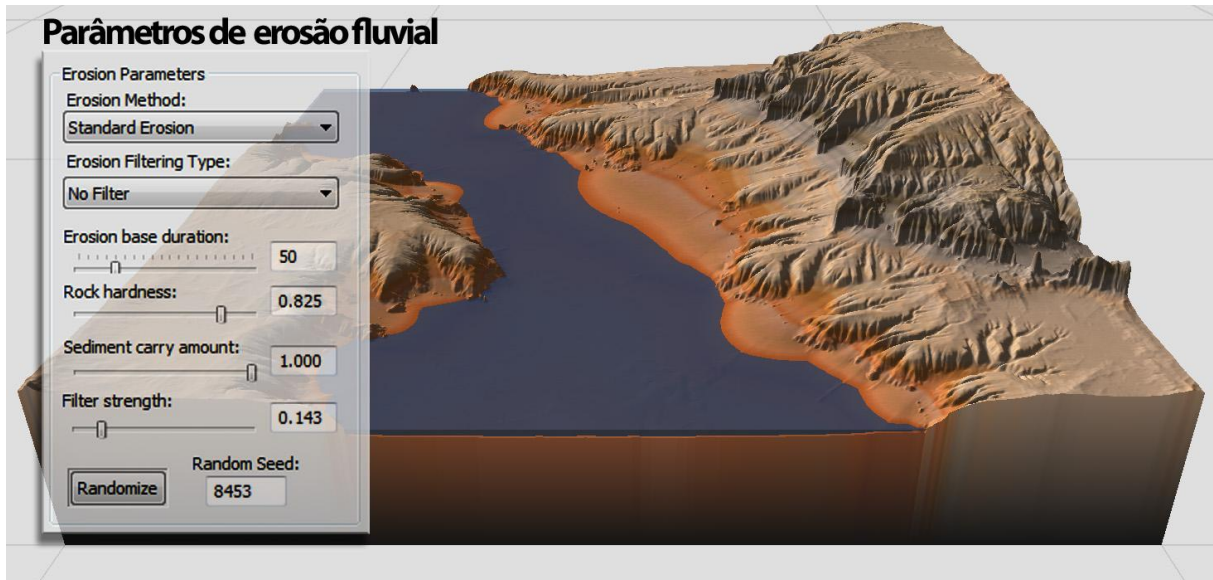


Figura 4.7 – Terreno com diversos filtros modificadores aplicados.

Na figura 4.6 vemos a base do terreno gerado apenas pelo ruído Perlin. Utilizando os parâmetros correctos é possível atingir resultados já satisfatórios, mas para atingir um nível de realismo superior é necessária a aplicação dos diversos filtros existentes no “World Machine”. Como vemos na figura 4.7 os filtros de erosão simulam com fidelidade os processos naturais e assim atingimos resultados convincentes. Uma vez atingidos os resultados desejados resta exportar o mapa de elevação num ficheiro de imagem e importar esse ficheiro no motor de jogo para criar o terreno.

Uma vez criado o terreno no motor de jogo o passo seguinte será criar uma textura para o cobrir. No motor “CryEngine 3” existem dois tipos de texturas diferentes para terrenos. Uma textura geral que cobre todo o terreno e tem como função ser vista a longas distâncias e diversas outras texturas de detalhe que são pintadas directamente no terreno e possuem qualidade para serem vistas de perto. Para este projecto a textura geral foi criada no “Photoshop” utilizando uma mistura do mapa de elevação original com uma montagem de diversas imagens de satélite retiradas do “Google Maps”<sup>83</sup>.

<sup>83</sup> [02-09-2012] <https://maps.google.com/>



Figura 4.8 – Textura geral do terreno implementada no motor de jogo.

Essa primeira textura geral pode ser de alta resolução mas uma vez estendida sobre uma área de diversos quilómetros nunca terá qualidade suficiente para ser vista de perto. É aqui que entram as texturas de detalhe. Estas texturas têm que ser feitas de modo a poderem ser repetidas em grelha. Existem muitos métodos para criar estas texturas. Podemos ver a seguir quais foram os diferentes passos utilizados para se criar uma das diversas texturas de areia que foram usadas no jogo.

O primeiro passo consiste em encontrar uma boa fotografia para ser usada como base. É importante que a imagem seja de alta resolução, e seja homogénea. Isto significa que se deve tentar evitar sombras fortes ou outros elementos que obstruam a textura. O site [www.cgtextures.com](http://www.cgtextures.com) possui uma óptima colecção de imagens livres de direitos de autor. Uma vez encontrada a fotografia, esta foi aberta no “Photoshop” para ser transformada numa textura capaz de ser repetida numa grelha.



Figura 4.9 – Passos para criar uma textura repetível.

A figura anterior demonstra os passos necessários para se criar uma textura repetível. Começando pela esquerda temos a foto original. Os números foram colocados para identificar os quadrantes da imagem pois no passo seguinte cada um dos quadrantes irá mudar de posição. Para isso divide-se a imagem em quatro partes iguais e inverte-se a posição de cada uma delas. O canto superior direito irá trocar de lugar com o canto inferior esquerdo e o mesmo será feito para os outros cantos. Isto resulta numa imagem cujas margens são idênticas

verticalmente e horizontalmente tornando possível a repetição, contudo surgiram marcas de costura visíveis no centro da imagem. Para remover essas costuras foram usadas principalmente as ferramentas *clone stamp tool* e *spot healing brush tool*. Essas ferramentas permitem reutilizar padrões de zonas diferentes da textura para cobrir os defeitos desejados. Uma vez concluído esse trabalho a textura fica pronta mas é importante garantir que a imagem repete-se de forma natural sem padrões de repetição demasiado evidentes. Multiplicar a imagem 4 vezes no Photoshop é suficiente para se notar se existem problemas. Se algum elemento sobressair demasiado é necessário voltar atrás e remove-lo.

Uma vez no “CryEngine 3” a textura é importada como uma textura de detalhe. As texturas de detalhe são usadas no terreno por cima da textura geral e utilizando a ferramenta *layer painter* é possível pintar directamente no terreno e combinar diversas texturas.



Figura 4.10 – Processo de aplicação de texturas no terreno no “CryEngine 3”.

O processo de pintura é semelhante ao de muitos outros programas como o “Photoshop”. É possível seleccionar o tamanho e a dureza do pincel e o nível de brilho da textura.

Por fim, é importante saber que caso seja necessário fazer alguma alteração ao terreno não é obrigatório voltar atrás e alterar o mapa de elevação criado no “World Machine”. Dentro do “CryEngine 3” existem ferramentas que permitem fazer modificações directas no terreno.

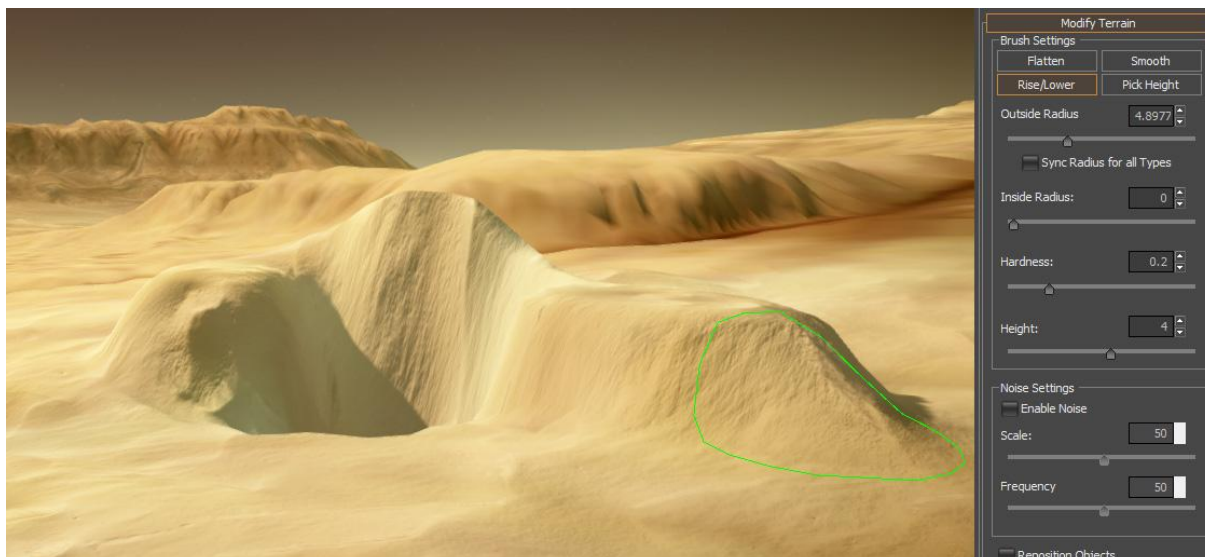


Figura 4.11 – Processo de modificação direta do terreno no “CryEngine 3”

O interface é semelhante ao de pintura de texturas. Existem ferramentas para controlar a elevação, a suavização e o nivelamento do terreno. Para o projecto final, a função principal destas ferramentas foi a de ajustar o terreno para receber os modelos dos desfiladeiros, montanhas e cavernas que viriam a seguir. O processo de construção destes é descrito no ponto seguinte.

