

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
CELSO SUCKOW DA FONSECA**

**BioLand: Uma ferramenta para o ensino de
biorremediação**

Anderson Luiz Bernardes da Rocha

Prof. Orientador:

Joel A. F. dos Santos, D.Sc.

Prof. Coorientador:

Guilherme Inocência Matos, D.Sc.

**Rio de Janeiro,
Fevereiro de 2021**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
CELSO SUCKOW DA FONSECA**

BioLand: Uma ferramenta para o ensino de biorremediação

Anderson Luiz Bernardes da Rocha

Projeto final apresentado em cumprimento às normas do Departamento de Educação Superior do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Prof. Orientador:

Joel A. F. dos Santos, D.Sc.

Prof. Coorientador:

Guilherme Inocêncio Matos, D.Sc.

**Rio de Janeiro,
Fevereiro de 2021**

DEDICATÓRIA

Agradeço a minha família pelo apoio incondicional em todos os momentos difíceis da minha trajetória acadêmica e ao meu orientador Joel André Ferreira dos Santos pela sua atenção dedicada ao longo de todo o projeto da minha monografia.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a minha mãe Patricia Bernardes da Rocha e minha vó Adna Bernardes da Rocha, que me sempre me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho, um agradecimento especial ao meu tio Luiz Adriano Bernardes da Rocha que sempre me ajudou com ideias e como prosseguir da melhor forma neste trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Joel André Ferreira dos Santos por sempre estar presente para indicar a direção correta que o trabalho deveria tomar e ao meu coorientador Guilherme Inocêncio Matos pelas valiosas contribuições dadas durante todo o processo, também a professora Anna Carolina de Oliveira Mendes pela ajuda na elaboração do experimento.

A meu colega Luís Henrique dos Reis Lacerda Nogueira, pelo ambiente amistoso no qual convivemos e solidificamos os nossos conhecimentos, o que foi fundamental na elaboração de nossos trabalhos de conclusão de curso.

RESUMO

A abordagem da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) propõe a exposição do aluno a situações reais para as quais este deve usar buscar uma solução, permitindo assim a construção do conhecimento. Disciplinas com conceitos complexos tendem a se beneficiar da ABP, como, por exemplo, a Biotecnologia. A Biotecnologia pode ser definida como: “Qualquer tecnologia que utilize sistemas biológicos, organismos vivos, ou seus derivados, para fabricar ou modificar produtos ou processos para utilização específica”. Uma de suas técnicas é a biorremediação, que utiliza organismos vivos, plantas ou microrganismos, para remover ou remediar poluentes no ambiente. Este trabalho propõe a criação de um jogo chamado *BioLand* onde o aluno utiliza diferentes técnicas de biorremediação em solos buscando sua descontaminação para um fim específico. O objetivo do *BioLand* é criar um ambiente onde os alunos consigam desenvolver seus conhecimentos de forma divertida e, ao mesmo tempo, desafiadora. Visando avaliar o uso do *BioLand* como ferramenta de aprendizado, foi realizado um experimento com cinco alunos do ensino médio. Durante o experimento, os participantes foram expostos a uma situação problema onde deveriam utilizar o jogo para encontrar a melhor solução viável. Após o experimento, foi feita uma análise do caminho percorrido, questionários e entrevistas dos participantes. Os resultados se mostraram satisfatórios, indicando que os participantes conseguiram adquirir competências importantes para o ensino de biorremediação e conseguiram mobilizar os conhecimentos necessários para sua aplicação prática.

Palavras-chave: Ensino de Biologia; Biorremediação; Jogo Educacional, Jogo didático

ABSTRACT

Problem-Based Learning (PBL) proposes exposing the student to real scenarios for which he must seek a solution, thus allowing the construction of knowledge. Disciplines with complex concepts tend to benefit from PBL, such as Biotechnology. Biotechnology can be defined as: “Any technology that uses biological systems, living organisms, or their derivatives, to manufacture or modify products or processes for specific uses”. One of its techniques is bioremediation, which uses living organisms, plants or microorganisms, to remove or remedy pollutants in the environment. This work proposes the creation of a game called *BioLand* where the student must apply different bioremediation techniques in soils decontaminating it for specific purposes. *BioLand*'s goal is to create an environment where students can develop their knowledge in a fun and, at the same time, challenging way. In order to evaluate *BioLand* as a learning tool, an experiment was carried out with high-school students. During the experiment, participants were exposed to a problem situation where they should use the game to find the best viable solution. After the experiment, an analysis was made of the path taken, questionnaires and interviews of the participants. The results were satisfactory, indicating that the participants were able to acquire important skills for teaching bioremediation and were able to mobilize the necessary knowledge for its practical application.

Keywords: Biology teaching; Bioremediation; Educational game, Didactic game

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Conceitos Básicos	4
2.1	Biorremediação	4
2.2	Etapas	6
3	Trabalhos Relacionados	8
4	O Jogo <i>Bioland</i>	13
4.1	Objetivo	13
4.2	Game Design	14
4.2.1	Fases do Jogo	14
4.2.2	Visualização do Conceitos	16
4.2.3	Sistema de Pontuação	18
4.3	Ciclo de Jogo	18
4.4	Game Analytics	25
4.5	Implementação	26
5	Experimento	31
5.1	Análise da Primeira etapa	34
5.2	Análise da Segunda etapa	35
5.3	Terceira etapa	40
6	Conclusão	47
6.1	Limitações	48
6.2	Trabalhos futuros	49
	Referências Bibliográficas	50

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1:	Etapas da ação do microrganismo no processo de biorremediação. Retirado de [Morais Filho and Coriolano, 2016]	4
FIGURA 2:	Etapas para definição do processo de biorremediação. Adaptado de [Christine Claire Gaylarde, 2005]	6
FIGURA 3:	Imagem do jogo <i>O Painel da Microbiologia</i> . Retirado de [Candeias et al., 2007]	8
FIGURA 4:	Imagem do tabuleiro do jogo <i>Célula Adentro</i> . Retirado de [BioJogos, 2020]	9
FIGURA 5:	Telas de Control Harvest 2. Retirado de [Marques, 2019]	11
FIGURA 6:	Protótipo das fases do BioLand.	15
FIGURA 7:	Protótipo de uma fase do <i>BioLand</i> .	16
FIGURA 8:	Diagrama de bioestimulação	19
FIGURA 9:	Diagrama de bioaumento	20
FIGURA 10:	Atributos do objeto bactéria	21
FIGURA 11:	Exemplo de <i>log</i> do jogo. No exemplo o jogador iniciou uma fase e saiu dela.	25
FIGURA 12:	Diagrama de componentes do jogo BioLand	27
FIGURA 13:	Telas do jogo <i>BioLand</i>	29
FIGURA 14:	Diagrama de classes do jogo BioLand	30
FIGURA 15:	Telas do jogo EcoLab. Retirado de [Nogueira, 2020]	31
FIGURA 16:	Descrição de cada etapa do experimento	32
FIGURA 17:	Resultados da pergunta " <i>Que materiais e/ou recursos os professores de Ciências e/ou Biologia costumam utilizar para abordar os tópicos da matéria nas aulas?</i> "	35
FIGURA 18:	Tentativas dos participantes na fase 1, conforme registradas no <i>log</i> .	39

LISTA DE TABELAS

TABELA 1:	Principais características dos trabalhos relacionados	12
TABELA 2:	Perguntas do questionário da primeira etapa	32
TABELA 3:	Perguntas do questionário da terceira etapa	34
TABELA 4:	Tabela com dados de vitória, derrota e saída obtidos dos participantes	36
TABELA 5:	Tabela com os caminho das melhores pontuações de cada participante na fase 1	37
TABELA 6:	Tabela com os caminho das melhores pontuações de cada participante na fase 2	38
TABELA 7:	Tabela com tempo de jogo nas fases do BioLand	40
TABELA 8:	Categorias do tema: <i>Papel do BioLand</i>	42
TABELA 9:	Categoria do tema: <i>Papel do problema proposto</i>	43
TABELA 10:	Categorias do Tema: <i>Game Design do BioLand</i>	45

LISTA DE ABREVIACOES

ABP Aprendizagem Baseada Em Problemas	v, 1, 2, 3, 10, 12, 13, 14, 43, 47
MVC Model-View-Controller	26

Capítulo 1

Introdução

A biotecnologia é uma área que vem crescendo atualmente, segundo o artigo 2 da Convenção sobre Diversidade Biológica¹, a biotecnologia pode ser definida como: “Qualquer tecnologia que utilize sistemas biológicos, organismos vivos, ou seus derivados, para fabricar ou modificar produtos ou processos para utilização específica”. O uso da biotecnologia é amplo, podendo ser utilizado na área agrícola, pecuária, industrial, de saúde e meio ambiente. Seu uso gerou descobertas de processos que envolvem uso da manipulação do DNA para desenvolver técnicas de cultivo de células e tecidos para a produção de transgênicos, fármacos, enzimas, hormônios e outros produtos químicos bioconvertidos [de Meira Gusmão et al., 2017].

Uma das ferramentas utilizadas dentro da biotecnologia é a *biorremediação*. A biorremediação é um processo que organismos vivos, plantas ou microrganismos são utilizados tecnologicamente para remover ou remediar poluentes no ambiente [Christine Claire Gaylarde, 2005]. Este processo é uma alternativa melhor, do ponto de vista ecológico, para o tratamento de ambientes contaminados com moléculas orgânicas difíceis de degradar e metais tóxicos [Christine Claire Gaylarde, 2005].

A biorremediação em salas de aula no formato tradicional não é uma tarefa fácil. Segundo Interaminense [2019], o ensino de biologia vem sendo trabalho nas escolas de maneira descontextualizada, fazendo com que os alunos não consigam relacionar seus estudos com o cotidiano, assim, resumindo seu aprendizado em somente memorização de termos complexos, classificações de organismos e compreensão de fenômenos, sem entender a relevância desses conhecimentos no mundo.

Nesse contexto, a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) surge como uma alternativa para solucionar os problemas acima descritos. Nela o aluno busca solucionar situações reais e, através dessa experiência, construir o conhecimento. Segundo Souza and Dourado [2015], a ABP é um método que tem como objetivo transformar o aluno no protagonista do seu aprendizado por meio da investigação, tornando os professores apenas facilitadores do processo de

¹<https://antigo.mma.gov.br/component/k2/item/7513-convencao-sobre-diversidade-biologica-cdb.html>. Acessado em 10 de dezembro de 2020.

aquisição de conhecimento. Neste método, os problemas são um estimulador para a aprendizagem e para o aprimoramento das habilidades de resolução dos alunos.

