



**Representação Tridimensional de Processos de Erosão  
Costeira em Ilhas Barreiras Utilizando Tecnologia de Jogos**  
Three-Dimensional Representation of Coastal  
Erosion Processes in Barrier Islands Using Game Technology

Carlos Henrique Grilo Diniz; Venerando Eustáquio Amaro;  
Matheus da Cunha Prudêncio & Renan Farias Felipe

*Universidade Federal do Rio Grande do Norte,*

*Campus da Escola Agrícola de Jundiá EAJ, RN 160, km 3, Cx Postal 07, 59.280-000, Distrito de Jundiá, Macaíba, RN, Brasil*

*E-mails: carlos.chgd@gmail.com; venerando.amaro@gmail.com; matheus.prudencio@gmail.com; renanfariasfelipe@gmail.com*

Recebido em: 19/09/2017      Aprovado em: 18/10/2017

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2017\\_3\\_147\\_158](http://dx.doi.org/10.11137/2017_3_147_158)

## Resumo

O presente artigo descreve o desenvolvimento de uma metodologia de representação tridimensional de processos de erosão costeira em praias arenosas utilizando tecnologia de jogos. Essa representação visa auxiliar os profissionais das geociências e das engenharias, de forma lúdica e interativa, nos constantes desafios de melhor apresentar as mudanças na morfologia. Essas mudanças são promovidas pela interação entre processos continentais, oceanográficos e atmosféricos somados às atividades antrópicas, que combinadas, modificam estes ambientes. São apresentadas ainda, as etapas e o fluxo para implementação de protótipos de simulação utilizando a abordagem de jogos sérios com a ferramenta de desenvolvimento de jogos Unity 3D.

**Palavras-chave:** simulação; erosão; jogos sérios; *Unity 3D*

## Abstract

The present paper describes the development of a methodology for three dimensional representation of coastal erosion processes in sandy beaches using game technologies. This representation objective to help professionals of Geosciences and Engineering, in a playful and interactive way, in the constant challenges of better presenting the changes in morphology. These changes are promoted by the interaction between continental, oceanographic and atmospheric processes combined with human activities, which together modify these environments. Also, the steps and the flow for the implementation of simulation prototypes using the serious games approach with the Unity 3D game development tool were presented.

**Keywords:** simulation; erosion; serious games; *Unity 3D*

## 1 Introdução

A representação e a visualização da morfologia das zonas costeiras apresentam-se como desafio constante aos profissionais das geociências e das engenharias. A mudança nesta morfologia é promovida pela interação entre processos continentais, oceanográficos e atmosféricos (ondas, correntes, marés, ventos), denominado neste artigo de forçantes meteoceanográficas, somados às atividades antrópicas, que combinadas, modificam estes ambientes.

A ilha barreira de Ponta Tubarão, área de testes do presente artigo, encontra-se localizada no litoral setentrional do Rio Grande do Norte (RN), região nordeste do Brasil. Trata-se de um cordão/espório arenoso formado pela ação da deriva litorânea, que se rompeu do continente, protegendo lagunas e/ou estuários da ação de ondas e correntes marinhas (Suguio, 1998). A composição mineralógica da área é dada por areia de granulometria fina a grossa, bem selecionadas, quartzosas, com estratificações planares e fragmentos de conchas (Caldas *et al.*, 2006).

O uso de dados geográficos e imagens de satélites para a representação da ilha barreira Ponta do Tubarão se mostrou bastante comum nas últimas duas décadas. Ao longo dos anos o desenvolvimento de soluções computacionais e de recursos como o uso de imagens híbridas, de radar e imagens tridimensionais geradas a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDE) passaram a ser utilizadas com mais frequência na representação da área. Apesar da utilização de diferentes técnicas, nenhuma destas, dispõe da interatividade e dinâmica da representação tridimensional apresentada neste artigo. O protótipo de simulação é capaz de apresentar o ambiente de forma realista, possibilitando a adição de recursos como ondas, marés, ventos e até mesmo a iluminação que se utilizam dos mais diversos componentes programáveis do motor de jogos. Além disso, o desempenho das atividades se torna mais veloz e eficiente tendo em vista o uso otimizado do poder de processamento da GPU (Unidade de Processamento Gráfico) (Kirk & Huw, 2010).

Os jogos sérios, ou *serious games*, são soluções de *software* cujo objetivo difere do entretenimento. A partir do uso de tecnologias e metodologias de jogos de computador, ou de

console, e tem por objetivo sanar problemas do mundo real. Essa modalidade de jogos tem sido frequentemente usada com sucesso, em áreas como defesa, simulação, saúde, negócios, turismo, dentre outras, seja para fins de educação ou treinamento (Aldrich, 2005; Mattar, 2010; Novack, 2010). No entanto, para que sejam eficazes na representação da nossa área de testes, os jogos sérios devem atender não só os requisitos mencionados acima, mas também as competências requeridas dos usuários alvos desta plataforma, como métricas de avaliação e de medição dos resultados.

Nesse contexto o presente artigo, descreve o desenvolvimento de uma solução de representação tridimensional de processos de erosão costeira em praias arenosas utilizando tecnologia de jogos. No desenvolvimento deste software foram utilizadas tecnologias como ambiente de desenvolvimento de jogos *Unity 3D*, e linguagem de programação orientada a objetos *C#* (C Sharp). A escolha dessa plataforma ocorreu devido ao seu extenso uso no desenvolvimento de jogos, com ênfase na temática de jogos sérios (Vasudevamurt & Uskov 2015). O *Unity 3D* é também uma das poucas plataformas que permite a alteração da maquete em tempo real (Helsing & Elster, 2015), permitindo a visualização da evolução da linha de costa na área de testes.

### 1.1 Contexto Ambiental

O litoral setentrional do Rio Grande do Norte, está sob a ação de intensa dinâmica sedimentar que promove grandes mudanças nas feições morfológicas presentes (formação de ilhas barreiras, recuo e avanço da linha de costa, abertura e fechamento de canais de maré) que é influenciada pela ação direta dos agentes dinâmicos costeiros (clima, vento, marés, ondas e correntes marinhas) e pela intensa intervenção antropogênica, provocada pelas atividades econômicas instaladas na área (Souto *et al.*, 2004; Amaro & Araújo, 2008; Nascimento, 2009; Matos & Amaro, 2011).

#### 1.1.1 Clima da Região

O Clima da região, segundo Nimer (1989), é caracterizado como semi-árido do tipo BSW'h, de acordo com a classificação climática de Köppen, com altas temperaturas e poucas chuvas dividido em

duas estações bem definidas: seca entre os meses de junho a janeiro e chuva de fevereiro a maio, com precipitação pluviométrica média de 537,5mm. A temperatura média anual de 27,2°C com umidade média relativa anual de 68% (IDEMA, 2008). Quanto ao regime de ventos, que atua diretamente na formação de ondas e marés, e como agente transportador do sedimento emerso quando seco (Amaro & Araújo, 2008; Franco *et al.*, 2012). Têm-se a partir dos dados medidos pela estação meteorológica Macau A317, sendo a velocidade média dos ventos de 4,9 m/s de predominância NE, E e SE.

