

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
CELSO SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**SIM-EVOLUTION:
UMA PERSPECTIVA DE APOIO AO APRENDIZADO
DE BIOLOGIA NO ENSINO MÉDIO
ATRAVÉS DE SIMULADOR EDUCATIVO**

Diego Vaz Caetano

Josué Dias Cardoso

Luana Guimarães Piani Ferreira

Professores orientadores: Eduardo Soares Ogasawara, D.Sc.

Leonardo de Bem Lignani, M.Sc.

Rio de Janeiro, RJ

Julho de 2017

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
CELSO SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**SIM-EVOLUTION:
UMA PERSPECTIVA DE APOIO AO APRENDIZADO
DE BIOLOGIA NO ENSINO MÉDIO
ATRAVÉS DE SIMULADOR EDUCATIVO**

Diego Vaz Caetano

Josué Dias Cardoso

Luana Guimarães Piani Ferreira

Professores orientadores: Eduardo Soares Ogasawara, D.Sc.

Leonardo de Bem Lignani, M.Sc.

Projeto Final II apresentado em cumprimento às
normas do Departamento de Educação Superior
do CEFET-RJ, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Tecnólogo em Sistemas para Internet.

Rio de Janeiro, RJ

Julho de 2017

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

C128 Caetano, Diego Vaz
Sim-Evolution : uma perspectiva de apoio ao aprendizado de biologia no ensino médio através de simulador educativo / Diego Vaz Caetano, Josué Dias Cardoso, Luana Guimarães Piani Ferreira.—2017.
xi, 55f. + apêndices : il. (algumas color.) , graf. , tabs. ; enc.

Projeto Final (Tecnólogo) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2017.
Bibliografia : f. 53-55
Orientadores : Eduardo Soares Ogasawara
Leonardo de Bem Lignani

1. Internet – Programas. 2. Biologia (Ensino médio) – Estudo e ensino. 3. Educação – Efeito das inovações tecnológicas. 4. Tecnologia educacional. I. Cardoso, Josué Dias. II. Ferreira, Luana Guimarães Piani. III. Ogasawara, Eduardo Soares (Orient.). IV. Lignani, Leonardo de Bem (Orient.). V. Título.

CDD 004.678

DEDICATÓRIA

Aos alunos remanescentes do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas para Internet (CS-TSI) do CEFET/RJ, descontinuado em 2016.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se aos professores orientadores deste trabalho pela disponibilização de muito mais do que seu tempo e conhecimento; aos docentes do Departamento de Informática (DEPIN) do CEFET/RJ por terem nos conduzido até aqui; aos alunos Lucas Nunes Dalbonio e Victor Vieira Nunes, do Curso Técnico em Informática do CEFET/RJ de 2016, que deram início ao primeiro protótipo deste trabalho; e ao corpo orgânico do CEFET/RJ, que permitiu tudo isso ser possível.

RESUMO

Os desenvolvimentos gerais em educação e a parceria interativa entre as novas gerações de alunos e os computadores demandam um processo de aprendizagem mais eficiente, abrindo espaço à sua complementação com a utilização de ferramentas tecnológicas e recursos computacionais. Nesse contexto, os simuladores educativos podem ser uma boa prática. Essas ferramentas de aprendizagem são projetadas para dar apoio ao ensino de assuntos específicos, atuando com o objetivo de proporcionar uma melhor compreensão de determinados conteúdos abordados em sala de aula, especialmente quando apresentam problemas relacionados a aspectos empíricos, tais como escala de tempo e espaço de difícil controle e reprodução. O presente trabalho tem como objetivo apresentar um simulador educativo para dispositivos móveis em aulas de Biologia do Ensino Médio, tomando como cenário a teoria da Seleção Natural de Charles Darwin e seus principais aspectos, tais como diversidade de espécies, reprodução diferenciada e hereditariedade, complementados com fundamentos de genética. Avaliamos que a aplicação desses conceitos de forma simplificada em um ambiente de simulação computacional facilmente acessível aos alunos aponta para um ganho na complementação do aprendizado desses temas em sala de aula, sinalizando que iniciativas desse tipo podem ser estimuladas no contexto educacional.

Palavras-chave: simulador educativo, educação, dispositivos móveis, biologia, seleção natural, genética.

ABSTRACT

General developments in education and interactive partnership between the new generations of students and computers require a more efficient learning process, opening space for its complementation with the use of technological tools and computational resources. In this context, educational simulators can be good practice. These learning tools are designed to support teaching of specific subjects, aiming to provide a better understanding of certain contents addressed in the classroom, especially when they presents problems related to empirical aspects such as time scale and space difficult to control and reproduce. This study aims to present an educational simulator for mobile devices in High School Biology classes, taking as a scenario the theory of Natural Selection of Charles Darwin and its main aspects, such as species diversity, differential reproduction and heredity, complemented with fundamentals of genetics. We evaluated that the application of these concepts in a simplified way in a computer simulation environment easily accessible to students points to a gain in complementing the learning of these themes in the classroom, indicating that initiatives of this type can be stimulated in the educational context.

Keywords: educational simulator, education, mobile devices, biology, natural selection, genetics.

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Fundamentação Teórica	4
2.1. A Teoria da Seleção Natural	4
2.1.1. Os Tentilhões das Galápagos	5
2.2. A Teoria Moderna da Evolução	6
2.2.1. A Genética Mendeliana	8
2.2.2. Probabilidade Genética	12
2.3. Trabalhos Relacionados	13
3. Sim-Evolution: o simulador	19
3.1. Arquitetura	19
3.2. Modelagem	21
3.3. Lógica de Implementação	24
4. Avaliação Experimental	31
4.1. Avaliação do Aplicativo	33
4.1.1. Avaliação da Simulação	33
4.1.2. Avaliação de Funcionalidades	37
4.1.3. Avaliação de Usabilidade	40
4.2. Avaliação Conceitual	44
4.2.1. <i>“Com o processo de seleção natural, a variação de características passa a não existir na população: apenas a forma adaptada sobrevive.”</i>	45
4.2.2. <i>“A evolução biológica por seleção natural é um processo que ocorre em uma população, não sendo possível observá-la acompanhando apenas a vida de um organismo individualmente.”</i>	47
4.2.3. <i>“Para melhor se adequar a um ambiente, uma ave pode mudar sua cor ou o formato do seu bico. A isto chamamos de adaptação biológica.”</i>	47
4.2.4. <i>“A adaptação biológica é percebida quando, ao longo de sucessivas gerações, observamos a sobrevivência dos organismos que apresentam as características mais adequadas a uma determinada situação.”</i>	48
5. Conclusão	50
6. Referências Bibliográficas	53
7. Apêndice I – Roteiro para Avaliação Experimental.....	56
8. Apêndice II – Formulário de Avaliação Experimental.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tentilhões de Galápagos e seus diferentes formatos de bico	6
Figura 2 - Experimento de monoibridismo de Mendel, base da Primeira Lei de Mendel	9
Figura 3 - Cruzamento da geração parental pura, resultando na geração híbrida, que possui a característica de cor de sua herança dominante, o amarelo.....	10
Figura 4 - Quadro de <i>Punnet</i> apresentando o cruzamento entre as ervilhas da geração parental, resultando em 100% de descendentes híbridos Aa com cor amarela.....	10
Figura 5 – Representação dos cruzamentos entre a geração F1 híbrida, resultando em indivíduos híbridos e puros.....	10
Figura 6 – Cruzamento entre as ervilhas híbridas da geração F1 e suas três gerações possíveis: AA, Aa e aa, sendo que indivíduos híbridos como os pais têm maior probabilidade de serem gerados (50%), enquanto que os demais estão em proporção de 25% cada	10
Figura 7 – Cálculos dos genótipos em separado, a partir de um cruzamento de dois parentais homozigotos e considerando dois fenótipos envolvidos	11
Figura 8 - Cálculos dos genótipos de cruzamentos entre heterozigotos, exibindo seu universo de possibilidades da geração de filhos.....	12
Figura 9 - Ecossistema com ovelhas e lobos no NetLogo: compreensão de fenômenos reais através de simulações (adaptado de Wilensky et al., 2014)	14
Figura 10 - Modelab2: simulação de processo epidêmico no contexto da gripe aviária	15
Figura 11 – Virtual Labs: Electricity, simulador de circuitos elétricos	15
Figura 12 - Cell Life: suporte no aprendizado de Biologia com simulações do ambiente celular	16
Figura 13 - Tela de configuração do EVOLVE, onde os usuários podem configurar parâmetros para a simulação (adaptado de Soderberg and Price, 2003).....	17
Figura 14 - Tela inicial do <i>Sim-Evolution</i>	19
Figura 15 – <i>Sim-Evolution</i> : visão geral da arquitetura.....	20
Figura 16 – <i>Sim-Evolution</i> : modelo de classes simplificado.....	21
Figura 17 – Avaliações dos alunos às questões A (coluna esquerda) e B (coluna direita) da seção de Avaliação da Simulação	34
Figura 18 – Avaliações dos profissionais de ciências biológicas às questões A (coluna esquerda) e B (coluna direita) da seção de Avaliação da Simulação.....	35
Figura 19 - Avaliações dos alunos às questões C e D da seção de Avaliação da Simulação	36
Figura 20 – Avaliações dos profissionais de ciências biológicas às questões C e D da seção de Avaliação da Simulação	36
Figura 21 – Funcionalidades do <i>Sim-Evolution</i> avaliadas pelos usuários.....	38

Figura 22 – Avaliação da aceitação do Sim-Evolution pelos usuários.....	39
Figura 23 – Avaliação de funcionamento do aplicativo.....	40
Figura 24 – Avaliações dos usuários sobre complexidade do <i>Sim-Evolution</i>	41
Figura 25 – Avaliações dos usuários sobre facilidade de uso do <i>Sim-Evolution</i>	42
Figura 26 – Avaliações dos usuários sobre factibilidade de reuso frequente do <i>Sim-Evolution</i> ..	42
Figura 27 – Avaliações dos usuários sobre necessidade de conhecimentos teóricos para uso do <i>Sim-Evolution</i>	43
Figura 28 – Afirmativas propostas na Avaliação Conceitual e as respostas dadas pelos estudantes.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cálculos dos genótipos em separado, a partir de um cruzamento de dois parentais heterozigotos e considerando dois fenótipos envolvidos.....	13
Tabela 2 – Trabalhos relacionados e algumas de suas características	17
Tabela 3 – Representação dos fenótipos e respectivos genótipos das aves do <i>Sim-Evolution</i>	22
Tabela 4 – Representação do conjunto predefinido das combinações possíveis de fenótipos e respectivos genótipos das aves do <i>Sim-Evolution</i>	23
Tabela 5 – Relação de incremento de energia das aves a partir dos valores de aptidão do fenótipo bico	25
Tabela 6 – Relação de quantidade máxima de filhos a partir dos valores de aptidão do fenótipo bico do parental mais fraco	27
Tabela 7 – Faixas de valores de fenótipos de cor	29
Tabela 8 – Comparação de chances entre fenótipos de cor	29

LISTA DE SIGLAS

API *Application Programming Interface* (Interface de Programação de Aplicativos)

DNA *deoxyribonucleic acid* (ácido desoxirribonucleico)

SUS *System Usability Scale*

Capítulo 1

Introdução

Há várias décadas atrás se iniciaram debates e análises mais aprofundadas sobre o papel da ciência da computação na resolução de problemas em todos os aspectos da investigação humana. Tais discussões, fomentadas pelos avanços na computação, abriram caminho para a expansão da nossa compreensão sobre nós mesmos como sistemas biológicos e sobre nosso relacionamento com o mundo em que estamos inseridos [Barr and Stephenson, 2011].

Essa ampliação de conhecimento recebeu influências de visões como a de “crianças como construtoras”, cuja aquisição e “construção” de seu entendimento de mundo seriam mais bem proporcionadas com o fornecimento de materiais adequados e um ambiente enriquecido computacionalmente [Papert, 1980].

Atualmente as discussões deram espaço a um consenso generalizado. Os estudantes de hoje vivem e continuarão a viver uma vida cada vez mais fortemente influenciada pela computação. Em decorrência desta realidade, os currículos das escolas têm recebido readequações e continuam a requerer desenvolvimentos que reflitam de forma consistente as mudanças de certos paradigmas relacionados a métodos e padrões de ensino tradicionais, proporcionando o alcance de um produto intelectual em mentes de crescimento ativo e maior visão de mundo [Wilensky et al., 2014; Barr and Stephenson, 2011; Papert, 1980].

A complementação dos processos de aprendizagem pela utilização de ferramentas tecnológicas e recursos computacionais em sala de aula pode potencializar a experiência educacional. Avaliamos que essa abordagem aumenta o nível de interesse pelo conteúdo de ensino em função da utilização de tecnologias e elementos computacionais conhecidos – e por vezes de pleno e usual domínio – pelas novas gerações de alunos. Ela contribui ainda para maior retenção da informação em memória e melhor compreensão pelos alunos, pelo fato de ser apresentada através de múltiplos canais sensoriais (visão, audição, tato, etc.), fornecendo reforço de estímulos

adicionais [Zydney and Warner, 2016; Lester et al., 2014; De Deus and Lopes, 2013; Rutten et al., 2012; McClean et al., 2005; Moore et al., 2001].

Essas estratégias que envolvem recursos tecnológicos, tais como jogos e simuladores, que objetivam incentivar o envolvimento do aluno no processo de aprendizagem, têm sido aceitas pelos estudantes como uma metodologia extremamente eficaz. Jogos e simuladores atuam como ferramentas educacionais, dando aos alunos a oportunidade de aprender de forma ativa e reter potencialmente o conhecimento adquirido de forma mais eficiente. Eles mostram ser uma boa prática quando os alunos já têm uma ideia abstrata do conteúdo de aprendizagem, mas o conhecimento não está consolidado, contribuindo para se atingir metas e resultados de aprendizagem específicos [Zydney and Warner, 2016; Lester et al., 2014; Randi and Carvalho, 2013; Yue and Zin, 2009; Blake and Scanlon, 2007].

O desenvolvimento de jogos e simuladores para a educação, estendendo-se para diferentes campos da ciência, nos apresenta uma proposta de combinação de simuladores educativos e Biologia que parece ser bem acertada, tendo em vista que o uso da simulação computacional no estudo da dinâmica de fenômenos e processos biológicos é justificado pelas próprias características de alguns processos biológicos: apresentam impedimentos de estudo em laboratório por motivos diversos, tais como a exigência de mecanismos de segurança avançados que não são disponibilizados nos laboratórios escolares, demanda de custos financeiros elevados para sua estrutura, além de várias outras questões, como as relacionadas à bioética, etc. Ademais, envolvem escalas de tempo e espaço por vezes de difícil controle e reprodução [Zydney and Warner, 2016; Liu et al., 2012; Rutten et al., 2012; Sobrinho and Borges, 2010].

Os fenômenos e processos biológicos, tendo seus conceitos e complexidades adequadamente modelados em simulações computacionais, podem ser compreendidos de forma mais rápida, profunda e agradável através da facilidade proporcionada pelos recursos gráficos, de multimídia e diagramas, que provocam a capacidade exploratória e analítica dos alunos, através do controle de configurações e variáveis do ambiente experimental [Rutten et al., 2012; Blake and Scanlon, 2007; Soderberg and Price, 2003].

Na esteira desse estudo, o presente trabalho apresenta a metodologia de desenvolvimento e experimentos educacionais de um simulador educativo, cujo protótipo chamamos de *Sim-Evolution*, que tem por objetivo oferecer apoio didático nas aulas de Biologia do Ensino Médio, especificamente no que tange à compreensão da teoria da Evolução das Espécies, de Charles Darwin, e seus desdobramentos à luz da Genética¹ moderna.

O *Sim-Evolution* simula a evolução de uma determinada espécie de ave em diferentes ambientes, tendo como arcabouço conceitos da teoria da Seleção Natural e da genética clássica, que são transmitidos aos alunos através do programa curricular formal de ensino. Tais fundamentos são embutidos no sistema em forma de algoritmos simplificados. Essa simplificação dos fenômenos no ambiente simulado pretende fornecer um modo para melhor compreensão dos conceitos complexos e de difícil mensuração em condições ambientais, que permita a análise dos dados de forma lógica, abstraindo-se os fatores naturais e caóticos inerentes aos eventos reais.

Além desta introdução, este trabalho está estruturado como se segue: o capítulo 2 aborda uma visão geral sobre os conceitos envolvidos no domínio do nosso problema, tais como a teoria da Seleção Natural e a teoria Moderna da Evolução, bem como sobre a genética mendeliana e seus decorrentes aspectos e correspondências com conceitos da genética moderna, pontuados através de cálculos básicos de hereditariedade e probabilidade genética. Adicionalmente, descreve trabalhos relacionados a este estudo. No capítulo 3 apresenta-se a visão geral de arquitetura do *Sim-Evolution*, sua modelagem conceitual e lógica de implementação. O capítulo 4 apresenta as configurações e resultados da avaliação experimental da solução como ferramenta de apoio pedagógico. Por fim, no capítulo 5 explicitam-se as considerações sobre o modelo apresentado, bem como as conclusões gerais deste trabalho.

¹ Genética é a ciência voltada para o estudo da hereditariedade, bem como da estrutura e das funções dos genes.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

A Seleção Natural é o mecanismo chave da teoria evolutiva apresentada pelo naturalista britânico Charles Darwin, em que um determinado ambiente contribui para a seleção dos seres vivos mais adequados para habitá-lo. Essa proposição, que compõe a Teoria da Evolução das Espécies, diz que apenas características que conferem um incremento na capacidade de sobrevivência e/ou reprodução seriam selecionadas [Darwin, 1859].

2.1. A Teoria da Seleção Natural

A Seleção Natural é o mecanismo chave da teoria evolutiva apresentada pelo naturalista britânico Charles Darwin, em que um determinado ambiente contribui para a seleção dos seres vivos mais adequados para habitá-lo. Essa proposição, que compõe a Teoria da Evolução das Espécies, diz que apenas características que conferem um incremento na capacidade de sobrevivência e/ou reprodução seriam selecionadas [Darwin, 1859].