#### 4.2.2 Desfiladeiros

A fraqueza principal da tecnologia de geração de terrenos do “CryEngine 3” é que não permite partes salientes em paredes ou qualquer elevação num ângulo superior a 90°. Isto torna impossível a criação de grutas, arcos ou outras reentrâncias no terreno. Como o mapa de elevação é apenas uma imagem bidimensional não existe forma de incluir informação para ter em conta elementos como os mencionados. Esses elementos têm de ser modelados tradicionalmente em programas como o “Maya” e importados no motor “CryEngine 3” como objectos separados do terreno.

A modelação desses objectos teve início utilizando blocos simples para delimitar as diferentes zonas do nível. O mapa da figura 4.2 no capítulo 4.1 foi importado para o “Maya” para servir como referência. Nesta fase a modelação foi feita rapidamente com a intenção de criar formas simples que ocupassem o espaço das futuras montanhas. Antes de iniciar uma fase de modelação mais pormenorizada era necessário garantir que os espaços estavam a funcionar correctamente para o jogador. Esses modelos simples das montanhas foram importados no “CryEngine” e graças a esses testes foi possível iterar versões rapidamente até se atingirem bons resultados relativamente ao *design* do nível.

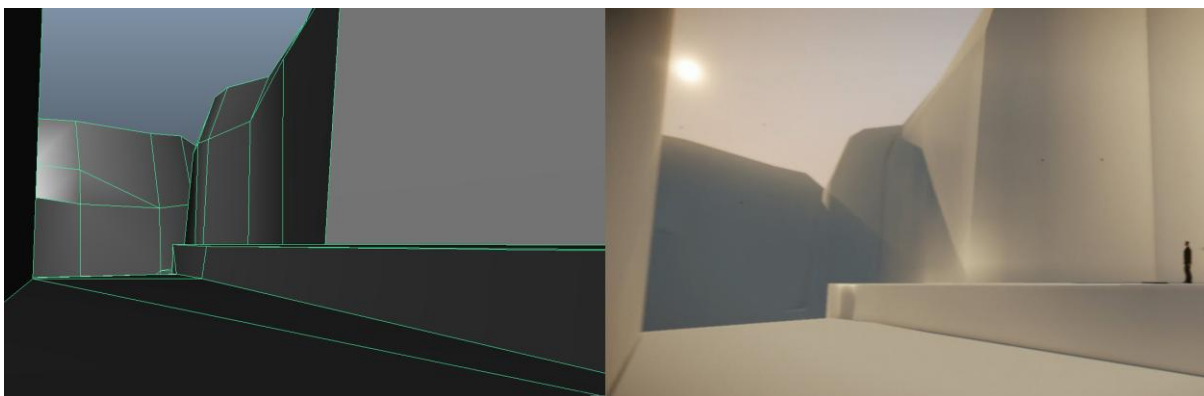


Figura 4.12 – Modelo simples de um desfiladeiro criado no “Maya” (à esquerda) e o mesmo modelo implementado no “CryEngine” (à direita).

O próximo passo seria pegar nesses modelos simples e esculpir todo o detalhe que iria transformá-los em desfiladeiros credíveis. Esse trabalho de modelação poderia ser feito no “Maya” mas o programa mais apropriado para a modelação deste tipo de objectos naturais e caóticos é o “Zbrush”<sup>84</sup>. O “Zbrush” permite modelar de forma muito mais livre sendo comparável a esculpir barro. Muitas das suas ferramentas são análogas à escultura.

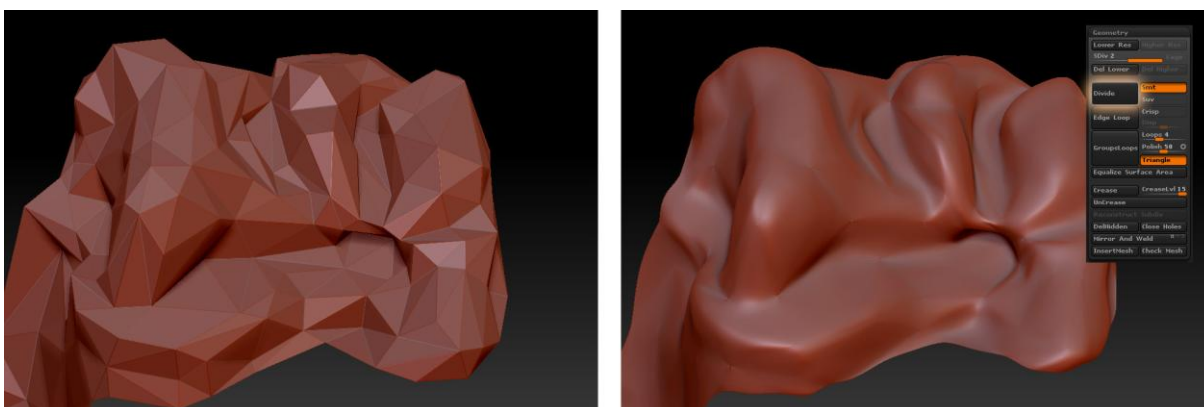


Figura 4.13 – (À esquerda) Modelo importado do “Maya”

Figura 4.14 – (À direita) Modelo subdividido no “Zbrush”

Após importar o modelo no “Zbrush” o primeiro passo é subdividir a geometria do objecto. O modelo em bloco possuía um número muito reduzido de polígonos e utilizando a opção *divide* é possível multiplicar o número de polígonos. Nesta fase quanto maior a densidade poligonal mais detalhado será o modelo. Esta operação resulta numa superfície suave e arredondada.

<sup>84</sup> [02-09-2012]: <http://www.pixologic.com/zbrush>

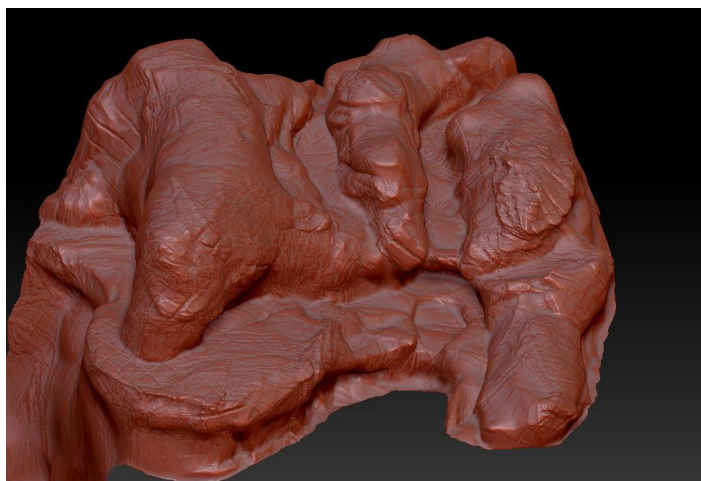


Figura 4.15 – Detalhes esculpidos no modelo

Para adicionar detalhe ao modelo iremos recorrer às ferramentas de modelação do “Zbrush”. Estas são chamadas de *brushes* e existe uma grande variedade delas. É possível puxar, esticar, espalmar, vincar, beliscar, cortar, suavizar, polir etc. Para se obter uma aparência de rocha é importante ter em conta todas as regras de como estas são formadas (ver capítulo 3.1). A estrutura rochosa da figura 4.15 é composta por um tipo de pedra chamada de arenito<sup>85</sup>. Trata-se de uma rocha sedimentar compactada por camadas de um material arenoso. Esta rocha é facilmente esculpida pela ação da água, e durante a modelação foi tido em conta como a erosão fluvial poderia moldar as formas desta rocha. Contudo a modelação nesta fase pode ser feita de forma mais livre e não tão minuciosa. Isto porque o passo seguinte envolve reduzir drasticamente o número de polígonos.



Figura 4.16 – (À esquerda) Preparação do modelo para redução de polígonos.

Figura 4.17 – (À direita) Resultado da redução usando a ferramenta *decimation master*.

A versão subdividida na qual o detalhe foi adicionado possuía mais de 200 000 polígonos, esse número foi substancialmente reduzido para que o modelo pudesse ser usado

<sup>85</sup> <http://pt.wikipedia.org/wiki/Arenito>

no jogo. Existe uma ferramenta no “Zbrush” que faz esse trabalho automaticamente. Podemos escolher a percentagem de polígonos que deve ser removida e o programa sabe analisar qual a melhor forma de manter a forma original do modelo. Também é possível fazer uma selecção das áreas que devem ser mais ou menos afectadas. Na figura 4.16 vemos como a zona mais escura foi seleccionada para ser menos afectada pela redução do que as outras áreas. Aquela zona em particular foi escolhida pois é a área com a qual o jogador irá interagir directamente. Os topos dos rochedos não são acessíveis por isso não necessitam de tanto detalhe. Na figura 4.17 vemos o resultado da redução, esta versão possui apenas 8000 polígonos. Essa densidade poligonal não permite detalhes mais pequenos, para isso serão necessárias texturas. Contudo para tornar possível a utilização de texturas ainda falta criar o mapa de UV’s.