### 1.1.2 Processos Hidrodinâmicos Atuantes

Os processos hidrodinâmicos são responsáveis pela origem, desenvolvimento e modificações das feições morfológicas costeiras, e são controlados pela ação de processos físicos como ondas, marés e correntes, sendo o clima de ondas a principal variável indutora dos processos costeiros de curto e médio prazo. Como agente transmissor de energia, a interação das ondas com as características geológicas e geomorfológicas da zona litorânea, são responsáveis pelos diferentes padrões de transporte de sedimentos nos sentidos transversal e longitudinal à linha de costa (Tesser & Goya, 2005; Muehe, 2006; Gois & Oliveira, 2010). São encontradas na região, ondas de energia moderada de direção NE e E, com alturas de 0,5 m a 1,18 m e período entre 4 e 8 segundos (Matos & Amaro, 2011). O regime de marés é o de mesomaré semidiurna com máxima de 2,9 m durante a maré de sizígia (preamar), e mínima de 0,43 m durante a maré de quadratura (Vital *et al.*, 2008; Matos *et al.*, 2013). Quanto as correntes marinhas a região encontra-se sob a influência da Corrente Equatorial Sul que atua em toda a costa norte do Brasil.

### 1.1.3 Feições Geomorfológicas Presentes

As feições geomorfológicas que compõem a porção setentrional do nordeste brasileiro foram desenvolvidas em sua maioria durante o Cenozoico, como resultado da evolução cíclica marcada pelo soerguimento regional resultante da separação do supercontinente Gondwana, das reativações tectônicas e da morfodinâmica atual (Mabesoone,

1978; Maia *et al.*, 2010). As principais feições identificadas na região foram as dunas fixas e móveis, as planícies de maré, as ilhas barreiras, as barras arenosas e as praias.

As dunas são caracterizadas por depósitos de areia média a muito fina inconsolidadas e bem selecionadas, de cor variável entre cinza claro a branco (Souto *et al.*, 2004), são formadas a partir da acumulação dos sedimentos arenosos transportados pela ação dos ventos nas zonas litorâneas (Suguió, 1998), com sentido preferencial de transporte para SW. Apresentam estruturas do tipo barcana, possuindo convexidade voltada para o NE, e podem se apresentar desprovidas de cobertura vegetal (dunas móveis) ou por vegetação (dunas fixas) sendo aquelas mais susceptíveis a erosão. (Souto *et al.*, 2004).

As planícies de maré compreendem áreas de baixa energia decorrente da influência de feições como *splits* arenosos (Barra do Corta Cachorro e Ilha/Barra do Fernandez) e/ou ilhas barreiras como a Ponta do Tubarão. Os principais mecanismos responsáveis pela deposição e distribuição de fácies/subfácies na planície de maré são a progradação e a deposição de sedimentos lateral em associação com barras em pontal (*point bars*) em canais de maré e seus tributários (*tidalcreeks*) (Silva, 1991). Essas áreas são frequentemente cobertas por mangues e recortadas por canais de maré acentuadamente curvilíneos (Souto *et al.*, 2004).

As ilhas barreiras são cordões/espórões formadas pela ação da deriva litorânea, que se rompem do continente ou se estendem paralelas à costa, protegendo lagunas e/ou estuários da ação de ondas e correntes marinhas (Suguió, 2003). São constituídas por areias finas a grosseiras, bem selecionadas, quartzosas, limpas, com estratificações planares e fragmentos de conchas (Silva, 1991; Caldas *et al.*, 2006). Em termos composicionais, quando em pequena expressão, são denominadas de barras arenosas.

As praias correspondem as feições situadas entre o limite superior de preamar e a linha de baixa mar, essas zonas permanecem expostas durante a maré baixa e ficam submersas durante a maré alta. Trabalhos recentes mostram que a região apresenta predominantemente episódios de erosão ao longo das últimas décadas (Santos *et al.*, 2012a, b; Santos & Amaro, 2013; Santos, 2014).

## 1.2 Área de Testes

Dentro do contexto acima descrito, a ilha barreira Ponta do Tubarão, localizada no município de Macau/RN, próximo aos povoados de Barreiras e Diogo Lopes, foi escolhida para ser a área de testes do presente trabalho. A presente área está inserida em uma região que comporta várias atividades socioeconômicas de grande relevância local e estadual como o polo industrial petrolífero, de geração eólica, as indústrias de salinicultura e carcinicultura e o turismo, esta também é protegida ambientalmente pelo IDEMA na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual (RDSE) Ponta do Tubarão. Os limites geográficos da área encontram-se entre as coordenadas UTM E: 771.170 e UTM N: 9.439.765 no vértice superior esquerdo e as coordenadas UTM E: 776.170 e UTM N: Y 9.437.265 no vértice inferior direito totalizando 12,5 km<sup>2</sup>. A principal via de acesso a partir da capital Natal é a rodovia federal BR-406 e já no município de Macau faz-se necessário a utilização das rodovias estaduais RN-401, RN-212 e RN-403 (Figura 1).

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Fluxo do Processo de Criação do Protótipo de Simulação

O processo de construção da representação tridimensional de processos de erosão costeira em ilhas barreiras utilizando tecnologia de jogos seguiu o fluxo apresentado na Figura 2.

#### 2.1.1 Aquisição dos Dados

Nesta fase do processo a aquisição dos dados planialtimétricos foi realizada mediante levantamentos geodésicos pelo posicionamento, e pelo sistema de altimetria *Global Navigation Satellite System* (GNSS). Os levantamentos foram realizados trimestralmente entre maio de 2010 e novembro de 2012 no total de 11 levantamentos. A linha de costa foi definida como o alcance máximo da linha d'água no espriamento das ondas na face de praia na maré de quadratura, onde as marcas mais recentes são indicadas por restos de plantas e pela diferença entre areia seca e molhada deixadas