Muitas disciplinas de diferentes matérias se beneficiam com esta abordagem pois a ABP enfatiza muito mais a compreensão do que a memorização [Souza and Dourado, 2015]. Assim, disciplinas que envolvem a memorização de termos complexos, se tornam mais fáceis de aprender [Duré et al., 2018]. Outro ponto importante da ABP é que ela utiliza o trabalho em equipe para a solução de problemas, de forma que os alunos podem discutir suas ideias com seus colegas, desenvolver habilidades interpessoais e trabalho em equipe, características importantes no mercado de trabalho.

Um outra abordagem que está crescendo nos últimos anos é o aprendizado facilitado por jogos educacionais. Segundo Prieto et al. [2005], para um jogo ser caracterizado como educacional ele “deve possuir objetivos pedagógicos e sua utilização deve estar inserida em um contexto e em uma situação de ensino baseados em uma metodologia que oriente o processo, através da interação, da motivação e da descoberta, facilitando a aprendizagem de um conteúdo”.

De acordo com Savi and Ulbricht [2008], a utilização desses tipos de jogos pode trazer diversos benefícios no processo de aprendizado como: (i) *efeito motivador*, pois os jogos educacionais demonstram ter alta capacidade de gerar diversão e entretenimento e, simultaneamente, incentivar o aprendizado; (ii) *facilitador de aprendizado*, visto que os jogos digitais educacionais tem capacidade para facilitar o aprendizado em vários campos do conhecimento por viabilizar a representação gráfica de uma grande variedade de conteúdo; (iii) *desenvolvimento de habilidades cognitivas*, pelos jogos promovem o desenvolvimento intelectual por meio de desafios fazendo com que o jogador elabore estratégias e entenda como diferentes elementos do jogo se relacionam para progredir; (iv) *aprendizado por descoberta*, onde os jogadores desenvolvem a capacidade de explorar, experimentar e colaborar por estarem num ambiente livre de riscos que provoca a experimentação e exploração, estimulando a curiosidade; (v) *socialização*, na medida que os jogos aproximam os alunos jogadores por meio da competição ou cooperação; e, (vi) *comportamento expert*, onde crianças e jovens que se tornam *experts* no que o jogo oferece, indicando que jogos com desafios educacionais possuem o potencial de tornar os jogadores *experts* no conteúdo abordado do jogo.

A biorremediação é um assunto que possui termos complexos e com pouca relação com a realidade dos alunos, não sendo recorrente o aluno participar ou ouvir sobre descontaminação de solos por meio de técnicas de biorremediação. Assim, o ensino de biorremediação muito pode se

beneficiar tanto da ABP, quanto do uso de jogos educacionais. Com isso esse trabalho pretende responder à seguinte pergunta de pesquisa: “*Como apresentar o tema da biorremediação ao aluno, fazendo-o ser capaz de aplicá-lo em situações práticas?*”

Visando responder a pergunta de pesquisa acima este trabalho tem como objetivo Desenvolver um jogo educacional, chamado *BioLand*, para auxiliar o aprendizado de biorremediação por meio da apresentação de situações-problemas. O *BioLand* coloca o jogador no papel de um biólogo que deve escolher dentre as técnicas de biorremediação disponíveis aquela que promova um melhor custo-benefício entre o gasto e tempo de descontaminação. O jogo é dividido em fases, onde cada fase apresenta uma situação-problema diferente por meio de sua configuração inicial e os objetivos a serem alcançados. Espera-se dessa forma permitir que o aluno conheça mais sobre o tema de biorremediação. Um segundo objetivo deste trabalho é validar o *BioLand* como ferramenta de ensino. Para este propósito foi feito um experimento com o intuito de analisar os dados dos participantes e verificar se o *BioLand* pode ser utilizado como ferramenta de aprendizado.

O restante desse texto está organizado da seguinte forma. O Capítulo 2 apresenta os principais conceitos biológicos relacionados a biorremediação, como a ação de microrganismos, contaminantes e variáveis de ambiente. O Capítulo 3 apresenta os trabalhos relacionados ao *BioLand*. O Capítulo 4 apresenta o objetivo do *BioLand* e detalha seu desenvolvimento, desde o projeto dos seus principais mecanismos até sua implementação. O Capítulo 5 descreve um experimento conjunto com o simulador *EcoLab* [Nogueira, 2020], realizado com seis alunos do ensino médio com o objetivo de validar o *BioLand* como ferramenta de aprendizado. Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

Capítulo 2

Conceitos Básicos

2.1 Biorremediação

A biorremediação é uma tecnologia que usa agentes biológicos para diminuir o influência de produtos químicos em áreas contaminadas [dos Santos et al., 2018]. Os microrganismos utilizados normalmente são bactérias, fungos filamentosos e leveduras, onde a bactéria é a mais utilizada em tratamentos através da biorremediação [Morais Filho and Coriolano, 2016]. O processo de biorremediação é exibido de forma simplificada na Figura 1. Inicialmente o microrganismo metaboliza o contaminante. Logo após ele digere o contaminante e o degrada, convertendo em gases inócuos e água. Por fim ocorre a liberação dos gases e água do microrganismo.

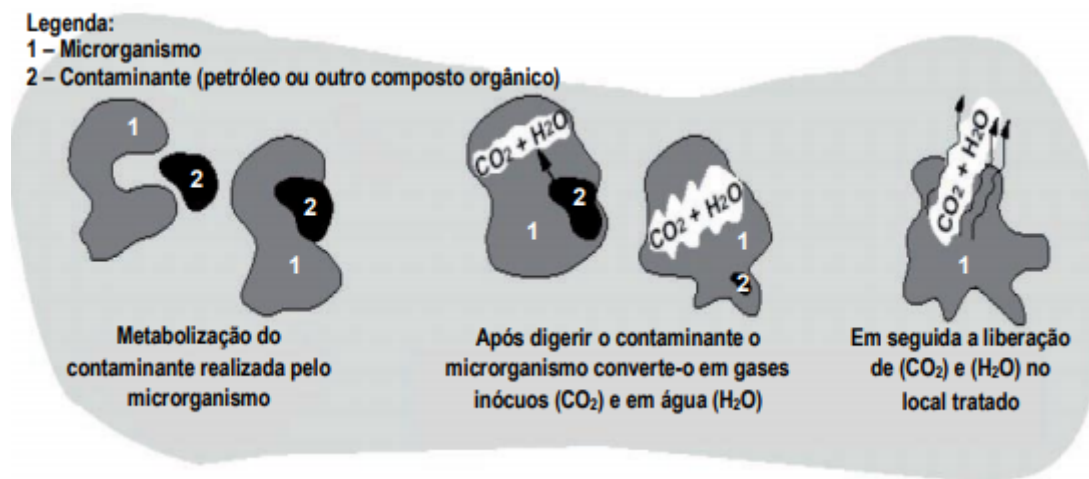


Figura 1: Etapas da ação do microrganismo no processo de biorremediação. Retirado de [Morais Filho and Coriolano, 2016]

Grande parte dos impactos ambientais estão diretamente ligados ao petróleo e seus derivados. Estes impactos vão desde a destruição de ecossistemas, desmatamento, poluição do ar e descarte de resíduos [Morais Filho and Coriolano, 2016]. O petróleo é mistura complexa e contém vários compostos sendo predominante os hidrocarbonetos [Andrade et al., 2010]. Suas propriedades químicas e físicas variam de acordo com o campo petrolífero, tornando difícil

o tratamento de áreas contaminadas por petróleo [Andrade et al., 2010]. Para remediar solos impactados por petróleo e seus derivados, várias tecnologias e procedimentos vem sendo desenvolvidas para o tratamento de ambientes contaminados por petróleo. Dentre essas técnicas, a biorremediação utiliza microrganismos para realizar a biodegradação de contaminantes tóxicos ao meio ambiente, tornando-se uma alternativa economicamente viável para o tratamento de solos contaminados por petróleo [Viotti et al., 2017].

Na biorremediação, existem três técnicas principais que são utilizadas: bioestimulo, bioaumento e a atenuação natural. Os processos de biorremediação podem ser feitos no próprio local, chamados *in situ*, ou *ex situ* quando o contaminante é removido e levado para um outro ambiente para seu tratamento. Cada processo deve levar em conta qual tipo de poluente, custos para implementação e a concentração ao final do tratamento, pois estes fatores possibilitarão o uso futuro da área [Morais Filho and Coriolano, 2016].

Em relação aos processos e técnicas existentes, temos a biorremediação *in situ* na qual o tratamento do solo é feito no local contaminado, utilizando processos que vão da inserção de oxigênio e nutrientes até a adição de organismos específicos para cada tipo de contaminante. Desta forma não se faz uso da remoção do material contaminado, evitando custos e distúrbios ambientais do solo. Em um processo de biorremediação eficaz os produtos finais são a água (H₂O) e dióxido de carbono (CO₂) [Viotti et al., 2017].

Na biorremediação *ex situ* são utilizados diversos processos para biodegradação do contaminante, contudo, diferentemente da *in situ*, são utilizadas unidades móveis e estações fixas. Estes processos possibilitam um resultado mais rápido por haver maior controle dos níveis de temperatura, presença de oxigênio, nutriente e pH. Porém, a biorremediação *ex situ* requer escavação, remoção do solo contaminado e seu envio para outro local que acaba elevando o custo do tratamento [Morais Filho and Coriolano, 2016].

O bioestimulo é um método empregado tanto *in situ* quanto *ex situ*. Este método só é eficaz quando já houver populações microbianas degradadoras do material contaminante no solo. Ela realiza o estímulo microbiano nativo, otimizando suas condições de crescimento por meio da adição de nutrientes orgânicos e inorgânicos, regulação de pH, temperatura e aeração [Morais Filho and Coriolano, 2016].

O bioaumento também pode ser utilizado *in situ* e *ex situ*. Ele consiste na adição de microrganismos específicos em regiões impactadas. A quantidade de microrganismos a ser adicionada é regulada segundo as condições do ambiente e testes em laboratório. O bioaumento garante

que o conjunto de microrganismos estará presente em tipo, número e compatibilidade suficientes, com o objetivo de metabolizar o poluente de forma eficaz [Morais Filho and Coriolano, 2016].

Por fim, a atenuação natural é baseada na monitoração da capacidade dos microrganismos nativos degradarem o contaminante, sem que haja a adição de nutrientes ou qualquer adequação no ambiente. Logo, os microrganismos no local passam a usar o contaminante como fonte de energia reduzindo seus níveis de concentração. Contudo, como depende exclusivamente de processos naturais, a atenuação natural é um processo bastante lento, o que exige o monitoramento por um longo período de tempo. Assim, em geral a atenuação natural é utilizada em conjunto com outras técnicas [Morais Filho and Coriolano, 2016].