A teoria postula que o processo de seleção natural em determinado ambiente depende de três principais aspectos: variação nas características, reprodução diferenciada e hereditariedade. Nesse contexto, em um ambiente específico apenas os indivíduos que possuem as condições ideais de sobrevivência conseguirão se reproduzir e transmitir para as próximas gerações as mesmas características genéticas e fenotípicas² que garantam a perpetuação da espécie naquela região.

² Referem-se ao fenótipo do indivíduo, que são as suas características visíveis, decorrentes do seu genótipo e sua interação com o ambiente.

Em contrapartida, aqueles que não possuem as características adequadas para sobreviver em determinado ambiente não conseguirão se reproduzir suficientemente e serão lentamente extintos.

De acordo com a teoria evolucionista de Darwin, o conjunto de aspectos favoráveis de um organismo, a partir das transmissões de gerações para gerações, poderia ocasionar o surgimento de uma nova espécie, que evoluiu para ser totalmente apta ao ambiente em que vive.

A seleção natural ocorre em todas as populações de organismos vivos, seja em ambientes constantes ou instáveis, atuando com uma função estabilizadora, eliminando as espécies menos aptas e garantindo a continuidade das mais aptas.

2.1.1. Os Tentilhões das Galápagos

Durante sua viagem a bordo do navio H.M.S. Beagle pela costa da América do Sul (1831 – 1836), Darwin registrou suas observações sobre a diversidade de ambiente, fauna e flora pelas cerca de 20 paradas que o navio realizou ao longo da viagem [Darwin, 1845].

Dentre essas observações, que constituem o ponto de partida para a sua Teoria da Evolução, uma foi a diversidade da vida animal no Arquipélago de Galápagos (atualmente parte do território do Equador). Lá, o naturalista registrou com detalhes a morfologia³, habitat e comportamento de várias espécies identificadas de tentilhões (Figura 01), que representam um dos argumentos mais aceitos em seu livro sobre a origem das espécies.

³ Morfologia é a aparência externa de um ser vivo.

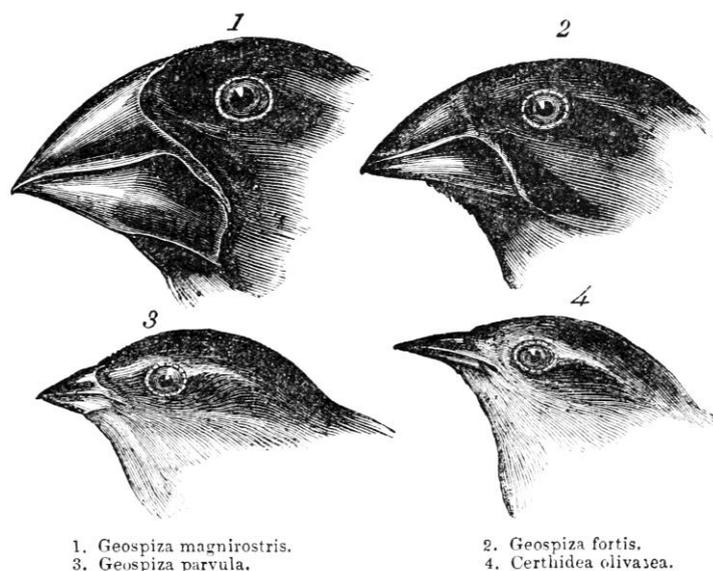


Figura 1 - Tentilhões de Galápagos e seus diferentes formatos de bico

(adaptado de Darwin, 1845)

Darwin observou que os grupos de tentilhões apresentavam fortes semelhanças, porém uma diversificação de formatos de bicos, altamente específicos para o tipo de alimento consumido por cada espécie. Construiu então hipóteses e deduções de que as variedades de tentilhões derivariam da mesma espécie original, proporcionando assim uma ligação entre o processo de especiação e a seleção natural, devido às diferenças de alimentação e habitat ocupado por cada espécie [Darwin, 1845].

Os fatores que teriam contribuído para a especiação dos tentilhões seriam seu isolamento geográfico (cada espécie habita uma determinada ilha, dificultando a migração e a mistura de características), recursos alimentares diferentes entre as ilhas (acarretando a especialização dos bicos), ambiente ecológico, competição (entre os indivíduos da espécie e entre espécies diferentes).

2.2. A Teoria Moderna da Evolução

Quando Darwin divulgou sua teoria evolucionista, os princípios genéticos não eram bem definidos. Portanto, ele não contava com um esclarecimento sólido para a origem da diversidade, o que sujeitou seus argumentos a questionamentos da comunidade científica. Com a consolidação da Genética, de seus princípios de herança e

a conseqüente associação dessa área com as ideias evolucionistas, foi aberto o caminho para a Teoria Moderna da Evolução, também conhecida como Teoria Sintética ou Neodarwinismo.

De acordo com a Teoria Moderna da Evolução, a evolução de um organismo pode ser explicada por mutações ou recombinações de seu material genético, aliadas ao processo de seleção natural. As mutações gênicas consistem em alterações no material genético, que pode ser na estrutura da molécula de DNA, no número ou estrutura dos cromossomos⁴. A recombinação gênica refere-se à troca de genes⁵ entre duas moléculas de DNA, para formar novas combinações de genes em um cromossomo.

A recombinação e a mutação representam mecanismos responsáveis pela diferença genética entre indivíduos (variabilidade genética), proveniente do surgimento de novos alelos⁶ e novas combinações de genes. A seleção natural, por sua vez, atua sobre os indivíduos, garantindo a sobrevivência dos seres mais adaptáveis e a conseqüente transmissão das características genéticas favoráveis para as gerações seguintes.

Portanto, a seleção natural age como processo chave sobre a casualidade da mutação e de seleção das características apropriadas para a adaptação dos organismos. Desse modo, características hereditárias que contribuem para a sobrevivência e reprodução se tornam mais comuns numa população, enquanto que os fenótipos prejudiciais se tornam mais raros. Isto acontece em decorrência das maiores taxas de sucesso de reprodução entre os indivíduos com características mais vantajosas. Dessa forma, uma quantidade maior de indivíduos herdará essas características na próxima geração.

Os conceitos de recombinação gênica e seleção natural da Teoria Moderna da Evolução constituem a base para o algoritmo do *Sim-Evolution*. Todavia, faz-se necessário ressaltar aqui a distinção da evolução biológica originada em Darwin do processo de seleção natural. Apesar de a seleção natural ser o cerne da evolução

⁴ Cromossomos são filamentos de DNA, RNA e proteínas (histona) que encerram um conjunto de genes.

⁵ Gene é um segmento de molécula de DNA, responsável pela determinação de características hereditárias, e está presente em todas as células de um organismo.

⁶ Alelos são os genes que influenciam uma determinada característica e se encontram no mesmo locus nos cromossomos homólogos. Os alelos estarão sempre aos pares nas células diploides, sendo um dos alelos proveniente de um gameta masculino e o outro de um gameta feminino.

biológica, não pode se afirmar que aquela define esta, uma vez que não possui alcance ao nível de detalhamento da complexidade biológica dos organismos e, mesmo em vista de extensos estudos e evidências que corroboram sua suficiência para a evolução biológica, ainda é atrelada a lacunas de embasamento empírico relacionado a mecanismos biológicos específicos e eventos do passado que não podem ser conhecidos, dado estarem intrincados e impregnados de elementos caóticos e aleatoriedades impossíveis de serem observados ou reproduzidos [Watson, 2012; Weiss and Buchanan, 2004; Gould, 1994].

A proposta do presente trabalho é, portanto, apresentar uma possibilidade de facilitação de entendimento desses conceitos a partir de um conjunto de regras simples baseadas em abordagem didática de suas formulações mais básicas.

Em vista desse pressuposto, se faz necessária a apresentação dos conceitos elementares em que se fundamenta a genética clássica, iniciando-se pelos experimentos de Mendel e os cálculos de herança e probabilidade genética decorrentes deles.

2.2.1. A Genética Mendeliana

A genética mendeliana tem origem nos trabalhos de Gregor Johann Mendel, um monge agostiniano, botânico e meteorologista austríaco. É um conjunto de princípios relacionados à transmissão hereditária das características de um organismo aos seus filhos. A genética mendeliana se tornou a base principal da genética clássica e foi essencial para a formulação da Teoria Moderna da Evolução [Miko, 2008].

A partir de estudos de cruzamentos de várias espécies de plantas, especialmente de ervilhas, Mendel propôs que a existência de características tais como cor, tamanho e formato, é devida à existência de um par de unidades elementares de hereditariedade.

Mendel realizou cruzamentos experimentais a partir de linhagens puras (cujas plantas apresentam sempre as mesmas características após a fecundação, isto é, não variam ao longo das gerações) de sementes de ervilha amarelas e sementes verdes,

chamadas de Geração Parental (P). Ao analisar os resultados obtidos, constatou que as sementes verdes haviam desaparecido na primeira geração de filhos (F1), caracterizando os descendentes híbridos. Após esse cruzamento, Mendel realizou então a autofecundação entre as sementes híbridas da geração F1 e o resultado encontrado na segunda geração (F2) foi 75% de sementes amarelas e 25% de sementes verdes (Figura 2).

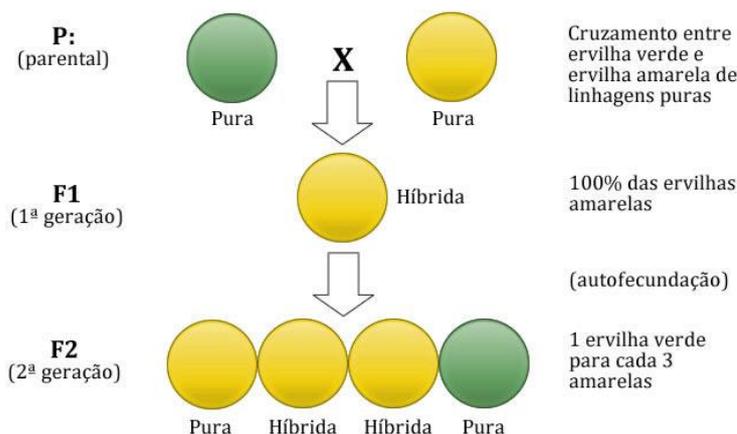


Figura 2 - Experimento de monohibridismo de Mendel, base da Primeira Lei de Mendel

Com esses experimentos de cruzamento e os seguintes com a geração F2, Mendel aferiu a existência de fatores hereditários que determinavam essas características, sendo que estes fatores existiam aos pares nos organismos, segregando na formação dos gametas⁷. Assim, na fecundação, o novo organismo recebia um desses fatores vindo de cada um dos parentais.

Entre esses fatores, um deles era dominante⁸ sobre o outro, definindo com isso a dominância e a recessividade. Mais tarde, esses fatores foram denominados “genes” e esses postulados compuseram o que hoje é a Primeira Lei de Mendel.

A herança genética observada por Mendel pode ser calculada e um dos métodos para sua determinação é o uso do *quadro de Punnet* (Figura 4), posicionando-se cada gameta dos pais no diagrama e realizando-se as combinações possíveis entre eles. Abaixo, a Figura 3 representa o cruzamento da geração parental de ervilhas, onde os

⁷ Os gametas (ou células sexuais) são as células dos seres vivos que, na reprodução sexual, se fundem no momento da fecundação ou fertilização (também chamada concepção, principalmente nos seres humanos) para formar um ovo ou zigoto, que dará origem ao embrião, cujo desenvolvimento produzirá um novo ser da mesma espécie.

⁸ Um gene é dito dominante quando, mesmo estando presente em dose simples no genótipo, determina o fenótipo. O gene dominante se manifesta tanto em homozigose, quanto em heterozigose. Exemplo: Aa (o gene A é dominante no genótipo Aa).

genes dominantes são identificados com letras maiúsculas e os recessivos⁹, com minúsculas.

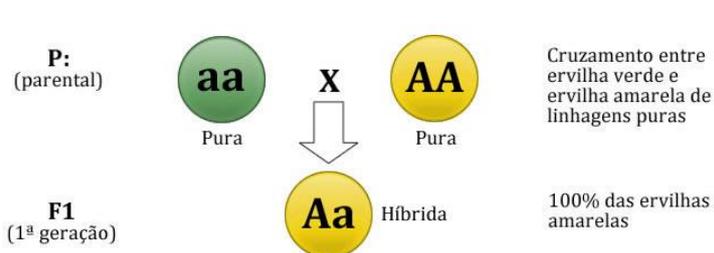


Figura 3 - Cruzamento da geração parental pura, resultando na geração híbrida, que possui a característica de cor de sua herança dominante, o amarelo

	a	a
A	Aa	Aa
A	Aa	Aa

Figura 4 - Quadro de Punnet apresentando o cruzamento entre as ervilhas da geração parental, resultando em 100% de descendentes híbridos Aa com cor amarela

Neste caso, as ervilhas verdes (aa) e amarelas (AA) cruzadas eram puras e nos cruzamentos foram produzidos os híbridos (Aa), que apresentavam a cor amarela devido a seu fator de hereditariedade ser dominante para esta característica.

Nas imagens abaixo, uma autofecundação dos descendentes da primeira geração (F1) originou a segunda geração de descendentes (F2) com ervilhas amarelas e verdes, respectivamente, na proporção 3:1 (Figuras 5 e 6).

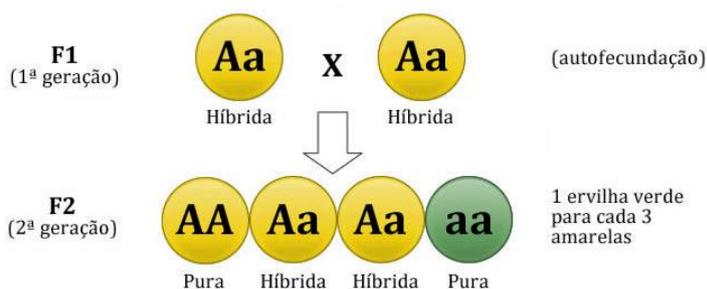


Figura 5 - Representação dos cruzamentos entre a geração F1 híbrida, resultando em indivíduos híbridos e puros

	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

Figura 6 - Cruzamento entre as ervilhas híbridas da geração F1 e suas três gerações possíveis: AA, Aa e aa, sendo que indivíduos híbridos como os pais têm maior probabilidade de serem gerados (50%), enquanto que os demais estão em proporção de 25% cada

⁹ O gene recessivo é aquele que, estando em companhia do dominante no heterozigoto, se comporta como inativo, não determinando o fenótipo. O gene recessivo só se manifesta em homozigose. Exemplos: Aa (a é o gene recessivo), aa (genótipo em homozigose).

Para a manifestação da característica da cor verde das ervilhas é necessário que estejam presentes os dois genes recessivos (aa), enquanto que para a característica amarela existem ervilhas puras (AA) e híbridas (Aa), devido à dominância do gene para cor amarela.

Em um segundo momento, Mendel observou o comportamento de duas características nos cruzamentos. A observação de duas características independentes em um mesmo cruzamento demonstra os princípios da Segunda Lei de Mendel que propõe a segregação independente dos alelos na formação dos gametas.

No diagrama abaixo (Figura 7), a demonstração do cruzamento entre a espécie pura de ervilhas amarelas (AA) e lisas (BB) com a espécie pura de ervilhas verdes (aa) e rugosas (bb). Com base nos princípios da segregação independente dos alelos na formação dos gametas e de que o filho recebe um gameta vindo de cada um dos parentais, os homocigotos¹⁰ parentais só podem fornecer gametas dominantes (A e B) e recessivos (a e b), gerando espécies híbridas $AaBb$.

Fenótipo Cor (amarela x verde) Genótipos $AA \times aa$			Fenótipo Casca (lisa x rugosa) Genótipos $BB \times bb$		
		a	a		
A	Aa	Aa	B	Bb	Bb
A	Aa	Aa	B	Bb	Bb
Aa (amarela)			Bb (lisa)		

Figura 7 - Cálculos dos genótipos¹¹ em separado, a partir de um cruzamento de dois parentais homocigotos e considerando dois fenótipos envolvidos

A partir disso, Mendel concluiu que a herança da cor é independente da casca da semente. Também se conclui que as sementes puras lisas e amarelas possuem genótipo AA (amarelo) BB (liso), ou seja, $AABB$ (dominante), já as puras verdes e rugosas possuem genótipo $aabb$ (recessivo).

¹⁰ Um indivíduo é homocigoto para um determinado caráter quando possui os dois genes iguais, ou seja, um mesmo alelo em dose dupla. O homocigoto produz apenas um tipo de gameta, quer seja ele dominante ou recessivo. Exemplo: AA ou aa .

¹¹ Genótipo é a constituição gênica de um organismo, ou seja, o conjunto de todos os genes. Geralmente é representado através de letras para simbolizar os genes, e essas letras são utilizadas quando realizamos cruzamentos. Exemplo: Aa

2.2.2. Probabilidade Genética

A probabilidade genética trata justamente das probabilidades de ocorrências entre os genótipos possíveis em uma determinada geração de filhos a partir de cruzamentos entre genótipos de seus parentais.

Dessa forma, seguindo o experimento das ervilhas de cor amarela/verde e com cascas lisa/rugosa, realizando o cálculo especificamente entre dois heterozigotos¹² $AaBb$, poderemos descobrir as possíveis ocorrências de genótipos entre a geração filha. Assim, poderemos chegar à probabilidade de serem geradas ervilhas verdes e lisas, por exemplo. Para isso, identificamos as possíveis combinações de gametas dos pais: AB , Ab , aB e ab (Figura 8).