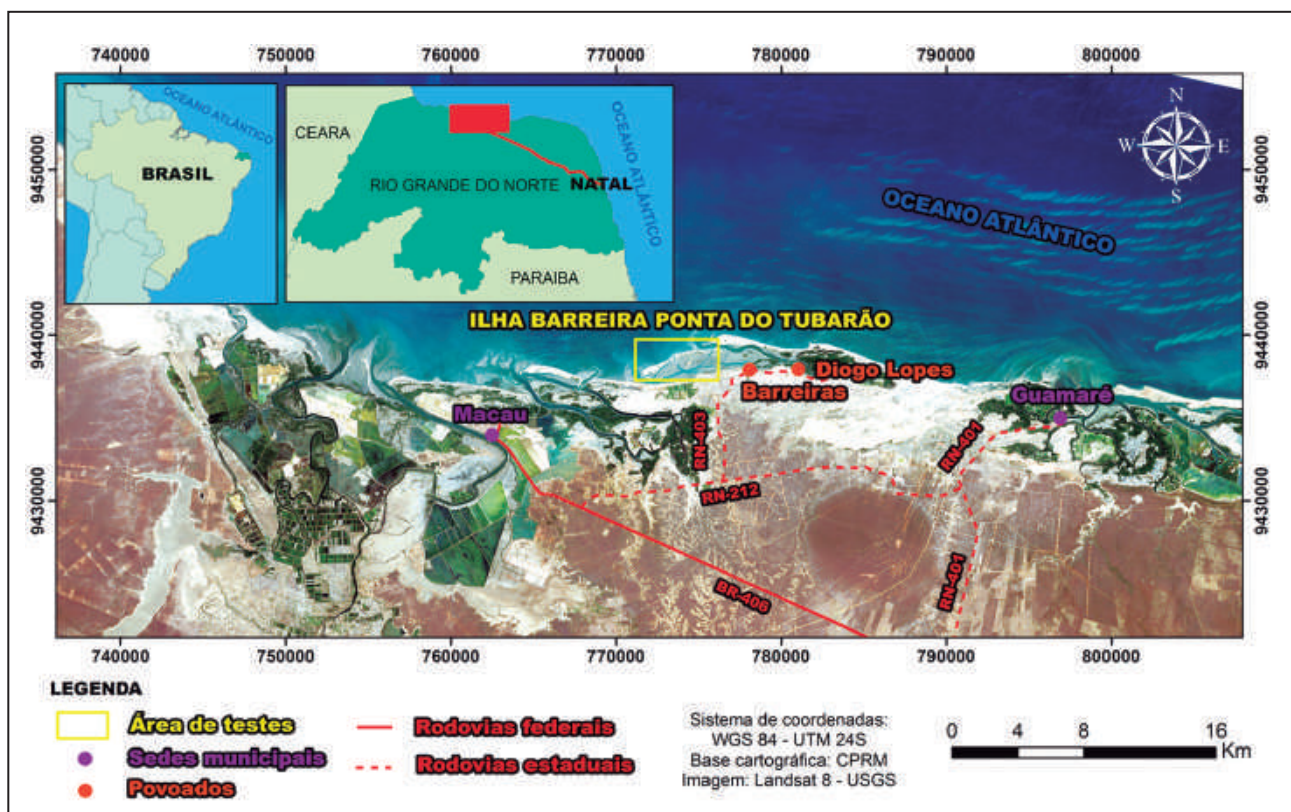


Figura 1 Área de testes com as principais vias de acesso, a partir de Natal seguindo a BR-406 é necessário utilizar as RN-212, RN-401 e RN-403.

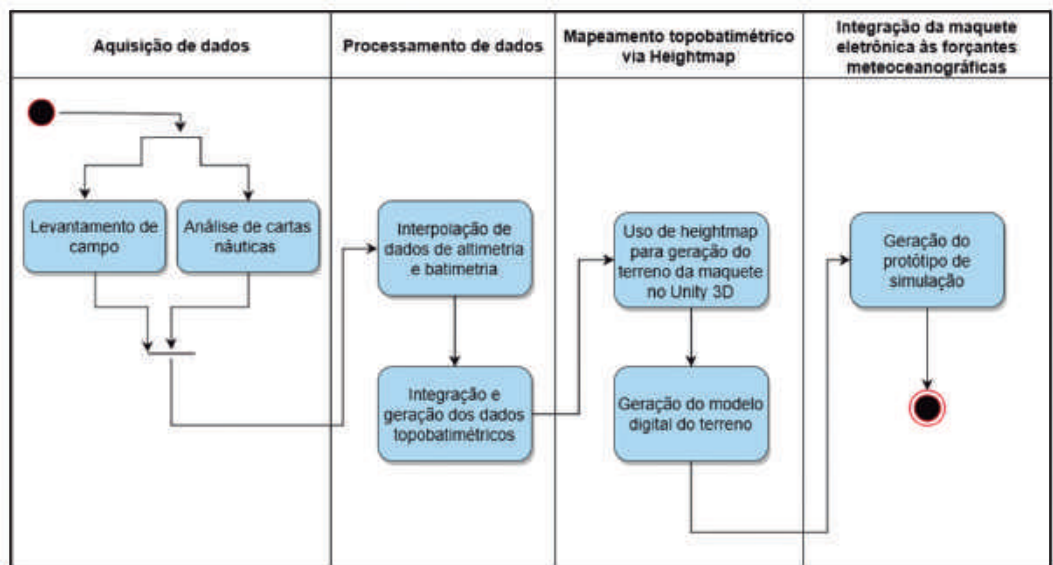


Figura 2  
Processo de criação da representação tridimensional do protótipo de simulação de processos de erosão costeira em ilhas barreiras utilizando tecnologia de jogos.

pela última maré (Souto *et al.*, 2004; Amaro *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2012a). A aquisição dos dados de batimetria ocorreu a partir de cartas náuticas da Marinha do Brasil.

### 2.1.2 Processamento de Dados

Nesta etapa os dados interpolados obtidos dos levantamentos geodésicos e de cartas náuticas foram interpolados separadamente, e posteriormente integrados compondo os dados topobatimétricos que formam a base para a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE).

Estes dados foram interpolados através da ferramenta *3D Analyst* presente no ArcGis 10.1, e se referem as informações de altimetria e batimetria da área de testes. A interpolação dos dados foi necessária diante da distribuição irregular dos dados, e foi realizada separadamente tendo em vista a diferente natureza e características dos dados coletados.

As informações oriundas dos levantamentos geodésicos foram interpoladas no algoritmo *Triangular Irregular Network* (TIN), por meio da triangulação de *Delaunay*, na qual é usado o critério da maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo. Desta forma, as curvas de nível (isolinhas) foram traçadas a partir da disposição original dos dados, sem extrapolação e com as estimativas limitando-se à área resultante da soma das áreas dos triângulos (Matos, 2005; Zanardi, 2006; Santos *et al.*, 2012b). As informações provenientes das cartas

náuticas foram interpolados a partir da *Inverse Distance Weighted* (IDW) que consiste no cálculo de um ponto desconhecido a partir da média dos pontos mais próximos, essa média é ponderada, e é calculada a partir do inverso da distância dos pontos a serem calculados, assim os pontos mais próximos tem maior influência do que pontos mais distantes (Miranda, 2005).

Após coletar todas as informações disponíveis, a integração dos dados de altimetria e batimetria gerou uma malha regular de pontos. Essa malha cobriu toda a área de testes, e foi utilizada para mensurar as informações topobatimétricas de 5 em 5 metros. Em seguida, esses pontos foram utilizados para gerar uma imagem em tons de cinza que posteriormente foi utilizada na geração do MDE que foi compilado em um mapa de altura ou *heightmap*.