2.2 Etapas

A Figura 2 exibe um fluxograma com as etapas para definição do processo de uso da biorremediação, como descrito em [Christine Claire Gaylarde, 2005]. Na figura, as etapas realizadas *in situ* estão representadas em laranja, enquanto as etapas realizadas *ex situ* estão representadas em azul.

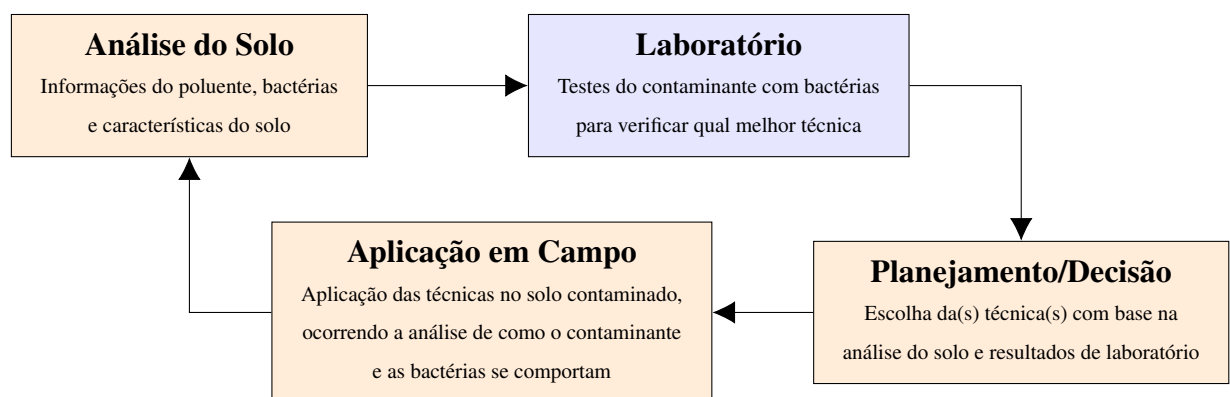


Figura 2: Etapas para definição do processo de biorremediação. Adaptado de [Christine Claire Gaylarde, 2005]

Inicialmente, é feita a *Análise do Solo*, uma caracterização do tipo e da quantidade do poluente, bem como avaliações de natureza biológica, geológica, geofísica e hidrológica do local contaminado. No *Laboratório*, as avaliações biológicas ocorrem com o objetivo de otimizar a biodegradação dos componentes. Elas compreendem os testes de bioestimulação, por meio da adição de nutrientes e/ou surfactantes, e os testes de bioaumento, pela adição de microrganismos biodegradadores.

Após isso é realizado o *Planejamento/Decisão* que consiste em escolher uma técnica, testada no laboratório, que possui uma melhor capacidade de degradar o contaminante, levando em consideração os fatores ambientais. Em seguida, na fase de *Aplicação de campo* é feita a aplicação das técnicas *in situ*.

Após utilizar a técnica escolhida, os processos são feitos novamente para verificar se o plano traçado obteve sucesso. Esse ciclo se repete até que o contaminante esteja em um nível aceitável.

O jogo inicia quando o professor lê uma pergunta e é dado um tempo para os alunos discutirem e chegar a um consenso sobre a resposta. Eles devem colocar a ficha resposta correspondente na tabela. O jogo termina quando são lidas todas às dez perguntas e o professor corrige o painel juntamente com os alunos. Este jogo utiliza uma abordagem diferente de aprendizagem para melhorar o desempenho dos alunos, através de perguntas e respostas os alunos discutem suas ideias, estimulando a construção do conhecimento e características interpessoais que são importantes atualmente.

Outro jogo criado para o ensino da microbiologia foi o *Microligue: o jogo das associações* [Carvalho et al., 2002]. No Microligue a microbiologia é apresentada como um tema integrado ao cotidiano e ações. O objetivo do jogo é ajudar crianças e adolescentes na percepção que o mundo é também determinado pelas ações de seres microscópicos que nele habitam. Para isso o jogo utiliza associações de imagens com palavras relacionadas com o cotidiano do aluno favorecendo a construção de concepções corretas do mundo microbiano e suas interações com o mundo no qual vive. A abordagem deste trabalho é aproximar o aluno com a microbiologia, pois devido à complexidade da matéria é difícil do aluno criar uma proximidade e aplicabilidade dos conceitos aprendidos. Assim a ferramenta lúdica busca fazer com que o aluno veja que a microbiologia está presente na vida de todos os humanos.

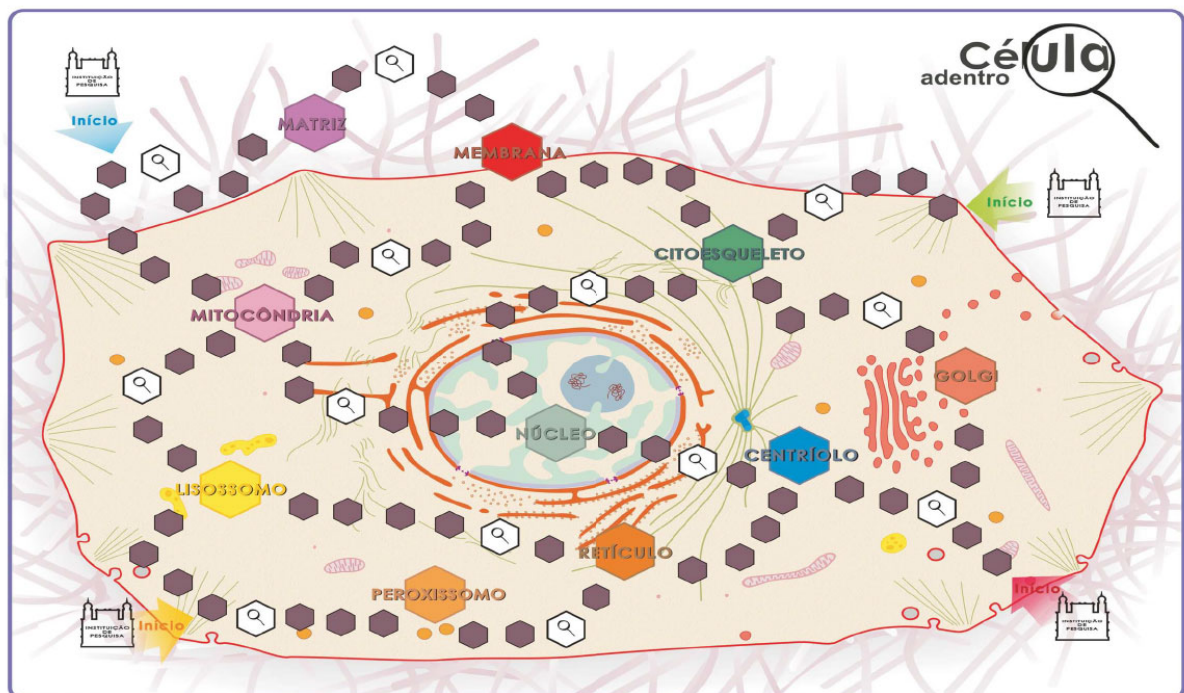


Figura 4: Imagem do tabuleiro do jogo Célula Adentro. Retirado de [BioJogos, 2020]

O jogo *Célula Adentro* [Spiegel et al., 2008] é um jogo de tabuleiro que utiliza a ABP, fazendo com que os alunos colaborem, traçando estratégias e encontrando soluções viáveis para problemas relacionados a célula e a biologia molecular. O tabuleiro, exibido na Figura 4, representa uma seção transversal de uma célula animal eucariótica com algumas de suas estruturas e organelas. O jogo desafia os alunos a decifrar um caso científico relacionado a temas de biologia celular e molecular. Para resolver um caso os jogadores devem coletar as cartas de pistas escondidas em dez locais diferentes do tabuleiro. Assim, os alunos coletam, discutem e interpretam pistas enquanto passam através de várias organelas celulares que são representadas no tabuleiro do jogo. Enquanto buscam resolver o caso os alunos têm a oportunidade de descobrir algumas características e funções das células.

No jogo *Control Harvest 2* [Marques, 2019], o jogador tem como objetivo cultivar plantações em uma fazenda. Contudo, de tempos em tempos aparecem pragas que se alimentam das plantações. O jogador combate as pragas inserindo predadores. Há quatro tipos de plantações (grama, couve, milho e tomate), quatro tipos de pragas (pulgões, lagarta, cigarrinha e grilo) e dois tipos de predadores (besouro e joaninha). Cada praga se alimenta de um tipo específico de plantação, e cada predador se alimenta de dois tipos de pragas específicos. A Figura 5 exibe duas telas do jogo, onde a barra inferior exibe a quantidade de moedas e botões para plantar, colher, liberar predadores e recolher predadores (rede entomológica). Cada ação tem um custo e o jogador ganha moedas ao colher a plantação. O jogador pode ainda ganhar uma bonificação quando atende a uma meta apresentada pelo jogo. A quantidade de moedas obtidas é utilizada para montar um *ranking* do jogo. Este jogo serve para o jogador entender conceitos importantes da ecologia através de um jogo digital.



(a) Tutorial do jogo



(b) Tela do jogo

Figura 5: Telas de Control Harvest 2. Retirado de [Marques, 2019]

Não foram encontrados jogos que utilizem temas de biorremediação para ensinar o aluno sobre o processo e utilização das técnicas. Assim, esse trabalho se torna mais necessário para mostrar que a biorremediação tem uma função importante na sociedade através do tratamento de solos contaminados o que afeta plantações, terrenos e o ecossistema como um todo. A tabela 1 exhibe as principais características dos jogos citados nesta seção. As características apresentadas na tabela se baseiam nas características de jogos educacionais apresentadas por [Savi and Ulbricht, 2008]. Cabe destacar que os jogos *MicroWar* e *Célula Adentro* se aproximam da proposta aqui apresentada por promovem o ensino através da resolução de situações-problema, fazendo com que o aluno busque soluções para o problema proposto nos jogos para, assim, conseguir entender mais sobre o tema proposto. Por fim, a tabela apresenta as principais características do *BioLand*, comparando-o com os trabalhos relacionados.

