

## Modelagem Ambiental em um Jogo Eletrônico Educativo

Angelo C. Loula<sup>1\*</sup>, Emerson S. de Oliveira<sup>1</sup>, Yupanqui J. Muñoz<sup>2</sup>, Marta M. F. Vargens<sup>2</sup>, Antônio L. Apolinário<sup>1</sup>, Leandro Nunes de Castro<sup>3</sup>, Pedro L. B. Rocha<sup>2</sup>, Charbel N. El-Hani<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Feira de Santana, BA, Brazil

<sup>2</sup> Universidade Federal da Bahia (UFBA), Instituto de Biologia, BA, Brazil

<sup>3</sup> Universidade Presbiteriana Mackenzie, PPGEE, SP, Brazil

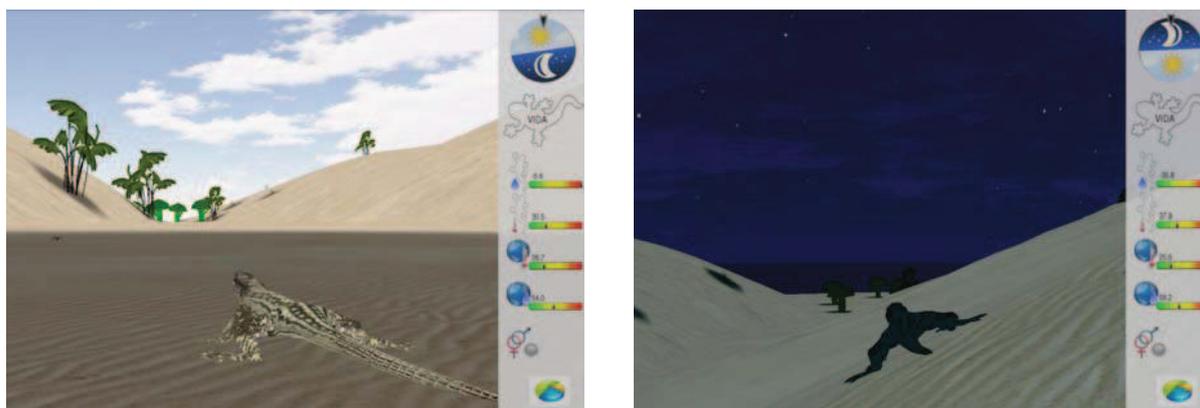


Figura 1: Capturas de telas do jogo Calangos em dois períodos simulados do dia, com a luz do sol e a noite.

### Resumo

Este artigo apresenta a modelagem ambiental realizada em um jogo eletrônico educativo, chamado *Calangos*, voltado para o ensino e aprendizagem de evolução e ecologia. Neste sentido, o presente trabalho enfoca a descrição de como foi incorporada ao jogo a relação ecológica organismo-clima (i.e., lagarto × clima), conforme objetivos educacionais propostos. A modelagem envolveu variáveis climáticas como temperatura e umidade relativa, e também variáveis internas do personagem, como energia e hidratação.

**Palavras chave:** jogos eletrônicos educativos, modelagem ambiental, ecologia e evolução, teoria de aprendizagem significativa.

### Contatos:

\* angelocla@comp.uefs.br

### 1. Introdução

O impacto da computação na educação é ainda muito limitado, principalmente quando comparado a seu impacto em outros setores, como a medicina ou a engenharia. Contudo, fora da sala de aula, crianças e adolescentes entram cada vez mais em contato com recursos tecnológicos diversos, muitos deles incorporando desenvolvimentos da computação [Fundenberg & Levine, 1998; Prensky, 2007].

Os computadores e, principalmente, os jogos eletrônicos, lado a lado com tecnologias de

comunicação, são hoje parte importante das experiências dos estudantes. Eles dedicam grande esforço intelectual e apresentam um alto nível de aprendizagem das regras e estratégias envolvidas na atividade de jogar. É possível vislumbrar, assim, uma ferramenta de potencial impacto sobre a educação. Contudo, para poder utilizá-los como ferramenta do processo educacional, é necessário investigar a aplicabilidade de jogos eletrônicos neste contexto, desenvolvendo aplicativos que combinem características dos jogos que suscitem o engajamento cognitivo dos jovens com características desejáveis em atividades capazes de promover aprendizagem. Em suma, é preciso equilibrar a função lúdica e a função educativa dos jogos: se a função lúdica predomina, a tendência é que não haja mais ensino, mas apenas jogo, enquanto se a função educativa elimina a ludicidade não há mais um jogo, apenas ensino [Kishimoto, 1993; Fundenberg & Levine, 1998; Prensky, 2007].

O jogo, intitulado *Calangos*, é baseado na modelagem de um caso ecológico real relativo às Dunas do Médio São Francisco, no Estado da Bahia, investigado por pesquisadores brasileiros [e.g. Rocha & Rodrigues 2005]. O objetivo final do jogo é possibilitar ao estudante um ambiente com suficiente realismo, permitindo uma compreensão adequada dos processos ecológicos e evolutivos. Este trabalho descreve resultados obtidos ao longo da construção do *Calangos*. Particularmente, é apresentada aqui a modelagem do ambiente das dunas e dos processos ecológicos, que envolvem três espécies de lagartos que

vivem neste ambiente, utilizados para a construção do Calangos.

Na próxima seção, definimos as bases teóricas tanto educacionais quanto biológicas para o jogo. A seção seguinte discute trabalhos que mais se aproximam da modelagem realizada na construção do Calangos. Em seguida, discute-se o caso que está sendo modelado e os conceitos ecológicos relacionados a ele. Por fim, é feita uma descrição geral do jogo, e é apresentada a modelagem ambiental realizada, chegando às considerações finais.

## 2. Referencial Teórico

Esta seção descreve sucintamente as principais bases teóricas envolvidas no desenvolvimento do Calangos, a saber: Teoria da Aprendizagem Significativa, Evolução e Ecologia, e a adequação ao PCNEM e nosso enfoque.

### 2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa

O Calangos está sendo desenvolvido com base na Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel [Ausubel, Novak & Hanesian, 1983; Moreira & Masini, 1982; Moreira 1999]. A TAS é uma abordagem cognitivista que postula que o indivíduo possui um complexo organizado de conhecimento, denominado 'estrutura cognitiva'. A aprendizagem significativa ocorre quando um novo conceito que um estudante está em processo de aprender fica 'ancorada' a esquemas conceituais já existentes em sua estrutura cognitiva. Por meio deste processo, o novo conceito é aprendido, ou seja, ele é transformado pela estrutura cognitiva ao mesmo tempo em que esta estrutura se modifica com o acoplamento deste conhecimento recém aprendido. Se as novas informações não interagem de modo substantivo com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva, eles são memorizados e facilmente esquecidos, num processo que Ausubel denomina 'aprendizagem mecânica'. Para que a aprendizagem significativa seja mais provável, o material didático deve ser relevante e adequado à estrutura cognitiva do aprendiz e o aluno deve ter disposição de relacionar de maneira substantiva e não-arbitrária o novo conteúdo aos seus conhecimentos preexistentes. Portanto, para que ocorra uma aprendizagem significativa e não somente mecânica, é importante tanto a apresentação de um material logicamente significativo quanto a motivação em aprender por parte do aprendiz [Ausubel et al. 1983].