	<i>AB</i>	<i>Ab</i>	<i>aB</i>	<i>ab</i>
<i>AB</i>	AABB amarela/lisa	AABb amarela/lisa	AaBB amarela/lisa	AaBb amarela/lisa
<i>Ab</i>	AABb amarela/lisa	AAbb amarela/rugosa	AaBb amarela/lisa	Aabb amarela/rugosa
<i>aB</i>	AaBB amarela/lisa	AaBb amarela/lisa	aaBB verde/lisa	aaBb verde/lisa
<i>ab</i>	AaBb amarela/lisa	Aabb amarela/rugosa	aaBb verde/lisa	aabb verde/rugosa

Figura 8 - Cálculos dos genótipos de cruzamentos entre heterozigotos, exibindo seu universo de possibilidades da geração de filhos

Assim, no universo de 4 fenótipos possíveis (amarela/lisa, amarela/rugosa, verde/lisa, verde/rugosa) representados por 16 genótipos, a proporção fenotípica de ervilhas verdes e lisas é de 3/16.

Considerando o conceito de independência entre os fatores da Segunda Lei de Mendel, podemos calcular as possibilidades dos genótipos dos parentais deste caso em separado e então multiplicar as probabilidades das ocorrências de cada genótipo (Tabela 1):

¹² Heterozigoto ou híbrido – quando para uma determinada característica os alelos são diferentes. O heterozigoto pode produzir gametas dominantes ou recessivos. Exemplo: Aa .

Tabela 1 - Cálculos dos genótipos em separado, a partir de um cruzamento de dois parentais heterozigotos e considerando dois fenótipos envolvidos

Cruzamento:					
AaBb x AaBb					
Fenótipo Cor (amarela x verde)			Fenótipo Casca (lisa x rugosa)		
Genótipos pais: Aa x Aa			Genótipos pais: Bb x Bb		
	A	a		B	b
A	AA	Aa	B	BB	Bb
a	Aa	aa	b	Bb	bb
<hr/>			<hr/>		
	Genótipo	Possib.		Genótipo	Possib.
	AA	1/4		BB	1/4
	Aa	2/4		Bb	2/4
	aa	1/4		bb	1/4

Desta forma, a probabilidade de serem geradas ervilhas verdes e lisas é o produto das probabilidades de ocorrências de ervilhas de fenótipo cor verde (aa) com as probabilidades de ocorrências de ervilhas de fenótipo casca lisa (B_, isto é, um gene dominante com qualquer combinação, logo: BB e Bb). Calcula-se:

$$\text{Probabilidade de ervilhas verdes/lisas} = 1/4 * 3/4 = 3/16, \text{ Q.E.D.} \quad (1.0)$$

2.3. Trabalhos Relacionados

Tem-se demonstrado através de pesquisas e demonstrações de que o ensino convencional recebe potencial aprimoramento quando se relaciona com o uso de simulações computacionais. As simulações representam real oportunidade de instigação e desenvolvimento de capacidades investigativas dos alunos, de reflexão, exploração e formulação de hipóteses de problemas e fenômenos reais [Blake and Scanlon, 2007; Soderberg and Price, 2003].

Um desses sistemas de simulação é o NetLogo, projeto da [Northwestern University](#) em parceria com outras universidades.

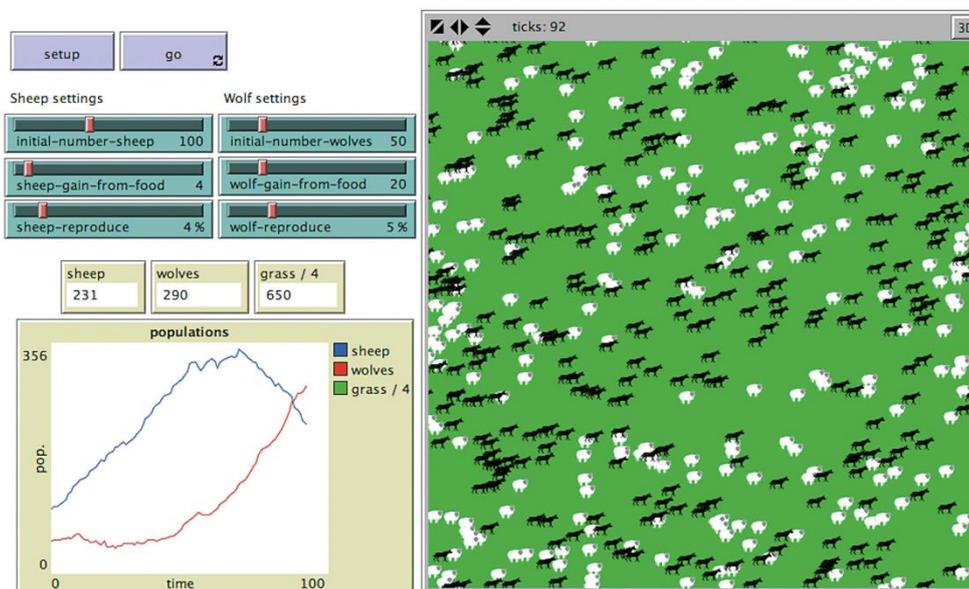


Figura 9 - Ecossistema com ovelhas e lobos no NetLogo: compreensão de fenômenos reais através de simulações (adaptado de [Wilensky et al., 2014](#))

O sistema simula um ambiente real onde entidades individuais (agentes) podem ter seu comportamento modificado com base em regras do sistema manipuladas pelo usuário, de forma a simular fenômenos do mundo real, relacionados à Biologia/Ecologia, Física, Química e Ciências da Terra (como exemplo, no estudo de desastres naturais, como incêndios florestais), proporcionando aos alunos compreensão de eventos macro através de um nível micro [[Wilensky et al., 2014](#)].

O Laboratório de Tecnologias da Universidade Federal do Espírito Santo desenvolveu outro trabalho que se enquadra nessa categoria – o Modelab2. O sistema permite a criação de cenários virtuais (cidades, florestas, etc.) onde objetos (homens, animais, etc.) se inter-relacionam através de regras simplificadas pelo algoritmo do sistema. [[Sobrinho and Borges, 2010](#); [Silva et al., 2006](#)].



**Figura 10 - Modelab2: simulação de processo epidêmico no contexto da gripe aviária
(adaptado de Sobrinho and Borges, 2010)**

Outro simulador pesquisado é o *Virtual Labs: Electricity*, software de propriedade da Houghton Mifflin Harcourt - MHM, um ambiente virtual de circuitos elétricos voltado para o aprendizado acadêmico. Os alunos podem realizar simulações construindo circuitos utilizando componentes eletrônicos do mundo real a partir de um conjunto de funcionalidades disponibilizadas pelo simulador. [Zacharia, 2007].



**Figura 11 - Virtual Labs: Electricity, simulador de circuitos elétricos
(adaptado de Zacharia, 2007)**

No contexto de Biologia, o *Cell Life*, desenvolvido para alunos dos dois últimos anos de educação de Biologia do Curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologias do sistema de ensino Português, também se apresenta como uma ferramenta educacional nessa linha. Leva os alunos a interagirem de forma dinâmica com o ambiente celular e aprenderem os conceitos envolvidos no sistema de ensino oficial [De Deus and Lopes, 2013].

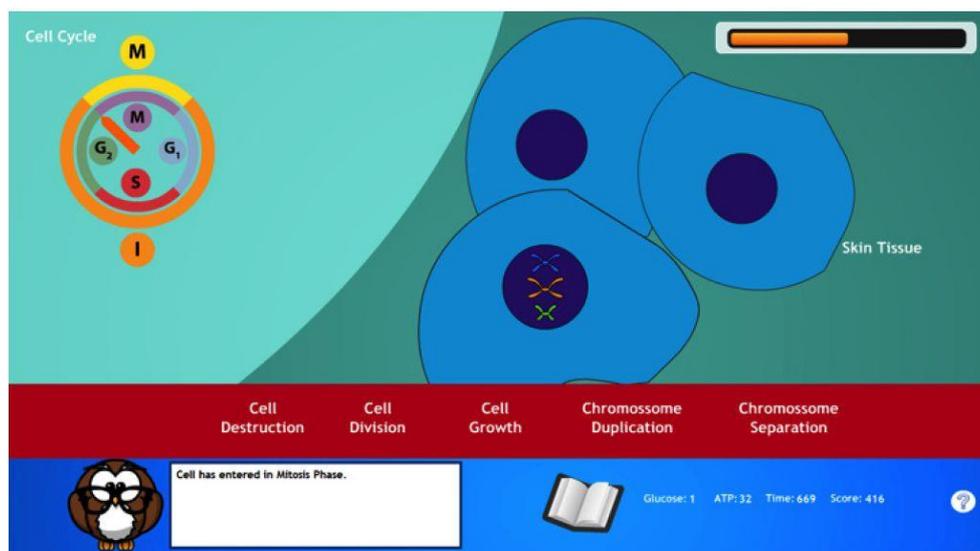


Figura 12 - Cell Life: suporte no aprendizado de Biologia com simulações do ambiente celular
(adaptado de De Deus and Lopes, 2013)

Por outro lado, o simulador EVOLVE, projeto da *Hamilton College*, apresenta uma abordagem em que este trabalho se referencia, envolvendo genética mendeliana, seleção natural, deriva genética e outros conceitos relacionados à evolução de uma população de organismos, que pode ser configurada de várias formas, proporcionando aos alunos um olhar investigativo sobre os conceitos abordados [Soderberg and Price, 2003].

Title: Selection for Recessive

Random Num. **Generations** Current: 1 Final: 50

Initial Population

Hardy-Weinberg Equilibrium

Allele Frequencies: 0.050 0.950

Genotype Numbers: 20 760 7220 Total Pop: 8000

Evolutionary Forces

Natural Selection

Survival Rates: 30.0 22.0 22.0

Reproduction Rates: 8.1 5.0 5.0

Genetic Drift

Maximum Pop. : 9999

Post-crash Pop. : 8000

Gene Flow

Update

Revert **Done**

Figura 13 - Tela de configuração do EVOLVE, onde os usuários podem configurar parâmetros para a simulação (adaptado de Soderberg and Price, 2003)

Os trabalhos pesquisados foram projetados para uso em computadores (Tabela 2), o que demandaria uma estrutura computacional mais complexa e custosa, considerando-se sua aplicação no ambiente da sala de aula.

Tabela 2 - Trabalhos relacionados e algumas de suas características

Software	Tipo	Aplicabilidade	Área Atuação	Plataforma Hardware
NetLogo	Ambiente de modelagem de simuladores	Simulação de fenômenos naturais e sociais	Multidisciplinar (Biologia, Física, Química, Geografia e outras)	Computador
ModeLab2	Ambiente de modelagem de simuladores e jogos	Simulação de fenômenos naturais e sociais	Multidisciplinar (Biologia, Física, Matemática, Química, Ecologia e outras)	Computador
Virtual Labs: Electricity	Simulador	Simulação de circuitos elétricos	Física (Eletricidade)	Computador
Cell Life	Jogo/Simulador	Simulação de ambiente celular	Biologia	Computador
Evolve	Simulador	Simulação de evolução de uma população de organismos	Biologia	Computador

O *Sim-Evolution* apresenta-se como uma solução com diferencial porque é baseado em dispositivos móveis e os *smartphones* hoje são perfeitamente acessíveis para a maioria dos alunos. Seu uso com esse papel em sala de aula os revela como ferramentas educativas de alto potencial, além de apresentar um custo muito menor se comparado ao de uma infraestrutura que contemple computadores para uso de todos os estudantes.

Adicionalmente, o manuseio de *smartphones* e o domínio de suas funcionalidades se tornaram triviais para a atual geração de alunos, muito pelo fato de esses dispositivos serem considerados elementos computacionais imprescindíveis em seu dia-a-dia [Zydney and Warner, 2016]. Os computadores semelhantes aos modelos típicos de laboratórios escolares, por sua vez, não oferecem o mesmo nível de portabilidade e flexibilidade, além de ainda serem vistos como ferramentas de mais difícil operação, em decorrência de sua natural complexidade computacional e capacidade de suportar sistemas e aplicativos mais robustos.

Capítulo 3

Sim-Evolution: o simulador

O *Sim-Evolution* propõe a simulação do processo de seleção natural originado na teoria de Charles Darwin e ambientado na sobrevivência de aves em dois cenários de ilhas com vegetações distintas: floresta e savana. O design do sistema se inspira nos registros dos tentilhões de Galápagos observados por Charles Darwin. A lógica de seu algoritmo segue padrões e conceitos fundamentados na Genética Mendeliana e apoiados na influência da Teoria Moderna da Evolução. O aplicativo apresenta estrutura com interface gráfica simplificada a fim de proporcionar mais chances de uma compreensão descomplicada e agradável pelos alunos. Este capítulo apresenta arquitetura, modelagem e lógica de implementação do sistema.



Figura 14 - Tela inicial do *Sim-Evolution*

3.1. Arquitetura

O arcabouço do *Sim-Evolution* foi desenvolvido sobre as APIs da plataforma para dispositivos móveis *Android*, de onde implementa rotinas e padrões de programação. O funcionamento geral da arquitetura do aplicativo é representado na Figura 15.

O usuário interage com o sistema (1) através do front-end fornecido pelas *Activities*, classes especiais do *Android* que têm o papel de *controllers* no processamento das ações do sistema, como requisições do usuário e operações de dados das camadas subjacentes (2). Da interação das *Activities* com a camada *Model* decorre a persistência dos dados no banco de dados da aplicação (3), estruturado sobre o *SQLite*, nativo do *Android*.

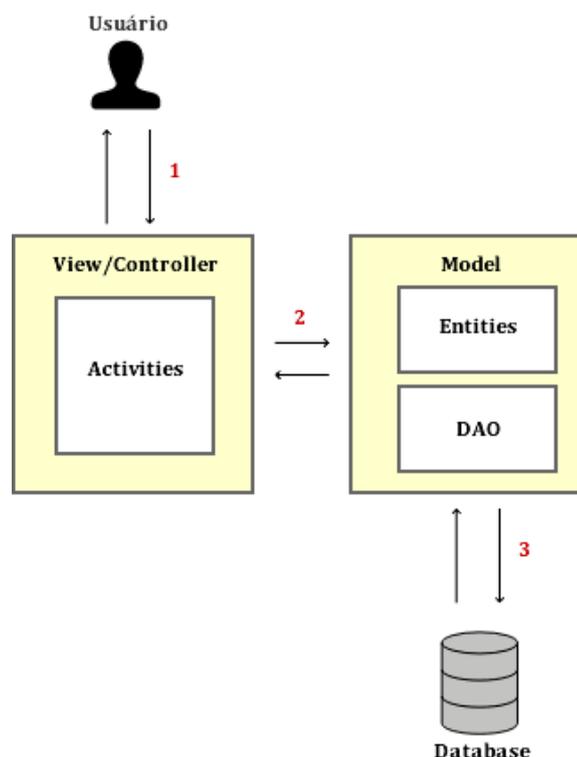


Figura 15 – Sim-Evolution: visão geral da arquitetura

As *Activities* são responsáveis tanto pelas interações do usuário através das telas que precedem a execução de uma simulação quanto pelo processo da simulação propriamente dita, através da realização de operações fornecidas pelas classes *DAO*. Estas, por sua vez, implementam a lógica de sistema baseada nas regras de negócio e tratam da persistência de dados a partir da instanciação de objetos de *Entities*.

A primeira interação do usuário para a execução de uma simulação ocorre na tela para seleção do tipo de simulação, onde ele definirá o tipo desejado selecionando PADRÃO ou CUSTOM. A primeira opção o levará à tela de escolha do ambiente dentre dois possíveis (FLORESTA e SAVANA) e a segunda lhe permitirá configurar os fenótipos das aves. A seleção das aves é o passo seguinte ao processo de seleção de cenários e

configuração dos fenótipos e onde o usuário escolherá as aves que iniciarão a simulação.

3.2. Modelagem

A partir da compreensão mais aberta das interações entre o usuário e o *Sim-Evolution*, é apresentado na Figura 16 o modelo simplificado de classes que formam a estrutura básica do sistema, composta por três classes principais, **Ambiente**, **Ave** e **Fenotipo**. Buscando proporcionar melhor consistência, adotamos a generalização na estrutura dos fenótipos de cada ave. Assim, os fenótipos de bico e cor são especializações da superclasse **Fenotipo**, possibilitando dessa forma reutilização de código e maior flexibilidade no tratamento dos objetos durante a codificação.

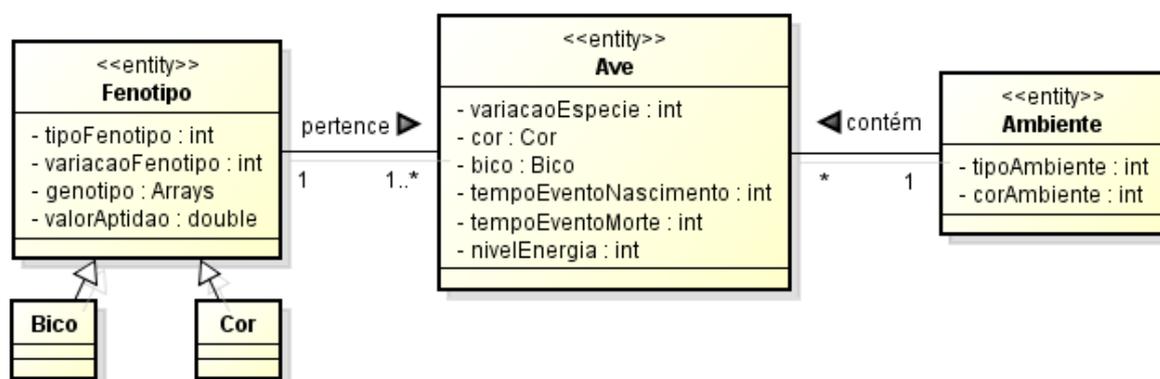


Figura 16 - *Sim-Evolution*: modelo de classes simplificado

O atributo *tipoFenotipo* da classe **Fenotipo** identifica o fenótipo (cor ou bico), *variacaoFenotipo* recebe os registros das variações dos fenótipos (cor: verde, mesclado, amarelo; bico: grande, pequeno, alicate), o array *genotipo* é necessário para o registro dos genes da ave e o atributo *valorAptidao* é fundamental para a definição das chances de sobrevivência da ave no ambiente.