Jogo	Formato	Objetivo	Forma de Desenvolvimento	Forma de Socialização	Situações-Problema
MicroWar [Machado and Carvalhal, 2002]	Tabuleiro	Microbiologia ambiental	Resolução de problemas	Competição	Sim
Painel da Microbiologia [Candeias et al., 2007]	Tabela	Conceitos de microbiologia	Perguntas e respostas	Cooperação e Competição	Não
Microligue [Carvalhal et al., 2002]	Cartas	Termos de microbiologia	Associação de imagens e palavras	Cooperação	Não
Célula Adentro [Spiegel et al., 2008]	Tabuleiro	Biologia molecular	ABP através da solução de casos sobre a célula	Cooperação	Sim
Control Harvest 2 [Marques, 2019]	Digital	Ecologia	ABP ABP através de metas durante as fases	Competição	Sim
<i>BioLand</i>	Digital	Biorremediação	ABP com fases apresentado casos reais de solo contaminado	Competição	Sim

Tabela 1: Principais características dos trabalhos relacionados

Capítulo 4

O Jogo *Bioland*

Este capítulo apresenta em detalhes o processo de criação do *BioLand*. Na Seção 4.1 são apresentados os principais conceitos a serem trabalhados no jogo. A Seção 4.2 discute o funcionamento do jogo e as decisões tomadas para representação dos conceitos a serem trabalhados. Por fim, a Seção 4.5 apresenta os detalhes de implementação do *BioLand*.

4.1 Objetivo

O *BioLand* busca unir a abordagem de jogos educacionais e a metodologia ABP para criar um ambiente de aprendizagem. O jogo trabalha o tema da biorremediação em solos por meio do uso de bactérias e microrganismos indicadores, que são grupos ou espécies de microrganismos que quando encontrados em abundância indicam uma determinada situação do ecossistema [Tótolá and Chaer, 2002]. Em particular, *BioLand* trabalha as etapas *in-situ* do processo de biorremediação conforme apresentado na Seção 2.2. Assim, o jogo apresenta para o jogador o resultado de um estudo do solo de uma determinada região, indicando as espécies de bactérias e microrganismos indicadores, bem como suas concentrações.

No *BioLand* o jogador assume o papel de um biólogo que deve descontaminar diferentes áreas, o jogo é baseado em fases, sendo cada fase uma área que representa uma situação-problema a ser solucionada pelo aluno. Cada fase apresenta condições específicas do solo, como geografia do local (por exemplo, se é em uma floresta ou planície), um contaminante e uma meta de descontaminação. O papel do jogador é tornar todas as áreas do jogo “saudáveis”, ou seja, com uma concentração de contaminante dentro dos parâmetros estabelecidos. Para isso o jogador poderá utilizar uma das três técnicas de biorremediação apresentadas na Seção 2.1. Cada técnica apresentará suas especificidades, conforme será apresentado na Seção 4.2. Ainda, as características do ambiente (umidade, temperatura e pH) serão utilizadas para limitar a eficiência de cada técnica, visando chamar a atenção do jogador quanto ao efeito dessas variáveis.

Por meio das situações-problema, o jogador terá que analisar as informações disponíveis e verificar qual técnica é a mais viável num dado momento. Assim, seguindo uma abordagem

ABP, o jogo apresentará ao jogador, em cada fase, diferentes contaminantes e perfis de bactérias com diferentes capacidades de degradação desses contaminantes.

O objetivo do BioLand é criar um ambiente onde os alunos consigam desenvolver seus conhecimentos de forma divertida e, ao mesmo tempo, desafiadora. Neste ambiente, espera-se que o professor seja capaz de, utilizando-se dos parâmetros apresentados em cada fase, gerar situações-problema para os alunos que, ao serem resolvidas, gerem para o professor um *feedback* acerca dos resultados. O jogo ainda incluirá um sistema de *ranking* dos jogadores com o objetivo de fomentar a socialização, seja por cooperação ou competição. Esta abordagem, segundo Moreno-Ger et al. [2008], tende a reduzir problemas relacionados a motivação através da cooperação entre pessoas, pressão dos colegas e meritocracia do grupo.

4.2 Game Design

4.2.1 Fases do Jogo

Conforme apresentado, o *BioLand* apresentará ao jogador um conjunto de fases, fazendo com que o jogador passe por estágios com diferentes objetivos. Inicialmente o jogo foi pensado para prover quatro fases, porém podendo ser expandido para um número maior de fases. A Figura 6 exhibe o protótipo do mapa do jogo com as diferentes fases.



Figura 6: Protótipo das fases do BioLand.

Conforme pode ser visto na figura, cada fase representa um diferente ambiente no qual o jogador deverá chegar a uma determinada taxa de contaminação, que varia dependendo do objetivo da fase. Conforme ele passa pelas fases o jogador evolui nos conceitos sendo abordados. Uma vez concluída uma fase com sucesso, ela fica marcada com um círculo branco e o número de estrelas obtidos. O jogador consegue uma estrela se obter uma pontuação entre 1 e 300, duas estrelas entre 301 e 600 e três estrelas se consegue uma pontuação maior que 600. Esses valores foram definidos por meio de testes nas fases criadas. Em cada fase o jogador será apresentado a um diferente tipo de solo e diferentes características como umidade, pH e temperatura, além do próprio tipo de contaminante e sua população microbiana presente no solo. Logo o jogador terá como objetivo utilizar as técnicas de biorremediação com base na análise das bactérias e outros fatores para progredir no jogo e construir seu aprendizado.

A Figura 7 exibe o protótipo da tela de uma fase do jogo. Nela é possível observar que cada fase segue um sistema de dias. Essa escolha tem por objetivo tornar o jogo mais dinâmico, fazendo com que o jogador constantemente tome uma decisão e observe os resultados da ação executada. Dessa forma, a cada trinta dias (do jogo) o jogador terá que escolher uma nova técnica a ser aplicada. Ainda, a cada cem dias ocorrem mudanças do ambiente como umidade, temperatura e pH. As mudanças de temperatura umidade e pH são aleatórias com o objetivo

de tornar o jogo mais dinâmico e imprevisível, forçando o aluno a se adaptar em diferentes situações. Por ser um jogo baseado na passagem de tempo, o jogador pode pausar o jogo ou acelerar a passagem de tempo. As fases terão apenas três técnicas disponíveis (atenuação natural, bioestimulação e bioaumento), sendo adicionadas novas técnicas em trabalhos futuros.

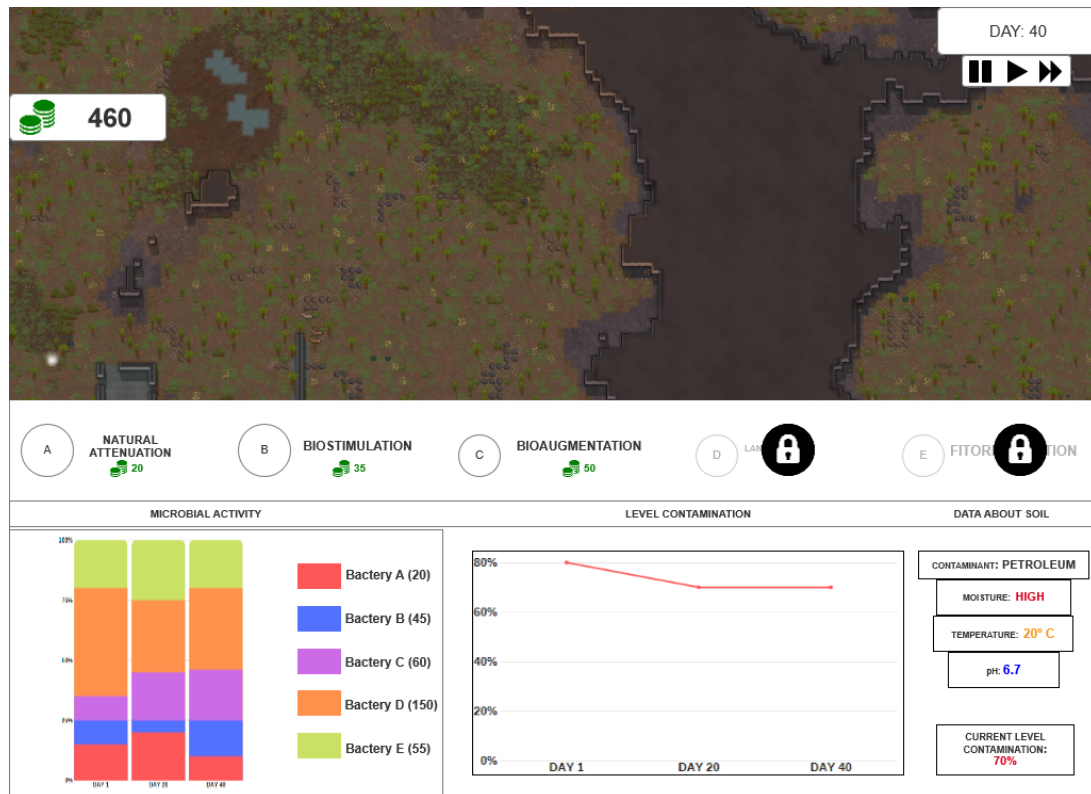


Figura 7: Protótipo de uma fase do *BioLand*.

4.2.2 Visualização do Conceitos

Na seção da tela identificada como *MICROBIAL ACTIVITY* é apresentado um gráfico de *abundancia relativa* que é um conceito estatístico usado na biologia para apresentar a quantidade de espécies em um determinado habitat [Volkov et al., 2003]. No jogo ela é utilizada para representar uma população microbiana do ecossistema. Cada cor representa uma bactéria, que pode ser degradadora do poluente ou não. O jogador pode visualizar informações da bactéria na legenda do gráfico, onde são apresentados o nome e quantidade absoluta de cada bactéria. A cada cinco dias (do jogo) ocorre uma atualização na quantidade das bactérias, gerando um novo gráfico de abundância relativa. Na tela do jogo serão apresentados os cinco gráficos mais recentes. Entretanto, todo o histórico pode ser observado ao clicar nessa área da tela. Esta seção da tela de fase é mais importante do jogo, pois é com base na evolução da atividade microbiana que

o jogador tomará suas decisões. Através da análise das diferentes quantidades de cada bactéria é possível descobrir se elas são degradadoras do poluente ou não. Este fator é fundamental para escolha do melhor tratamento do solo contaminado.

Na seção da tela identificada como *LEVEL CONTAMINATION* é exibido o gráfico da atualização da porcentagem de contaminação do poluente. No eixo x são exibidos os dias e no eixo y a porcentagem de contaminação. Como no gráfico de população microbiana, os valores são atualizados a cada cinco dias. Contudo, diferente do outro gráfico, todos os valores são mantidos, desde os iniciais, ocorrendo um ajustamento no gráfico com o passar do tempo. Esta seção da tela de fase fornece o *feedback* para o jogador do desempenho de suas ações no jogo. Quanto mais acertada é a escolha do jogador, mais rápido será o decréscimo do percentual de contaminação do poluente. Assim, permite-se que o jogador avalie suas hipóteses conforme o desenrolar do jogo, num processo de aprendizado por descoberta conforme discutido por [Savi and Ulbricht \[2008\]](#).