Assim, ferramentas estimulantes, que promovam relações entre aquilo que é familiar e o que ainda é desconhecido, tornando mais fácil o acesso a conteúdos científicos abstratos, constituem materiais potencialmente significativos. Cabrera [2006] conclui, por um lado, que a ludicidade é uma estratégia instrucional eficiente que atende aos pressupostos mencionados acima, mostrando-se capaz de promover a aprendizagem significativa no ensino médio de biologia. Por outro lado, Spigolon [2006] sugere que as

motivações dos alunos devem ser aproveitadas em favor da sua própria aprendizagem, sendo os jogos educativos um dos recursos auxiliares da prática pedagógica que podem ser motivadores para os estudantes. É fundamentado nesta premissa que é proposto o desenvolvimento de um jogo eletrônico educativo como instrumento para a promoção de uma aprendizagem significativa em ecologia e evolução.

### 2.2 Importância da Evolução e Ecologia

Os conteúdos de evolução e ecologia ocupam posição central no conhecimento biológico, sendo importantes não somente para a compreensão desta disciplina, mas também para a formação de indivíduos capacitados para tomar e avaliar criticamente decisões face a problemas ambientais e de outra ordem [Futuyma, 2002; Sadler, 2005; Pickett, Kolasa & Jones, 2007]. Contudo, conceitos relacionados à ecologia e à evolução são complexos, abstratos, difíceis de explicar e a disponibilidade de ferramentas que tornam o acesso a estes conteúdos mais concreto, ativo e sistemático, como pretende-se no caso do Calangos, é limitada, apesar da importância que teriam na melhoria do ensino e da aprendizagem de tais conceitos.

Ao construir o Calangos, tem-se por objetivo abordar problemas do ensino de ecologia e evolução detectados durante a avaliação de livros didáticos de Biologia do ensino médio, como parte do PNLEM (Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio) [Rocha et al., 2007]. Dentre estes problemas encontram-se, por exemplo, a confusão entre processos ontogenéticos, que ocorrem no nível dos organismos individuais, e filogenéticos, que ocorrem no nível de populações de organismos, assim como a confusão entre tempo ecológico e tempo evolutivo. Ambas as dificuldades são diretamente abordadas no jogo discutido no presente artigo.

### 2.3. PCNEM e Enfoque do Artigo

O jogo está em consonância com os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM), que, na Parte III, relativa às Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, estabelecem uma série de competências e habilidades que os estudantes do Ensino Médio devem desenvolver [MEC 1999]. A adequação do uso de situações-problema, como as planejadas, se torna mais clara quando os PCNEM afirmam que, para a aprendizagem de conceitos relativos à ecologia e evolução, é conveniente criar situações em que os alunos sejam, por exemplo, solicitados a relacionar fatores e dinâmicas que compõem um ecossistema, ou, no caso da evolução, a relacionar mecanismos de alteração no material genético, seleção natural e adaptação nas explicações sobre o surgimento de adaptações e de novas espécies de seres vivos.

A escolha da relação organismo-clima para discussão no presente artigo se deve à sua

complexidade e às peculiaridades do personagem central do jogo, um lagarto, que fazem dela um desafio para a modelagem. Isso decorre do fato de que, diferente dos mamíferos, os répteis são ectotérmicos (vulgarmente designados como animais de “sangue frio”), isto é, não possuem um mecanismo interno que regule a temperatura dos seus corpos. Desta forma, o lagarto, o réptil em jogo, deve desenvolver hábitos que permitam manter seu corpo em um nível adequado de temperatura, por exemplo, movendo-se para áreas ensolaradas quando sua temperatura cai muito, ou para a sombra quando está superaquecendo. Caso não o faça, não conseguirá controlar adequadamente a temperatura de seu corpo, o que influenciará negativamente seu metabolismo interno, podendo levar a uma perda de eficiência que terá impactos negativos sobre seu sucesso reprodutivo, ou até mesmo à morte.

Assim, sob essa dinâmica termo-metabólica entre o habitat e o lagarto, o estudante-jogador será constantemente submetido à prova, em paralelo a vários outros eventos com os quais terá de lidar, como os ataques de predadores ou a busca de alimento. Vencer esses obstáculos poderá resultar em conseqüências tanto positivas quanto negativas ao metabolismo do réptil. Caberá ao jogador assimilar as nuances dessa dinâmica para ser bem sucedido no jogo.

### 3. Trabalhos Relacionados

Até onde sabemos, nenhum outro jogo eletrônico educativo realizou uma modelagem climática vinculada à relação ecológica entre organismos individuais e ambiente. Os mais próximos que encontramos foram os seguintes:

- Web Earth Online (<http://www.webeearthonline.com>): é um jogo web online multiplayer, com visualização bidimensional, no qual cada jogador joga com vários animais, como mamíferos, répteis ou pássaros. O jogo simula um extenso ecossistema bastante rico em detalhes. Variáveis como temperatura, clima, regime de chuva e o sentido da corrente de ar são tratadas em Web Earth Online. Além disso, as possibilidades de interações com os agentes (e.g., predadores, presas) e com outros elementos do ecossistema (e.g. árvores, rios) são muitas, e suas escolhas são o grande desafio deste jogo de estratégia. Isso dá vez a uma diversidade de problemas a serem superados, assim como a múltiplas estratégias que podem ser utilizadas para superar cada um deles. No entanto, o jogo, aparentemente, não possui uma proposta educacional. O fato dela não apresentar um propósito pedagógico e, muito menos ainda, uma teoria de ensino e aprendizado como base, não exclui a possibilidade dos jogadores aprenderem.