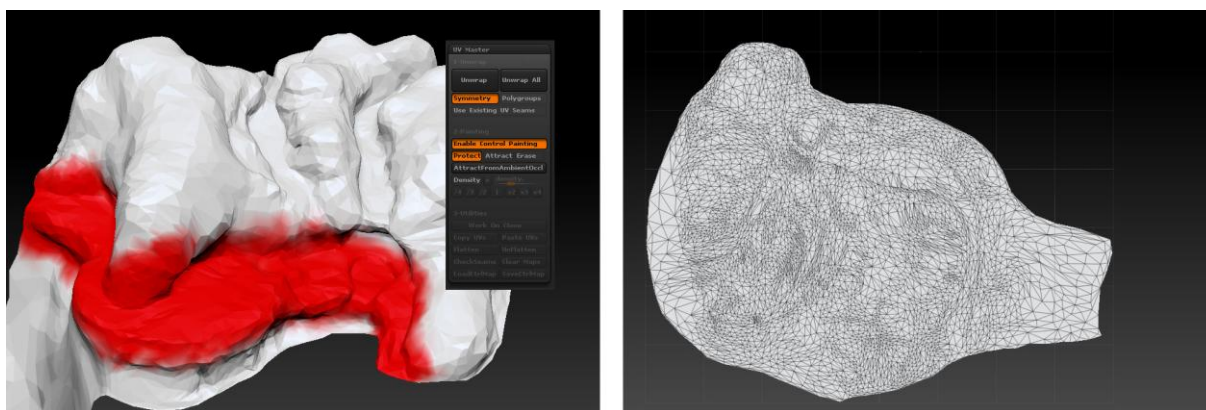


Figura 4.18 – (À esquerda) Preparação do modelo para criar mapa de UV’s

Figura 4.19 – (À direita) Mapa de UV’s criado com a ferramenta *UV Master*.

Esse processo também pode ser automatizado dentro do “Zbrush” usando desta vez uma ferramenta chamada *UV Master*. Como já foi referido no capítulo 3.2, criar UV’s assemelha-se ao acto de desembrulhar (*unwrap*) o modelo de forma a ser espalmado num plano bidimensional. Geralmente não é recomendado o acto de automatizar este processo, principalmente para personagens, mas no caso de rochas ou outros objectos de forma irregular é preferível automatizar. No caso de uma personagem o UV automático não saberia valorizar a importância das proporções faciais, mas relativamente a rochas essas questões não se aplicam. Geralmente quando se desembrulha um objecto tridimensional complexo é necessário fazer alguns cortes, e isso vai resultar em costuras visíveis na textura na zona onde o corte foi feito. A ferramenta *UV Master* permite seleccionar no modelo que zonas devem ser protegidas desses cortes. Na figura 4.18 vemos pintado a vermelho as zonas onde o jogador irá observar de mais próximo o cenário, assim garantimos que nenhuma dessas costuras irá surgir nessa zona. Na figura 4.19 podemos ver o mapa de UV’s resultante da operação automática.

Concluimos assim o trabalho dentro do “Zbrush” para este modelo. O próximo passo será criar as texturas. Tal como as texturas de detalhe para o terreno, as texturas destas estruturas geológicas irão ser texturas de repetição. A técnica usada foi exactamente a mesma, utilizar material fotográfico e tornar a textura repetível no “Photoshop”. Desta vez iremos ver um dos métodos usados para criar os outros tipos de mapas mencionados no capítulo 3.2, o *normal map* e o *specular map*. Utilizando um software especial chamado “Crazy Bump”<sup>86</sup> é possível gerar esses dois mapas a partir de um mapa *diffuse*.

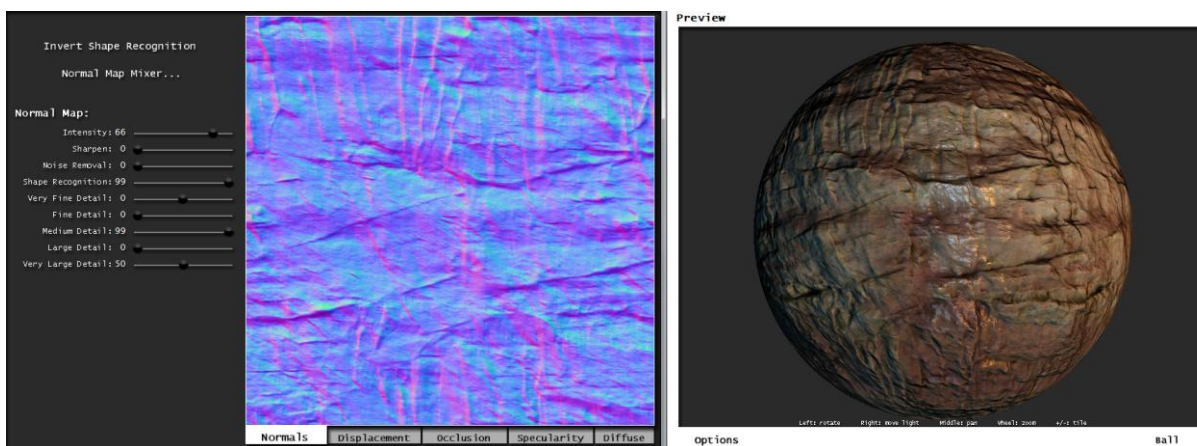


Figura 4.20 – *Normal map* criado no software “Crazy Bump”.

O programa é simples de usar, basta importar o mapa *diffuse* e ele gera todos os outros automaticamente. O programa analisa de forma inteligente o conteúdo cromático e os valores de luminosidade da imagem para inferir relevo e daí extrair um *normal map*. Na figura 4.20 podemos ver uma série de valores que é possível configurar para obter diferentes resultados. Uma vez satisfeitos com os resultados podemos exportar todos os mapas de uma vez só vez.

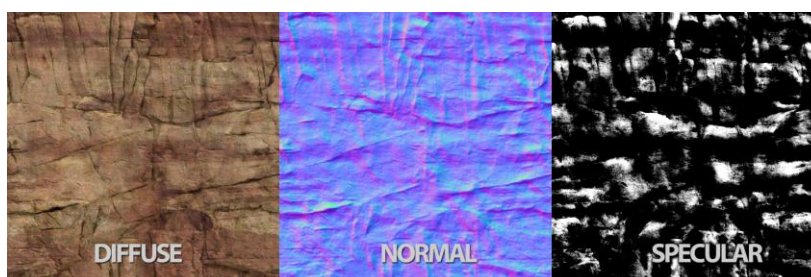


Figura 4.21 – Mapas extraídos do programa “Crazy Bump”

Antes de implementarmos estas texturas existe ainda uma última adição que será feita ao modelo do rochedo. Como estamos a lidar com texturas de repetição é importante tirar partido de diferentes técnicas para quebrar o padrão repetitivo. No capítulo 3.2 foram mencionadas duas técnicas diferentes que serão úteis neste caso. A primeira técnica envolve

<sup>86</sup> <http://www.crazybump.com/>

tirar partido das *vertex colors* do modelo. Como vimos é possível atribuir no modelo informação de cor sem uso de qualquer textura. A técnica seguinte seria a técnica de fazer *bake* da iluminação na própria geometria. Assim seria possível pré-renderizar um ambiente de iluminação para gerar sombras directamente no canal *vertex color* do modelo. Todo este processo foi feito no “Maya” utilizando a ferramenta *batch bake*.

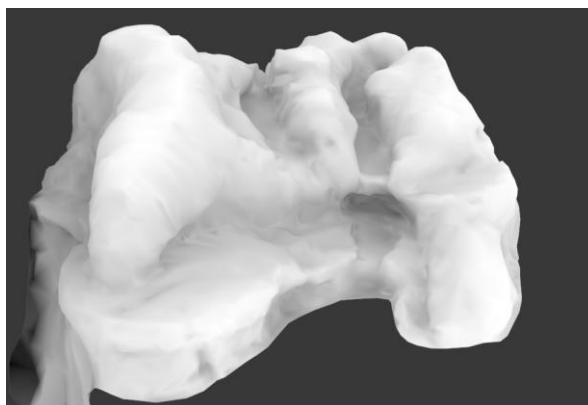


Figura 4.22 – *Bake* de sombras no canal de *vertex colors* do modelo.

Finalmente iremos importar o modelo no “CryEngine”. Dentro do “CryEngine” existe uma opção para misturar as texturas do modelo com o sombreamento que foi colocado no canal *vertex color* do rochedo. A textura repete-se várias vezes ao longo da superfície mas o sombreamento tinge a cor difusa da textura dando maior variação de contraste. Já dentro do motor existe ainda uma última coisa que pode ser feita para disfarçar ainda mais a repetição da textura. Também mencionado no capítulo 3.2 foi o uso de texturas *decal* para este mesmo propósito. Uma vez mais as texturas *decal* são texturas projectadas em cima dos modelos.



Figura 4.23 – (À esquerda) Implementação do modelo no “CryEngine” sem *decals*.