### 2.1.3 Mapeamento Topobatimétrico via Heightmap

O processo de representação da altimetria e batimetria da maquete da Ilha de Ponta do Tubarão foi realizado com o mapeamento desta com a técnica do *heightmap*.

O *heightmap*, ou mapa de altura (Figura 3) é um recurso disponível na área da computação gráfica, que armazena os valores relativos à elevação de uma superfície em uma imagem bidimensional em tons de cinza, para a exibição como gráficos tridimensionais (Kulesz, 2015).

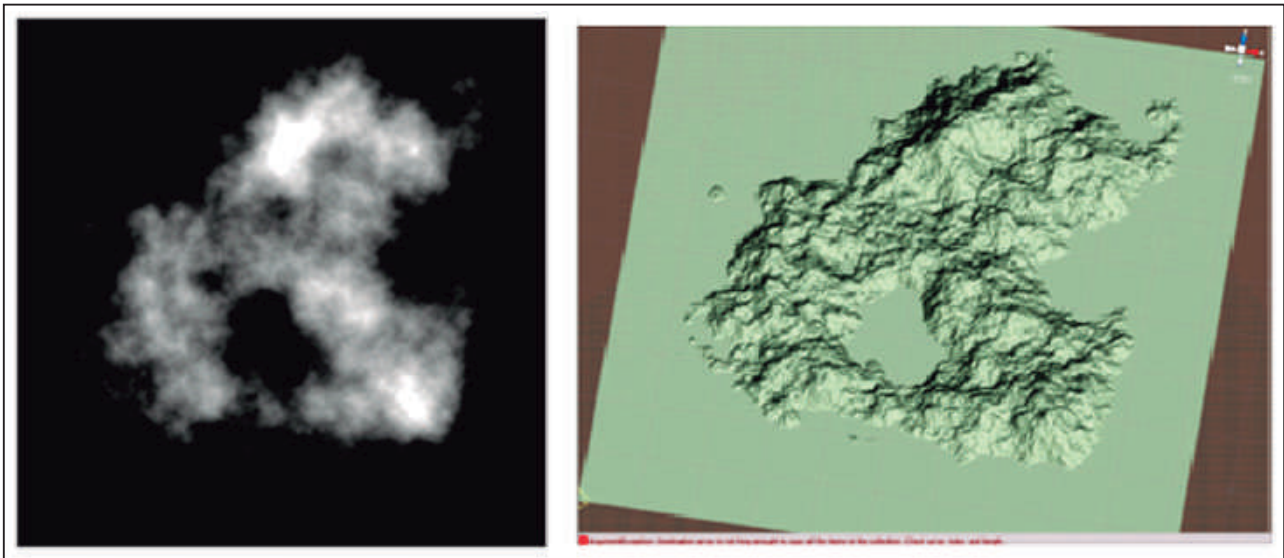


Figura 3 Exemplo de um *heightmap*, e sua projeção tridimensional correspondente.

Esses mapas são amplamente utilizados em sistemas de informação geográfica, na renderização de terrenos em geral, e são usados como parte do processo de produção dos videogames modernos para armazenar um terreno de acordo com a sua elevação, podendo ser capeado posteriormente com texturas, visando criar cenários os mais realistas possíveis. No *heightmap* os tons de cinza representam a altura de cada ponto contido na imagem. Os pontos são representados em uma escala que varia de 0a 255, onde este último representa a máxima altura local representável.

A ferramenta *Unity 3D*, que será melhor apresentada a seguir, permite a modelagem do terreno da maquete via o objeto *Terrain* a partir de um arquivo de imagem no formato *RAW* com o *heightmap* da nossa área de testes (Figura 4).

Quando o *heightmap* é adicionado ao objeto *Terrain* no *Unity*, as características dos 3 (três) eixos devem ser devidamente preenchidas, no caso



Figura 4 O *Heightmap*, da Ilha de Ponta do Tubarão.

da área de estudos no eixo Y (largura) temos 1025, no eixo X (comprimento) temos 1025, e no eixo Z (altura) temos 10, isso quer dizer que o maior valor encontrado entre o ponto mais baixo e mais alto da maquete pode ter até 10 metros de altura, os demais valores são escalonados de acordo com seu tom de cinza. Após a devida configuração dos dados e a adição de uma textura de areia, chegamos ao modelo maquete tridimensional apresentada na Figura 8, no qual é adicionado a textura de areia, e o componente que simulará o oceano.

#### 2.1.4 Integração da Maquete Eletrônica as Forçantes Meteocenoográficas

Após a construção da maquete da área a partir do mapa de altura (*heightmap*), durante a execução do algoritmo são passados os caminhos de ambos os arquivos com os dados a serem lidos, após esta leitura, os dados são armazenados e dispostos em conjunto (dados de arquivo e dados da área) em forma de matriz atendendo aos valores de largura e altura da imagem. A partir deste momento pode-se saber exatamente as coordenadas em X e Y (coordenadas reais) da área e o valor de I e J (coordenadas espaciais da maquete) no mesmo ponto na imagem.

Após construir a maquete, e mapear o seu espaço geográfico no ambiente do simulador, é feito a parametrização da ação das forçantes meteocenoográficas mediante as medições do nível de

erosão, a partir das variações das linhas costa (LC) da área no período de estudo.

A integração da ação das forçantes meteorológicas foi realizado com a avaliação do nível de erosão a partir das variações das linhas costa (LC) da área. Com o objetivo de mensurar e validar estas variações obtidas pelo protótipo de simulação, foi utilizado o *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*, extensão para o software ArcGis desenvolvida pela *United States Geological Survey (USGS)*, ferramenta utilizada em vários trabalhos para análise multi-temporal de uma área (Amaro *et al.*, 2013).

O DSAS utiliza-se principalmente de 3 elementos: as linhas de costa, as linhas de base e os transectos. As linhas de costa são o resultado do processamento de dados coletados pelos levantamentos geodésicos. As linhas de base são linhas paralelas às linhas de costa, e são utilizadas como referência para medir as mudanças que aconteceram ao longo do tempo. Transectos são linhas perpendiculares às linhas de base que permitem quantificar a variação da linha de costa no dado período de tempo.

Após efetuar a medição da distância entre a linha de base e a linha de costa de cada coleta, foi encontrada a média dessa variação para representar a ilha em sua totalidade em intervalos de 3 meses, e esta variação foi posteriormente implementada nos algoritmos de simulação.

## 2.2 A Escolha da Ferramenta de Desenvolvimento

As simulações computacionais podem ser implementadas através de um processo complexo que envolve computação gráfica em linguagens como CUDA e OPENCL, ou podem ser construídas com uso de motores de jogos, onde estes elementos fazem a comunicação com a unidade de processamento gráfico - GPU (Graphics Processing Unit), fazendo com que o processamento da simulação seja realizado de forma menos complexa que a programação convencional (Bittencourt & Osório, 2006), permitindo ao desenvolvedor o ganho de velocidade na criação de protótipos de simulação, e da diminuição substancial da quantidade de código de programação escrito.