Como é um jogo online multiplayer, ele não tem uma preocupação com a duração, pois a intenção é de que o jogo nunca tenha fim. Enquanto houver jogadores participando e interagindo entre eles o jogo se manterá,

e é nisto que ele, assim como todos os jogos desse gênero, fundamentalmente se constitui. Por um lado, este ambiente de interação, proporcionado pelo jogo, é uma ferramenta pedagógica promissora, uma vez que ele estimula a discussão entre os jogadores. Discussão essa que resulta na produção de conhecimento por parte dos próprios jogadores-aprendizes. Eles ajudam uns aos outros nas soluções dos desafios. Já por outro lado, esse tipo de jogo requer muito tempo (dias) para que o seu avatar bicho se desenvolva e, conseqüentemente, que o próprio jogador perceba as relações ecológicas envolvidas. Isso pode ser um problema ao tentar compatibilizar com a carga horária de aula e do assunto. Mas, não descarta o seu uso como apoio ao ensino de ecologia.

Quanto à modelagem do ambiente e das relações ecológicas, não são disponibilizadas informações sobre como foram feitas. Não são expressos quais foram suas fontes de dados e muito menos a especificação do que ecossistema real em que se basearam. Logo, não há como julgar a legitimidade ou grau de aproximação simulado no jogo com o mundo real.

- SimForest (<http://www.tommurray.us/simforest>): é um simulador de crescimento de florestas. Assim como o jogo Calangos, SimForest têm uma preocupação de modelar diversos aspectos que compõem o ecossistema, como, por exemplo, umidade, regime de chuvas, temperatura e condições do solo. Contudo, ele não pode ser considerado um jogo, mas um simulador, também com finalidade pedagógica.

A partir do levantamento feito, foi encontrada uma disparidade entre os jogos eletrônicos antigos (1990 até 2000) e novos sobre o tema ecologia. Os jogos antigos (e.g. SimAnt<sup>1</sup>, SimEarth<sup>2</sup>, Lion<sup>3</sup>, Empire of Ants<sup>4</sup> e SimPark<sup>5</sup>) são jogos de simulação bastante ricos em detalhes nas relações entre os elementos e nas possibilidades de intervenção do jogador. Alguns desses jogos, como Lion e SimEarth, possuem um propósito educacional. Já SimAnt e SimPark apesar de não terem fim educacional, disponibilizam e se baseiam em informações biológicas. No entanto, a maioria dos jogos mais novos faz uso das tecnologias de Internet (e.g. Flash) e são pouco elaborados. Em geral, esses jogos<sup>6</sup> se baseiam em jogos já existentes

<sup>1</sup> [www.mobygames.com/game/simant-the-electronic-ant-colony](http://www.mobygames.com/game/simant-the-electronic-ant-colony)

<sup>2</sup> [www.mobygames.com/game/simearth-the-living-planet](http://www.mobygames.com/game/simearth-the-living-planet)

<sup>3</sup> [www.mobygames.com/game/lion](http://www.mobygames.com/game/lion)

<sup>4</sup> [www.mobygames.com/game/empire-of-the-ants](http://www.mobygames.com/game/empire-of-the-ants)

<sup>5</sup> [www.mobygames.com/game/simpark](http://www.mobygames.com/game/simpark)

<sup>6</sup> [www2.uol.com.br/ecokids/](http://www2.uol.com.br/ecokids/),  
[tditeacherslounge.blogspot.com/2009/02/ecology-electronic-board-game.html](http://tditeacherslounge.blogspot.com/2009/02/ecology-electronic-board-game.html),  
[www.conscienciaeco.com.br/prof/teco/teco.htm](http://www.conscienciaeco.com.br/prof/teco/teco.htm),  
[www.cnpsa.embrapa.br/jogos/](http://www.cnpsa.embrapa.br/jogos/),  
[missioncontrol.adventureecology.com/](http://missioncontrol.adventureecology.com/),  
[www.greenpeaceweather.com.br/](http://www.greenpeaceweather.com.br/),  
[www.willyoujoinus.com/energyville/](http://www.willyoujoinus.com/energyville/),  
[honoloko.eea.europa.eu/Honoloko.html](http://honoloko.eea.europa.eu/Honoloko.html),  
[ecoagents.eea.europa.eu/](http://ecoagents.eea.europa.eu/),  
[www.gamequarium.com/ecology.html](http://www.gamequarium.com/ecology.html)

como *quiz*, quebra-cabeça, jogo da memória, ludo, entre outros, mudando apenas a temática, seja através de inserção de conteúdos ecológicos ou apenas inserindo imagens de plantas ou animais.

O propósito desses jogos é a educação ambiental. Salvo alguns jogos como *Age of Ecology*<sup>7</sup>, no geral são jogos lineares onde o jogador não pode explorar e nem testar possibilidades, limitando-se apenas a ler os conteúdos expostos e a responder questionários. Esses tipos de jogos por vezes diminuem ou até mesmo eliminam o caráter lúdico, dificultando que os jogadores se sintam estimulados a jogar repetidas vezes. Como discute Alves [2005, p. 25], a repetição é um fundamento do brincar, porque permite que se reviva a ação lúdica anterior e, assim, que se ressignifique e elabore emoções, por meio da imitação e/ou criação da vida cotidiana. Da mesma forma, a retomada de um conceito em vários momentos pedagógicos pode ser importante para a aprendizagem. Desse modo, há muitos limites quanto à eficácia de tais jogos que não estimulam o estudante/jogador a engajar-se neles repetidas vezes. Dentro do escopo da pesquisa realizada, nenhum jogo eletrônico educativo realiza uma modelagem climática vinculada à relação ecológica entre organismos individuais e ambiente, tal como feito no Calangos.

#### 4. Caso Real e Estratégia do Jogo

O jogo Calangos é inspirado em um ecossistema brasileiro de extrema relevância para a conservação da biodiversidade: as dunas do médio Rio São Francisco. O uso desse contexto é particularmente interessante, porque coloca o estudante em contato com um dos biomas mais importantes, mas menos valorizados, do país: a Caatinga. As dunas do São Francisco, embora apresentem condições aparentemente inóspitas à vida (como o estudante perceberá ao jogar), sustentam uma fauna diversificada e endêmica de plantas e animais, muitas das quais com adaptações específicas para sobrevivência sob tais condições [Rocha e Rodrigues 2005].

A quantidade de chuva anual na Caatinga é relativamente pequena, a intensidade de irradiação solar é alta e os solos são rasos ou arenosos. Como resultado, os organismos se deparam, ao menos sazonalmente, com situações críticas de estresse hídrico. A reprodução da maioria das plantas ocorre no período de chuvas, o que acaba por determinar, em grande parte, a disponibilidade de recursos e a reprodução dos animais. Além das alterações sazonais do ambiente, as variações ao longo do dia também são extremas. A temperatura superficial do solo pode variar cerca de 40°C ao longo do dia e, em determinados momentos, pode variar muito entre as áreas sombreadas e cobertas por folhas mortas e aquelas expostas. Essas variações diárias e espaciais

também influenciam a atividade dos artrópodes, que servem de alimento para muitos vertebrados. As atividades dos próprios vertebrados são limitadas pelas condições de temperatura e umidade do ambiente, além da disponibilidade de alimento. Desse modo, seu comportamento também é modulado pela matriz de exposição ao sol, em particular, no caso de animais ectotérmicos, como os lagartos.