O sistema permite a seleção de aves com dois diferentes fenótipos para iniciarem a simulação: cor da plumagem e formato do bico, conforme mostrado na Tabela 3. A cor da plumagem tem relação direta com as chances de sobrevivência aos predadores. Já o fenótipo de formato do bico tem a ver com a capacidade de a ave

alimentar-se no ambiente. Aves cujo fenótipo de cor tenha **valorAptidao** com valor baixo têm menos chances de serem eliminadas por predadores, logo tendem a sobreviver mais. Já as aves cujos bicos possuem valores altos em **valorAptidao** têm maiores chances de alimentar-se e, portanto, de serem mais fortes e longevas, reproduzindo-se mais e aumentando as chances de perpetuação de sua linhagem. O objetivo é conduzir os alunos a uma melhor compreensão da relação dos conceitos de variação de características, reprodução diferenciada e deriva genética em uma população de organismos com o processo de seleção natural em um habitat escolhido.

Tabela 3 – Representação dos fenótipos e respectivos genótipos das aves do *Sim-Evolution*

Cor Plumagem		Formato Bico	
Fenótipo	Genótipo	Fenótipo	Genótipo
	AA		BB
	Aa		Ba
	aa		bb

A classe **Ambiente** por sua vez é estruturada com dois atributos: **tipoAmbiente**, que recebe o cenário da simulação e **corAmbiente**, que identifica a cor padrão do ambiente, valor muito importante pois tem relação direta com o valor de aptidão da ave no ambiente.

No tipo de simulação PADRÃO, o **valorAptidao** de cada fenótipo das aves é definido internamente pelo sistema com base no ambiente escolhido, uma vez que o objetivo é relacionar a sobrevivência das aves ao ambiente. Assim, aves com plumagem verde ficam mais bem camufladas no cenário de FLORESTA (caracterizada por alta densidade de árvores e cor predominantemente verde), tendo mais chances de sobrevivência nesse ambiente, ao contrário da SAVANA (cenário tipificado pela predominância de plantas gramíneas e coloração amarelada em decorrência de clima seco), mas vantajosa para as aves de plumagem amarelada. De forma semelhante, as aves com bico em forma de alicate se alimentam melhor na FLORESTA, onde há mais oferta de frutos e sementes, e as de bico comprido e fino, que se alimentariam principalmente de insetos e larvas, se saem melhor na SAVANA.

No tipo de simulação CUSTOM, o usuário fornecerá valores de aptidão para cada fenótipo que definirão as chances de sobrevivência das aves no ambiente, que neste modo não exerce nenhuma influência sobre o mecanismo de seleção natural. O objetivo nesse caso é permitir que o usuário consiga constatar a relação entre as características das aves e o processo de seleção de forma *desconectada* do ambiente e assim comparar resultados entre os dois modos, alcançando melhor compreensão dos conceitos envolvidos.

Por fim, a classe **Ave** é responsável pela instanciação de objetos do tipo *Ave* e possui oito atributos: *variacaoEspecie*, *cor*, *bico*, *tempoEventoNascimento*, *tempoEventoMorte* e *nivelEnergia*. O primeiro identifica a variedade da ave (Tabela 4), *cor* e *bico* recebem os fenótipos da ave, *tempoEventoNascimento* e *tempoEventoMorte* registram respectivamente o tempo de entrada e retirada da ave do ambiente, sendo essenciais para a consistência de exibição do gráfico de sobrevivência das aves, e *nivelEnergia* registra o nível de energia da ave, que é incrementado/decrementado no decorrer da simulação.

Tabela 4 - Representação do conjunto predefinido das combinações possíveis de fenótipos e respectivos genótipos das aves do *Sim-Evolution*

Ave	Cor	Form. Bico	Genótipo
			AABB
			AABb
			AAbb
			AaBB
			AaBb
			Aabb
			aaBB
			aaBb
			Aabb

Com base nas combinações dos genótipos das aves, o sistema possibilita a composição de variedades com plumagens verdes, mescladas ou amarelas e bicos com formatos entre os três possíveis, estabelecendo o universo de nove aves possíveis, de onde o usuário poderá selecionar no máximo quatro aves para iniciar a simulação.

3.3. Lógica de Implementação

Uma vez cumpridas as interações iniciais entre o usuário e o sistema para a configuração da simulação, o usuário pressionará o botão *Iniciar* da tela de escolha de aves para o sistema proceder com o [Algoritmo 1 - Simulacao](#). Este executa a simulação com base nos parâmetros definidos pelo usuário: o ambiente (*amb*) e o conjunto de aves que iniciará a simulação (*aves_{início}*), com seus respectivos fenótipos já configurados.

O conjunto de aves participantes da simulação é carregado com as aves inicialmente selecionadas pelo usuário ($aves \leftarrow aves_{início}$) e, controlado por um contador de tempo em segundos, é inicializado um loop com três *threads* para os eventos de alimentação, reprodução e predação das aves, com seu encerramento condicionado ao tempo limite para a simulação (600 segundos) ou à quantidade insuficiente de aves para a simulação ($|aves| < 2$). As *threads* são recarregadas em intervalos de tempo previamente definidos e delas decorre a atualização do conjunto de aves em tela. Uma vez atendida pelo menos uma das condições de encerramento a simulação termina, porém o usuário ainda poderá visualizar o gráfico de sobrevivência das aves.

Algoritmo 1 - Simulacao(amb,aves_{início}): início simulação

```

1:  $aves \leftarrow aves_{início}$ 
2: enquanto  $|aves| \geq 2$  faça
3:   Alimentacao(aves)
4:    $aves \leftarrow (aves \cup Reproducao(aves,amb))$ 
5:    $aves \leftarrow Predacao(aves)$ 
6: fim_enquanto
7: fimSimulacao()

```

O evento de alimentação das aves do passo 3 é representado a seguir, no [Algoritmo 2 - Alimentacao](#). Ocorre em intervalos de 3 segundos e incrementa os níveis

de energia de todas as aves participantes, com referência nos valores de aptidão de seus respectivos fenótipos de bico.

Algoritmo 2 – Alimentacao(aves): alimentação das aves

1: *para* ave \leftarrow 1 *até* |aves| *faça*

2: ave.nivelEnergia \leftarrow ave.nivelEnergia + valorIncremento(ave)

3: *fim_para*

Os valores de aptidão são segmentados em cinco faixas, representadas na Tabela 5, onde as mais baixas representam menor incremento de energia.

Tabela 5 – Relação de incremento de energia das aves a partir dos valores de aptidão do fenótipo bico

Aptidão Alimentação	
Faixa Valor Aptidão Bico	Incremento Pontos Energia (e)
0,01 – 0,07	1
0,08 – 0,13	2
0,14 – 0,20	3
0,21 – 0,26	4
0,27 – 1,00	5

Os valores limítrofes superiores de cada faixa foram calculados através de regra de três simples, tomando-se como referência o valor de 0,33 como sendo o equilíbrio entre os três fenótipos, uma vez que o sistema estabelece como regra que os três valores de cada fenótipo somados têm de totalizar 1,00 (abstraia-se aqui a diferença de 0,01 para que o somatório seja 1,00). Ou seja, se todas as aves possuísem o mesmo valor de 0,33, teriam então chances iguais de alimentação, isto é, todas incrementariam o máximo de pontos de energia. Com base nesse pressuposto, definiu-se 0,33 como elemento da faixa superior e aplicou-se a fórmula 1.1 para descoberta dos valores dos limites superiores (f_{lim_sup}) de cada faixa subjacente, onde \underline{g} representa o valor máximo de incremento de energia e \underline{e} representa o valor do incremento que será aplicado em cada faixa, variando entre 1 e o valor máximo. Para os fins do simulador, foi achado o valor 5 como adequado para ser o valor máximo de incremento. Desse modo, são definidos os valores componentes de cada faixa da Tabela 5.

$$f_{lim_sup} = 0,33 * e/s \quad (1.1)$$

O evento de reprodução das aves, assinalado no passo 4 do [Algoritmo 1](#), é invocado em intervalos de 11 segundos e seus procedimentos são apresentados no [Algoritmo 3 - Reproducao](#), onde *amb* e *aves* são o ambiente e o conjunto de aves participantes da simulação, respectivamente.

Algoritmo 3 - Reproducao(aves,amb): reprodução das aves

```

1: escolha aleatoriamente  $a_x, b_y \mid a_x, b_y \in aves \wedge x \neq y$ 
2:  $F \leftarrow CombinacaoGenotipos(a_x, b_y)$ 
3:  $m \leftarrow DefinicaoQtdFilhos(a_x, b_y)$ 
4: escolha aleatoriamente  $f \mid (f \geq 0 \wedge f \leq m)$ 
5: se  $f = 0$  então
6:    $E \leftarrow \emptyset$ 
7: senão
8:   para  $i \leftarrow 1$  até  $f$  faça
9:     escolha aleatoriamente  $ave \in F \mid \{\{ave\} \cap E\} \neq \emptyset$ 
10:     $E \leftarrow E \cup \{ave\}$ 
11:   fim_para
12: fim_se
13: retorna  $E$ 

```

Inicialmente, são escolhidas aleatoriamente duas aves a_x e b_y do conjunto de aves, de tal forma que x e y representam as posições (índices) das aves no conjunto e $x \neq y$, porém a pode ser ou não de uma variedade igual à de b , dentre as 9 possíveis.

Considerando-se que $A = \{a_0, a_1, \dots, a_i\}$ e $B = \{b_0, b_1, \dots, b_j\}$ sejam diferentes conjuntos de variedades de ave, $A, B \subset aves$ e que $a \in A$ e $b \in B$, a probabilidade P de escolha da variedade de a pode ser definida como $P(A)$ e calculada como sendo o resultado da divisão do somatório das probabilidades de ocorrência dos n elementos de A no conjunto universo *aves* pelo total de elementos de *aves*, ou seja:

$$P(A) = \frac{\sum_{i=0}^n a}{|aves|} \quad (1.2)$$

Com base na Equação 1.2, é razoável afirmar-se que $P(a) > P(b) \rightarrow P(A) > P(B)$, logo neste caso a variedade a teria mais chances de ser escolhida e consequentemente

chances maiores de perpetuação da espécie frente à variedade b , provendo assim elemento para o arcabouço de seleção natural na simulação.

Uma vez selecionados os parentais, seus genótipos são combinados em *CombinacaoGenotipos()* de forma cartesiana, usando o método de *Punnet*, de maneira que sejam encontradas todas as possibilidades de filhos através das combinações entre os genótipos.

Assim, dados os genótipos de a e b representados respectivamente pelos subconjuntos $A_{genotipo} = \{\{A,A\}, \{B,b\}\}$ e $B_{genotipo} = \{\{A,a\}, \{b,b\}\}$, definimos através do método de *Punnet* o subconjunto de cores possíveis para os filhos como $G_{cor} = \{A, A\} \times \{A, a\} = \{\{A,A\}, \{A,a\}, \{A,A\}, \{A,a\}\}$ e o subconjunto de bicos possíveis para os filhos como $G_{bico} = \{B, b\} \times \{b, b\} = \{\{B,b\}, \{B,b\}, \{b,b\}, \{b,b\}\}$. O conjunto resultante de genótipos dos filhos possíveis F seria desse modo dado por 16 genótipos, sendo 4/16 $\{\{A,A\}, \{B,b\}\}$, 4/16 $\{\{A,A\}, \{b,b\}\}$, 4/16 $\{\{A,a\}, \{B,b\}\}$ e 4/16 $\{\{A,a\}, \{b,b\}\}$:

$$F = G_{cor} \times G_{bico} = \{\{\{A,A\}, \{B,b\}\}, \{\{A,A\}, \{B,b\}\}, \{\{A,A\}, \{B,b\}\}, \{\{A,A\}, \{B,b\}\}, \\ \{\{A,A\}, \{b,b\}\}, \{\{A,A\}, \{b,b\}\}, \{\{A,A\}, \{b,b\}\}, \{\{A,A\}, \{b,b\}\}, \\ \{\{A,a\}, \{B,b\}\}, \{\{A,a\}, \{B,b\}\}, \{\{A,a\}, \{B,b\}\}, \{\{A,a\}, \{B,b\}\}, \\ \{\{A,a\}, \{b,b\}\}, \{\{A,a\}, \{b,b\}\}, \{\{A,a\}, \{b,b\}\}, \{\{A,a\}, \{b,b\}\}\}$$

Estabelecido o conjunto de filhos possíveis F , é então definida em *DefinicaoQtdFilhos()* a quantidade máxima de filhos (\underline{c}), referenciada no menor valor de aptidão de bico dentre os parentais. O valor de \underline{c} varia em uma escala de 1 a 6, faixa estabelecida como razoável para a simulação, conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Relação de quantidade máxima de filhos a partir dos valores de aptidão do fenótipo bico do parental mais fraco

Aptidão Reprodução	
Faixa Valor Aptidão Bico	Quantidade Máxima de Filhos (\underline{c})
0,01 - 0,05	1
0,06 - 0,11	2
0,12 - 0,16	3
0,17 - 0,22	4
0,23 - 0,27	5
0,28 - 1,00	6

De forma semelhante à das faixas de aptidão de alimentação, os valores limítrofes superiores de cada faixa da Tabela 6 podem ser calculados pela Equação 1.1, onde $s = 6$, $e = c$.

Buscando aproximar o evento simulado do mundo real, é evitada a definição da quantidade de filhotes fixada pelo valor de c . Em lugar disso, é escolhido no passo 4 do algoritmo um número aleatório f entre 0 e c , deixando assim “ao acaso” a definição de filhos a serem gerados, ainda que parentais com valores de retorno mais altos permaneçam com maiores chances de gerarem mais filhotes.

Tendo sido definida a quantidade final de filhos f , no passo 9 essa quantidade é retirada aleatoriamente do conjunto F , garantindo-se que sejam aves distintas, incrementando o conjunto geral de aves participantes da simulação (passo 4 do Algoritmo 1).

Diferentemente dos outros eventos de seleção natural, a predação das aves tem relação direta com seu fenótipo de cor, fazendo referência à sua capacidade de sobreviver aos predadores através da camuflagem de sua plumagem no ambiente. Assim, o Algoritmo 4 - Predacao ocorre em intervalos de 5 segundos e é aplicado sobre até uma (1) ave, que é escolhida aleatoriamente do conjunto de aves da simulação.

Algoritmo Algoritmo 4 - Predacao(aves): predação de até 1 ave

1: **escolha aleatoriamente** $faixaAptidaoCor$
 2: $E \leftarrow \{ave\} \mid ave.valorAptidaoCor \in faixaAptidaoCor$
 3: **se** $E \neq \emptyset$ **então**
 4: $aves \leftarrow aves - E$
 5: **fim_se**
 6: $aves \leftarrow DecrementoEnergia(aves)$
 7: **retorna** $aves$

Caso todas as aves possuam o mesmo valor de fenótipo de cor (*i.e.* 0,33), então possuem as mesmas chances de sobrevivência. Neste caso, a ave a ser predada será retirada aleatoriamente do conjunto universo de aves da simulação. Do contrário, conclui-se que os valores de fenótipos são diferentes, portanto assume-se a segmentação dos fenótipos em três faixas, das quais são limítrofes. Neste caso, uma das faixas é sorteada aleatoriamente e desse subconjunto será extraída a ave a ser predada. O sorteio é realizado através da definição aleatória de um número x , tal que $0 < x \leq 1.00$, sendo x elemento e identificador da faixa escolhida, conforme mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Faixas de valores de fenótipos de cor

Aptidão Predação	
Faixa Valor Aptidão Cor	Chance de Predação
$0,00 < x \leq$ Menor Valor	Baixa
Menor Valor $< x \leq$ Valor Intermediário	Intermediária
Valor Intermediário $< x \leq 1,00$	Alta

Desse modo, se x estiver entre 0 e o *Menor Valor* de aptidão do fenótipo de cor dentre os três possíveis, todas as aves com o fenótipo = *Menor Valor* comporão o subconjunto de onde será retirada aleatoriamente a ave a ser eliminada (passo 1). Da mesma forma, se x estiver entre o *Menor Valor* e o *Valor Intermediário* de aptidão, todas as aves com o fenótipo de *Valor Intermediário* formarão o subconjunto. De igual maneira ocorrerá para o caso de x ser superior ao *Valor Intermediário*.

Essa sistemática de definição de conjuntos para seleção da ave a ser eliminada denota em primeira análise ser imparcial em relação às chances de predação definidas pelos fenótipos. Contudo, de fato favorece os fenótipos de valores mais altos em detrimento dos de valores mais baixos à medida que aqueles se distanciam dos seus limites inferiores. Note-se ainda a particularidade do *Maior Valor*, que na verdade não define a fronteira superior da faixa mais alta, sendo apenas um dos elementos deste conjunto, cujo limite é sempre 1,00. Este fator por si só já define franca vantagem dos fenótipos de valor mais alto frente aos seus inferiores.

Assim, é fácil perceber através das duas configurações de exemplo na Tabela 8 que, quanto menor for a distância entre os valores limites da faixa, menor será a sua vantagem. No exemplo da Configuração 1, a probabilidade de x cair na faixa *Baixa* é de 5%, na *Intermediária* 15% e na *Alta*, 80%. Já na Configuração 2, a probabilidade de x cair *Baixa* é de 10%, na *Intermediária* 25% e na *Alta*, 65%.

Tabela 8 – Comparação de chances entre fenótipos de cor

Configuração Fenótipos 1	Chances		Configuração Fenótipos 2
$0,00 < x \leq 0,05$	5%	10%	$0,00 < x \leq 0,10$
$0,05 < x \leq 0,20$	15%	25%	$0,10 < x \leq 0,35$
$0,20 < x \leq 1,00$	80%	65%	$0,35 < x \leq 1,00$

Uma vez cumpridos os passos de eliminação da ave escolhida, o algoritmo invoca o procedimento de decremento de energia das aves da simulação (passo 3), que representa a perda natural de energia das aves, decorrente de seu processo de vida. Na execução do procedimento, o sistema subtrai 5 pontos de energia de todas as aves participantes, eliminando aquelas que chegarem a valores iguais ou inferiores a zero após o decremento. O retorno do [Algoritmo 4](#) é tratado no passo 5 do [Algoritmo 1](#), com atualização do conjunto de aves participantes da simulação.