Figura 4.24 – (À direita) Versão final do rochedo com *decals*.

De forma geral estas foram as técnicas usadas para criar todos os desfiladeiros e rochedos de grande escala usados no cenário. Para a criação das cavernas a única diferença foi ter de inverter o sentido das *normais* do modelo. No capítulo 3.2 vimos que as *normais* são o

sentido que as faces dos polígonos apontam. Invertendo as *normais* é possível trabalhar no interior do objecto.

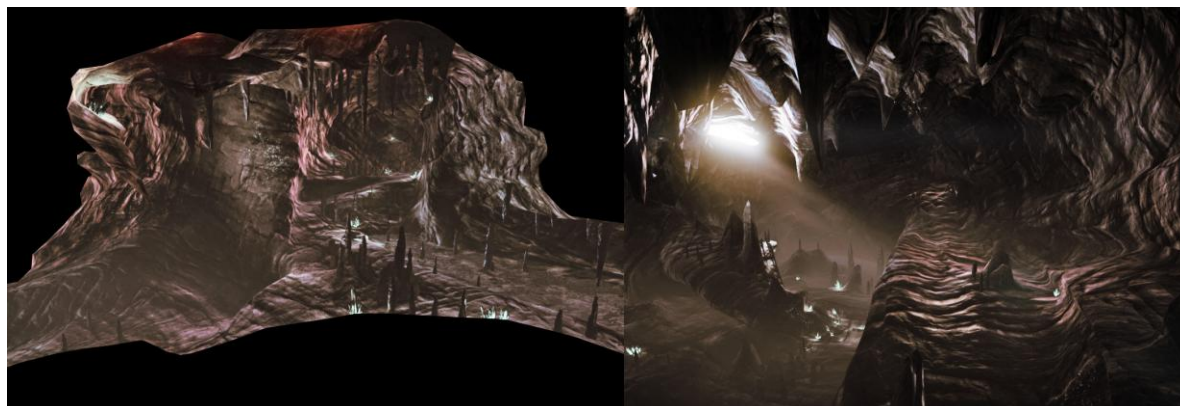


Figura 4.25 – Cavernas.

### 4.2.3 Pedras

Neste novo ponto iremos ver como foram criadas as pedras de dimensão menor que foram espalhadas pelo cenário para acrescentar variedade. A razão pela qual se faz a distinção entre estas pedras e as estruturas maiores do ponto anterior é porque estas pedras não utilizam texturas repetíveis, cada uma possui uma textura única.

A modelação foi iniciada directamente no “Zbrush”. Criou-se uma esfera e fez-se algumas divisões de geometria para se obter uma boa resolução de polígonos. De seguida a esfera foi esticada e moldada até se obter uma forma rochosa simples. Continuou-se o processo de modelação e adicionou-se os detalhes mais pequenos. Sendo rocha sedimentar a modelação foi feita tendo em conta as diferentes camadas que a formam.

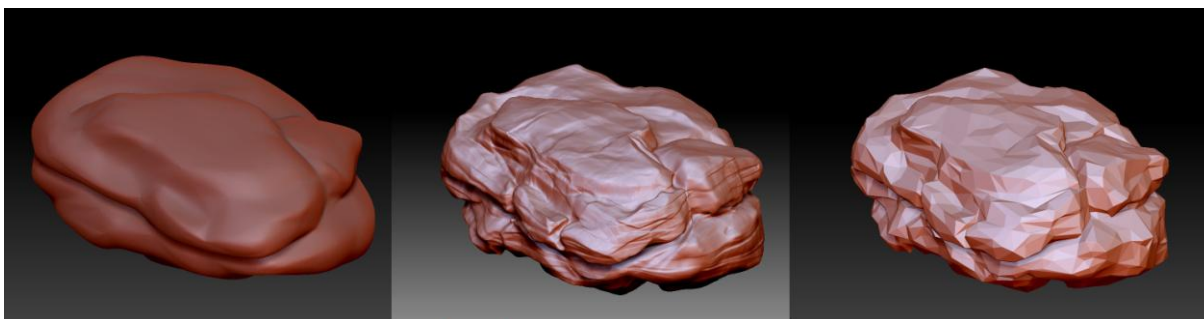


Figura 4.26 – Evolução da forma da rocha (À esquerda e centro) e redução de polígonos do modelo (À direita).

Aqui também não foi necessário ter muito cuidado com o detalhe pois a sua densidade poligonal foi reduzida logo a seguir com a ferramenta *decimation master*. Este modelo com cerca de 1000 polígonos é o que será usado no jogo, sendo assim os UV’s foram criados já

nesta fase com a ferramenta *UV master*. Foi importante criar os UV's nesta altura porque o modelo a seguir foi trabalhado novamente para se criar detalhe pormenorizado. Foram feitas novas subdivisões e esse detalhe todo serviu para ser transformado num *normal map* através do processo de *bake*.

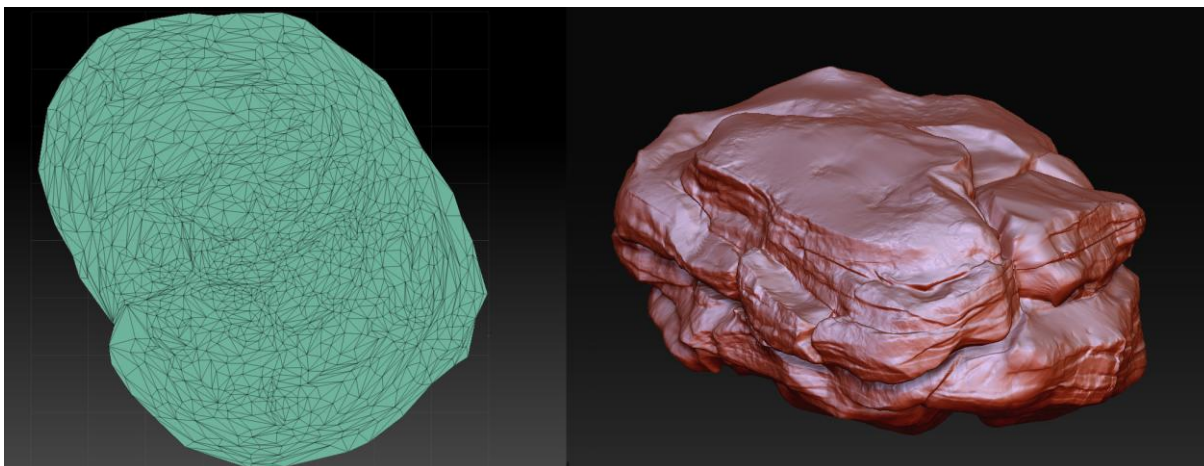


Figura 4.27 – UV's criados no *UV master* à esquerda e versão de alto detalhe da rocha à direita.

Com a ferramenta *multi map exporter* o “Zbrush” é capaz de utilizar o modelo de alta resolução como referencia para criar um *normal map* para ser utilizado na versão de baixa resolução. Mas para além do *normal map* o *multi map exporter* também gera mapas de oclusão e mapas de cavidades. Os mapas de oclusão e cavidades são gerados através da técnica já discutida de fazer *bake* das sombras numa textura. Os dois diferem apenas no sentido em que o mapa de cavidades foca-se nas sombras das reentrâncias mais pequenas, enquanto o mapa de oclusão gera sombras mais abrangentes.



Figura 4.28 – Mapas exportados pela ferramenta *multi map exporter*.

Os últimos mapas a serem criados foram o *diffuse* e o *specular*. Desta vez esses mapas foram pintados directamente no modelo. O “Zbrush” possui ferramentas de pintura próprias, mas nesta fase de pintura foi utilizado outro programa chamado “Mudbox”<sup>87</sup>.

<sup>87</sup> [02-09-2012]: <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=13565063&siteID=123112>

O “Mudbox” é um *software* que compete directamente com o “Zbrush”. Ambos são programas de escultura digital e a razão pela qual foi preferido utilizar o “Mudbox” nesta situação deve-se ao seu sistema de pintura mais robusto e intuitivo. A versão de poucos polígonos da pedra foi importada para o “Mudbox” e deu-se assim início à fase de pintura.

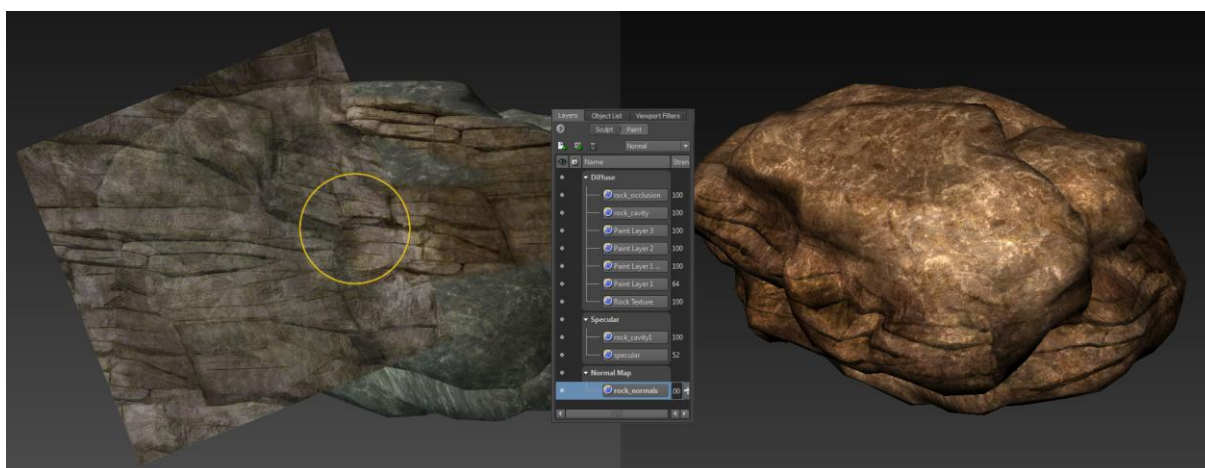


Figura 4.29 – Processo de pintura no *software* “Mudbox”.