Os lagartos utilizam a matriz de ambientes sombreados/ensolarados da natureza para controlar comportamentalmente sua temperatura corporal, conseguindo, dessa maneira, os benefícios da homeotermia. Sua capacidade de sobrevivência e habilidade de reprodução depende de sua eficácia em manter uma temperatura corporal próxima à ótima para seu desempenho motor, o que lhe permite desenvolver as atividades diárias de alimentação, defesa de território (quando for o caso) e reprodução. As dificuldades nesse processo estão associadas, por exemplo, ao perigo de hiperaquecimento e/ou dessecação, à incapacidade de obter alimento necessário para a sobrevivência em certos locais ou em certas épocas, ao escape de predadores, ao encontro de parceiros reprodutivos, à competição com outros organismos com necessidades similares. Superar essas dificuldades e atingir os objetivos mencionados demandam estratégias de ação bem sucedidas, e o desenvolvimento dessas estratégias pelos estudantes a partir da experiência de como vive um lagarto representa o foco do presente jogo educativo.

#### 5. Calangos: Breve Descrição

O Calangos é um jogo de simulação e ação com visualização 3D em primeira ou terceira pessoa, ambientado na região das dunas do rio São Francisco, no qual o jogador controla um lagarto de uma entre três das espécies endêmicas da região: (*Tropidurus psammonastes*, *Cnemidophorus sp. nov.*, e *Eurolophosaurus divaricatus*) [para mais informações sobre a herpetofauna da região, veja Rocha e Rodrigues 2005].

Trata-se de um jogo eletrônico educativo que deve funcionar como ferramenta de apoio ao ensino e aprendizagem de ecologia e evolução no nível médio de escolaridade. Assim, não se trata de um jogo de exposição direta de conteúdos a serem aprendidos pelo estudante-jogador, mas de aprendizagem decorrente da experiência na tentativa de resolver situações-problema.

Para o jogo foram planejadas quatro fases:

1. Fase 1: Na primeira fase, o estudante-jogador atuará como o personagem principal, um lagarto, cujo objetivo é sobreviver, desenvolver-se e reproduzir-se com sucesso.
2. Fase 2: Na segunda fase o estudante-jogador deverá construir um lagarto a partir de um gerador de características, podendo trabalhar, assim, a

<sup>7</sup> [www.gootproductions.com/play/age\\_of\\_ecology/](http://www.gootproductions.com/play/age_of_ecology/)

relação entre morfologia, biomecânica e sucesso na sobrevivência e reprodução.

3. Fase 3: A terceira fase passará do nível do organismo individual para o nível das populações, colocando o estudante-jogador na condição de atuar como uma população inteira de um dos lagartos. O problema colocado será, então, o de manter a população num tamanho em equilíbrio dinâmico, após um processo inicial de crescimento populacional.
4. Fase 4: A quarta e última fase envolve uma passagem do tempo ecológico para o tempo evolutivo, sendo colocado para o estudante-jogador não somente o desafio de manter os números de uma população de lagartos, mas de lidar com sua evolução ao longo de várias gerações.

O estágio atual de desenvolvimento do jogo consiste em finalizar a Fase 1, com a situação-problema de sobrevivência, desenvolvimento e reprodução do lagarto. Nesta primeira fase, o jogo se inicia com o lagarto no começo de sua vida, situado no terreno das dunas, no qual há os elementos relevantes do ecossistema das dunas do médio Rio São Francisco, que podem estar envolvidos nas relações ecológicas do lagarto controlado pelo jogador. Dentre estes elementos, tem-se várias espécies da flora, várias presas típicas dos lagartos, várias espécies de predadores do lagarto e alguns animais não envolvidos na cadeia alimentar do lagarto. Outros lagartos da mesma espécie também estão presentes no ambiente, com os quais existem relações ecológicas (e.g. competição por território, por presas e para acasalamento). Além disso, há elementos do meio físico que são simulados, como o clima e a vegetação da região. O objetivo do jogador é sobreviver até a fase adulta, quando poderá reproduzir-se, gerando suas proles. Seu sucesso está associado à quantidade de filhotes que tenha conseguido gerar.

O foco deste artigo é descrever como o jogo foi modelado e simulado, considerando uma parte específica da vasta rede de relações do ecossistema em questão: o clima, elemento extremamente relevante do meio físico no qual o lagarto habita.

Calangos, como qualquer outro jogo, é composto por desafios que devem ser superados, ou ser mais facilmente superados, à medida que o jogador compreenda os conceitos biológicos que estão por detrás dos eventos já vividos e de ocorrência iminente. São muitos os desafios enfrentados pelos lagartos das dunas do Médio São Francisco. O ecossistema das dunas é rico em detalhes que interferem na sobrevivência dos lagartos. As duas relações principais e facilmente visíveis nas quais os lagartos estão envolvidos são a relação presa-predador e a relação organismo-clima. Como uma ferramenta de apoio ao ensino e aprendizagem de evolução e ecologia, espera-se que o estudante faça uso desses conceitos para

superar os desafios colocados e levar seu lagarto a se desenvolver e reproduzir com sucesso.

### 5.1. Modelagem Ambiental

A utilização de um caso real para elaboração do Calangos, além da relevância para o ensino e aprendizagem, trouxe também requisitos funcionais para a implementação do jogo. Foi necessário, assim, mobilizar conhecimento prévio importante para especificar os elementos relevantes para a modelagem da relação dos lagartos com o ambiente, que inclui a vegetação, os demais animais e o clima local. Mais especificamente, foi preciso considerar as relações ecológicas entre os lagartos e o clima da região das dunas. As variáveis climáticas principais implementadas no jogo incluem a temperatura e a umidade do ambiente.

Como se trata de um jogo eletrônico e não de uma simulação descritiva, ou, ainda, preditiva, do clima da região, a abordagem buscou implementar as variáveis climáticas de forma plausível e adequada aos objetivos educacionais. Não se buscou realizar uma simulação do clima que procurasse representar acuradamente todas as variáveis do caso real. O enfoque foi dado à percepção do jogador em relação ao clima, almejando que esta percepção fosse realista, ainda que o modelo não preservasse todos os aspectos do clima real. Cabe observar que, ainda assim, não se tratou de uma implementação arbitrária do clima, mas buscou-se aproximar o modelo da dinâmica climática da região de uma maneira que fosse suficiente para representar as relações ecológicas dos lagartos simulados com o clima, bem como para a compreensão pelos estudantes de como estas relações têm lugar.