Capítulo 4

Avaliação Experimental

A avaliação experimental foi realizada utilizando uma metodologia quali-quantitativa, a qual será explicada e justificada a seguir. Os propósitos do estudo foram (i) avaliar a contribuição do *Sim-Evolution* para a compreensão de conceitos de Biologia que envolvem a teoria da Seleção Natural de Charles Darwin e seus principais aspectos, tais como variação de características dos seres vivos e reprodução diferenciada, além de conceitos da genética Mendeliana e fundamentos de probabilidade e herança genética, (ii) analisar a opinião dos usuários relacionada à usabilidade e à estrutura do aplicativo e (iii) detectar possíveis problemas de funcionamento do simulador para uma avaliação posterior. Compreendemos que os objetivos (ii) e (iii) referem-se à avaliação do aplicativo *stricto sensu*, enquanto o objetivo (i) avalia as potencialidades pedagógicas de utilização do mesmo.

Os objetivos (ii) e (iii) do estudo foram avaliados de forma quantitativa a partir dos dados gerados¹³ pelas seções 2, 4 e 5 do formulário de avaliação do Apêndice II¹⁴, sendo tratados no subitem 4.1.

Esta fase do trabalho baseou-se em um experimento piloto realizado em uma turma do 1º ano do curso técnico integrado ao ensino médio de Segurança do Trabalho, na unidade Maracanã do CEFET/RJ. Os 35 estudantes que participaram desta avaliação instalaram o aplicativo em seus *smartphones* através do Google Play¹⁵. Por se tratar de uma sondagem de opinião com propósito de apurar a efetividade de apoio didático do simulador em sala de aula, julgamos a amostragem adequada, contudo foi complementada pela avaliação de 6 profissionais da área de Ciências Biológicas, sendo 2 deles docentes.

O estudo ocorreu dentro do programa de aulas de Biologia do CEFET/RJ, sendo conduzido por um docente de Biologia conhecedor do aplicativo e suas

¹³ Dados disponibilizados em <http://eic.cefet-rj.br/portal/index.php/2017/02/20/sim-evolution/>

¹⁴ Formulário disponibilizado em <https://goo.gl/forms/YVjpQzjHbKkrDoLi1>

¹⁵ Download em https://play.google.com/store/apps/details?id=usuario.app.sim_evolution&hl=pt-br

funcionalidades. Os alunos puderam experimentar o *Sim-Evolution* e executar simulações por cerca de 40 minutos, com o apoio do roteiro apresentado no [Apêndice I](#)¹⁶. Uma vez realizada a prática com o aplicativo, os estudantes preencheram o formulário de avaliação apresentado no [Apêndice II](#), composto por 30 questões com foco na avaliação dos quesitos de potencialidade de uso no contexto educativo e usabilidade do aplicativo, cujas respostas foram exportadas para o formato Excel.

A avaliação das potencialidades pedagógicas de um software computacional é uma tarefa não-trivial, uma vez que é extremamente complicado quantificar o que seria um processo de aprendizagem. Abordagens qualitativas, que utilizam estudos de caso (ao invés de experimentos no seu sentido mais tradicional) e buscam coletar dados não-numéricos (como entrevistas realizadas com grupos focais) podem oferecer resultados interessantes [Twining, 2017; Klette et al., 2012]. Desta forma, optamos por avaliar nosso objetivo (i) da forma relatada no parágrafo a seguir.

Convidamos estudantes que já haviam tido contato com o tema “evolução” dentro do currículo formal em um ano letivo anterior para que avaliassem o *Sim-Evolution*. Estes estudantes foram recrutados em uma turma do 2º ano do curso técnico integrado ao ensino médio de Edificações e formaram um grupo focal para a análise. A este grupo, formado por cinco participantes voluntários, foi proposta a seguinte dinâmica: inicialmente, o grupo deveria definir o que compreendiam por “evolução” de forma livre através de uma conversa entre os participantes. Estas falas foram gravadas e, a partir delas, procuramos identificar aspectos corretos ou equivocados dentro do que seria esperado para o conceito científico de evolução biológica. A seguir, os participantes deste grupo realizaram de forma conjunta a utilização do *Sim-Evolution*, seguindo o roteiro disponibilizado, mas sem contar com interação direta de nenhum professor. Ao final da utilização, cada participante respondeu o questionário de avaliação.

Através da análise das falas pré-utilização, procuramos identificar erros e acertos nas concepções dos participantes do grupo focal sobre evolução. Nosso interesse era verificar de que forma, durante a utilização do *Sim-Evolution*, estes participantes mobilizavam elementos corretos e alteravam concepções equivocadas.

¹⁶ Roteiro disponibilizado em <http://eic.cefet-rj.br/portal/index.php/2017/02/20/sim-evolution/>

Nossa hipótese, portanto, não é se o software “é capaz de ensinar” o usuário, mas sim se ele possibilita um “refinamento conceitual” nos estudantes. Para esta etapa de avaliação conceitual, as questões mais relevantes foram as constantes da [seção 3](#) do formulário de avaliação do [Apêndice II](#), em especial as perguntas “abertas”. Foi ao expor “qual a situação do simulador influenciou sua resposta na afirmativa” que os estudantes externavam de que forma estavam mobilizando seu entendimento sobre o tema e associando com a proposta do *Sim-Evolution*. Os detalhes do estudo baseado no objetivo (i) serão apresentados mais adiante, no subitem 4.2.

4.1. Avaliação do Aplicativo

Este subitem avalia os objetivos (ii) e (iii) do estudo e envolve a percepção dos alunos a partir do uso dirigido do simulador em sala de aula. O professor que orientou o experimento apresentou uma aula com o uso do *Sim-Evolution* para uma turma organizada em grupos de 5 a 6 alunos, que realizaram simulações com o apoio do roteiro mostrado no [Apêndice I](#). O propósito foi avaliar o potencial de apoio didático do simulador em sala de aula e para isso a referência desta avaliação são as respostas de cada estudante fornecidas nas [seções 2, 4 e 5](#) do formulário do [Apêndice II](#). A [seção 2](#) será abordada no tópico 4.1.1, a [seção 4](#), no tópico 4.1.2 e a [seção 5](#) será tratada no tópico 4.1.3.

4.1.1. Avaliação da Simulação

A [seção 2](#) do formulário apresenta quatro questões (A, B, C e D) envolvendo o aspecto de seleção natural, relacionando as características de cor da plumagem e formato de bico das aves à sua probabilidade de sobrevivência no ambiente. As duas primeiras, transcritas a seguir, buscam saber dos alunos quais as características das aves que observaram terem sido as mais favorecidas em cada ambiente:

A. Após a realização das simulações, você diria que pássaros com quais características abaixo foram favorecidos no ambiente "FLORESTA"?

B. Após a realização das simulações, você diria que pássaros com quais características abaixo foram favorecidos no ambiente "SAVANA"?

Os alunos poderiam selecionar mais de uma das opções de resposta para ambas as questões, a saber: *Cor verde*, *Cor mesclada*, *Cor amarela*, *Bico em forma de alicate*, *Bico grande e fino*, *Bico pequeno* e *Não houve favorecimento para nenhuma das características*. Conforme pontuamos no início do Capítulo 3, as características mais favoráveis em cada ambiente são programadas no algoritmo do *Sim-Evolution* e as respostas dos alunos mais próximas desses pressupostos indicariam a programação atingiu a expectativa inicial, nos permitindo elaborar hipóteses sobre o potencial de apoio didático do simulador.

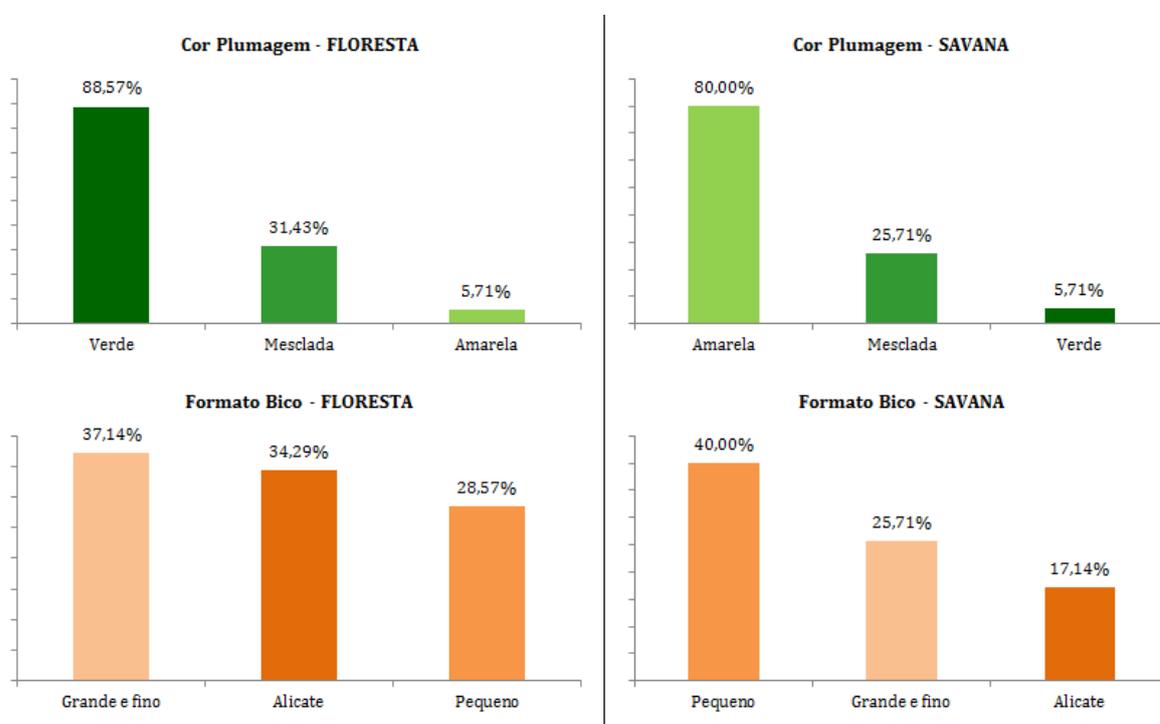


Figura 17 – Avaliações dos alunos às questões A (coluna esquerda) e B (coluna direita) da seção de Avaliação da Simulação

No que se refere à característica de cor da plumagem para ambos os ambientes, a maioria dos alunos corretamente sinalizou as cores Verde e Amarela para FLORESTA e SAVANA, respectivamente. Quanto à relação do formato de bico com o ambiente, percebe-se uma aproximação das características esperadas, porém o cenário não é tão bem definido quanto o de cor da plumagem. À mesma percepção chega-se com a avaliação dos profissionais de área de ciências biológicas, apresentada no gráfico da Figura 18. Podemos atribuir essa leve *distribuição* à forma como o algoritmo trata a característica de bico pelo evento de reprodução.

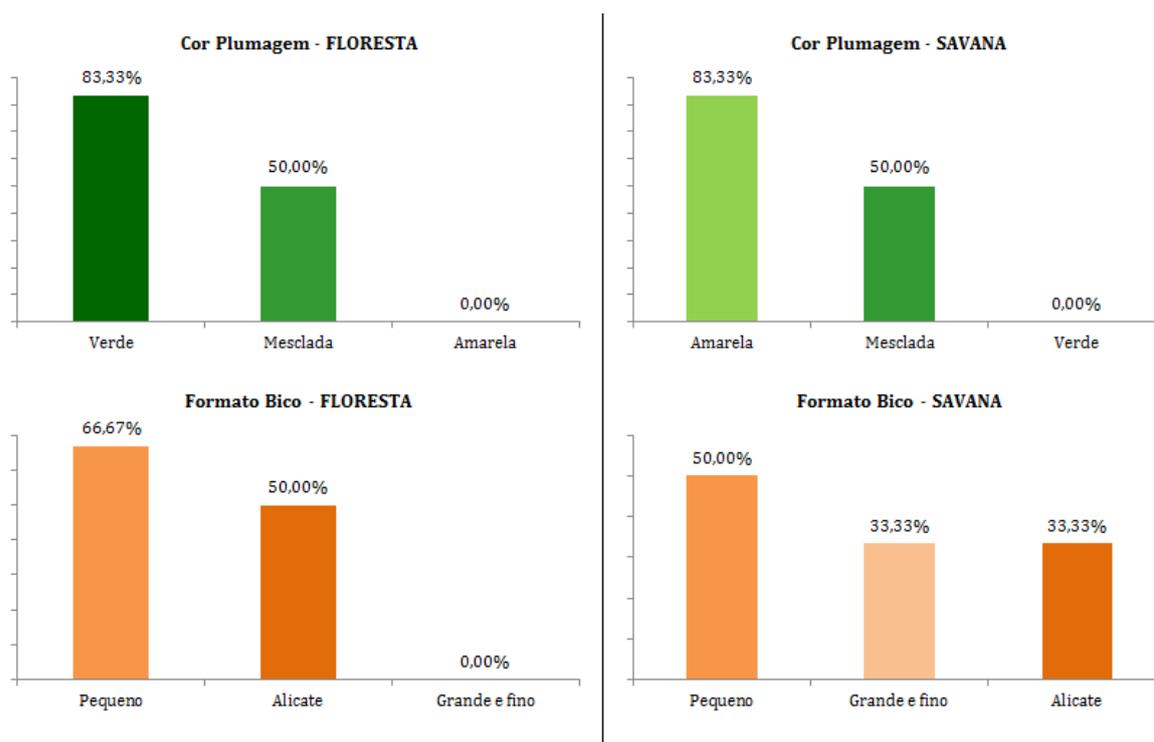


Figura 18 - Avaliações dos profissionais de ciências biológicas às questões A (coluna esquerda) e B (coluna direita) da seção de Avaliação da Simulação

Enquanto que no evento de predação as aves com fenótipo de cor da plumagem menos favorável estão sujeitas à sua iminente e inevitável subtração do ambiente, o evento de reprodução estabelece que aquelas cuja aptidão de bico é menor tenham menos filhos, o que caracteriza uma seleção, ainda que com parcelas de menor valor, de sobrevivência à sua variedade. Dessa forma, uma ave verde com bico grande e fino tenderia a resistir mais tempo na FLORESTA do que uma ave amarela com bico em forma de alicate. Ainda que o bico em forma de alicate conceda à ave maiores chances de ter mais filhos nesse ambiente (isto porque se alimenta melhor), sua cor a coloca na linha de frente de predação, favorecendo assim o processo de redução de sua variedade e contribuindo para a forma variada de bicos constatada entre as aves sobreviventes. Naturalmente, essa análise está atrelada ao tempo de duração definido para a simulação e certamente seria revista se a simulação pudesse ser executada por um tempo maior, considerando-se as tendências decorrentes do algoritmo.

As questões C e D têm por objetivo verificar a percepção dos alunos sobre a relação entre os fenótipos e os eventos estabelecidos no *Sim-Evolution*. Enquanto que a C espera que os formatos do bico sejam percebidos como mais especificamente relacionados com as probabilidades de alimentação e reprodução, a D busca verificar

se os alunos compreenderam a relação mais direta entre as cores das aves e a suas chances de predação. Os gráficos da Figura 19 mostram esses resultados.

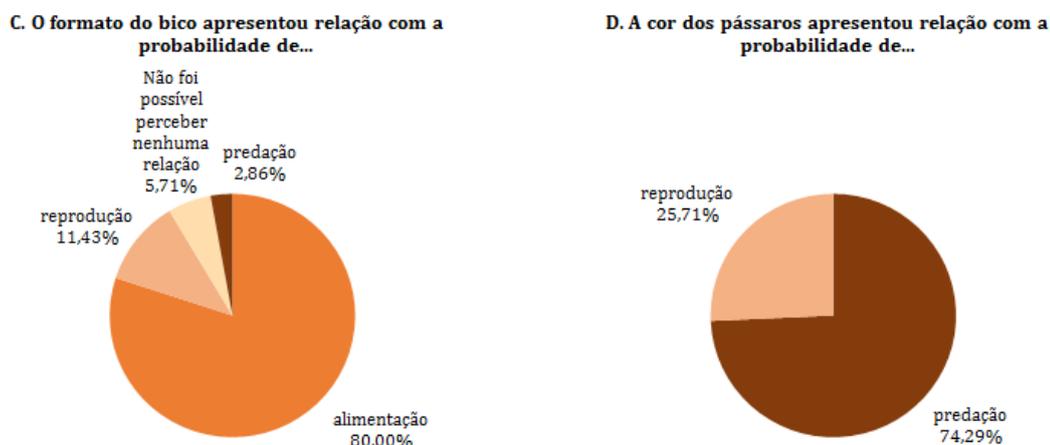


Figura 19 - Avaliações dos alunos às questões C e D da seção de Avaliação da Simulação

A maioria dos estudantes (91,43%) corretamente percebeu a relação entre o formato do bico e a probabilidade de alimentação das aves no ambiente (80%) e suas consequentes chances de reprodução (11,43%). De mesma forma a relação entre as chances de predação e a cor das aves foi achada pela maioria. Idênticos resultados foram encontrados nas respostas dos profissionais de ciências biológicas (Figura 20), o que nos faz concluir que estes dados, bem como os primeiros apresentados nesta seção, nos permitem depreender que o objetivo inicialmente posto para esta avaliação foi alcançado com êxito.