Pintar no “Mudbox” é semelhante a pintar no “Photoshop”. Existem *layers* ou camadas que podem ser sobrepostas com diferentes modos de transparência. O acto de pintar texturas na superfície do modelo baseia-se no uso de *stencils*<sup>88</sup>. Foram escolhidas meia dúzia de fotografias de texturas de pedra para serem pintadas no modelo usando a técnica de *stencil*. Essas fotografias são sobrepostas por cima do modelo na área de trabalho do programa, e usando o rato ou caneta digital basta pintar por cima da fotografia e a marca será deixada no modelo 3D atrás (ver figura 4.29).

Esta técnica é intuitiva e permite bastante controlo. A seguir foram importados os mapas extraídos previamente no “Zbrush”. O *normal map* foi inserido no canal apropriado, conferindo um relevo mais detalhado ao modelo e os outros dois mapas, o *occlusion* e o *cavity* são inseridos por cima das outras *layers* de *diffuse*. Utilizando o modo de mistura *multiply* as partes brancas desses mapas tornam-se transparentes, deixando apenas as sombras marcadas no modelo. Por fim restou apenas criar o *specular map*. Para criar este mapa foi duplicada uma das camadas de texturas usadas para o *diffuse* e essa nova camada foi alterada para preto e branco com alto contraste. Colocando essa nova textura no canal *specular* o efeito das zonas mais brilhantes sobressai no modelo.

<sup>88</sup> Um *stencil* é um papel com recortes de desenhos pelos quais tinta é aplicada para formar uma imagem numa outra superfície.



Figura 4.30 – Modelo final da rocha com todos os mapas aplicados.

A rocha é assim dada por terminada e fica pronta para ser colocada no jogo. A figura seguinte mostra alguns exemplos de outras pedras que foram criadas usando as mesmas técnicas discutidas neste ponto. Geralmente este tipo de modelos são criados para poderem ser reutilizados inúmeras vezes no mesmo cenário. Algo a ter em conta é não tornar estes modelos demasiado distintos pois arrisca-se que o jogador repare na repetição do mesmo objecto. Para ajudar a evitar que isso aconteça é importante posicionar as cópias no cenário utilizando rotações e escalas diferentes para cada uma.

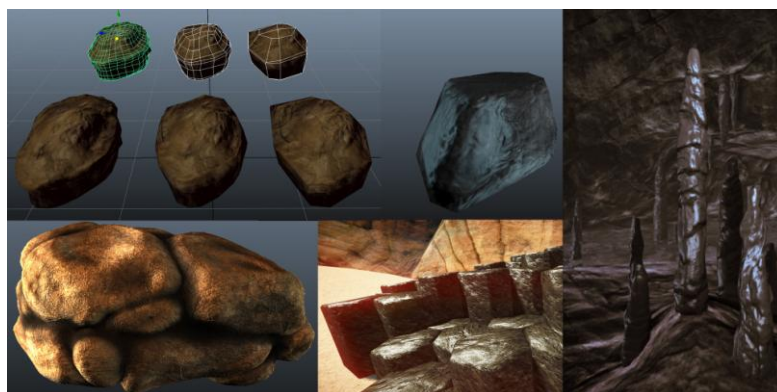


Figura 4.31 – Variadas pedras criadas para o projecto “Twin Paradox”

De uma forma geral termina-se aqui o ponto central desta dissertação que tem como tema central a “Concepção de Estruturas Geológicas para Videojogos”. Vimos uma série de técnicas diferentes de como obter resultados realísticos tendo em conta as limitações gráficas dos videojogos. Desde extensos terrenos a pequenas pedras existem variadas soluções para cada problema. Igualmente importantes foram as noções de geologia que permitiram uma construção informada destes modelos.

#### 4.2.4 Restantes Elementos do Cenário

Esta parte final do capítulo 4.2 é dedicada a todos os outros elementos que fizeram parte da construção do cenário. Elementos como os rios, quedas de água, plantas, iluminação, sons, etc.

Para criar os rios do cenário, primeiro foram utilizadas as ferramentas de alteração de terreno mencionadas no fim do capítulo 4.2.1 para cavar o leito do rio. Para acrescentar a água o “CryEngine” possui uma ferramenta própria para criar rios, apropriadamente chamada de *river tool*. Com a *river tool* é possível desenhar uma linha curva com o trajecto que o rio irá percorrer. Depois é possível ajustar diversos parâmetros como a sua grossura, velocidade, cor, quantidade de espuma, tamanho das ondas, etc.

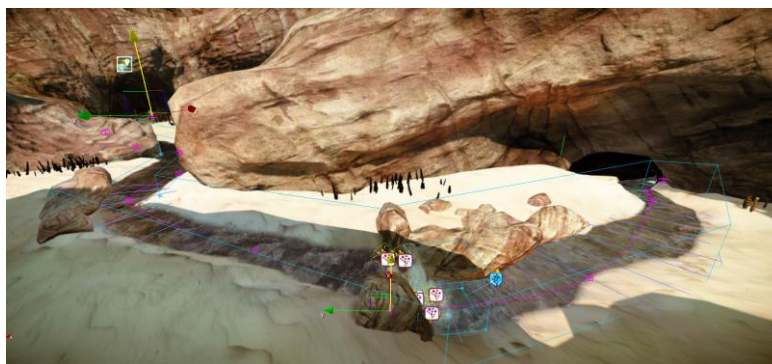


Figura 4.32 – Rio com as ferramentas de manipulação visíveis.

Para criar as quedas de água primeiro foi usada uma simples face rectangular com uma textura animada de água transparente a escorrer em combinação com vários geradores de partículas que animam a rebentação da água. O gerador de partículas é bastante versátil. Permite determinar a velocidade, força, quantidade, direcção, e muitos outros parâmetros. Com ele foi possível criar tanto as quedas de água, como o fogo e fumo dos incêndios e até os pirilampos das cavernas.

Para adicionar sons no cenário como a queda de água basta arrastar um emissor de som para o local onde este deve ser gerado e escolher um ficheiro de áudio. Nos parâmetros do emissor é possível determinar o raio de abrangência desse som e isso é visível graficamente no interface por uma esfera que determina os limites audíveis desse som.

Para popular o cenário com vegetação ou outros grupos grandes de objectos como pedregulhos seria muito moroso colocar cada objecto individualmente. Felizmente no “CryEngine” existe uma forma de pintar simultaneamente um grande número de objectos no terreno. Basta seleccionar numa lista os objectos que queremos adicionar e da mesma forma que se pintam texturas basta passar o rato pela superfície do terreno e automaticamente surgiram os objectos. É possível também definir se a escala e rotação dos objectos é aleatória, evitando que surjam padrões pouco naturais como diversas pedras todas da mesma dimensão apontadas no mesmo sentido.



Figura 4.33 - Plantas e pedregulhos distribuídos pelo cenário.

Uma das maiores vantagens do “CryEngine” face a outros motores de jogos é o facto de o seu sistema de iluminação ser totalmente dinâmico. Isto significa que é possível manipular a iluminação em tempo real. Não existe necessidade de recalculas as sombras caso seja feita alguma alteração como é comum em outros motores. O que vemos no editor é idêntico ao produto final. A luz do sol é a principal fonte de iluminação e existem centenas de parâmetros que permitem ajustar a sua aparência.

No capítulo 2.4 o jogo “The Dig” (Lucasarts, 1995) foi mencionado como uma das maiores referencias para este projecto, e nas áreas onde isso se fez mais sentir foi na iluminação. Neste mundo o sol mantém-se permanentemente perto do horizonte, resultando em tons de entardecer. Queríamos um céu violeta para se complementar com os dourados da areia e rochas.



Figura 4.34 - Iluminação do sol em duas alturas do dia diferentes.

A iluminação para interiores é semelhante à de muitos outros programas 3D como o “Maya”. É possível colocar luzes no cenário e alterar as suas propriedades relativas a sua intensidade e cor. É importante saber gerir bem o número de luzes que projectam sombras, pois demasiadas sombras podem reduzir a performance do jogo, tornando-o lento. Para as cavernas voltou-se a usar o “The Dig” (Lucasarts, 1995) como inspiração. A iluminação é estilizada ao ponto de fazer lembrar uma pintura. Foram usados tons coloridos numa zona onde realisticamente não deveria existir luz. As fontes de luz aqui justificam-se pela existência de cristais luminosos e uma série de fungos e bactérias bioluminescentes fixadas às paredes da caverna.