Segundo Vasudevamurt & Uskov (2015), no desenvolvimento de jogos sérios são utilizadas as

*games engines* apresentadas na Tabela 1, sendo a Unity 3D a mais utilizada.

Game Engine com aplicação em Jogos Sérios	Educacional	Simulação	Realidade Virtual	Total
Unity 3D	12	10	4	26
Torque	13	2	5	20
UnrealEngine 3	1	4	5	10
Unigine	0	6	4	10
Neoaxis	3	2	0	5
CryEngine 3	0	2	0	2

Tabela 1 Comparação entre as games engines mais utilizadas na Europa, e suas áreas de aplicação (adaptado da Tabela II, Vasudevamurt & Uskov, 2015).

De acordo com mesmos autores o *Unity 3D* foi recomendado para a indústria de desenvolvimento de jogos sérios por se tratar de uma plataforma poderosa com uma gama de características robustas, documentação e tutoriais excelentes, possuindo suporte à criação de jogos 2D e 3D, e capacidade da criação de jogos on-line.

Cada uma das ferramentas analisadas possui características únicas. A *Unity 3D* é a ferramenta mais difundida, e com um conjunto muito grande de elementos disponíveis para uso, os chamados *Assets*, a *Unreal Engine*, apresenta uma qualidade gráfica significativa, com texturas extremamente detalhadas e uma iluminação realista.

A *Unreal Engine*, no entanto, não foi selecionada para o desenvolvimento do nosso protótipo por não permitir a remodelagem e reestruturação da maquete 3D em tempo real (Helsing & Elster, 2015), fazendo com que não fosse possível atender aos requisitos propostos neste trabalho.

Tendo em vista que a *Unity 3D* possui a capacidade de reestruturação dinâmica da maquete, ser uma ferramenta constantemente atualizada, além de possuir outros recursos que podem ser observados na Tabela 2 (Helsing & Elster, 2015). Estas características determinaram a sua escolha no desenvolvimento do protótipo de simulação ora apresentado.

GameEngine	Lançamento/Atualização	Tipo de Heightmap Suportado	Suporte a Voxel	Linguagens Suportadas
Upvoid Engine	2014	Sem Suporte	Sim	C#
Unity 3D	2014	Dinâmico	Sim	C#, JavaScript
Unreal Engine 4	2014	Estático	Não	C++
CryEngine 3.5.3	2009	Dinâmico	Sim	C++
Torque Game Engine	2007	Estático	Não	C++
Source Engine	2004	Estático	Não	C++, Python

Tabela 2 Comparação entre as características das games engines mais utilizadas, e as suas especificidades técnicas (adaptado da Tabela 1, Helsing & Elster, 2015).

### 2.3 O Processo de Desenvolvimento do Jogo Sério

O processo de desenvolvimento de jogos sérios no nosso protótipo de simulação seguiu como referência o fluxo apresentado na Figura 5.

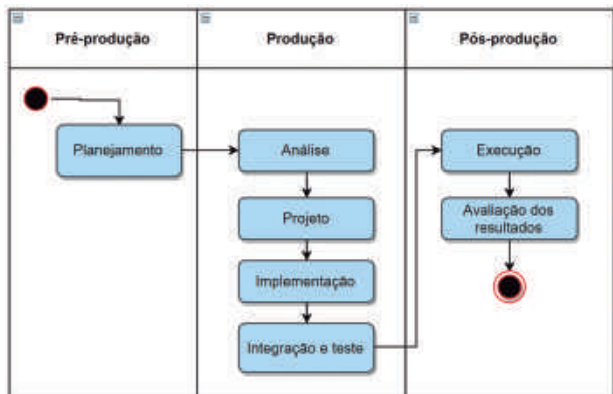


Figura 5 Fluxo comumente utilizado no desenvolvimento dos jogos sérios (adaptado de Rocha, 2014).

#### 2.3.1 Método Matemático Utilizado

O estudo da evolução da linha de costa foi realizado utilizando-se a análise de regressão linear, que descreve a correlação de duas variáveis, no caso, espaço (linhas de costa) e tempo (trimestres), usando uma função linear. Atualmente esse tipo de análise é considerada uma das mais eficazes e confiáveis metodologias em estudos de linha de costa (Douglas *et al.*, 1998), porém o emprego

dessa análise mostrou-se apropriada apenas onde há uma evolução constante da linha de costa onde predominam processos de erosão ou deposição sem grandes variações sazonais e/ou, segundo (Douglas & Crowell, 2000), não afetadas por enseadas e/ou obras de engenharia.

#### 2.3.2 Utilização da Ferramenta DSAS como Método de Validação e Comparação

A ferramenta DSAS foi utilizada como referência na validação dos dados e resultados, posteriormente comparados com os gerados pelo protótipo de simulação.

A validação foi realizada em três etapas, verificando os valores numéricos que são calculados nos métodos desenvolvidos, avaliando a localização das linhas de costa na maquete tridimensional com o intuito de eliminar erros de mapeamento, e foram avaliados os resultados após a alteração das linhas de costa, com a remodelagem da ilha como um todo, exibindo como ela ficaria após o período de tempo a ser calculado.

#### 2.3.3 Mapeamento dos Transectos

O mapeamento dos transectos é de suma importância ao protótipo de simulação, para localizar os pontos referentes ao transecto dentro da área da maquete 3D, porque todos os cálculos são realizados em cima desses.

Para realizar o mapeamento dos transectos é necessário alimentar o sistema com arquivos que contém os dados de localização de cada transecto, e arquivos individuais com os dados temporais coletados para a realização da projeção de cada linha de costa. O Mapeamento dos transectos é feito mediante a execução de um código em C# do método *MappingTransecto*.

#### 2.3.4 Algoritmo de Projeção de Linha de Costa

A projeção da linha de costa usa como referências, a linha de base, e os transectos que foram nesse estudo separados uns dos outros de 10 em 10 metros. A projeção de cada linha de costa foi implementada via um algoritmo que calcula a distância da linha de base à nova linha de costa. Os



cálculos são feitos seguindo o padrão utilizado no DSAS (Thieler *et al.*, 2009), utilizando de regressão linear para encontrara nova linha de costa a ser exibida, remodelando a maquete tridimensional.

### 2.3.5 Visualização da Variação da Linha de Costa na Maquete

A visualização dos resultados é realizada pelo código em C# denominado *TerrainErode*, o qual realiza as alterações na maquete tridimensional para que seja possível a visualização dos resultados da variação de linha de costa.

No script *TerrainErode* existe o método que o altera os dados do terreno, e conseqüentemente altera a estrutura da maquete. Se o ponto na linha do transecto avança em relação a referência anterior ocorre uma deposição de sedimentos, e caso contrário, um retrocesso em relação ao ponto de referência anterior ocorre uma erosão de sedimentos.

A erosão, ou deposição, é realizada a partir do cálculo da nova linha de costa e fazendo alterações no mapa de alturas da maquete tridimensional entre a linha de costa inicial e a nova linha de costa (Figura 6).