A partir da descrição do caso ecológico, determinou-se que as seguintes variáveis climáticas são mais relevantes para a simulação necessária ao jogo:

1. Temperatura:
  - a. do ar;
  - b. do solo;
  - c. das tocas de *Trinomys yonenagae*, roedor endêmico das dunas do médio Rio São Francisco, utilizadas pelos lagartos;
2. Umidade relativa do ar e Pluviosidade.

Estas variáveis afetam, de forma direta ou indireta, variáveis internas dos lagartos que devem ser modeladas no jogo, como a temperatura interna (corpórea), o gasto energético, a energia acumulada e a hidratação.

Para modelar a dinâmica climática, as variáveis climáticas não poderiam ser constantes, mas deveriam variar temporalmente ao longo do dia, assim como com o passar dos dias e dos meses, de acordo com as mudanças climáticas relacionadas às estações do ano. Além disso, estas variáveis deveriam também ter

dependência espacial estabelecendo microclimas, que foram modelados mediante a criação de variações nas sombras da vegetação e nas tocas.

No jogo foi criado um relógio virtual que é parametrizado pelo relógio real do computador. Adotou-se inicialmente as razões de 1 dia virtual a cada 3 minutos reais e 1 mês virtual a cada 3 dias virtuais para determinar o fluxo de tempo dentro do jogo. Contudo, esses parâmetros são configuráveis de acordo com critérios definidos pelo professor ou pelo próprio estudante-jogador. Ao criar esse relógio virtual configurável, a intenção é permitir que o estudante-jogador vivencie dentro do jogo o ciclo dia-noite e as estações do ano, com suas diferenças climáticas e ecológicas, dentro de um tempo viável para uso em sala de aula. Sendo configurável, o relógio permite que o professor ajuste o uso do jogo à organização do tempo escolar.

As variações espaciais de clima correspondem aos microclimas encontrados em abrigos, nos quais o jogador pode buscar condições climáticas mais amenas ou estáveis. Esses abrigos correspondem à sombra criada pelo bloqueio da irradiação solar pela vegetação e também aos sistemas de galerias escavadas por *T. yonenagae*. Como se trata de um animal ectotérmico, a regulação de temperatura interna (e também da hidratação) do lagarto controlado pelo jogador é extremamente relevante para a compreensão da relação deste organismo com seu meio ambiente.

As diversas variáveis climáticas e internas dos lagartos estão representadas na figura 2, na qual pode-se ver como elas se interrelacionam. Ressalta-se que se trata apenas de um recorte das possíveis relações ecológicas nas dunas, tratando das relações mais diretas entre os lagartos e o ambiente. Para uma modelagem mais completa das relações ecológicas, é necessário incluir, por exemplo, a vegetação local, as presas e os predadores.

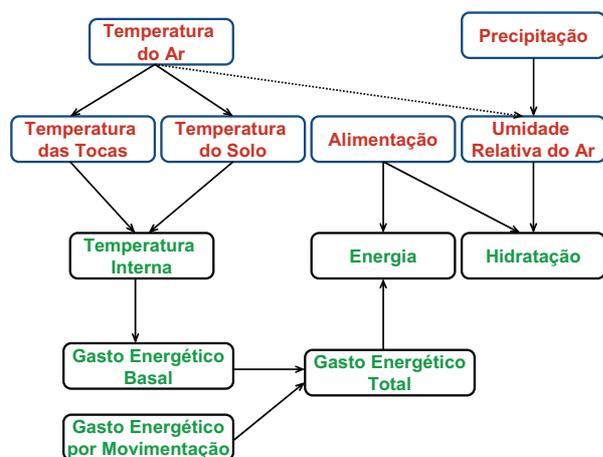


Figura 2: Variáveis climáticas e variáveis internas dos lagartos, em conjunto com as relações entre elas.

## 5.2 Temperaturas

A primeira variável modelada foi a temperatura do ar na região e sua variação temporal. Após análise dos dados de variação diária de temperatura em regiões do interior do nordeste, através de gráficos disponíveis no sítio do INMET (<http://www.inmet.gov.br/>), observou-se que existe um padrão de variação de temperatura ao longo das 24 horas do dia. Aproximadamente a partir das 6 horas da manhã, com o nascer do sol, a temperatura começa a se elevar rapidamente, diminuindo a velocidade de aumento por volta das 14 horas. A partir deste horário a temperatura se estabiliza e começa, então, a decrescer aos poucos, com a velocidade da queda de temperatura crescendo até chegar às 21 horas. A partir deste horário, a temperatura começa a cair linearmente até às 6 horas, iniciando-se, então, um novo ciclo.

Essa observação permitiu criar uma função que se aproxima desse padrão e fornece para o jogo a temperatura em graus centígrados a cada hora do dia, parametrizada pela temperatura máxima e mínima do dia. A figura 3 mostra um gráfico típico de variação de temperatura e umidade relativa medidas na região das dunas.

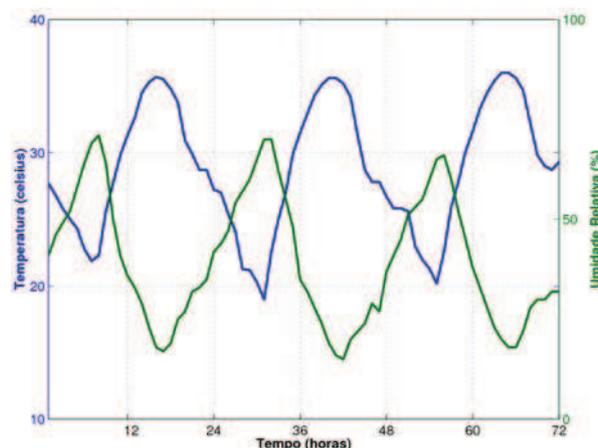


Figura 3: Temperatura e umidade relativa do ar medidas na localidade de Barra – BA, município no qual está localizada a região das dunas, medidos pela estação meteorológica do INMET para o período de 3 dias do mês de Setembro de 2008. Dados obtidos no sítio do INMET.

Para determinar as temperaturas máximas e mínimas, buscou-se informações sobre médias históricas da região para cada mês do ano. Essas informações foram transportadas para o jogo como duas variáveis aleatórias (temperatura máxima e temperatura mínima) com distribuição gaussiana, com médias e desvio padrões específicos para cada mês, aproximando-se de dados históricos obtidos no INMET. Dentro do jogo, com base no mês indicado por seu relógio, é sorteado um valor para a temperatura máxima e um valor para a temperatura mínima a cada novo dia simulado no jogo.