Figura 4.35 - Iluminação da caverna em modo de edição.

Terminamos aqui a análise feita à construção do cenário. No próximo capítulo iremos falar sobre o desenvolvimento do vídeo promocional, incluindo a pós produção.

### 4.3 Produção do Vídeo

Neste novo ponto do capítulo 4 será feita uma análise do desenvolvimento do vídeo promocional do jogo. Iniciamos com uma descrição do processo de importação de personagens e animações. De seguida é feita uma reflexão sobre a utilização do sistema de captura de movimento utilizado para a gravação das animações. É feita também uma explicação de como as cenas eram montadas no motor de jogo e por fim é descrito o processo de edição e montagem de som.

#### 4.3.1 Implementação das Personagens e Ferramentas

Durante a construção do cenário a colega Joana Pinho criou todas as personagens, criaturas e objectos artificiais como as armas e a fábrica molecular. O autor ficou encarregue de implementar todos esses elementos no motor. Implementar as personagens com animações foi sem dúvida a fase de toda a produção que trouxe mais dificuldades e causou mais atrasos.

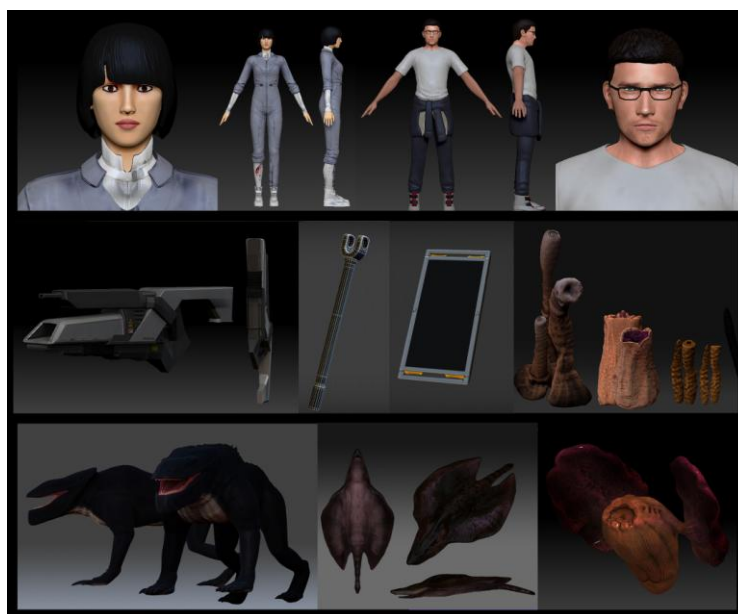


Figura 4.36 – Modelos de personagens criaturas e objectos concebidos por Joana Pinho.

Nos primeiros meses do projecto o *software* utilizado para exportar os objectos para o “CryEngine ” foi o “Maya”. O simples acto de exportação revelou-se ser um ritual de passos desnecessariamente complexos, e sendo esta a primeira vez que o “CryEngine” estava disponível ao público em geral, a documentação de apoio era reduzida. Isto levou a algumas frustrações de tentativa e erro.

A questão multiplicava-se quando se tratava de exportar personagens com *rig*<sup>89</sup>. Foram feitas muitas tentativas mas no fim acabamos por desistir de tentar usar o “Maya” para exportar as personagens. Fizemos a transição para o “3D Studio Max” que possuía uma *plug-in*<sup>90</sup> oficial da “Crytek” para tratar da exportação.

Aqui foi dedicado algum tempo para uma familiarização com o novo software. As fases de *rigging*<sup>91</sup> e *skinning*<sup>92</sup> necessitaram de alguma aprendizagem porque o “3d Studio Max” tem uma abordagem a estas técnicas diferente do “Maya”. Uma vez preparadas e prontas para animar as personagens podiam ser exportadas. Mas mesmo com a utilização do *plug-in* de exportação, foi necessário fazer vários testes até se ter sucesso. Durante essas tentativas a Joana recomendou que fosse feita uma troca temporária de tarefas.

Nesse intervalo, onde foi modelado o exterior da nave espacial, a Joana conseguiu finalmente exportar uma personagem simples com uma animação a funcionar no “CryEngine”. A partir daí foi uma questão de traduzir o processo para uma personagem humana de esqueleto completo.



Figura 4.37 – À esquerda, os modelos das personagens com *rig* no “3d Studio Max”. À direita, os modelos das personagens, criaturas e outros objectos no “CryEngine”.

<sup>89</sup> O *rig* de uma personagem é o conjunto do seu esqueleto e os respectivos controladores de animação.

<sup>90</sup> Um *plug-in* é um componente de *software* que adiciona novas ferramentas a um programa já existente.

<sup>91</sup> Acto de criar um *rig* para uma personagem.

<sup>92</sup> Acto de unir o modelo ao esqueleto para que este se deforme correctamente quando animado.

Para adicionar as armas ao jogo o processo é semelhante ao acto de importar personagens. Isto porque na visão de primeira pessoa, quando vemos os braços da personagem a segurar a arma, trata-se de um modelo próprio diferente do modelo de corpo inteiro. Esse modelo dos braços possui o seu próprio esqueleto e *rig*. Todas as animações da utilização das armas foram feitas à mão no “3d Studio Max”.

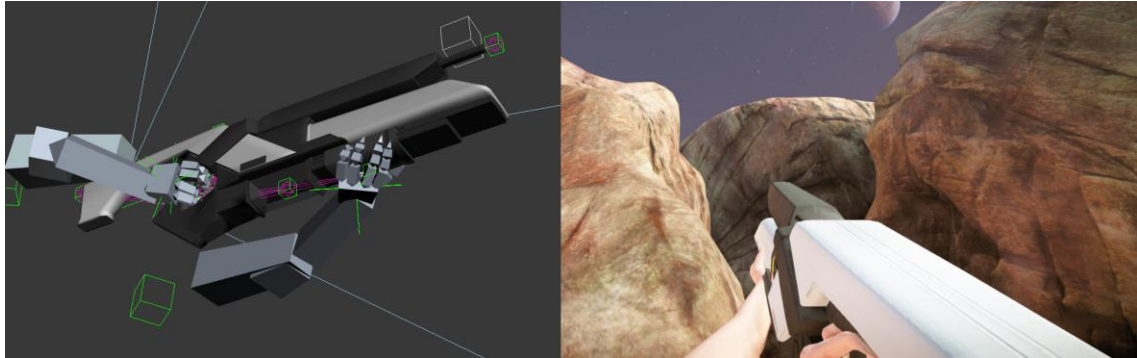


Figura 4.38 – À esquerda, arma com rig e esqueleto dos braços no “3d Studio Max”. À direita, arma implementada no jogo.

#### 4.3.2 Motion Capture

A animação de movimentos humanos realísticos é uma arte que exige muitos anos de experiência e meses de trabalho para um projecto destes. A promessa de que a Escola das Artes iria receber um estúdio de captura de movimentos foi uma das razões que nos fez seguir em frente com este projecto. Sabíamos que a quantidade de animação que este trabalho iria exigir ia roubar muito tempo às outras áreas tornando impossível concluir o projecto a tempo.

Esta tecnologia de captura de movimentos centra-se à volta do uso de múltiplas câmaras que detectam diversos pontos reflectores que são afixados no corpo do actor. Isto torna possível digitalizar qualquer movimento e incorpora-los em personagens virtuais. O processo é bastante mais rápido que animar tradicionalmente e os resultados são realísticos.

O estúdio foi concluído no final do primeiro semestre. Em Fevereiro já estava disponível para ser usado mas havia pouca documentação sobre como utilizar o equipamento. Devido a isso foi pedido à empresa responsável pela instalação do sistema, a “Vicon”<sup>93</sup>, que enviasse um representante para ensinar professores e alunos a utilizar o sistema correctamente. Após uma sessão com o representante, Bob Dimmck, ficamos aptos a utilizar o equipamento.

<sup>93</sup> [02-09-2012]: <http://www.vicon.com/>

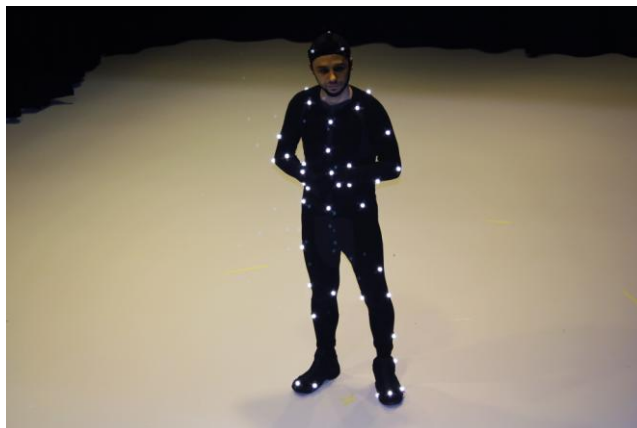


Figura 4.39 - O autor vestido com o fato de *motion capture*.