Na seção da tela identificada como *DATA ABOUT SOIL* são apresentadas informações do ecossistema que podem influenciar na decisão do jogador. Conforme discutido em [\[Jacques et al., 2007\]](#), a umidade é um dos fatores mais importantes para o solo, pois uma alta atividade microbiana só ocorrerá se houver adequada disponibilidade de água aos microrganismos. A temperatura afeta a atividade metabólica, o consumo de substrato pelos microrganismos e conseqüentemente a biodegradação do contaminante. O pH do solo afeta diretamente a atividade dos microrganismos por alterar a permeabilidade celular, a atividade enzimática e a disponibilidade de micro e macronutrientes do solo.

O jogo aborda o impacto desses fatores na biorremediação por meio da definição de intervalos de umidade, temperatura e pH ideais para cada técnica. A umidade assume três valores: *low*, *medium* e *high*. Quanto mais alta é a umidade melhor a taxa de degradação das bactérias, ou seja, ela descontaminará o poluente mais rapidamente. Já em temperatura e pH ambos trabalham juntos bonificando ou prejudicando o efeito da técnica usada. Esses dois fatores possuem três intervalos baseados em [\[Atagana et al., 2003\]](#) e [\[Andrade et al., 2010\]](#). Se os fatores estiverem dentro da faixa ideal, os efeitos da técnica são potencializados, do contrário, quando os valores estão fora dessa faixa ideal, o efeito da técnica é reduzido.

4.2.3 Sistema de Pontuação

A pontuação do jogador é determinada por meio da moeda do jogo chamada *BioCoin*. O jogador começa o jogo com trezentos *BioCoins* que são utilizados para a aplicação de uma técnica de biorremediação.

Considerando o objetivo de despoluição estabelecido por uma determinada fase, o avanço do jogador nesse objetivo é medido pela porcentagem de poluição no local. O cenário de vitória é aquele em que a porcentagem alvo é atingida e o cenário de derrota é aquele em que o jogador fica sem *BioCoins* para continuar o processo de despoluição.

Além de atingir a meta de despoluição de uma determinada fase, o *BioLand* pretende permitir aos jogadores observar a relação custo-benefício de cada técnica. Assim, o sistema de pontuação leva em consideração o tempo decorrido para realizar a despoluição. A cada dez dias são descontados vinte *BioCoins* do jogador, como uma penalidade por deixar o solo contaminado (simulando uma multa ambiental, ou depreciação do terreno) e o jogador ganha vinte *BioCoins* a cada percentual de contaminação diminuído.

O sistema de pontuação leva em considerações os fatores descritos com o objetivo de utilizar as técnicas que geram mais resultados e punir o jogador que demorar muito tempo para terminar a fase. Espera-se assim incentivar a obtenção do resultado o mais rápido possível.

4.3 Ciclo de Jogo

Cada técnica de biorremediação possui um funcionamento específico para tornar o jogo mais dinâmico. A técnica *NATURAL ATTENUATION* (atenuação natural) não gera nenhuma mudança no jogo, pois consiste apenas em monitorar o ecossistema. A técnica *BIOSTIMULATION* (bioestimulação) consiste em inserir nutrientes no solo de forma que todas as bactérias tenham mais nutrientes. Se houverem bactérias degradadoras do contaminante na população microbiana, estas terão seu processo metabólico acelerado. Contudo, se houverem poucas bactérias degradantes na população microbiana, ocorrerá um leve aumento na degradação do contaminante, mas não muito significativa. A Figura 8 apresenta uma relação da bioestimulação com as bactérias.

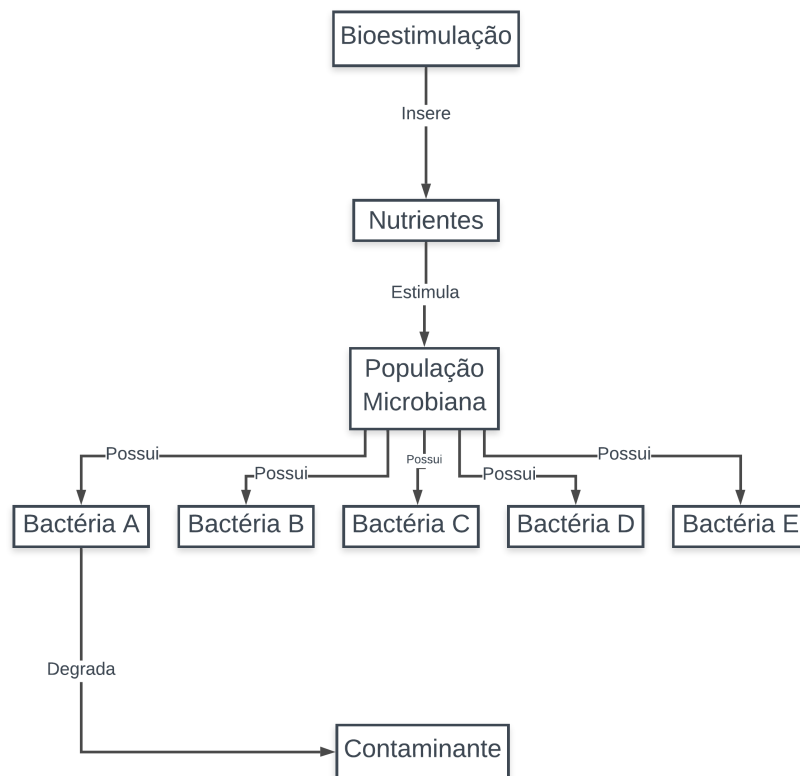


Figura 8: Diagrama de bioestimulação

A técnica *BIOAUGMENTATION* (bioaumentação) insere nutrientes para uma população de bactérias específica na população microbiana. Essa técnica também utiliza a inserção de uma população de bactérias que não faz parte da população microbiana. Entretanto, este tipo de utilização não é abordado no *BioLand*. A técnica de bioaumentação deve ser utilizada quando já é conhecido o tipo de bactéria que degrada o contaminante. A Figura 9 exemplifica o funcionamento da técnica de bioaumentação.

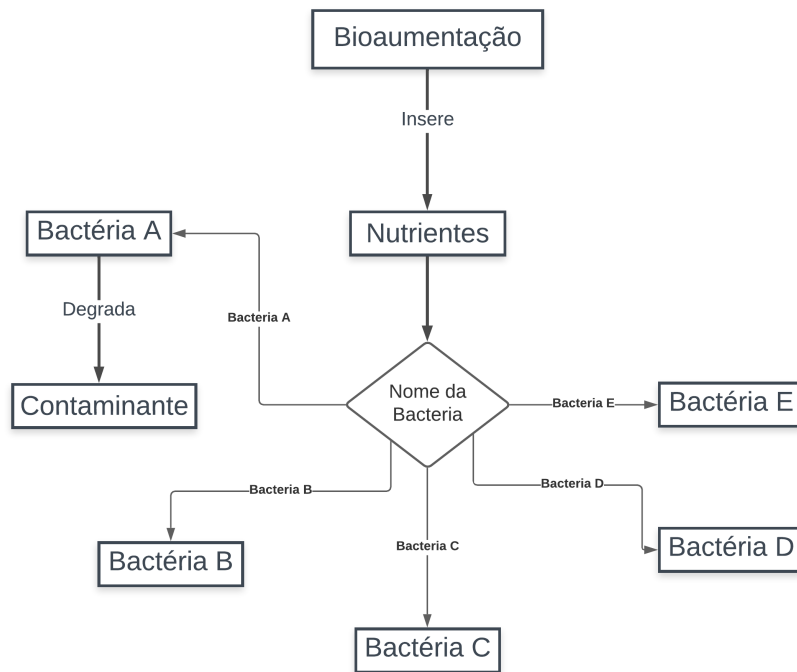


Figura 9: Diagrama de bioaumentação

Conforme discutido na Seção 4.2, o ciclo do jogo corresponde a escolha de uma técnica e a observação do seu impacto na quantidade do contaminante. Cada ciclo desses tem duração de 30 dias. Dentro desse ciclo maior, ciclos de menor duração atualizam a população microbiana e a quantidade do material contaminante, o ganho e perda de *BioCoins*.

Para permitir o controle da população microbiana em jogo. Cada população de bactérias possui os atributos nome, nível de absorção, quantidade, taxa de degradação, o contaminante que ela degrada e que contaminante é tóxico para ela. Para o contaminante são armazenados os atributos quantidade e nome. A Figura 10 exibe os atributos de um objeto bactéria.

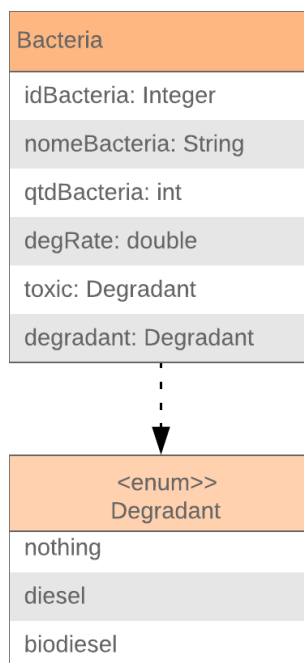


Figura 10: Atributos do objeto bactéria

O Algoritmo 4.1 representa o ciclo do jogo. O ciclo apresentado no algoritmo atualiza a configuração da população microbiana e a quantidade do material contaminante por meio de dois métodos, *alimentar* e *degradar*. O método *alimentar* (linha 5) realiza o processo de aumento da quantidade bactérias. Já o método *degradar* (linha 6) realiza a degradação do material contaminante e, conseqüentemente, a diminuição de sua concentração. Atualizada a concentração, a pontuação do jogo é atualizada conforme o percentual descontaminado (linhas 4, 7 a 9). Inicialmente são registradas as quantidades de contaminante antes (linha 4) e depois (linha 7) do método *degradar* ser executado. A seguir é calculado o aumento percentual e multiplicado por `scoreGainedPerDescontamination`, gerando assim o score ganho pela descontaminação.

A cada cinco dias (linhas 10 a 18) é verificado se a porcentagem atual do contaminante é menor que o objetivo (linha 11). Caso seja, o jogador vence o jogo. Caso contrário, se a pontuação for menor que zero (linha 14) o jogador perde. Ainda, conforme a estratégia indicada na Seção 4.2 de punir jogadores que levem um grande tempo para realizar a descontaminação do ambiente, a cada dez dias (linha 19) ocorre o decréscimo de 20 pontos. Por fim, a cada trinta dias (linha 22) o jogador deverá escolher uma técnica a ser aplicada no próximo ciclo de jogo.