Com base na informação sobre a variação de temperatura do ar ao longo do dia, foi estabelecida uma relação com a temperatura do solo. Para isso, foram

usadas medidas de temperatura do ar e do solo na região das dunas, feitas pela própria equipe de trabalho do projeto. Notou-se que a amplitude da temperatura do solo é maior do que a amplitude da temperatura do ar. Após análises mais cuidadosas, verificou-se que há uma relação quadrática entre as duas variáveis e que existe uma pequena latência temporal (atraso) da variação da temperatura do solo em relação à variação da temperatura do ar, provavelmente devida à inércia térmica. Modelou-se então a temperatura do solo como quadrática em relação à temperatura do ar com atraso de 1 hora em relação à mesma, usando para a temperatura do solo amplitudes muito maiores do que a temperatura do ar.

A temperatura relativa aos microclimas (variações espaciais do clima) corresponde à temperatura das tocas e à temperatura à sombra. A temperatura das tocas possui relação com a temperatura do ar semelhante à relação entre temperatura do solo e a temperatura do ar. A temperatura das tocas possui a mesma latência, mas com amplitude de variação muito menor do que a temperatura do ar, garantindo condições mais estáveis. Um exemplo de variação da temperatura do ar, do solo e das tocas ao longo de 3 dias pode ser visto na figura 4.

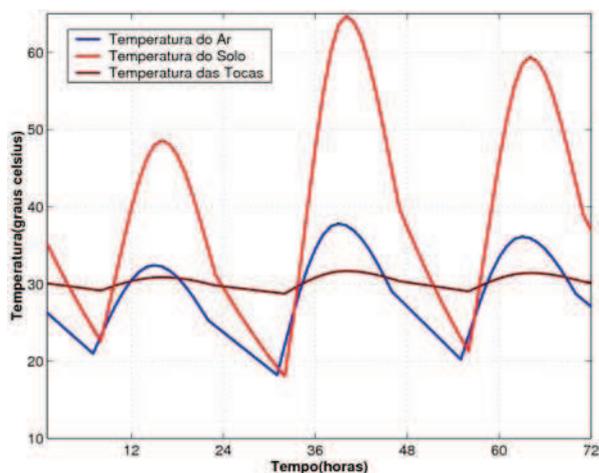


Figura 4: Temperatura do ar, do solo e das tocas ao longo de 3 dias para o mês de Setembro.

Observamos pela comparação das medidas reais de temperatura do ar da figura 4 e a temperatura do ar simulada no jogo, que existe uma aproximação da simulação em relação ao padrão geral de variação de temperatura ao longo do dia. Esta aproximação foi considerada suficiente para criar uma variação diária de temperatura que atende a dinâmica da relação ecológica objetivo do jogo. Obviamente as medidas reais possuem irregularidades em sua variação que não temos como modelar, e também não é objetivo do jogo aproximar a este ponto.

Já a temperatura à sombra foi modelada como amenizada em relação à temperatura do ar durante o período de iluminação do sol (6 horas até 19 horas), com uma redução entre 0% (para as horas iniciais e finais) e 5% (para as 14 horas) em relação à

temperatura do ar, com conseqüente redução da temperatura do solo (entre 0% e 10%), conforme feito anteriormente. Na figura 5, por sua vez, ilustramos os diferentes valores das temperaturas do ar e do solo à sombra e fora da sombra ao longo de 3 dias.

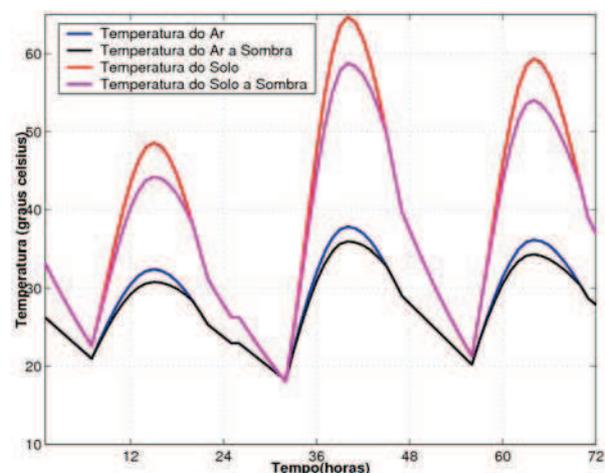


Figura 5: Temperatura do ar, do solo, das tocas e à sombra ao longo de 3 dias para o mesmo período anterior.

### 5.3 Umidade Relativa do Ar e Pluviosidade

A modelagem da umidade relativa do ar para o jogo se iniciou de forma semelhante à modelagem da temperatura do ar, com a análise visual dos dados de variação de umidade relativa do ar através de gráficos disponíveis no sítio do INMET. Analisando somente o comportamento em dias sem precipitação, foi possível notar que existe um padrão muito semelhante ao da variação da temperatura, mas com uma inversão de fase: quando a temperatura sobe, a umidade diminui; e quando a temperatura cai, a umidade sobe. A amplitude de variação e o valor médio de variação foram determinados através da análise da relação entre a variação, em graus centígrados, da temperatura do ar e a variação correspondente da umidade relativa do ar

Essa modelagem da umidade relativa do ar corresponde ao comportamento em dias sem chuvas, enquanto, quando há chuvas, a umidade é saturada em 100%. Para determinar os dias em que há precipitação, foram analisados dados históricos de precipitação a cada mês ao longo dos anos, conforme dados do INMET, e foi estabelecida a média e o desvio padrão para cada mês, permitindo determinar uma variável aleatória de distribuição gaussiana para a precipitação mensal. Para determinar a precipitação diária em um mês, inicialmente sorteou-se a precipitação mensal e dividiu-se esse valor pelo maior valor de precipitação entre todos os meses da série histórica, obtendo assim um provável número de dias com chuva dentro deste mês. A razão entre o provável número de dias com chuva e o total de dias do mês fornece, então, uma probabilidade diária de chuva no mês em questão.

A figura 6 ilustra o comportamento da umidade relativa do ar e a influência de dias chuvosos sobre esta relação, além de permitir que se observe também a

relação com a temperatura do ar. É possível ver a relação de inversão de fase entre temperatura e umidade relativa e também que em dias de chuva a umidade está saturada no máximo.