As gravações foram feitas em apenas dois dias a meio de Março. A responsabilidade da actuação dos movimentos ficou a cargo do autor, enquanto a parte técnica de utilização do *software* ficou a cargo da colega Joana Pinho. No geral as gravações correram bem. O único percalço foi a colocação incorrecta de um dos reflectores que obrigou a que fossem refeitas algumas cenas.

Devido à natureza da tecnologia de *motion capture*, inevitavelmente irão surgir erros de movimento que têm de ser corrigidos manualmente no *software*. As 10 câmaras são colocadas no estúdio de forma a abrangerem o maior espaço possível para garantir que capturam o posicionamento de cada um dos reflectores. Contudo é frequente obstruir um ou vários reflectores com certos movimentos ou posições. Estando o actor deitado no chão as câmaras vão ter dificuldade em detectar todos os reflectores. Quando acontece um destes momentos em que um ponto se torna invisível a captura pode ficar com erros. A correcção dessas imperfeições ficou a cargo da colega Joana Pinho.

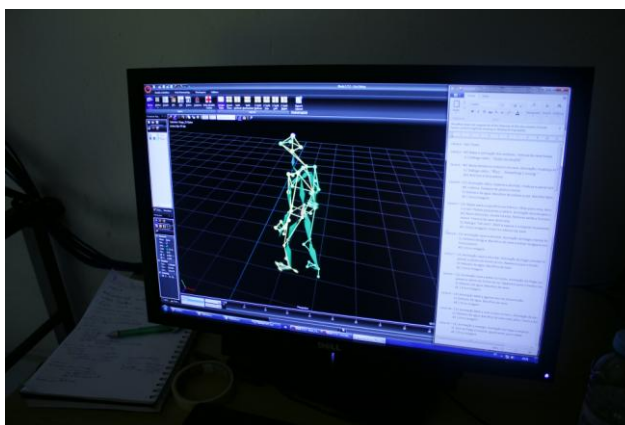


Figura 4.40 - Software da “Vicon” utilizado para gerir a captura.

Uma vez concluída essa tarefa e tendo as personagens e as animações a funcionar, resta apenas dar início à construção das cenas no motor de jogo.

### 4.3.3 Construção das Cenas

O argumento final com a narrativa do vídeo promocional tem ao todo 34 cenas. A produção destas cenas dividiu-se em dois métodos distintos. O primeiro método foi mais tradicional no sentido em que envolveu câmaras e animação. O segundo método envolveu simplesmente correr o jogo e gravar as acções do jogador directamente.

Para as cenas que envolveram animação tradicional o processo foi de forma geral semelhante entre elas, pois quase todas as eram do ponto de vista do personagem. O processo de construção destas cenas envolveu primeiro colocar os personagens nas suas posições e seleccionar as animações correspondentes a cada cena. De seguida foi criada uma câmara para ser colocada na posição dos olhos do protagonista. Em testes que foram feitos anteriormente tentou-se afixar a câmara directamente à cabeça do personagem, fazendo com que quaisquer movimentos feitos no estúdio de *motion capture* conduzissem os movimentos de câmara directamente. Contudo este método não foi utilizado pois os resultados eram demasiado tremidos. Os movimentos de câmara foram portanto animados à mão. Isto resultou em movimentos mais suaves.

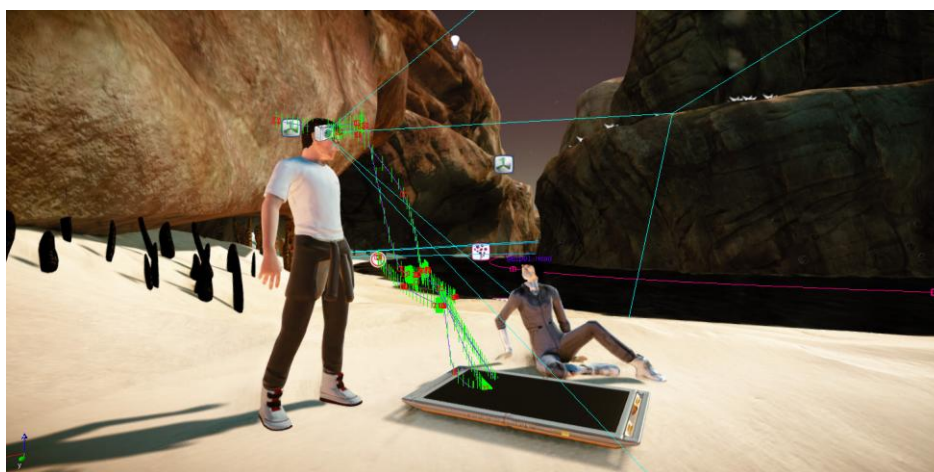


Figura 4.41 – Construção de uma cena no “CryEngine”

Em algumas cenas os óculos de Matt, que também eram a câmara, foram pousados a alguma distância dele para que o protagonista também pudesse ser filmado. Os óculos numa cena foram agarrados e noutra foram atirados pelo ar. Todos estes movimentos foram igualmente animados à mão, tal como os planos finais do vídeo que possuem ângulos de câmara tradicionais. Uma vez estando a cena construída o passo final foi exportar em formato de vídeo. Num filme de animação tradicional esta seria chamada a fase dos *renders*, e poderiam ser necessárias várias horas para se gerar a cena final. Num motor de jogo o *render* é apenas tão longo quanto a própria duração da cena.

Para as cenas que eram gravadas enquanto se jogava o processo era um pouco diferente. Este método era semelhante ao acto de filmar vídeo real, no sentido em que eram feitos vários *takes* até se atingir um bom resultado.



Figura 4.42 - Cena gravada usando as acções do jogador.

Tendo as 34 cenas gravadas o passo seguinte foi iniciar a fase de edição do vídeo.

#### 4.3.4 Som e Edição

No início do primeiro semestre foi acordado que a produção do design de som ficaria a cargo da colega Sofia Simões. Ao longo do desenvolvimento do projecto foram feitas uma série de reuniões para discutir que caminho se deveria tomar relativamente à sonoridade do jogo. Igualmente importante seria encontrar actores para interpretar os diálogos do vídeo promocional. Como o diálogo era em inglês, a prioridade para o casting dos actores foi que eles não deveriam ter sotaques demasiado fortes. Felizmente a Sofia tinha amigos naturais de Inglaterra que concordaram em oferecer as suas vozes para o projecto. Foram feitos alguns testes e a voz masculina desempenhou um bom papel e foi aceite para as gravações finais. Contudo a voz feminina não era o que estávamos à procura por isso foi necessário encontrar uma substituta. Felizmente conhecíamos uma antiga colega que cresceu nos Estados Unidos e também estava disposta a ajudar. Os actores usados foram então Joey Wright e Inês Machado.

Entretanto a Sofia desenvolveu alguns testes de música que se adaptavam bem ao ambiente misterioso do planeta alienígena, mas faltava ainda uma música com forte carga emocional para acompanhar o final do vídeo.

Quanto ao design de som este também foi evoluindo ao longo do segundo semestre, contado com algumas sessões de gravação de efeitos sonoros num dos estúdios de captura de som. Contudo continuavam a surgir novas versões do vídeo final à medida que se iam construindo os cenários e iam sendo adicionados novos objectos. Isto significa que até a poucas semanas da entrega, não existiu nenhuma versão finalizada com os tempos correctos para que se pudesse montar toda a sonoplastia. Isto dificultou o trabalho da Sofia que foi sendo acumulado para os últimos momentos.

Mesmo na recta final para entrega surgiu um imprevisto e perdeu-se o contacto com a Sofia. Nestes dias finais o resto da sonoplastia foi desenvolvido pelo autor e pela colega Joana Pinho utilizando para isso bibliotecas de sons gratuitos na internet e música com direitos de autor. Simultaneamente foi feita também a edição do vídeo final.

Ao contrário de um filme de animação, na pós-produção não foi feito qualquer tipo de tratamento de imagem. Não foi uma questão de falta de tempo mas sim uma escolha deliberada. Na indústria dos jogos qualquer manipulação da imagem em pós-produção que melhore a aparência do jogo é mal vista, pois é considerada como falsa publicidade. O vídeo promocional deve portanto ser fiel à aparência real do jogo.

Relativamente à edição, foi escolhida uma linguagem particular que aludia a filmes como o Cloverfield (Reeves, 2008). Ou seja, filmes onde se assume a existência da câmara. Devido ao facto de quase todos os planos serem em primeira pessoa achou-se que os cortes de cena para cena poderiam ter má legibilidade devido à semelhança entre os planos. Foi então decidido que entre cada corte deveria haver uma passagem para negro antes de se passar para a próxima cena. Isto iria contribuir para a noção da câmara real que está a sofrer de alguns erros provenientes do acidente inicial. Mas em retrospectiva não estamos certos que essa decisão tenha tido a leitura que desejamos. É possível que exista dúvida no espectador relativamente a se esses erros de imagem espalhados pelo vídeo sejam deliberados ou não. Contudo continuamos a achar que essa decisão é superior à alternativa de cortes directos. Talvez exista uma terceira solução ainda por explorar.