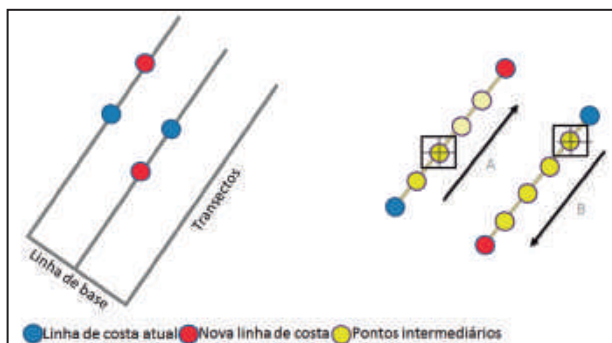
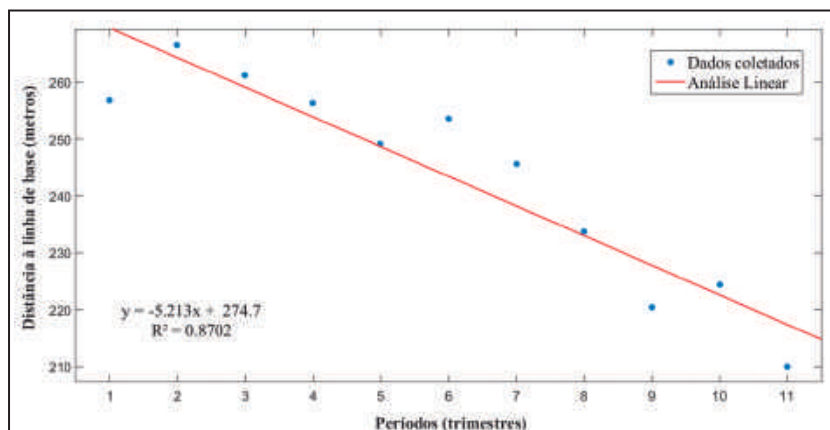


Figura 6 Representação gráfica do funcionamento do algoritmo *TerrainErode* que percorre os transectos erodindo, ou depositando sedimentos a partir da localização da linha de costa atual, e a recém calculada para determinado período de tempo.

Figura 7 Análise da variação da linha de costa da Ilha barreira Ponta do Tubarão, com uma taxa de variação erosional de 5,2m por trimestre, a covariância da análise foi de 87%.



## 3 Resultados

Foram feitas análises no que tange ao comportamento dos transectos com o objetivo da detecção de episódios erosivos e/ou deposicionais, no entanto apesar dos processos erosivos predominarem, uma vez por ano observa-se episódios de deposição (Tabela 3).

Data de Aquisição	Distância média entre a linha de costa e a linha de base (metros)	Varição média da linha de costa em relação ao trimestre anterior (metros)
Maio de 2010	256.9	0.0
Agosto de 2010	266.5	9.6
Novembro de 2010	261.2	-5.3
Fevereiro de 2011	256.4	-4.8
Maio de 2011	249.1	-7.2
Agosto de 2011	253.6	4.4
Novembro de 2011	245.7	-7.9
Fevereiro de 2012	233.8	-11.9
Maio de 2012	220.4	-13.3
Agosto de 2012	224.4	4.0
Novembro de 2012	210.0	-14.4

Tabela 3 Distância média entre a linha de costa e a linha de base em cada trimestre e suas respectivas variações, observa-se um episódio de relativa deposição a cada ano.

A partir da análise média da variação da linha de costa percebeu-se que a série de dados estudada apresentou uma tendência predominantemente erosional, e a análise linear aplicada aos dados obtidos em campo mostrou uma covariância de 87%, e descreveu de maneira simples e rápida a evolução das linhas de costa para a nossa área de testes, a partir dessa análise observou-se que a Ilha barreira Ponta do Tubarão apresentou uma variação de -5,2 metros por trimestre (Figura 7).

### 3.1 Execução do Protótipo de Simulação

A execução do protótipo de simulação pode ser feita dentro do próprio Unity 3D, ou pela execução de um aplicativo executável gerado pelo Unity 3D no próprio Sistema Operacional (Figura 8).

Os controles do protótipo de simulação foram construídos com base em jogos tradicionais de computador, com pequenas alterações. Para se movimentar o usuário deve utilizar as teclas W, A, S, D.

Para movimentar a câmera no protótipo de simulação, o botão direito do mouse deve ser mantido pressionado, e ao mexer este a câmera se movimenta junto. Caso o usuário queira maior velocidade ao se deslocar pelo mapa, juntamente com as teclas de movimentação ele pode pressionar a tecla SHIFT (esquerdo). A interface de controle do protótipo de simulação é apresentada na Figura 9.

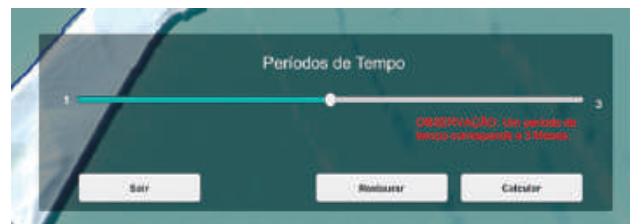


Figura 9 Interface do protótipo de simulação com 3 botões, e a barra de seleção dos períodos de tempo.

O menu do protótipo de simulação desenvolvido aparece sempre que a tecla <ESC> é pressionada, e desaparece caso seja pressionada novamente. Ao pressionar o botão Calcular o sistema efetua o cálculo dos valores dos transectos para posteriormente plotagem pelo método *TerrainErode*, e ao pressionar o botão Restaurar o sistema recupera os valores originais dos transectos da Ilha de Ponta do Tubarão, antes da aplicação dos cálculos de erosão ou deposição.