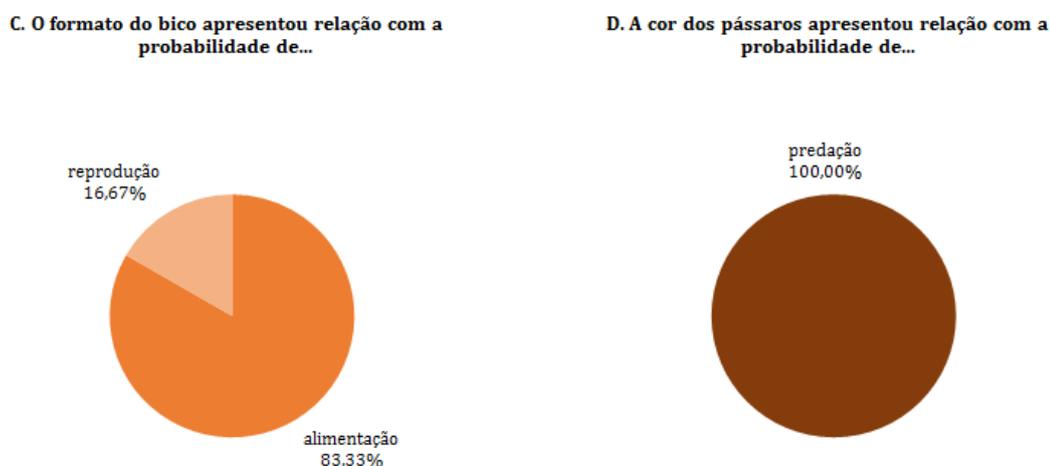


Figura 20 - Avaliações dos profissionais de ciências biológicas às questões C e D da seção de Avaliação da Simulação

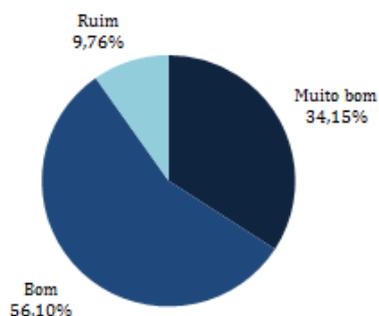
A resposta dos usuários permite-nos especular que, no cenário programado no *Sim-Evolution*, a seleção natural atua de forma mais intensa na cor da plumagem e não no formato do bico das aves. Isto não deve ser encarado como um problema para a proposta deste simulador. Abre-se assim a possibilidade para que o professor discuta o conceito de aptidão¹⁷: cor da plumagem e formato de bico acabam sendo características com diferentes “valores adaptativos”, embora ambas sejam importantes para a seleção natural dos pássaros no cenário hipotético.

4.1.2. Avaliação de Funcionalidades

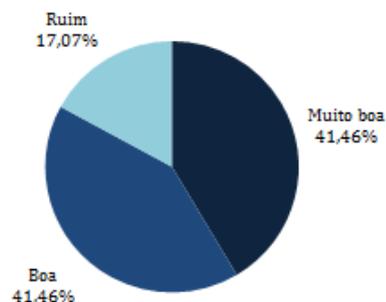
As funcionalidades fornecidas pelo *Sim-Evolution* foram avaliadas através de dez questões apresentadas aos usuários, envolvendo recursos providos pelo sistema e seus ambientes de simulação, além de sua compreensão geral sobre a estrutura e o fluxo entre as várias etapas do simulador. A seção 4 do formulário de avaliação do Apêndice II trata desse segmento do estudo e especialmente exibem esse viés as questões B, C, D, E e F da referida seção. As questões A e G buscam expor o nível de aceitação do *Sim-Evolution* pelos usuários, com base em seu conjunto de recursos fornecidos. Por fim, as questões H e I coletam o tempo de uso do aplicativo pelos usuários, que concede mais consistência às respostas da questão J, última da seção. Assim, são abordadas a seguir as questões nesta mesma configuração de conjuntos apresentada. Vale ressaltar que neste subitem e no próximo (4.1.3), o termo *usuário* refere-se a qualquer avaliador constante do formulário de avaliação – alunos e profissionais de ciências biológicas – uma vez que os aspectos abordados nestes subitens não requerem diferenciação de perfil, conforme nosso entendimento.

¹⁷ A aptidão de um organismo em um determinado ambiente tem a ver com a contribuição das suas características genéticas e fenotípicas para a sua sobrevivência nesse ambiente.

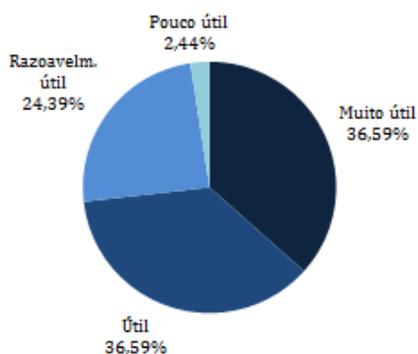
B. Qual a sua avaliação do conteúdo de ajuda disponibilizado no aplicativo?



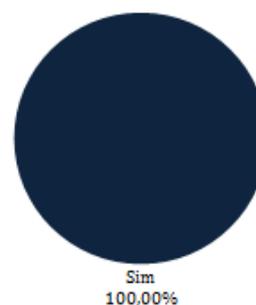
C. Qual a sua avaliação da contribuição da apresentação gráfica na compreensão dos objetivos do aplicativo?



D. Qual a sua avaliação da utilidade do gráfico estatístico na análise de sobrevivência das aves na simulação?



E. Em sua opinião, o tipo de simulação CUSTOM contribuiu para melhor compreensão da influência das características das aves no processo de seleção natural?



F. Qual a sua avaliação da praticidade da funcionalidade de configuração de valores para os fenótipos?

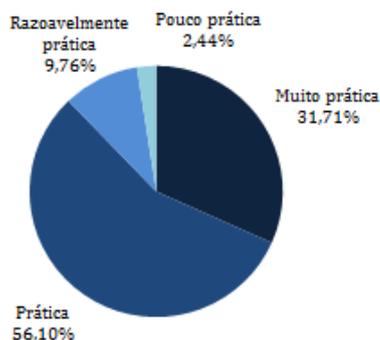


Figura 21 – Funcionalidades do *Sim-Evolution* avaliadas pelos usuários

Em linhas gerais, todos os quesitos avaliados pelos usuários nas questões desse subconjunto retornaram com avaliação positiva pela maioria, permitindo concluir-se que o propósito das funcionalidades abordadas foi alcançado com sucesso. Corroboram

esta conclusão as avaliações das questões A e G (Figura 22), que pretendem conhecer a aceitação dos usuários ao conjunto de funcionalidades do *Sim-Evolution*, depreendida da sua análise sobre a importância do aplicativo na compreensão dos conceitos teóricos por ele abordados (questão A) e a sua utilidade como ferramenta de apoio em sala de aula (questão G). Seguindo a constatação das questões do primeiro subconjunto, estas apresentam resultados exitosos, com avaliação Bom/Muito bom de 95,12% para a questão A e ainda com 97,56% dos usuários afirmando que usariam o *Sim-Evolution* como apoio didático em sala de aula.

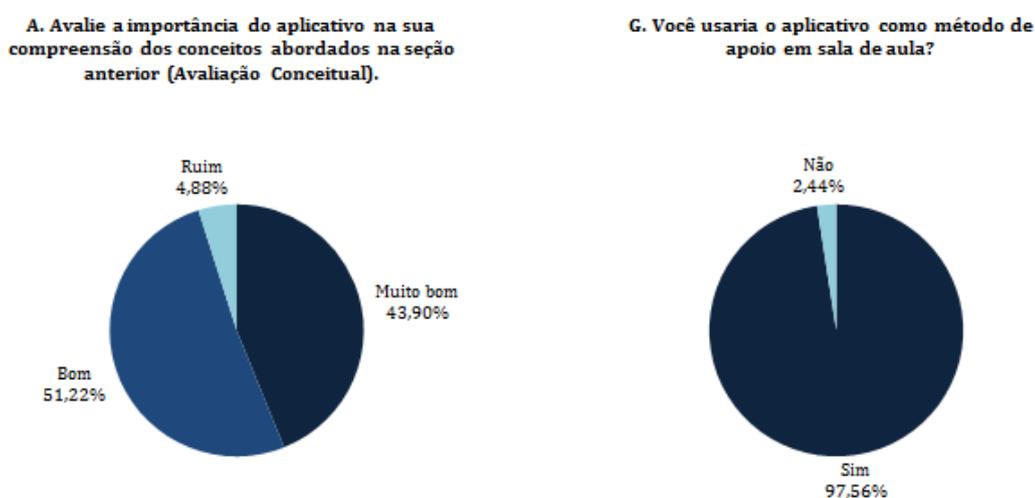


Figura 22 – Avaliação da aceitação do Sim-Evolution pelos usuários

Adicionalmente, as respostas à questão H, que procura saber quantas vezes o aplicativo foi usado pelos usuários, resultaram na informação de 3,61 vezes como sendo a média de uso do aplicativo e o processamento das respostas à questão I apontaram um tempo médio de uso de 33 minutos. Consideramos os números aceitáveis, levando-se em conta o fato de ser esse um experimento piloto, as circunstâncias a quantidade de usuários nele envolvidos. Esses dados são consistentes com a avaliação de funcionamento do aplicativo abordada na questão J (Figura 23), que mostra que 78,05% dos usuários não reportaram mau funcionamento ou erro no aplicativo. Dentre os eventos de mau funcionamento registrados, 12,20% têm relação com a música de fundo do aplicativo e 9,76% com atraso nas mensagens informativas dos eventos. Apesar do impacto menor na avaliação da potencialidade do simulador como ferramenta de apoio didático, a atual versão do aplicativo demanda correções, bem como testes em uma variedade maior de versões do Sistema Operacional *Android*

e melhorias que visem consolidar sua efetividade, com base nas impressões dos usuários registradas neste estudo.

J. Você percebeu algum erro ou mau funcionamento no aplicativo?

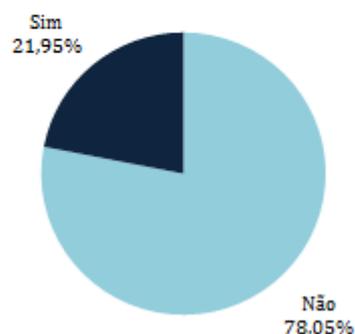


Figura 23 – Avaliação de funcionamento do aplicativo

4.1.3. Avaliação de Usabilidade

Uma das formas de medir-se a qualidade de uso de um sistema é através da satisfação do usuário. Essa propriedade pode ser influenciada pelo nível de dificuldade na utilização da interface, facilidade em sua operação e flexibilidade de recursos. Tendo em vista que é um atributo diretamente proporcional ao alcance dos objetivos propostos pelo *Sim-Evolution*, a [seção 5](#) do formulário de avaliação procura apreender a opinião dos usuários quanto à usabilidade do simulador. Para as oito afirmativas (A, B, C, D E, F G e H), que compõem a seção os usuários tiveram de atribuir um valor entre 1 e 4, onde 1 significa “Discordo totalmente” e 4, “Concordo totalmente”.

As afirmativas dessa seção foram construídas com base nas dez questões do SUS (*System Usability Scale*), que é um dos métodos mais populares de averiguação do nível de usabilidade de um sistema e tem por objetivo avaliar os critérios de efetividade, eficiência e satisfação do usuário em sua experiência com o aplicativo.

As afirmativas foram listadas no formulário seguindo a referência do SUS com o intuito de garantir consistência na opinião dos usuários, contudo, para fins de facilitação no entendimento dos dados coletados, serão neste estudo organizadas em dois subconjuntos: o primeiro, composto pelas afirmativas B, E, C, G e F, tem relação mais direta com o quesito de usabilidade do software, buscando do usuário sua avaliação quanto à facilidade de uso, relacionamento entre as funcionalidades e complexidade do aplicativo, conforme mostram os gráficos das Figuras 24 e 25.

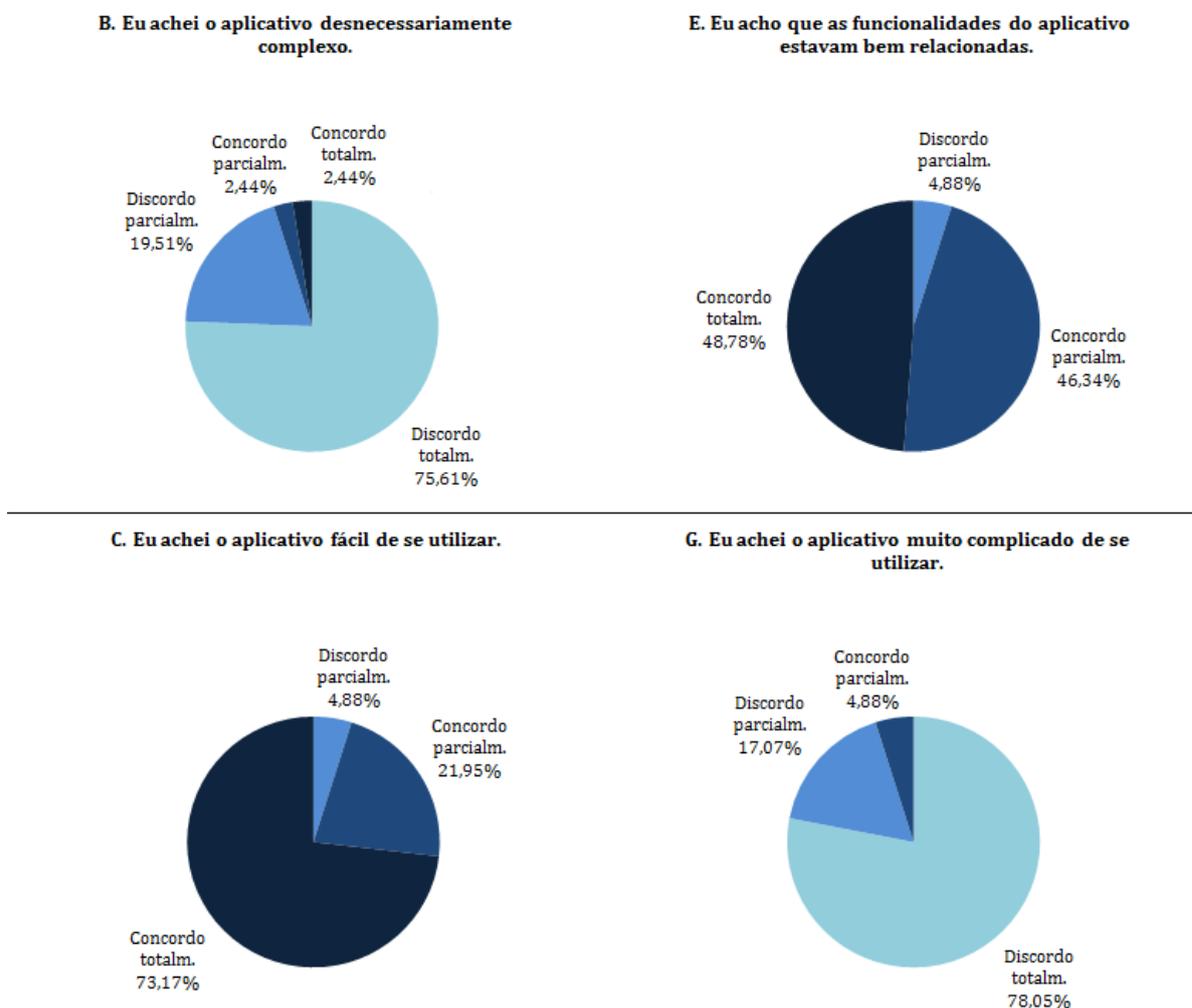


Figura 24 - Avaliações dos usuários sobre complexidade do *Sim-Evolution*

F. Eu acredito que a maioria das pessoas acharia este aplicativo fácil de se utilizar.

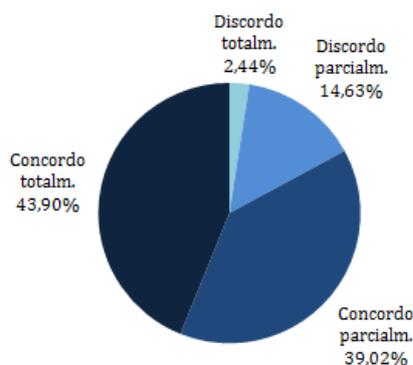


Figura 25 – Avaliações dos usuários sobre facilidade de uso do *Sim-Evolution*

Percebe-se que para todas as afirmativas a resposta da maioria dos usuários vai de encontro aos objetivos do aplicativo para uma interface simples e de fácil compreensão. Destaca-se a avaliação da afirmativa F, em que mais de 80% dos usuários concordam que sua impressão sobre a facilidade de uso do aplicativo não possui caráter individual, podendo ser a mesma da maioria das pessoas, o que realça o aspecto de horizontalidade da facilidade de uso e baixa complexidade do simulador.

O segundo subconjunto de afirmativas envolve por familiaridade as letras A, D e H e os dados resultantes de sua avaliação apresentam a impressão dos usuários quanto à necessidade de conhecimentos teóricos prévios para o uso do simulador e também sua opinião sobre a factibilidade de reuso frequente do aplicativo (Figuras 26 e 27).