Com isto chegamos ao fim do capítulo 4 e da análise da produção do projecto. O capítulo seguinte será dedicado a uma reflexão final sobre o projecto.

## 5 Conclusões Finais

Ao longo desta dissertação foi mencionada em algumas ocasiões diferentes a importância de um artista possuir um bom entendimento das leis do mundo natural. Foi dito que um bom pintor deve compreender a luz. Qualquer bom artista deve também saber de anatomia para representar o corpo humano, de biologia para representar o reino animal e vegetal, de física para a animação de corpos em movimento, e de muitas outras ciências incluindo certamente a geologia para a criação de ambientes naturais. Socialmente é frequente fazer-se uma distinção entre aqueles indivíduos que possuem uma maior tendência para as artes e aqueles que têm maior tendência para as ciências. Mas se a arte pretende comentar sobre a realidade não deveria também compreender a realidade? Caso contrário corre o risco de não ser mais do que uma opinião mal informada.

Contudo, um artista não pode esperar até possuir todo o conhecimento, pois esse dia nunca chegará. Trata-se de um constante progresso. Pouco a pouco vão-se adquirindo novas ferramentas e esta dissertação foi uma oportunidade de adquirir algumas ferramentas novas.

Olhando para o projecto final, a escolha da geologia podia parecer óbvia mas existe um grande número de outros caminhos igualmente válidos que podiam ter sido seguidos. Não exclusivamente temas de cariz científico. Os videojogos como arte são ainda um tema muito pouco explorado e de certa forma a narrativa nos jogos também possui uma série de limitações dignas de serem ultrapassadas tal como se tentou ultrapassar certas limitações técnicas nesta dissertação.

Mesmo na área da geologia existe ainda muito por explorar que não foi tocado nesta dissertação. Não basta conhecer os factos e é por isso que também foi importante explorar a parte técnica e prática da criação das rochas. Numa indústria que evolui tão rapidamente como a dos videojogos é necessário estar a par das tendências mais recentes. Se existe o desejo de contribuir algo novo é ainda mais importante não ter de reinventar a roda constantemente.

Em todos os sentidos o projecto final “Twin Paradox” foi um culminar de todo o conhecimento acumulado ao longo dos últimos 5 anos académicos. É raro poder dizer que o resultado final atingiu as expectativas da visão original, mas nesse sentido este projecto foi um sucesso. Isto não significa que foi um projecto perfeito, muitas arestas ficaram por limar, e não foi possível fazer a implementação da mecânica de jogo planeada. Mas comparativamente com projectos passados foi mais ambicioso e em igual medida executado de melhor forma.

O projecto “Twin Paradox” foi também pensado para ser um projecto a continuar no futuro. Isso continua a ser verdade, mas foi concluído que o melhor passo neste momento seria desenvolver um projecto semelhante mas menor em termos de escala. Foi confirmado que se trata realmente de um projecto com uma escala superior à qual conseguimos lidar neste momento. Por isso pretende-se extrair os elementos principais e inclui-los num jogo mais pequeno, que possa ser concluído no espaço de um ano. Reflectindo sobre perspectivas futuras esse será provavelmente o caminho mais lógico a seguir. Uma carreira na indústria dos videojogos continua a ser o objectivo, mas sentimos que a melhor forma de fazer uma contribuição valiosa para nós e para o público é criando projectos pessoais em vez de fazer parte de uma empresa maior, seja nacional ou estrangeira. Vem aí uma revolução na forma como se criam e consomem videojogos, e é o desejo do autor fazer parte dessa revolução.

## Referências e Bibliografia

- Accomazzi, V. (2009). *Voxel-Based Graphics on Intel Architectures*. Obtido em 1 de 02 de 2012, de software.intel.com: <http://software.intel.com/en-us/articles/voxel-based-graphics-on-intel-architectures/>
- Ahearn, L. (2006). *3D Game Textures*. Burlington, MA: Elsevier.
- Barbosa, D., Pinho, J., & Araújo, F. (Developers). (2010). *Fusebox* [Videojogo].
- Bourke, M., & Viles, H. (2007). *A Photographic Atlas of Rock Breakdown Features in Geomorphic Environments*. Planetary Science Institute.
- Bungie (Developer). (2004). *Halo 2* [Videojogo].
- Bungie (Developer). (2001). *Halo* [Videojogo].
- Cameron, J. (Produtor), & Cameron, J. (Realizador). (2009). *Avatar* [Filme].
- Chinn, P. (Realizador). (2007). *How the Earth Was Made* [Motion Picture].
- Chubb, D. (2007). *sony-ps3-275000000-polygons-per-second-vs-xbox-360s-500000000*. Obtido em 2 de 2 de 2012, de www.product-reviews.net: <http://www.product-reviews.net/2007/11/06/sony-ps3-275000000-polygons-per-second-vs-xbox-360s-500000000/>
- Clark, S. (1995). Forword in the Game manual for The Dig. Lucasarts.
- Closson, D. (2011). *Tectonics*. InTech.
- Dice (Developer). (2011). *Battlefield 3* [Videojogo].
- Dice (Developer). (2008). *Mirror's Edge* [Videojogo].
- Feil, J., & Scattergood, M. (2005). *Beginning Game Level Design*. Course Technology PTR.
- Hill, F. S. (2008). *Computer Graphics Using Open GL*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Howard, M. (22 de Novembro de 2004). *Master Chief kills competition with Halo 2*. Obtido em 7 de 2 de 2012, de palyvoice.com: <http://palyvoice.com/node/15389>
- Id Software. (Developer). (1993). *Doom* [Videojogo].
- Id Software. (Developer). (2011). *Rage* [Videojogo].
- Ingrassia, M. (2009). *Maya for Games: Modeling and Texturing Techniques with Maya and Mudbox*. Oxford: Focal Press.
- Klawonn, F. (2008). *Introduction to Computer Graphics*. London: Springer.
- Kubrick, S. (Produtor), & Kubrick, S. (Realizador). (1968). *2001: A Space Odyssey* [Filme].
- Lee, I. (Realizador). (2000). *Thumb Candy - The History of Computer Games* [Filme].
- Levy, E. (2000). *2001: a space odyssey*. Obtido em 9 de 2 de 2012, de www.emanuellevy.com: <http://www.emanuellevy.com/review/2001-a-space-odyssey-9/>
- Lucasarts (Developer). (1995). *The Dig* [Videojogo].

- Lutgens, F., & Tarbuck, E. (2009). *Essentials of Geology*. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education.
- Myrick, D. (Realizador). (1999). *Blair Witch Project* [Filme].
- Nintendo (Developer). (1985). *Super Mario Bros* [Videojogo].
- Nvidia. (s.d.). *Tessellation*. Obtido em 8 de 2 de 2012, de [www.nvidia.com](http://www.nvidia.com/object/tessellation.html): <http://www.nvidia.com/object/tessellation.html>
- O'Callaghan, J. (10 de 03 de 2011). *what-are-pixels*. Obtido em 9 de 2 de 2012, de [www.howitworksdaily.com](http://www.howitworksdaily.com): <http://www.howitworksdaily.com/technology/question-of-the-day-what-are-pixels/>
- Paquette, A. (2008). *Computer Graphics for Artists I*. London: Springer.
- Park, G. (2006). *Introducing Geology: A Guide to the World of Rocks*. Dunedin Academic Press.
- Abrams, J. (Produtor), & Reeves, M. (Realizador). (2008). *Cloverfield* [Filme].
- Schell, J. (2008). *The Art of Game Design: A Book of Lenses*. Morgan Kaufmann.
- Taito (Developer). (1978). *Space Invaders* [Videojogo].
- Thomas, K. (1998). *Poor Man's Bryce, Part II: More Terrain Generation with Quickdraw*. Obtido de [www.mactech.com](http://www.mactech.com): <http://www.mactech.com/articles/mactech/Vol.14/14.11/PoorMansBrycePartII/index.html>
- Tracy, D., & Tracy, S. (2011). *CryEngine 3 Cookbook*. Birmingham: Packt Publishing.
- Trank, J. (Realizador). (2012). *Chronicle* [Filme].
- We Came From Mars. (Developer). (2011). *Return Zero* [Videojogo].
- Nayfack, N. (Produtor), & Wilcox, F. (Realizador). (1956). *Forbidden Planet* [Filme].
- Williams, M. (Realizador). (2009). *Inside Planet Earth* [Filme].
- Wilson, J. R. (2010). *Minerals and Rocks*. BookBoon.
- Zucker, M. (Fevereiro de 2001). *The Perlin noise math FAQ*. Obtido em 22 de Agosto de 2012, de <http://webstaff.itn.liu.se/~stegu/TNM022-2005/perlinnoiselinks/perlin-noise-math-faq.html>

## **APÊNDICE A**

O DVD em anexo contém o vídeo promocional do videogame Twin Paradox, um vídeo de *making-of*, e uma selecção de imagens do projecto.