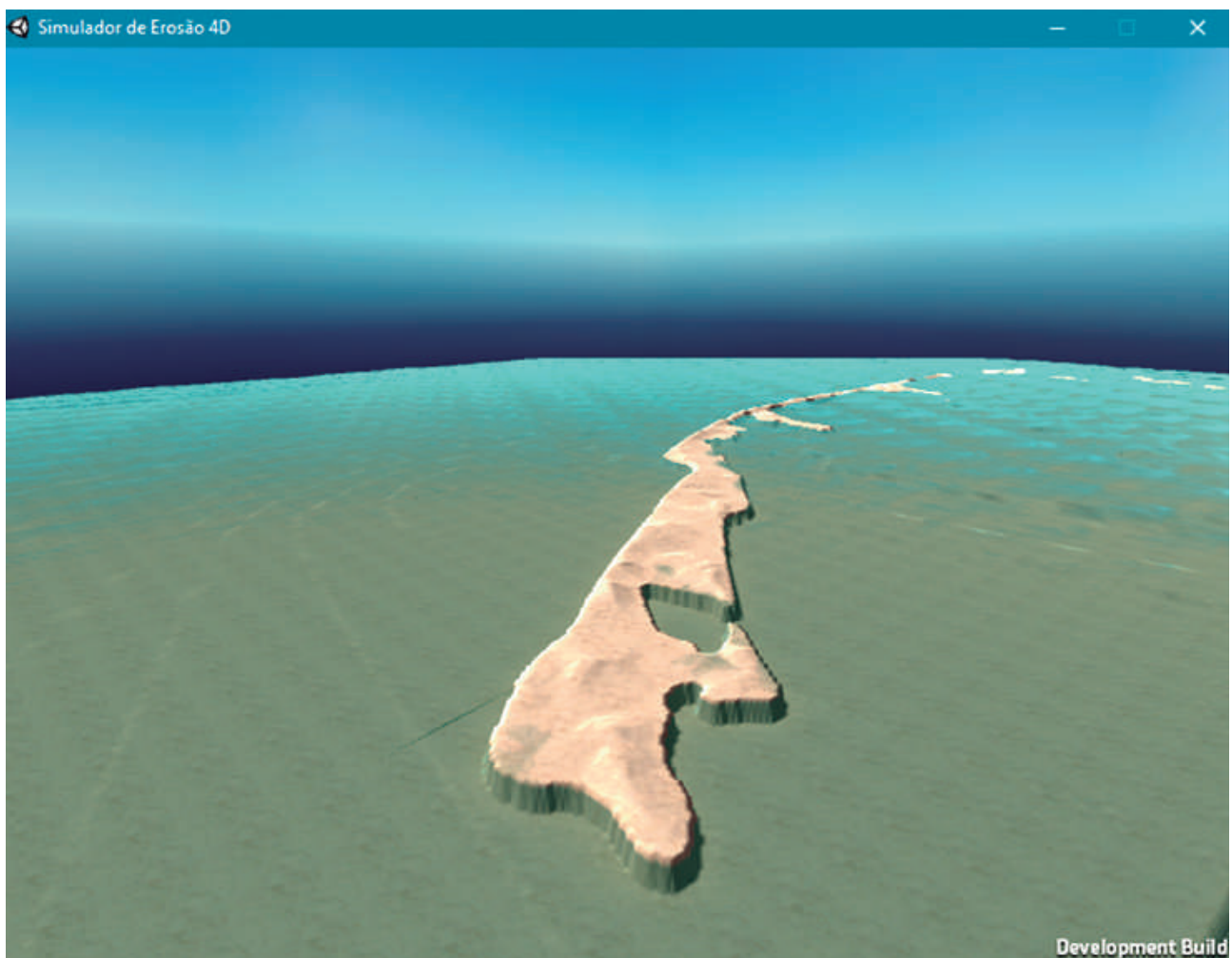


Figura 8 Tela do protótipo de simulação feita externamente ao ambiente de desenvolvimento.

Como pode ser visto na Figura 10, a ilha Ponta do Tubarão obteve uma intensa atividade erosiva em sua área central, mostrado no retângulo A, e em sua extremidade esquerda uma atividade deposicional, retângulo B, o que pôde ser constatado *in loco*.

#### 4 Conclusões

Realizada a validação do protótipo de simulação, e dado o resultado obtido, foi visto que o software desenvolvido permite sua utilização para tornar lúdica a visualização de cenários deposicionais e/ou erosionais em nossa área de testes para curtos períodos de tempo, permitindo sua utilização em ambientes similares como ferramenta de ensino nas geociências e nas engenharias.

Os resultados da comparação entre o protótipo desenvolvido e a ferramenta DSAS se mostraram satisfatórios, e em conformidade com as variações da linha de costa que ocorreram em nossa área de testes durante o período estudado, comprovando a eficácia do protótipo de simulação, na visualização e representação da evolução sedimentar da ilha barreira de Ponta do Tubarão.

Com o protótipo de simulação funcionando, torna-se mais fácil a sua adaptação a novas áreas de estudo, com base em um novo *heightmap*, e novos dados de entrada, o que beneficiará estudos e representações em campos da ciência tais como a geologia, a oceanografia, e a gestão pública, esta última

mediante a visualização e representação de cenários futuros, o que pode servir para planejamento, prevenção e implantação de medidas que permitam a minimização dos danos sociais e econômicos nestas áreas.

Este trabalho pode ser ainda, um elemento de estímulo ao desenvolvimento de novos aplicativos de software no auxílio a visualização, representação, avaliação, e detecção de cenários futuros, onde hajam riscos econômicos, sociais e ambientais de zonas costeiras.

#### 5 Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo (PPGCEP/UFRN), ao Laboratório de Geoprocessamento (GEOPRO/UFRN), aos Projetos Cooperativos HIDROSEMA e MOLECO da Rede Cooperativa Norte-Nordeste de Monitoramento Ambiental de Áreas Sob Influência da Indústria Petrolífera (REDE 05-PETROMAR/CTPETRO-FINEP/PETROBRAS/CNPq).

#### 6 Referências

- Aldrich, C. 2005. Learning by doing: a comprehensive guide to simulations, computer games, and pedagogy in e-learning and other educational experiences. San Francisco, CA, USA: Pfeiffer.
- Amaro, V.E. & Araújo, A.B. 2008. Análise Multitemporal da Morfodinâmica da Região Costeira Setentrional do Nordeste do Brasil entre os Municípios de Grossos e Tibau, Estado do

Figura 10  
Resultado do modelo desenvolvido para 5 períodos de tempo (1 ano e 3 meses) com a linha de costa inicial em azul e a nova linha de costa em vermelho, com ênfase nas áreas A e B, onde é mostrada uma intensa atividade erosiva na área A e uma atividade deposicional na área B.



**Representação Tridimensional de Processos de Erosão Costeira em Ilhas Barreiras Utilizando Tecnologia de Jogos**  
Carlos Henrique Grilo Diniz; Venerando Eustáquio Amaro; Matheus da Cunha Prudêncio & Renan Farias Felipe