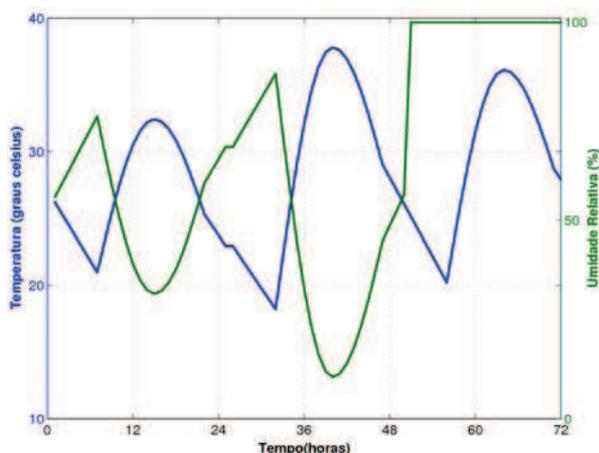


Figura 6: Temperatura do ar e umidade relativa do ar com precipitação de 8 mm no terceiro dia para o mesmo período anterior.

#### 5.4 Variáveis Internas dos Lagartos

A modelagem climática foi realizada para que o estudante-jogador pudesse vivenciar no jogo toda a dinâmica que o meio físico oferece e que influencia fortemente a sobrevivência dos lagartos. As variáveis detalhadas até aqui influenciam o lagarto controlado pelo jogador de maneira direta ou indireta. Duas variáveis internas foram criadas para descrever o estado interno do animal: 1) energia acumulada; e 2) hidratação.

Tanto a energia acumulada quanto a hidratação são variáveis essenciais a serem controladas para manter um funcionamento metabólico adequado do animal. Ambas possuem valores no intervalo  $[0, 100]$ , assim como valores limites dentro dessa faixa que, se ultrapassados, levam o lagarto à morte e, portanto, ao final do jogo para o jogador. Estas duas variáveis foram modeladas como variáveis de estado, cujo valor em qualquer momento depende de seu estado no momento anterior, bem como de fatores externos.

A hidratação tem relação direta com a umidade do ar. Enquanto a umidade estiver aceitável, acima de um valor limiar, o lagarto mantém sua hidratação, mas abaixo desse valor, a hidratação decai linearmente com o tempo, com velocidade de decaimento proporcional à diferença entre a umidade atual e a umidade limite aceitável. Quando a hidratação alcança um valor limite inferior, o lagarto morre e o jogo termina.

A energia do lagarto corresponde às suas reservas energéticas acumuladas, que tornam possível que ele se movimente e se mantenha vivo. A energia decresce a cada instante de acordo com o gasto energético total naquele instante. O gasto energético total é composto

pelo gasto energético basal, modulado pela temperatura interna e pelo gasto por movimentação. O gasto por movimentação pode assumir três valores dependendo da velocidade de movimentação do lagarto: parado, andando ou correndo. O gasto basal é afetado pela temperatura interna do lagarto. Se o lagarto está dentro de uma faixa ideal de temperatura, o gasto basal é um valor base constante. Se estiver abaixo dessa faixa, o gasto basal é reduzido, mas o lagarto fica mais letárgico, movimentando-se mais lentamente e com possibilidade de falhas em algumas ações. Se a temperatura interna estiver acima da faixa ideal, o gasto basal é aumentado de acordo com a diferença entre a temperatura interna atual e o valor superior da faixa ideal.

A temperatura interna do lagarto é influenciada diretamente pela temperatura do solo. Como se trata de um animal ectotérmico, ele não é capaz de realizar por si mesmo o controle efetivo da temperatura interna. Sendo assim, a temperatura interna tende a se aproximar sempre da temperatura do solo, convergindo para o equilíbrio térmico. A temperatura interna então varia de acordo com a diferença entre a temperatura interna atual e a temperatura do solo: quanto maior a diferença entre elas, maior a variação da temperatura interna. A velocidade de aproximação é parametrizada e indica a inércia térmica do lagarto: quanto maior a inércia térmica, mais lentamente a temperatura interna se aproxima da temperatura do solo. Para manter sua temperatura interna dentro de valores ideais, o jogador deve movimentar seu lagarto para regiões diferentes do ambiente, buscando lugares mais quentes, expostos ao sol, ou tocas à noite, para aquecer-se, e lugares mais frios, à sombra ou tocas durante o dia, para esfriar-se.

O lagarto também precisará se movimentar para recuperar sua energia e hidratação. Estas variáveis podem aumentar de valor quando o lagarto se alimenta de suas presas. Cada presa possui um valor específico de nutrição que contribui tanto para a energia, quanto para a hidratação. Porém, nem sempre os alimentos possuem valores igualmente bons de aumento de energia e de hidratação, e os alimentos com maiores valores nutricionais são mais raros que os de baixo valor nutricional. Isso cria uma rede de relações ecológicas do lagarto com o clima e com as presas, dentro da qual o estudante-jogador deverá buscar otimizar sua estratégia de movimentação de modo a manter relativamente estáveis a hidratação e a energia acumulada (pelo controle da temperatura interna), buscando locais com condições climáticas mais favoráveis e, ao mesmo tempo, caçando presas para recuperar sua energia e hidratação.

## 6. Discussão

A modelagem ambiental climática para o jogo Calangos buscou recriar a dinâmica do ambiente contemplando variações diárias, mensais e sazonais,

assim como variações espaciais do ambiente. Embora não tivesse objetivo de reproduzir fielmente o comportamento climatológico da região, era necessário que fosse plausível, criando ao menos uma percepção equivalente para o jogador. A modelagem das variáveis internas do lagarto seguiram o mesmo objetivo, não sendo planejado reproduzir o complexo metabolismo bioquímico de um ser vivo, mas fornecendo parâmetros que fossem plausíveis e permitissem a correta percepção das relações ecológicas em questão.

O estudante-jogador ao interagir com o jogo terá o desafio de sobreviver até a fase adulta e buscar então também reproduzir-se. Para sobreviver é fundamental que saiba como lidar com elementos climáticos para manter sua energia e hidratação longe dos valores limites. Para auxiliar na compreensão destas relações, está disponível enquanto controla o lagarto, informações sobre os valores instantâneos das variáveis climáticas e de sua energia e hidratação. É disponibilizado também uma opção de parar o jogo para observar gráficos com os valores das variáveis durante um período de tempo. Com estas informações, pode realizar inferências de como as variáveis climáticas e internas se relacionam, e testar estas hipóteses jogando novamente e observando seu desempenho em manter energia e hidratação em valores ideais.

O jogo Calangos apresenta uma complexa rede de relações entre variáveis ambientais e variáveis internas do lagarto controlado pelo jogador. A forma como o lagarto é afetado pelas variáveis ambientais e também a própria interrelação entre as variáveis internas não é sempre a mesma.