Algoritmo 4.1: Ciclo do jogo

```

1 while true do
2   lockOption = false;
3   day++;
4   contAnt = Contaminante.qtd;
5   alimentar(allBacterias, qtdNutrients);
6   degradar(allBacterias);
7   contNext = Contaminante.qtd;
8   contDif = (contAnt-contNext);
9   score += scoreGainedPerDescontamination*((contDif /Contaminante.qtdTotal)*100);
10  if (day%5 == 0  $\wedge$  day != 0) then
11    | if (objectiveValue > contaminant.percentage) then
12    |   | gameOver(true);
13    | end
14    | if (score<=0) then
15    |   | gameOver(false);
16    | end
17    | insertGraphs();
18  end
19  if (day%10 == 0  $\wedge$  day!=0 ) then
20  |   score -= 20;
21  end
22  if (day%30==0  $\wedge$  day!=0) then
23  |   selectAction();
24  end
25 end

```

O Algoritmo 4.2 apresenta o funcionamento do método *alimentar*. Esse método varia de acordo com a técnica utilizada. No caso da atenuação natural (linhas 3 a 5), todas as bactérias perdem quantidades iguais de nutrientes visto que é um método que apenas observa a população microbiana. No caso da bioestimulação (linhas 6 a 12), a bactéria degradadora recebe mais nutrientes do que as outras demais, simulando a ação de ganho de energia pela degradação do

contaminante, tendo uma vantagem em relação as outras. Já no caso do bioaumento (linhas 13 a 19) a bactéria que for escolhida (sendo degradadora ou não) recebe nutrientes enquanto as outras perdem nutrientes. É importante ressaltar que a quantidade de nutrientes influencia no tamanho da população de bactérias sendo, portanto, diretamente adicionada à quantidade de bactérias.

Algoritmo 4.2: Método Alimentar

```

1  for bac in allBacterias do
2      switch actionEffect do
3          case Action.Atenuation do
4              bac.qtd-=qtdNutri;
5          end
6          case Action.Bioestimulation do
7              if bac.degradant == contaminant.type then
8                  bac.qtd+=qtdNutri;
9              else
10                 bac.qtd+=qtdNutri/1.5;
11             end
12         end
13         case Action.Bioaumentation do
14             if bac.name == bacSelected.name then
15                 bac.qtd+=qtdNutri;
16             else
17                 bac.qtd-=qtdNutri;
18             end
19         end
20     end
21 end

```

O Algoritmo 4.3 apresenta o funcionamento do método *degradar*. Inicialmente o método calcula a influência do ambiente no processo de degradação (linha 2). Para isso, o método usa a variável *absRateNutrient*. Essa variável é calculada analisando os fatores de temperatura

e pH do ambiente. Caso ambos estejam em uma faixa considerada boa, seu valor é mantido. Caso ambos estejam em uma faixa considerada média, seu valor sofre um decréscimo de 10%. Caso ambos estejam em uma faixa considerada ruim, seu valor sofre um decréscimo de 20%.

Em seguida o método calcula a quantidade de contaminante seria degradado pela bactéria (linha 3). O cálculo que leva em consideração a quantidade máxima do contaminante, quantidade e taxa de degradação da bactéria, a soma total das bactérias. A conta ainda leva em consideração uma taxa de aumento, de forma que quanto maior a presença percentual da bactéria na população mais ela degradará do contaminante. Calculada a quantidade de degradação do contaminante, o método verifica se a bactéria degrada o contaminante (linha 4). Em caso positivo, o contaminante perderá a quantidade de degradação calculada (linha 5) e a bactéria ganhará como nutriente um percentual dessa quantidade, considerando a influência do ambiente (linha 6). Para o caso do contaminante ser tóxico para a bactéria (linha 8), ela perderá a quantidade de nutrientes que ganharia, caso degradasse o contaminante.

Algoritmo 4.3: Método Degradar

```

1 for bac in allBacterias do
2   absRateNutrient = verifyParameters(temperature, pH);
3   degradationValue = contaminant.qtdMax * b.qtd * b.degRate *
   (1+(b.qtd/sum(allBacteria)));
4   if bac.degradant == contaminante.type then
5     contaminant.qtd -= degradationValue;
6     b.qtd += (degradationValue/contaminant.qtdMax)*b.qtd*absRateNutrient;
7   else
8     if bac.toxic == contaminante.type then
9       b.qtd -= (degradationValue/contaminant.qtdMax)*b.qtd*absRateNutrient;
10    end
11  end
12 end

```

4.4 Game Analytics

O *BioLand* utiliza um sistema de *log* do jogo para guardar as ações realizadas pelo jogador durante a fase, assim como as informações do ambiente. A Figura 11 exibe um modelo simples do *log* que é salvo.

```

▼ array [3]
  ▼ 0 {3}
    Action Selected : Bioestimulation
    Last Result(score) : 0
    Last Result(% removed) : 0
  ▼ 1 {6}
    day : 5
    ▶ bacterias [5]
    ▶ contaminant {5}
    ▶ variables {3}
    actionEffect : 1
    score : 275
  ▼ 2 {1}
    status : quit

```

Figura 11: Exemplo de *log* do jogo. No exemplo o jogador iniciou uma fase e saiu dela.

Inicialmente é guardada a técnica que o jogador selecionou, a pontuação ganha nos últimos 30 dias e a quantidade de contaminante removido. Esse dado é salvo a cada ciclo de 30 dias em que o jogador escolhe uma técnica. Após isso, a cada ciclo de 5 dias são salvas as informações sobre a quantidade de bactérias, contaminante, e o estado das variáveis de ambiente (umidade, temperatura e pH), sob o efeito de qual técnica o jogo está num dado momento (0: atenuação natural, 1: bioestimulação e 2: bioaumento) e a pontuação do dia. Por fim, é salvo na variável *status* se o jogador saiu no meio da fase representado pelo valor *quit*, se ganhou o jogo pelo valor *win* e se perdeu o jogo pelo valor *lose*.

Todo o *log* é salvo na plataforma *PlayFab*¹. A plataforma oferece serviços de armazenamento de dados na nuvem. A mesma plataforma é responsável por cadastrar os jogadores e gerar as tabelas de *ranking*.

¹<https://playfab.com>. Acessado em 13 de dezembro de 2020.

4.5 Implementação

BioLand foi desenvolvido usando o motor de jogo *Unity* na versão 2019.3.12f1. A Figura 12 apresenta um diagrama de componentes no padrão Model-View-Controller (MVC), onde o *view* é representado com o esteriótipo *Scene*, *control* com esteriótipo *Control* e *model* com esteriótipo *Model*.

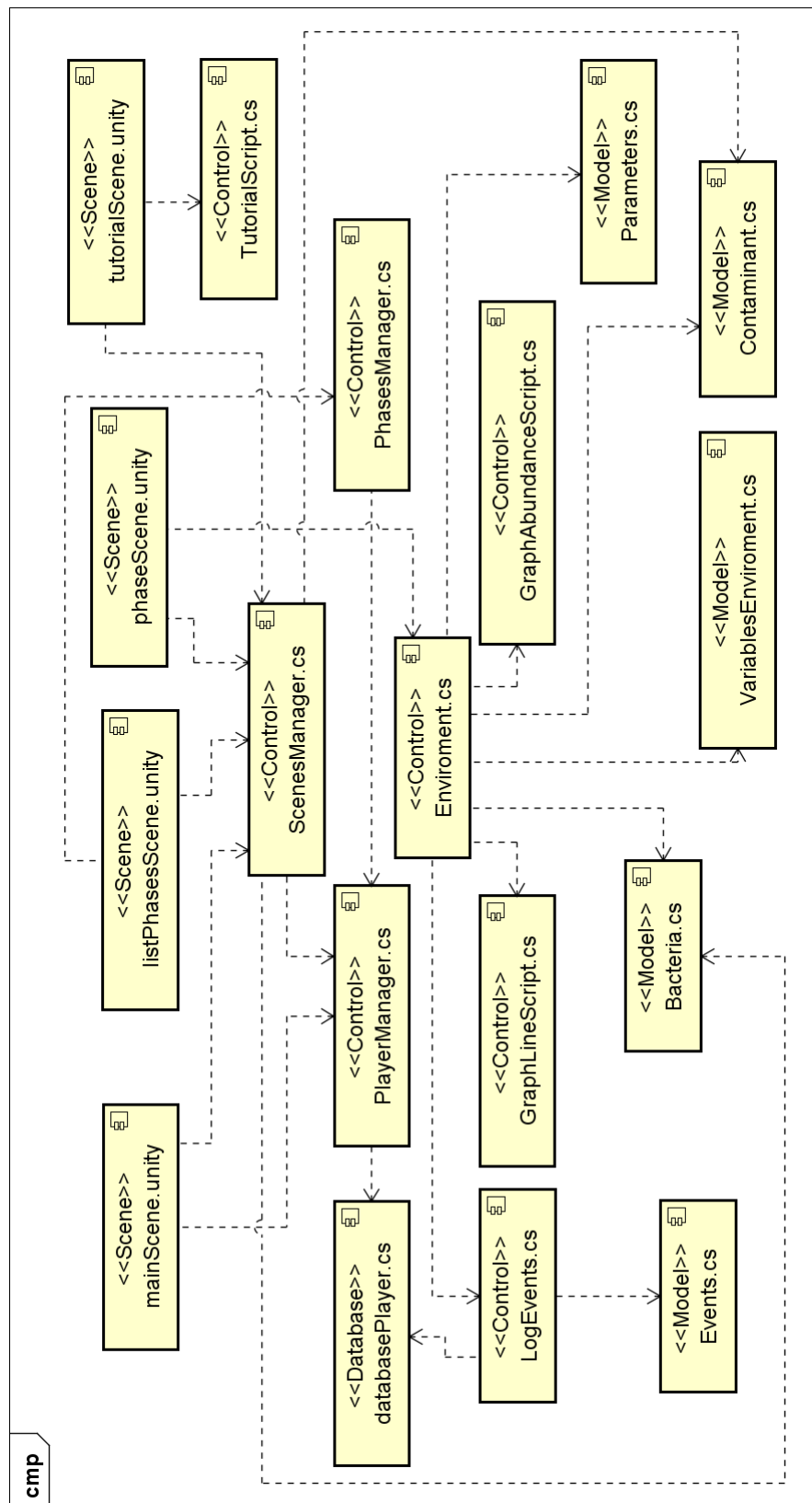


Figura 12: Diagrama de componentes do jogo BioLand

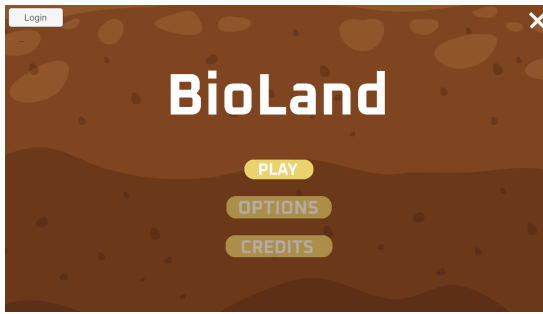
Os componentes com esteriótipo *Scene* representam as cenas do jogo, seguindo o padrão de desenvolvimento do *Unity* de separação do jogo em cenas, cada cena em um conjunto

de objetos de jogo (*GameObjects*) e cada objeto em um conjunto de componentes. A cena `mainScene.unity` representa a tela inicial do jogo. Ela utiliza informações do script `SceneManager.cs`, que é responsável pelo gerenciamento das cenas e o armazenamento de informações passadas de uma cena para outra.