A. Eu utilizaria o aplicativo frequentemente.

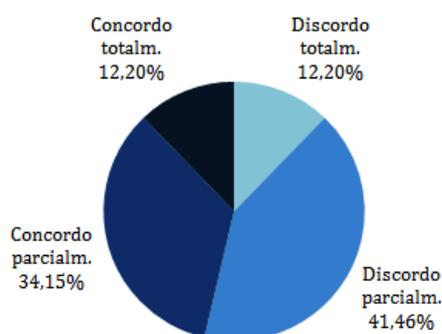
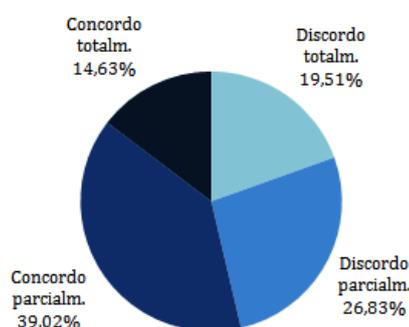


Figura 26 – Avaliações dos usuários sobre factibilidade de reuso frequente do *Sim-Evolution*

D. Eu acho que seria necessário ajuda teórica para a utilização do aplicativo.



H. Eu precisei aprender muitas coisas para poder utilizar o aplicativo.

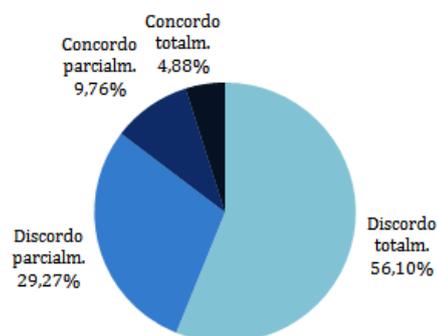


Figura 27 – Avaliações dos usuários sobre necessidade de conhecimentos teóricos para uso do *Sim-Evolution*

Este bloco atrai particular interesse porque as opiniões equilibradas sobre a afirmativa A aparentemente se desencontram das avaliações do primeiro subconjunto deste subitem, todavia abrem espaço para uma análise à luz do propósito maior desta experiência, que é apurar a efetividade de apoio didático do simulador em sala de aula. Para isso, os resultados de A podem ser apoiados nas avaliações das afirmativas D e H. Percebe-se pelo gráfico da afirmativa D que os usuários apresentaram opiniões divididas quanto à necessidade de ajuda teórica para utilização do aplicativo. Complementarmente, pode-se concluir através das opiniões sobre a afirmativa H que mais de 40% dos usuários concordaram que precisaram adquirir conhecimentos em algum nível para poderem utilizar o aplicativo.

Estes dados se alinham com o foco do *Sim-Evolution* no seu público alvo, os alunos do Ensino Médio. Os conceitos teóricos envolvidos no arcabouço do aplicativo são parte do conteúdo de Biologia do ensino formal e, portanto, seu caráter de apoio didático ao ensino formal tende a mostrar maior potencialidade se de fato estiver sob a orientação do professor, em sala de aula.

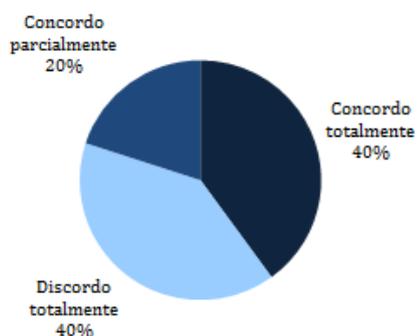
4.2. Avaliação Conceitual

Neste experimento, diferenciado pelo seu caráter qualitativo, foram envolvidas especificamente cinco alunas do Ensino Médio/Técnico do CEFET/RJ, que já haviam recebido os conceitos abordados no aplicativo através do ensino formal, no ano anterior. Considerando-se isso, em uma primeira etapa as alunas foram convidadas a gravar em áudio suas impressões sobre evolução biológica das espécies. Posteriormente, realizaram simulações no *Sim-Evolution* com o apoio do roteiro apresentado no [Apêndice I](#) e ao fim submeteram sua avaliação preenchendo o formulário do [Apêndice II](#), cuja [seção 3](#) será foco desta avaliação.

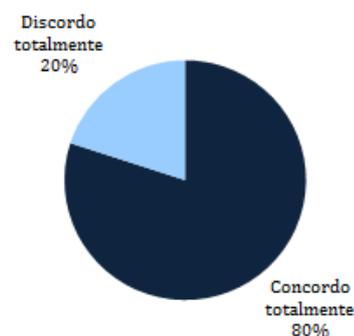
É reconhecido que o conhecimento prévio dos estudantes influencia na análise dos testes posteriores realizados para investigar uma determinada metodologia [[Shapiro, 2004](#)]. Nossa abordagem procura superar este elemento dificultador. Reforçamos aqui que a proposta deste estudo é avaliar se o *Sim-Evolution* possibilita um "refinamento conceitual" aos estudantes, mobilizando concepções corretas e alterando concepções equivocadas que eles já possuam.

A [seção 3](#) do formulário é composta por quatro afirmativas (A, C, E e G) sobre os conceitos envolvidos ([Figura 28](#)), para as quais as alunas tiveram de atribuir um valor numérico em uma escala de 1 a 4, onde 1 significa "Discordo totalmente" e 4, "Concordo totalmente". Na sequência de cada afirmativa, as alunas tiveram de justificar sua resposta com base em alguma experiência de uso do *Sim-Evolution*. As avaliações mais acertadas das afirmativas indicariam que as estudantes compreenderam os conceitos envolvidos no simulador. Suas respostas e justificativas, postas em contraposição com suas impressões registradas em áudio inicialmente, contribuiriam para a análise com ótica mais subjetiva, levando em consideração os pressupostos teóricos deste trabalho e a carga de conhecimento anterior explicitada pelas estudantes, que pode ser vista como uma atividade interpretativa [[Twining, 2017](#)].

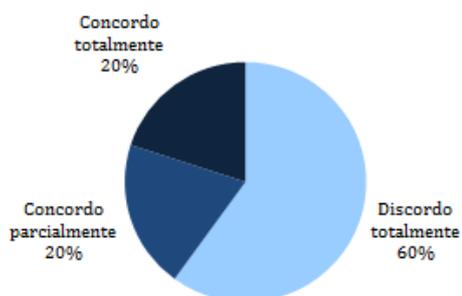
A. Com o processo de seleção natural, a variação de características passa a não existir na população: apenas a forma adaptada sobrevive.



C. A evolução biológica por seleção natural é um processo que ocorre em uma população, não sendo possível observá-la acompanhando apenas a vida de um organismo individualmente.



E. Para melhor se adequar a um ambiente, uma ave pode mudar sua cor ou o formato do seu bico. A isto chamamos de adaptação biológica.



G. A adaptação biológica é percebida quando, ao longo de sucessivas gerações, observamos a sobrevivência dos organismos que apresentam as características mais adequadas a uma determinada situação.

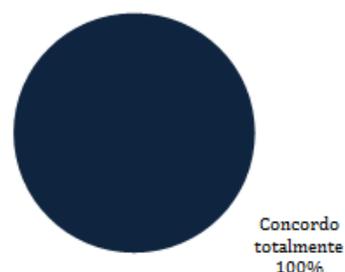


Figura 28 – Afirmativas propostas na Avaliação Conceitual e as respostas dadas pelos estudantes

A título de melhor entendimento deste subitem, será dividido em quatro blocos, identificados e ordenados por cada uma das afirmativas da análise (A, C, E e G), respectivamente.

4.2.1. “Com o processo de seleção natural, a variação de características passa a não existir na população: apenas a forma adaptada sobrevive.”

Esta primeira afirmativa levanta o conceito da seleção natural sob uma ótica darwiniana, em que as características dos indivíduos e o ambiente em que vivem definem sua sobrevivência nesse ambiente. A afirmação está propositalmente errada, pois busca avaliar se o *Sim-Evolution* permite problematizar a noção equivocada de que

uma população pode ser formada por indivíduos “perfeitamente adaptados” ao seu ambiente. Se é esperado que as formas mais adaptadas transmitam às gerações seguintes suas características favoráveis, enquanto que as menos adaptadas tendem à extinção, sabe-se que a variação continua existindo dentro de uma população.

Duas das cinco alunas (40%) concordaram com a afirmativa, uma das alunas assinalou o valor 3 para a afirmativa (20%) e outras duas discordaram.

Partindo-se das impressões iniciais das alunas, demonstraram que compreendiam a relação do aspecto das variações de características dos organismos com a seleção natural, como pontua a citação abaixo, retirada do áudio preliminar:

A1: (...) a mesma espécie com características diferentes: uma é mais verde e a outra é mais vermelha. E aí, com o tempo, por a verde se camuflar mais na Natureza, a verde tem menos [chances] de ser predada. E aí, por esse motivo, os predadores vão atacar mais a espécie que tem parte vermelha, que vai ficar mais visível. E aí, com o passar do tempo, a espécie vermelha vai ficar em menos quantidade.

Tendo-se isso em vista, atribui-se o aparente “equilíbrio” entre concordantes e discordantes a interpretação equivocada da palavra *forma* na afirmativa como *uma única espécie*, e não *o conjunto de características de uma população*, como pode se perceber na citação abaixo:

A2: Ao fim da simulação sobreviveram aves da mesma espécie mas elas tinham variações, não foi apenas uma que sobreviveu. [grifo nosso]

Salvo este equívoco, todas as alunas perceberam um conjunto de características mais adaptáveis entre as aves sobreviventes e não necessariamente todos os indivíduos de uma mesma variedade da espécie, como corrobora o relato a seguir:

A3: Existem, na simulação, pelo menos duas espécies que ao final do tempo sobrevivem. Assim, há variação, embora a diferença entre essas espécies normalmente seja pequena. [grifo nosso]

4.2.2. "A evolução biológica por seleção natural é um processo que ocorre em uma população, não sendo possível observá-la acompanhando apenas a vida de um organismo individualmente."

Esta afirmativa tem o papel de complementar o conceito de seleção natural, buscando trazer um enfoque maior sobre sua atuação sob um aspecto mais amplo, relacionado a uma população de organismos em determinado ambiente. A afirmação está correta e é um ponto crucial para o ensino de evolução: o processo evolutivo não é percebido em nível individual (isto é, de um único organismo), mas sim em nível populacional.

Aqui, a maioria das estudantes pontuou corretamente concordância total (80%). Pode-se concluir que elas perceberam a inviabilidade de observar-se os aspectos de seleção natural sobre um indivíduo sem considerar-se seu contexto, como se depreende da justificativa abaixo:

A1: Deve-se observar todo o contexto que inclui a quantidade inicial de organismos observados, quantidade de predadores e diferentes tipos deles, o habitat, opções de alimentação. Até porque observando um único organismo não se pode notar diferença alguma já que para haver alguma mudança deve-se observar várias 'gerações'. [grifo nosso]

4.2.3. "Para melhor se adequar a um ambiente, uma ave pode mudar sua cor ou o formato do seu bico. A isto chamamos de adaptação biológica."

A terceira afirmativa busca atestar, apresentando uma afirmação falsa, a compreensão das alunas de que *evolução* não é *transformação de organismos em novos organismos*, mas um processo que ocorre ao longo da linha do tempo influenciado por vários fatores, dentre eles a seleção natural. Discordaram da afirmativa três das alunas (60%), tendo essa tendência sido esboçada em suas discussões da etapa pré-simulação, conforme pode se reparar na seguinte citação:

A1: Não é o mesmo bicho, 'tipo', eu nasci, moro num lugar muito quente e aí, por causa disso, meu corpo vai mudar pra eu me adaptar, meu filho vai nascer super-resistente ao calor... Não, não é isso que acontece, são milhões de anos.

Contudo, observa-se ainda nas concepções iniciais do grupo que associa essa adaptação biológica a um aspecto de melhora, como *uma tentativa de melhor adequação ao ambiente*, ou “uma tentativa de se adaptar ao meio”:

A5: [A evolução] é uma tentativa de se adaptar ao meio em que ele [organismo] vive, né? (...) a resistir aos predadores, ao tempo... [grifo nosso]

Todavia, suas justificativas à afirmativa em questão denotam que, além de todas terem percebido que as aves geradas eram resultado de combinação genética de seus parentais, a maioria compreendeu que as gerações seguintes são produto de um conjunto de possibilidades combinatórias e de seleção aleatória, isento de um elemento intencional, como se pode constatar através da citação seguinte:

A1: A ave em si não é capaz de mudar seu corpo. O que acontece é que essa ave terá menos chances de sobreviver, então não irá passar essa característica para as próximas gerações.

4.2.4. “A adaptação biológica é percebida quando, ao longo de sucessivas gerações, observamos a sobrevivência dos organismos que apresentam as características mais adequadas a uma determinada situação.”

A última afirmativa traz a síntese da compreensão darwiniana do processo evolutivo. É significativo que ela tenha recebido concordância total do grupo de alunas. Busca consolidar o aspecto da adaptação biológica, relacionado à sobrevivência dos organismos mais adaptáveis a um determinado meio, no processo da evolução. A maior parte das estudantes pôde identificar esse aspecto em todas as simulações realizadas no *Sim-Evolution*, de onde se conclui que o aplicativo foi capaz de apresentar os conceitos de forma que pudessem ser apreendidos pelas estudantes. Os relatos seguintes reforçam essa impressão:

A1: Ao final da simulação, sobreviveram apenas as que possuíam características para sobreviver naquele ambiente.

A2: Quando os pássaros de penugem amarelada não sobreviviam na floresta como os de penugem verde.

A3: Todas as situações provaram isso, um exemplo seria as respostas 2.A. e 2.B. [seção 2 do formulário de avaliação – Avaliação da Simulação]

Capítulo 6

Conclusão

A inserção de ferramentas tecnológicas e recursos computacionais no currículo educacional proporciona processos de aprendizagem mais eficientes. O uso de sistemas de simulação no ensino em sala de aula tem se mostrado extremamente relevante para a potencialização da compreensão de conteúdo pelos alunos. Esses recursos lhes possibilitam a oportunidade de criar, avaliar hipóteses e desenvolver seu senso investigativo através de controle fácil de funcionalidades experimentais em um ambiente com base teórica específica. As considerações sobre os efeitos da utilização de simuladores computacionais na educação pela literatura relacionada reportam melhora em sua eficácia na última década, mostrando que a busca por novas perspectivas de modelos de simulação que agreguem reais possibilidades de ganhos ao contexto educacional é uma questão exponencialmente importante no avanço de nosso tempo [Zydney and Warner, 2016; Rutten et al., 2012; Blake and Scanlon, 2007].

Este trabalho avalia a utilização de um simulador para dispositivos móveis em sala de aula – o *Sim-Evolution*. Além das considerações dos benefícios de adoção da plataforma móvel como solução mais atraente e de alcance mais fácil pelos alunos frente a simuladores baseados em computadores, que requerem infraestrutura mais complexa e de maior custo, esta pesquisa tem seu foco na avaliação das potencialidades do *Sim-Evolution* como ferramenta pedagógica para uso em aulas de Biologia do Ensino Médio.

Este estudo elenca a fundamentação teórica do aplicativo, a lógica aplicada em seu desenvolvimento e experiências de uso por alunos em sala de aula, apoiadas por um professor de Biologia. As impressões dos estudantes decorrentes de suas experiências com o *Sim-Evolution* mostraram que soluções desse tipo podem contribuir de forma eficaz para o desenvolvimento do aprendizado, especialmente pelas características de sua plataforma móvel e interface descomplicada. Constatamos que os aspectos de flexibilidade de uso do modelo apresentado foram elementos

motivacionais à compreensão dos alunos, mostrando terem sido percebidos e aprovados pela maioria dos estudantes que utilizaram o aplicativo.

Foi possível observar através dos experimentos que os estudantes conseguiram descrever e analisar o processo simulado em *Sim-Evolution* a partir do ponto de vista científico, mobilizando conceitos que já possuíam no entendimento e na análise do fenômeno que estava sendo analisado. Este resultado identifica nestes estudantes a aquisição de competências cognitivas associadas à compreensão científica (neste caso específico, da evolução biológica) que são diferentes das explicações do senso comum [Lappi, 2013].

Complementarmente a essa observação, avaliamos pelos resultados do estudo que o uso do *Sim-Evolution* dentro do programa de aula apresenta significativas consonâncias com nossas expectativas de concepção do simulador. Cremos que tais expectativas podem ser alcançadas em sua efetividade considerando-se o papel do professor nesse processo de potencialização do conhecimento pelos alunos, dadas as características dos conceitos abordados pelo aplicativo e sua compreensão dentro da dinâmica do ambiente de simulação. Constata-se que o uso de recursos computacionais para o ensino de ciências tem seu sucesso na efetivação do aprendizado dependente, até certo ponto, da participação do professor como agente agregador dessas tecnologias, através de seu conhecimento sobre as funcionalidades disponibilizadas e sua adequação no contexto do ensino a ser transmitido [Blake and Scanlon, 2007].

Podemos visualizar uma significativa base para essa percepção na metodologia de avaliação mista adotada neste estudo, dada a complexidade de quantificar-se consistentemente um processo de aprendizagem. A avaliação quali-quantitativa decorrente da identificação de padrões na pesquisa quantitativa, combinada com uma interpretação mais subjetiva dos dados coletados, abre a possibilidade de uma análise mais completa e significativa [Twining, 2017]. A mobilização cognitiva dos estudantes provocada pelas perguntas abertas da avaliação conceitual em face de sua experiência com o *Sim-Evolution*, colocada em contraposição aos experimentos realizados em sala de aula, denota que a proposta de refinamento conceitual do simulador poderia ser alcançada mais plenamente sendo ele um componente ativo nesse ambiente.

Com base nessas análises, acreditamos que nosso aplicativo possui grande potencial como ferramenta de apoio pedagógico. Essa percepção é consistente com os resultados da avaliação experimental desse estudo, em que pudemos identificar o *Sim-Evolution* como elemento de avaliação na identificação de mudanças conceituais em estudantes. Os recursos e funcionalidades providos pelo simulador forneceram suporte ao aprendizado dos alunos sobre os conceitos abordados em ambientes de simulação diversificados, que permitiram a compreensão do domínio apresentado sob diferentes perspectivas. Isso lhes possibilitou a comparação de concepções equivocadas ou concepções erradas através da manipulação de elementos do simulador. Nossa avaliação, portanto, é que a efetividade de uso do aplicativo com a proposta de possibilitar um refinamento conceitual dos alunos, atuando como ferramenta de apoio ao conteúdo programático da aula, foi alcançada com os experimentos aqui abordados.

Não obstante, os problemas de funcionamento do aplicativo reportados pelos alunos durante suas experiências de uso, a despeito de seu baixo impacto nos resultados gerais da avaliação, apontam para a necessidade de aperfeiçoamento da versão atual do *Sim-Evolution*. A programação dos eventos de música e exibição de mensagens deverá ser revista e corrigida em uma versão futura do simulador. Percebemos ainda a necessidade de um período maior para testes do aplicativo em uma variedade maior de versões do *Android*, com vistas ao refinamento de partes da programação que eventualmente gerem comportamentos inconsistentes do sistema quando em plataformas baseadas em APIs diferentes da definida em sua programação, por exemplo.