Como o jogador pode escolher entre três espécies diferentes de lagartos no início do jogo, a dinâmica interna de cada um seria diferente. Essa variação pode depender de parâmetros como temperatura ideal, gasto energético basal, gasto por movimentação e inércia térmica. Isso permitirá relações diferenciadas do lagarto com o meio, levando por exemplo, uma espécie mais territorialista a ter menor tolerância a temperaturas altas, preferindo locais sombreados, e a ter maior gasto com movimentação, evitando grandes deslocamentos, compensado com gasto energético basal mais baixo. Já uma espécie não territorialista poderá ter gasto menor com movimentação, aceitar temperaturas internas mais altas, mas ter gasto basal maior, levando a busca mais freqüente por alimentos. Apesar do jogador não ser obrigado a seguir um comportamento coerente com a espécie real na qual seu lagarto foi baseado, as relações ambientais e ecológicas parametrizadas devem criar uma situação tal que permita que o comportamento coerente com a espécie real seja o comportamento que trará maior sucesso ao jogador.

Além do personagem controlado pelo jogador, outros elementos do jogo também podem sofrer efeitos do clima. Embora não seja levada em consideração a

variação diária das variáveis climáticas para sua variação, a vegetação presente no ambiente é afetada pelos meses e estações do ano, em decorrência de variações macro-climáticas, alterando sua produção primária de flores, frutos e folhas, que em alguns casos podem servir de alimento para os lagartos. As presas e predadores, personagens controlados pelo computador, também são afetados pela passagem dos meses e estações, variando sua distribuição e quantidade a cada período. A quantidade de presas também é variável conforme a temperatura do ambiente: quando a temperatura do ar está mais alta, existe maior disponibilidade de determinada presa e quando está mais baixa, de outro tipo de presa.

## 7. Conclusão

Um dos objetivos de aprendizagem do jogo Calangos é de compreender a relação ecológica entre os seres vivos e seu ambiente. Para isso houve a necessidade de envolver uma equipe multi-disciplinar que compreendessem tanto aspectos tecnológicos, quanto educacionais e biológicos. A partir de uma base sólida sobre as necessidades de ensino de ciências biológicas, dos próprios conceitos biológicos envolvidos, e de uma teoria de aprendizagem e proposta educacional clara, foi possível definir desde o início os objetivos educacionais e a forma de aprendizado do jogo. Isso auxiliou a equipe técnica a relacionar requisitos a serem contemplados na implementação dos jogos e a buscar soluções que eram validadas constantemente pelos especialistas de ensino e biologia. Este trabalho conjunto certamente produziu uma concepção de jogo educativo mais rica, porém mais desafiadora. Um desses desafios encontra-se descrito neste artigo.

Descrevemos de maneira mais detalhada uma parte importante da rede de relações ecológicas existentes no jogo, a relação do clima com o lagarto. O Calango, no entanto, também modela e simula outras relações ecológicas como as relações de presa e predador competição com co-específicos, e também de reprodução. Além disso, foram planejadas para outras fases, simulações populacionais e evolutivas, que irão representar novos desafios tecnológicos, biológicos e educacionais.

Atentando para possíveis novas aplicações do jogo como ferramenta educacional, uma das possibilidades a ser explorada é a simulação de mudanças climáticas, e conseqüentes impactos diretos no lagarto, e nos demais elementos da fauna e flora, o que levaria a efeitos indiretos nos lagartos. Isso colaboraria, por exemplo, com os objetivos propostos no PCNEM de compreensão da intervenção humana e dos desequilíbrios ambientais [MEC, 1999]. Esse tipo de possibilidade de expansão e complementação do jogo para englobar novos objetivos educacionais é resultado da própria proposta do jogo de ser um jogo de simulação de um ecossistema, conceito esse que, pela

sua centralidade dentro do domínio das ciências biológicas, pode ser explorado em muitas dimensões.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da FINEP, UEFS, Fapesb, Fapesp e CNPq, pelo apoio à realização deste projeto.

## Referências

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D. & HANESIAN, H. 1983. *Psicologia Educacional*. 2ª ed.. Rio de Janeiro: Interamericana.

CABRERA, W. B. 2006. *A Ludicidade para o Ensino Médio na Disciplina de Biologia: Contribuições ao processo de aprendizagem em conformidade com os pressupostos teóricos da Aprendizagem Significativa*. Londrina: UEL (Dissertação de Mestrado).

FUTUYMA, D. J. (Ed.). *Evolução, ciência e sociedade*. Ribeirão Preto: SBG.

KISHIMOTO, T. M. 1993. *Jogos tradicionais infantis: o jogo, a criança, a educação* (8ª ed.). Petrópolis: Vozes.

MOREIRA, M. A. 1999. *Aprendizagem Significativa*. Brasília: Ed. UnB.

MOREIRA, M. A., AND MASINI, E. F. S. 1982. *Aprendizagem Significativa. A Teoria de David Ausubel* (2 ed.). São Paulo: Moraes.

PICKETT, S. T. A.; KOLASA, J. AND JONES, C. G. 2007. *Ecological understanding: The nature of theory and the theory of nature*. San Diego: Elsevier.

ROCHA, P. L. B., ROQUE, N., VANZELA, A. L. L., SOUZA, A. F. L., MARQUES, A. C., VIANA, B. F., KAWASAKI, C. S., LEME, C. L. D., FARIA, D., MEYER, D., OMENA, E., OLIVEIRA, E. S., ASSIS, J. G. A., FREGONEZE, J., QUEIROZ, L. P., CARVALHO, L. M., NAPOLI, M., CARDOSO, M. Z., SILVEIRA, N. A., HORTA, P. A., SANO, P. T., ZUCOLOTO, R. B., TIDON, R., SILVA, S. A. H., ROSA, V. L., AND EL-HANI, C. N. Brazilian high school biology textbooks: main conceptual problems in evolution and biological diversity. In: *Proceedings of the IOSTE International Meeting on Critical Analysis of School Science Textbooks*. Hammamet: Tunis, University of Tunis, 2007, pp. 893 – 907.

ROCHA, P.L. B. AND RODRIGUES, M. T.. Electivities and resource use by an assemblage of lizards endemic to the dunes of the São Francisco River, Northeastern Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia* (São Paulo), São Paulo, v. 45, n. 22, p. 261-284, 2005.

SADLER, T. D. 2005. Evolutionary theory as a guide to socioscientific decision-making. *Journal of Biological Education*, 39 (2), 68-72.

SPIGOLON, R. 2006. *A importância do lúdico no aprendizado*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.

MEC 1999. *Parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio*. Brasília/D.F. : MEC – Secretaria de Educação Média e Tecnológica (SEMTEC).

FUNDENBERG, D.; LEVINE, D. K., 1998, *The Theory of Learning in Games*. Massachusetts : MIT Press.

PRENSKY, M. 2007, *Digital Game-Based Learning*, Paragon House Publishers.