- Rio Grande do Norte. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 8(2): 77-100.
- Amaro, V.E.; Santos, M.S.T. & Souto, M.V.S. 2012. *Geotecnologias Aplicadas ao Monitoramento Costeiro: Sensoriamento Remoto e Geodésia de Precisão*. Natal, Edição dos Autores, 118p.
- Amaro, V.E.; Lima, F.G.F. & Santos, M.S.T. 2013. An Evaluation of Digital Elevation Models to Short-Term Monitoring of a High Energy Barrier Island, Northeast Brazil. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 7(4): 317-324.
- Bittencourt, J.R. & Osório, F.S. 2006. Motores para Criação de Jogos Digitais: Gráficos, Áudio, Interação, Rede, Inteligência Artificial e Física.
- Caldas, L.H.O.; Stattegger, K. & Vital, H. 2006. Holocene Sea-level History: Evidence from Coastal Sediments of the Northern Rio Grande do Norte Coast, NE Brazil. *Marine Geology*, 228: 39-53.
- Douglas, B.C.; Crowell, M. & Leatherman, S.P. 1998. Considerations for Shoreline Position Prediction. *Journal of Coastal Research*, 14(3): 1025-1033.
- Douglas, B.C. & Crowell, M. 2000. Long-Term Shoreline Position Prediction and Error Propagation. *Journal of Coastal Research*, 16(1): 145-152.
- Franco, C.G.M.; Amaro, V.E. & Souto, M.V.S. 2012. Prognóstico da Erosão Costeira no Litoral Setentrional no Rio Grande do Norte para os Anos de 2020, 2030 e 2040. *Revista de Geologia*, 25: 37-37.
- Gois, L.A. & Oliveira, N.M.G.A. 2010. A Contribuição do Escoamento Superficial e da Drenagem de Águas Pluviais para os Processos Erosivos no Litoral de Olinda, Pernambuco, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 10(4): 457-481.
- Helsing, J.K. & Elster, A.C. 2015. Noise Modeler: An Interactive Editor and Library for Procedural Terrains via Continuous Generation and Compilation of GPU Shaders. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENTERTAINMENT COMPUTING, 14, Trondheim, Norway, p. 469-474.
- IDEMA - INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE. 2008. Perfil do Seu Município, Macau, 10: 6-7.
- Kirk, D.B. & Huw, W.W. 2010. Programming Massively Parallel Processors. Morgan Kaufmann, Elsevier.
- Kulesz, 2015. <http://code-phi.com/infinite-terrain-generation-in-unity-3d/>. Acesso em 22/05/2016.
- Mabesoone, J.M. 1978. Panorama Geomorfológico do Nordeste Brasileiro. *Geomorfologia*, 56: 1-16.
- Maia, R.P.; Bezerra, F.H.R. & Claudino-Sales, V. 2010. Geomorfologia do Nordeste: Concepções Clássicas e Atuais Acerca das Superfícies de Aplainamento Nordestinas. *Revista de Geografia*. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v.especial - VIII SINAGEO, n. 1, 2010.
- Matos, A.C.O.C. 2005. *Implementação de Modelos Digitais de Terreno para Aplicações na Área de Geodésia e Geofísica na América do Sul*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 335p.
- Matos, M.F.A. & Amaro, V.E. 2011. Oscillatory Coastal Wave and Currents Profile in the Northern Continental Shelf of Rio Grande do Norte State, Northeast Brazil. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE PROGRAMMER, 5, Sidney, 2011, *Abstract*, Sidney, UNESCO/IUGS/Project 526, p. 1-9.
- Matos, M.F.A.; Fortes, C.J.E.M.; Amaro, V.E. & Scudeleri, A.C. 2013. Análise Comparativa da Agitação Obtida com o Modelo Numérico (SWAN) na Modelagem de Ondas do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte, Brasil e Dados de Campo. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 3: 289-299.
- Mattar, J. 2010. *Games em educação: como os nativos digitais aprendem*. São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2010.
- Miranda, J.I. 2005. *Embrapa Informação Tecnológica - Fundamentos de sistemas de informações geográficas*. Brasília, EMBRAPA Informação Tecnológica, 425p.
- Muehe, D. 2006. O Litoral Brasileiro e sua Compartimentação. In: CUNHA, S.B. & GUERRA, A.J.T. (Eds.), *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, p. 273-349.
- Nascimento, M.C. 2009. *A Erosão Costeira e sua Influência sobre a Atividade Petrolífera*. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Dissertação de Mestrado, 229p.
- Nimer, E. 1989. *Climatologia do Brasil*. 2ed., IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) – SUPREN (Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente), Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1989.
- Novack, J. 2010. *Desenvolvimento de Games - Tradução da 2a. edição norte americana*. São Paulo: Cengage Learning, 2010.
- Rocha, R.V. 2014. *Metodologia Iterativa e Modelos Integradores para Desenvolvimento de Jogos Sérios de Treinamento e Avaliação de Desempenho Humano*. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade de São Carlos, Tese de Doutorado, 237p.
- Santos, A.L.S.; Amaro, V.E.; Santos, M.S.T. & Ferreira, A.T.S. 2012a. Variação da Linha de Costa no Litoral Setentrional do RN através de Levantamentos GNSS e Análise Multitemporal. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 9, Rio de Janeiro, 2012a. SINAGEO.
- Santos, M.S.T.; Amaro, V. E.; Ferreira, A. T. S. & Santos, A. L. S. 2012b. Mapeamento de Precisão da Dinâmica Costeira de Curta Duração em Áreas de Alta Taxa de Erosão no Nordeste do Brasil. *Revista de Geologia*, 25: 1-12.
- Santos, M.S.T. & Amaro, V.E. 2013. Dinâmica Sazonal de Processos Costeiros e Estuarinos em Sistema de Praias Arenosas e Ilhas Barreira no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 14: 151-162.
- Santos, A.L.S. 2014. *Monitoramento da Morfologia Costeira em Setores da Bacia Potiguar sob a Influência da Indústria Petrolífera utilizando Geodésia de Precisão e Laser Escâner Terrestre*. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Tese de Doutorado, 150p.
- Silva, C.G. 1991. *Holocene Stratigraphy and evolution of the Açú River Delta, Rio Grande do Norte State, Northeastern Brazil*. Duke University, United States, Doctor Philosophy Theses, 359p.
- Souto, M.V.S.; Castro, A.F.; Grigio, A.M.; Amaro, V.E. & Vital, H. 2004. Multitemporal Analysis of Geoenvironmental Elements of the Coastal Dynamics of the Region of the Ponta do Tubarão, City of Macau/ RN, on the Basis of Remote Sensing Products and Integration in GIS. *Journal of Coastal Research*, 39: 1618-1621.
- Suguio, K. 1998. *Dicionário de Geologia Sedimentar e Áreas Afins*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1222p.
- Suguio, K. 2003. *Geologia Sedimentar*. São Paulo, Editora Edgard Blucher, 400p.
- Tesser, M.G. & Goya, S.C. 2005. Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. *Revista do Departamento de Geografia*, 17: 11-23.
- Thieler, E.R.; Himmelstoss, E.A.; Zichichi, J.L. & Ergul, A. 2009. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 - An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change. U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.
- Vasudevamurt, V.B. & Uskov, A. 2015. *Serious Game Engines: Analysis and Applications*. Electro/Information Technology (EIT), 2015 IEEE International Conference on Dekalb, IL, USA.
- Vital, H.; Stattegger, K.; Amaro, V. E.; Schwarzer, K.; Frazão, E.P. & Tabosa, W.F. 2008. A Modern High-energy Siliciclastic-carbonate Platform: Continental Shelf Adjacent to Northern Rio Grande do Norte State, Northeastern Brazil. *Journal of Sedimentary Research*, 90: 175-188.
- Zanardi, R.P. 2006. *Geração de Modelo Digital de Terreno a Partir de Par Estereoscópico do Sensor CCD do Satélite CBERS-2 e Controle de Qualidade das Informações Altimétricas*. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 94p.