O script `PlayerManager.cs` é responsável pelo registro e pelo login do usuário na plataforma *PlayFab*. O *PlayerManager* utiliza o script `databasePlayer.cs` para a persistência dos dados no *PlayFab*, como o *log* e pontuações obtidas pelo jogador. Após o *login* o jogador é redirecionado para a cena `listPhasesScene.unity` que utiliza o script `PhasesManager.cs` para recuperar as fases concluídas pelo jogador e suas respectivas pontuações.

Uma vez escolhida uma fase disponível, o jogador é redirecionado a cena `phasesScene.unity` que monta a fase correspondente. Caso o jogador esteja jogando a primeira fase, antes de apresentar o cenário da fase, será apresentado ao jogador o tutorial do jogo. O principal componente responsável pelo gerenciamento da fase é o script `Environment.cs` que realiza o ciclo do jogo e executa os métodos *alimentar* e *degradar*. O script também envia as informações da quantidade de contaminante e bactérias para gerar os gráficos de abundância relativa e de contaminação através do script `GraphAbundance.cs` e `GraphLineScript.cs`. Os dados também são usados para registrar o *log* do jogo através do script `logEvents.cs`.

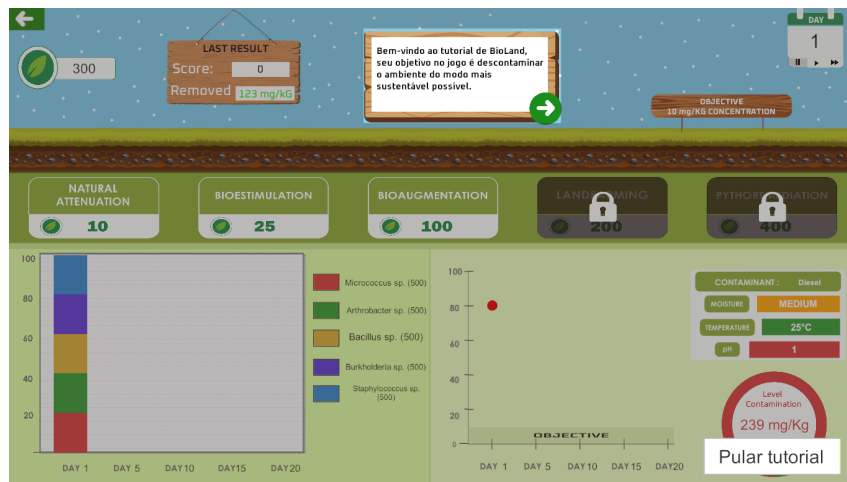
A Figura 13 exibe as telas do jogo. A tela inicial é apresentada na Figura 13(a). Nela o jogador tem as opções de iniciar o jogo, configurar algumas opções de jogo como som e tela cheia e exibir os créditos, as duas últimas opções estão desabilitadas no momento. Na primeira vez que o jogador inicia o jogo, esta tela apresenta a opção para registro e/ou login do jogador, para permitir o armazenamento do *log* do jogo e pontuação. A Figura 13(b) exibe a lista de fases. Cada fase completada pelo jogador pode receber de 1 a 3 estrelas, a depender da pontuação obtida pelo jogador na fase. Essas informações são recuperadas da plataforma *PlayFab* quando o jogador faz o “*login*” no jogo. A Figura 13(c) exibe a tela de tutorial, que é exibida na primeira vez que o jogador joga a fase 1. Já a Figura 13(d) exibe a tela de uma fase em andamento, contendo todos os componentes descritos na Seção 4.2. Por fim, as Figuras 13(e) e (f) exibem as telas de vitória e derrota, respectivamente.



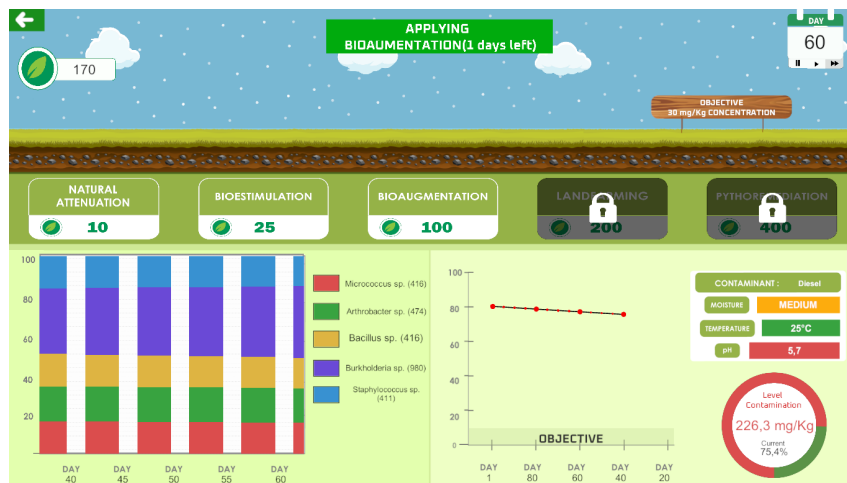
(a) Tela inicial



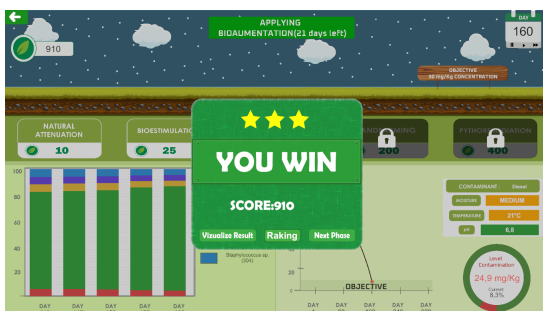
(b) Mapa das fases



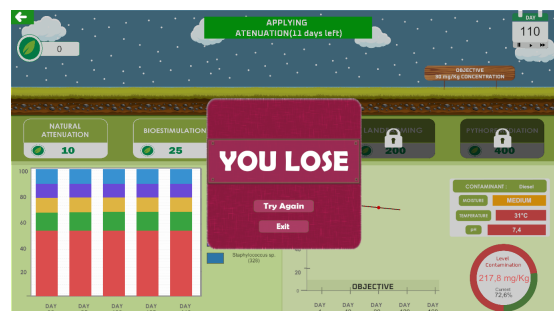
(c) Tela de tutorial



(d) Tela da fase



(e) Tela de vitória



(f) Tela de derrota

Figura 13: Telas do jogo *BioLand*

A Figura 14 exibe o diagrama de classes do jogo *BioLand* onde são exibidas as principais classes e métodos do jogo. A classe *TelaInicial* é onde mostra a primeira tela do jogo, onde o jogador pode registrar ou entrar no jogo, após isso, o jogador é direcionado ao *MapaFases* no qual são exibidas as fases onde existe a classe *Fase* onde roda o *core* do jogo. Há as classes de modelo que são *Bacteria* que exibe o modelo de uma bactéria no *BioLand*, *Degradant* mostra as informações sobre o contaminante e *VariablesEnviroment* sobre as variáveis de ambiente (pH, temperatura e umidade). Por fim, é exibido a classe *Database* onde são salvos dados de usuários e o *log*.