Ademais, para fins de pesquisa acadêmica sobre a experiência abordada neste trabalho, disponibilizamos no Portal da Escola de Informática e Computação do CEFET/RJ¹⁸ todo o material envolvido neste estudo, incluindo os artefatos citados na [Avaliação Experimental](#).

Por fim, os resultados desta experiência proporcionada pelo *Sim-Evolution* nos fazem acreditar que pequenos passos podem provocar alcance em grande escala, em um movimento de engajamento da comunidade acadêmica rumo a um objetivo maior, a novos níveis de qualidade da Educação.

¹⁸ Dados disponibilizados em <http://eic.cefet-rj.br/portal/index.php/2017/02/20/sim-evolution/>

Referências Bibliográficas

Barr, V. and Stephenson, C. (2011). Bringing computational thinking to k-12: What is involved and what is the role of the computer science education community?, *ACM Inroads*, 2(1):48–54.

Blake, C. and Scanlon, E. (2007). Reconsidering simulations in science education at a distance: features of effective use. 2007 Blackwell Publishing Ltd. *Journal of Computer Assisted Learning* (23): 491–502.

Darwin, C. (1845). *Journal of Researches into The Natural History and Geology of The Countries Visited During The Voyage of H.M.S. Beagle Round The World*. John Murray, London, UK.

Darwin, C. (1859). *On The Origin of Species by Means of Natural Selection, or The Preservation of Favoured Races In The Struggle for Life*. John Murray, London, UK.

De Deus, T. F. and Lopes, P.F. (2013). A game about biology for biology students cell life as a learning tool. 2013 8th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), 1–6.

Gould, S. J. (1994). A Evolução da Vida. *Scientific American Brasil* (5).

Klette, K. et al. (2012). Norwegian Educational Research towards 2020 - UTDANNING2020. In *Proceedings of the Mixed Methods in Educational Research - Report from the March Seminar 2012*. The Research Council of Norway, Oslo, NO.

Lappi, O. (2013). Qualitative Quantitative and Experimental Concept Possession, Criteria for Identifying Conceptual Change in Science Education. *Sci & Educ* (2013) 22:1347–1359.

Lester, J. C., Spires, H. A., Nietfeld, J. L., Minogue, J., Mott, B. W., and Lobene, E. V. (2014). Designing game-based learning environments for elementary science education: A narrative-centered learning perspective. *Information Sciences*, 264:4–18. *Serious Games*.

Liu, Y., Vagula, M. and Frezza, S. (2012). Work in progress: Integrating game design and development into undergraduate biology education. In Proceedings of the 2012 Frontiers in Education Conference Proceedings, pages 1–2, Seattle, WA, USA. IEEE.

McClellan, P. et al. (2005). Molecular and Cellular Biology Animations: Development and Impact on Student Learning, Cell Biology Education, Vols. 4, 169–179.

Miko, I. (2008). Gregor Mendel and the principles of inheritance. Nature Education 1(1):134.

Moore, D. M., Burton, J. K. and Myers, R. J. (2001). Multiple-channel Communication: The Theoretical and Research Foundations of Multimedia., Virginia Polytechnic Institute and State University: The Association for Educational Communications and Technology.

Papert, S. (1980). Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas. Basic Books, Inc., New York, NY, USA.

Randi, M. A. F. and Carvalho, H. F. (2013). Learning through role-playing games: an approach for active learning and teaching. Revista Brasileira de Educação Médica. 37(1):80–88.

Rutten, N. et al. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. Computers & Education 58 (2012) 136–153.

Shapiro, A. (2004). How Including Prior Knowledge As a Subject Variable May Change Outcomes of Learning Research. American Educational Research Journal, Spring 2004, Vol. 41, No. 1, pp. 159–189.

Silva, R. M. A., Gomes, T. and Ferracioli, L. (2006). ModeLab2: Um ambiente de Modelagem Qualitativa e Criação de Jogos. In Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment, 5, 2006, Recife, PE. Computing short-papers... Recife: SB Games, 2006.

Sobrinho, M. M. S. and Borges, A. T. (2010). Learning about epidemics with computational simulations. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, (3)1.

Soderberg, P. and Price, F. (2003). An examination of problem-based teaching and learning in population genetics and evolution using EVOLVE, a computer simulation. *Int. J. Sci. Educ.*, 2003, 25(1):35–55.

Twining, P. et al. (2017). Some guidance on conducting and reporting qualitative studies. *Computers & Education*, 106 (2017): A1–A9.

Watson, R. A. (2012). Is Evolution by Natural Selection the Algorithm of Biological Evolution? Massachusetts Institute of Technology. *Artificial Life* (13): 121–128.

Weiss, K. M. and Buchanan, A. V. (2004). *Genetics and the logic of evolution*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.

Wilensky, U., Brady, C. E. and Horn, M. S. (2014). Fostering computational literacy in science classrooms. *Commun. ACM*, 57(8):24–28.

Yue, W. S. and Zin, N. A. M. (2009). Usability Evaluation for History Educational Games. In *Proceedings of the 2Nd International Conference on Interaction Sciences: Information Technology, Culture and Human, ICIS '09*, pages 1019–1025, New York, NY, USA. ACM.

Zacharia, Z. C. (2007). Comparing and combining real and virtual experimentation: an effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(2), 120–132.

Zydney, J. M. and Warner, Z. (2016). Mobile apps for science learning: Review of research. *Computers & Education* 94 (2016) 1– 17.

Apêndice I – Roteiro para Avaliação Experimental

O roteiro a seguir foi desenvolvido para orientar os usuários na execução de simulações no *Sim-Evolution* e está disponível na página de Escola de Informática & Computação do CEFET/RJ, no endereço <http://eic.cefet-rj.br/portal/index.php/2017/02/20/sim-evolution/>, seção *Avaliação Experimental*.

- *Primeiramente, obrigado pela participação!*
- *Escolha inicialmente a opção “Padrão”.*
- *Você deverá realizar três (3) simulações para cada cenário (ambiente Floresta e ambiente Savana).*
- *Procure variar a combinação de pássaros utilizada em cada simulação para um mesmo ambiente.*

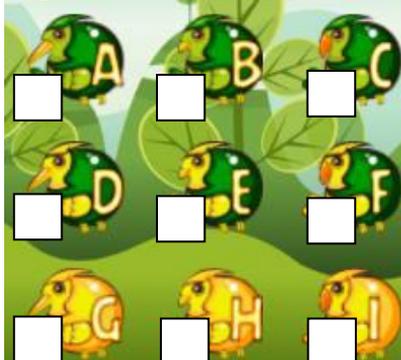
- *Seu trabalho será como o de um biólogo: imagine que você está acompanhando a população de pássaros em um determinado local ao longo do tempo. Seu objetivo é descobrir que padrões existem (ou se eles existem!) na variação de características desta espécie. Utilize as folhas em anexo para fazer anotações sobre as modificações que estão acontecendo na população de pássaros.*

- *Caso seja necessário, utilize a opção “pausar” para parar a simulação e realizar as anotações. Os gráficos também podem ser úteis!*
- *Procure repetir combinações iniciais de variedades utilizadas quando for realizar simulações entre ambientes diferentes.*
- *Ao final, explore a opção “Custom”.*
- *Boa pesquisa!*

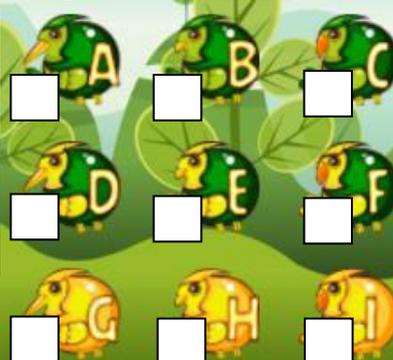


SIMULAÇÃO _____

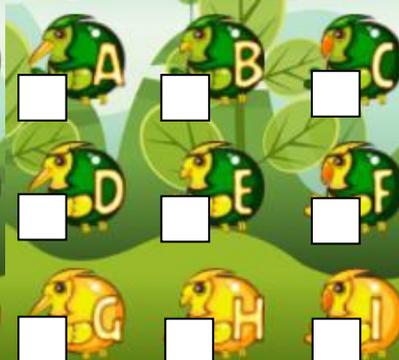
População inicial:



Tempo: 30



Tempo: 60

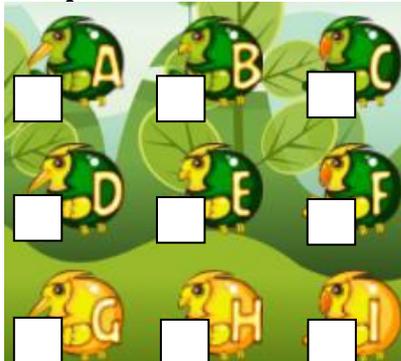


Eventos observados:

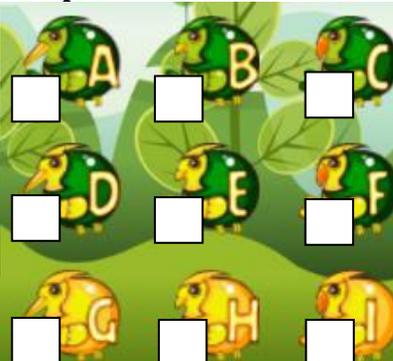
Eventos observados:

Eventos observados:

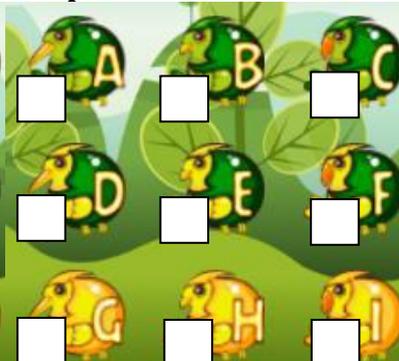
Tempo: 90



Tempo: 120



Tempo: 150



Eventos observados:

Eventos observados:

Eventos observados:

Apêndice II – Formulário de Avaliação Experimental

O formulário abaixo foi disponibilizado através do *Google Forms* na Internet (<https://goo.gl/forms/YVjpQzjHbKkrDoLi1>), para preenchimento pelos usuários avaliadores do *Sim-Evolution*, com a finalidade de coletar informações relacionadas ao uso do aplicativo.

Sim-Evolution

Simulador educativo cujo objetivo é contribuir para a compreensão de conteúdo de Biologia em sala de aula que envolva a teoria da Seleção Natural de Charles Darwin e seus principais aspectos, tais como variação de características dos seres vivos, reprodução diferenciada e hereditariedade, além de conceitos da genética Mendeliana e fundamentos de probabilidade e herança genética. Responda às questões abaixo após o uso do aplicativo.

1. Caracterização (*Informações pessoais do usuário*)

A. Qual o seu nome?

B. Qual seu e-mail?

C. Qual sua idade?

D. Qual seu nível escolar? (*Resposta única*)

6º ano do Ensino Fundamental

7º ano do Ensino Fundamental

8º ano do Ensino Fundamental

9º ano do Ensino Fundamental

1º ano do Ensino Médio

2º ano do Ensino Médio

3º ano do Ensino Médio

Ensino Superior ou acima

E. Você tem formação em área de ciências biológicas? (Resposta única)

Sim Não

F. Se respondeu “Sim” para a pergunta anterior, você é professor da área?
(Resposta única)

Sim Não

G. Como você conheceu o Sim-Evolution? (Resposta única)

Indicação de um amigo

Utilização em sala de aula

Navegando na Internet

Site educacional

Google Play

Outro: _____

H. Você conhece algum destes temas? (Marque as opções que você conhece)

Teoria da Evolução das Espécies

Teoria da Seleção Natural (Charles Darwin)

Genética Mendeliana

Princípios da Genética Clássica

Probabilidade Genética

Nenhuma das opções acima

2. Avaliação da Simulação (Após a execução de simulações utilizando o aplicativo, responda às questões abaixo.)

A. Após a realização das simulações, você diria que pássaros com quais características abaixo foram favorecidos no ambiente "FLORESTA"? Mais de uma opção pode ser marcada.

 Cor verde

 Cor mesclada

 Cor amarela

 Bico em forma de alicate

 Bico grande e fino

 Bico pequeno

Não houve favorecimento para nenhuma das características

B. Após a realização das simulações, você diria que pássaros com quais características abaixo foram favorecidos no ambiente "SAVANA"? Mais de uma opção pode ser marcada.

 Cor verde

 Cor mesclada

 Cor amarela

 Bico em forma de alicate

 Bico grande e fino

 Bico pequeno

Não houve favorecimento para nenhuma das características

C. O formato do bico apresentou relação com a probabilidade de...

reprodução

predação

alimentação

Não foi possível perceber nenhuma relação

D. A cor dos pássaros apresentou relação com a probabilidade de...

reprodução

predação

alimentação

Não foi possível perceber nenhuma relação

3. Avaliação Conceitual (Avalie as afirmativas abaixo a partir de sua compreensão dos conceitos abordados pelo aplicativo. Para cada afirmativa, informe uma das seguintes opções: 1 (discordo totalmente), 2 (discordo parcialmente), 3 (concordo parcialmente) ou 4 (concordo totalmente).)

A. Com o processo de seleção natural, a variação de características passa a não existir na população: apenas a forma adaptada sobrevive.

Discordo	1	2	3	4	Concordo
totalmente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	totalmente

B. Qual situação do simulador influenciou sua resposta da afirmativa A?

C. A evolução biológica por seleção natural é um processo que ocorre em uma população, não sendo possível observá-la acompanhando apenas a vida de um organismo individualmente.

Discordo	1	2	3	4	Concordo
totalmente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	totalmente

D. Qual situação do simulador influenciou sua resposta da afirmativa C?

E. Para melhor se adequar a um ambiente, uma ave pode mudar sua cor ou o formato do seu bico. A isto chamamos de adaptação biológica.

Discordo	1	2	3	4	Concordo
totalmente	()	()	()	()	totalmente

F. Qual situação do simulador influenciou sua resposta da afirmativa E?

G. A adaptação biológica é percebida quando, ao longo de sucessivas gerações, observamos a sobrevivência dos organismos que apresentam as características mais adequadas a uma determinada situação.

Discordo	1	2	3	4	Concordo
totalmente	()	()	()	()	totalmente

H. Qual situação do simulador influenciou sua resposta da afirmativa G?

4. Avaliação de Funcionalidades (Após o uso do aplicativo, dê sua avaliação sobre suas funcionalidades respondendo às questões abaixo.)

A. Em uma escala de 1 a 4, onde 1 é "Muito ruim" e 4 "Muito bom", avalie a importância do aplicativo na sua compreensão dos conceitos abordados na seção anterior (Avaliação Conceitual).

Muito	1	2	3	4	Muito
ruim	()	()	()	()	bom

B. Em uma escala de 1 a 4, onde 1 é "Muito ruim" e 4 "Muito bom", qual a sua avaliação do conteúdo de ajuda disponibilizado no aplicativo?

Muito	1	2	3	4	Muito
ruim	()	()	()	()	bom

C. Em uma escala de 1 a 4, onde 1 é "Muito ruim" e 4 "Muito boa", qual a sua avaliação da contribuição da apresentação gráfica na compreensão dos objetivos do aplicativo?

Muito	1	2	3	4	Muito
ruim	()	()	()	()	boa

D. Em uma escala de 1 a 4, onde 1 é "Pouco útil" e 4 "Muito útil", qual a sua avaliação da utilidade do gráfico estatístico na análise de sobrevivência das aves na simulação?

Pouco útil	1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	Muito útil
---------------	----------	----------	----------	----------	---------------

E. Em sua opinião, o tipo de simulação CUSTOM contribuiu para melhor compreensão da influência das características das aves no processo de seleção natural?

() Sim () Não

F. Em uma escala de 1 a 4, onde 1 é "Pouco prática" e 4 "Muito prática", qual a sua avaliação da praticidade da funcionalidade de configuração de valores para os fenótipos?

Pouco prática	1 ()	2 ()	3 ()	4 ()	Muito prática
------------------	----------	----------	----------	----------	------------------

G. Você usaria o aplicativo como método de apoio em sala de aula?

() Sim () Não

H. Quantas vezes você usou o aplicativo?

I. Qual foi o seu tempo médio de uso do aplicativo?

J. Você percebeu algum erro ou mau funcionamento no aplicativo? Se sim, qual?

5. Usabilidade (Com base em sua utilização do aplicativo, nos informe sua avaliação sob o aspecto de usabilidade do mesmo)

A. Eu utilizaria o aplicativo frequentemente.

Discordo	1	2	3	4	Concordo
totalmente	()	()	()	()	totalmente

B. Eu achei o aplicativo desnecessariamente complexo.

Discordo	1	2	3	4	Concordo
totalmente	()	()	()	()	totalmente

C. Eu achei o aplicativo fácil de utilizar.

Discordo	1	2	3	4	Concordo
totalmente	()	()	()	()	totalmente

D. Eu acho que seria necessário ajuda teórica para a utilização do aplicativo.

Discordo	1	2	3	4	Concordo
totalmente	()	()	()	()	totalmente

E. Eu acho que as funcionalidades do aplicativo estavam bem relacionadas.

Discordo	1	2	3	4	Concordo
totalmente	()	()	()	()	totalmente

F. Eu acredito que a maioria das pessoas acharia este aplicativo fácil de utilizar.

Discordo	1	2	3	4	Concordo
totalmente	()	()	()	()	totalmente

G. Eu achei o aplicativo muito complicado de se utilizar.

Discordo	1	2	3	4	Concordo
totalmente	()	()	()	()	totalmente

H. Eu precisei aprender muitas coisas para poder utilizar o aplicativo.

Discordo	1	2	3	4	Concordo
totalmente	()	()	()	()	totalmente