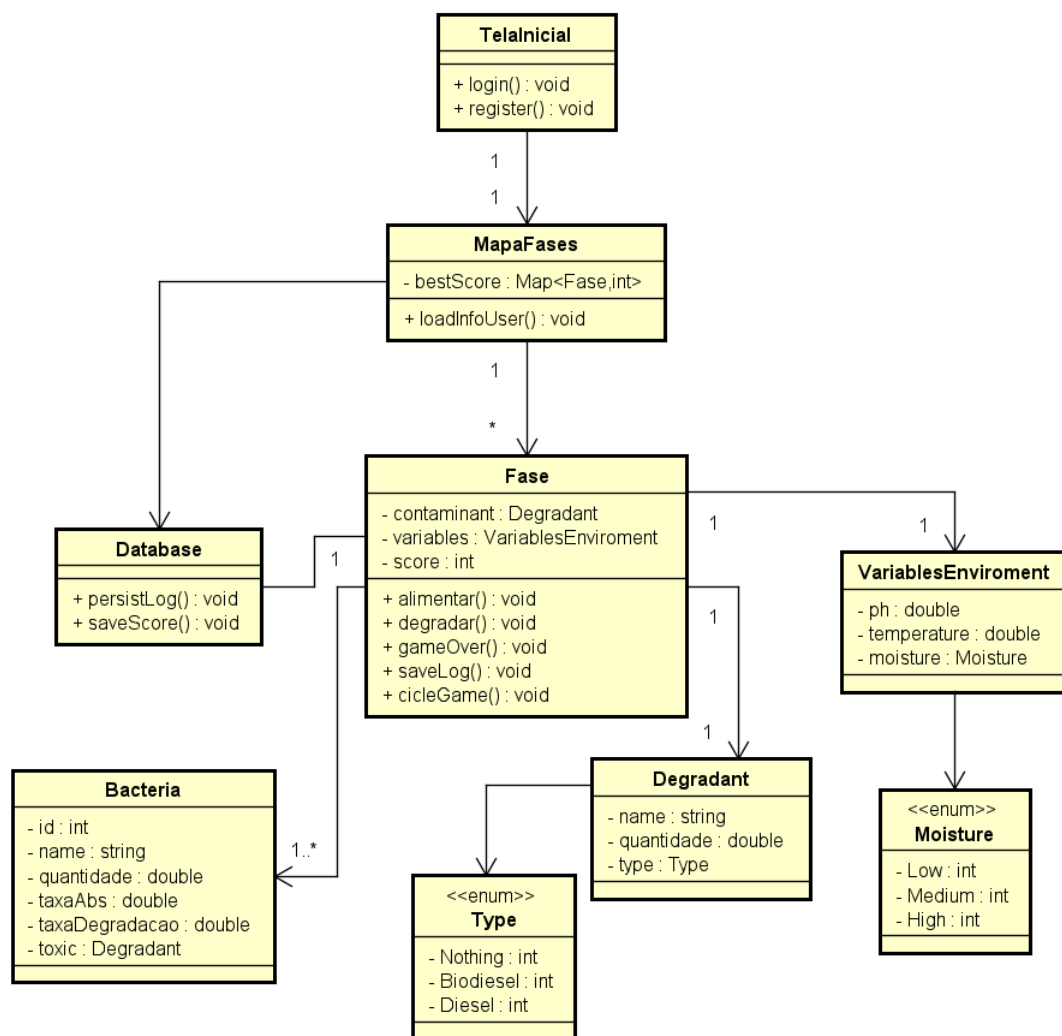


Figura 14: Diagrama de classes do jogo BioLand

Capítulo 5

Experimento

Visando avaliar o uso do *BioLand* como ferramenta de aprendizado, foi realizado um experimento com alunos do ensino médio. O experimento contou com um conjunto inicial de 6 alunos, posteriormente sendo reduzido para 5 devido a desistência do sexto participante. O experimento foi feito em dupla para estimular a cooperação dos participantes, devido a desistência, o participante 5 realizou o experimento individualmente. No experimento o *BioLand* foi utilizado em conjunto com o simulador *EcoLab* [Nogueira, 2020], dado que ambos se complementam no processo de biorremediação. O objetivo do experimento é avaliar se, por meio da utilização das duas ferramentas, os participantes conseguem adquirir competências importantes para o tema de biorremediação.

No *EcoLab* é simulado um ambiente de laboratório onde os jogadores testam as bactérias com os contaminantes com o objetivo de identificar suas relações (se a bactéria degrada ou não o contaminante). A Figura 15 exibe as telas do simulador, a Figura 15a exibe uma Placa de Petri na qual são feitos os testes de bactéria com o contaminante. O jogador pode adicionar mais de uma bactéria para verificar sua relação com o contaminante. Na Figura 15b é exibido o gráfico de quantidade do contaminante *versus* bactéria com o passar do tempo. Nesse gráfico, a redução do contaminante junto com o aumento de uma determinada bactéria indica que a bactéria degrada o contaminante.

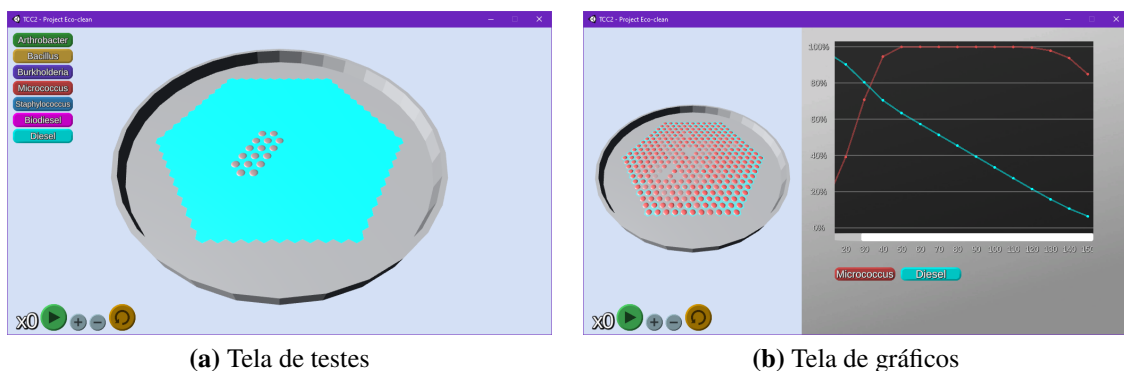


Figura 15: Telas do jogo EcoLab. Retirado de [Nogueira, 2020]

O *BioLand* trata a descontaminação de solos do ponto de vista do trabalho em campo (*in*

situ), simulando o papel do biólogo de ir ao local e, de posse dos resultados das análises, aplicar uma das técnicas de biorremediação disponíveis. Por outro lado, o *EcoLab* mostra de um ponto de vista laboratorial (*ex situ*), onde os jogadores podem testar as interações entre bactérias e contaminantes em um laboratório.

O experimento foi dividido em três etapas, conforme ilustrado na Figura 16. Na primeira etapa os participantes preenchem um questionário de caracterização, cujas perguntas são exibidas na Tabela 2. Nele são identificadas a idade, perfil socioeconômico e conhecimento prévio de biorremediação dos participantes. Todas as perguntas do primeiro questionário são fechadas e objetivas. A Seção 5.1 apresenta os resultados relativos à essa etapa.

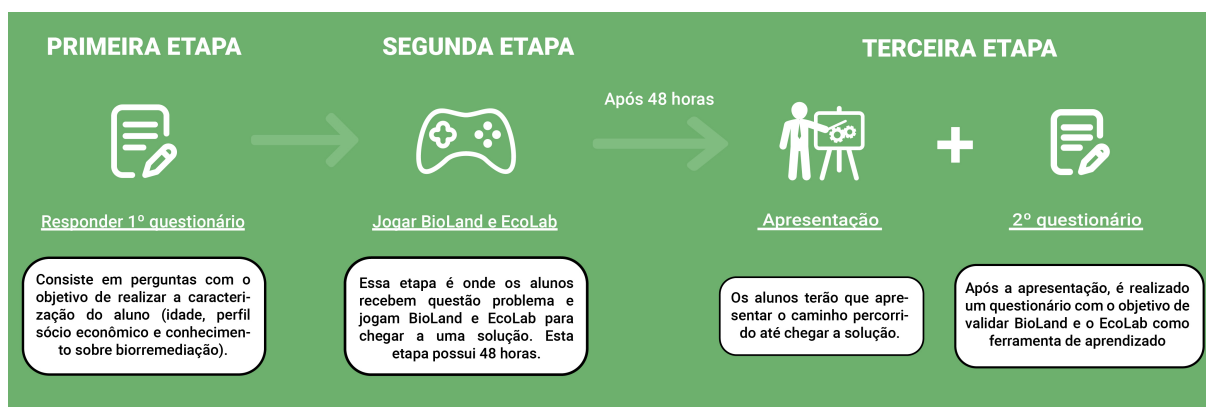


Figura 16: Descrição de cada etapa do experimento

Perguntas
1. Idade
2. Qual a sua escolaridade?
3. Onde você realizou seus estudos de Ensino Fundamental ou equivalente?
4. Onde você está cursando o ensino médio?
5. Selecione os elementos que você possui em casa
6. Você possui acesso a internet?
7. Quantas horas por dia, em média, você gasta com acesso à internet?
8. Que materiais e/ou recursos os professores de Ciências e/ou Biologia costumam utilizar para abordar os tópicos da matéria nas aulas?
9. Você já ouviu falar em biorremediação?
10. Em qual(is) situação(ões) abaixo você já ouviu falar de biorremediação?

Tabela 2: Perguntas do questionário da primeira etapa

A segunda etapa se inicia com a apresentação de uma situação problema aos participantes. A situação problema foi construída de forma a trazer o problema da biorremediação para perto de suas realidades, sendo construída a descrição a seguir¹.

Você trabalha para uma empresa *Concreto S.A.*, do ramo de construção civil. A *Concreto S.A.* acabou de adquirir um terreno de garagem de ônibus na Barra da Tijuca para construção de um novo *Shopping Center*. Verificando amostras de solo do terreno, foi detectada uma contaminação com Diesel numa concentração de 240mg/Kg e com Biodiesel numa concentração de 225mg/Kg (usando como referência a concentração de Tolueno) devido ao armazenamento de combustível.
(...)

Entretanto, de acordo com as regras de construção civil do Rio de Janeiro, para a construção do *Shopping Center*, é preciso que a contaminação se reduza para 30mg/Kg de acordo com valores referência estabelecidos pelo CONAMA. Como traçar uma estratégia de descontaminação do terreno balanceando as variáveis tempo e custo?

Essa situação problema pode ser resolvida com o uso tanto do *BioLand*, quanto do *EcoLab*. Nessa etapa, os participantes têm a disposição vídeos de tutorial de ambos os jogos^{2,3}. Esses vídeos explicam a interface dos respectivos jogos, porém sem adentrar em detalhes do tema biorremediação. Passada a situação problema, os participantes dispõem de 48 horas para jogar os jogos e documentar na forma de uma apresentação todo o caminho traçado até a obtenção de uma resposta para a situação problema. Os participantes foram dispostos em duplas para a realização dessa etapa. A Seção 5.2 analisa o caminho percorrido pelos participantes conforme os *logs* do *BioLand*, comparando-os com o relato dos participantes.

Por fim, a terceira etapa consiste da apresentação pelas duplas de participantes do caminho percorrido para resolver o problema proposto. Durante a apresentação os participantes ainda foram entrevistados quanto a questões específicas sobre o uso do *BioLand* e *EcoLab* que não tivessem claras em suas apresentações. Após essa apresentação os participantes responderam um segundo questionário Segundo questionário, com perguntas abertas, com o objetivo de validar o uso do *BioLand* e *EcoLab* como ferramentas de aprendizado, as perguntas são exibidas

¹A descrição completa da situação problema está disponível em <https://eic.cefet-rj.br/~jsantos/experimento-bioland-e-ecolab/>

²Tutorial *BioLand*: <https://youtu.be/RvU2XsVX5YE>

³Tutorial *EcoLab*: <https://youtu.be/0xbm2eGTfDU>

na Tabela 3. A Seção 5.3 apresenta uma compilação do relato dos participantes, junto com os resultados obtidos a partir do segundo questionário.

Perguntas
1. O jogo possibilitou a vivência de uma estratégia de ensino diferenciada sobre a temática biorremediação. Diante da sua vivência no jogo e no simulador, como você avaliaria essa estratégia didática?
2. Você acha que a ferramenta ajudou a entender o que é biorremediação?
3. Você conseguiria empregar a biorremediação em quais outros problemas?
4. Você se sentiu estimulado a resolver o problema proposto com o jogo e obter bons resultados?
5. O que você achou da interface do jogo?
6. Qual(is) dificuldade(s) você teve no jogo?
7. O que você mais gostou do jogo?
8. Quais seriam suas sugestões para melhorar o jogo?
9. Você tem algum outro comentário?

Tabela 3: Perguntas do questionário da terceira etapa

5.1 Análise da Primeira etapa

Na primeira etapa, os cinco participantes⁴ possuem em média de 16,6 anos. Todos os participantes atualmente estão cursando o ensino médio em uma escola pública federal, sendo 60% cursando o 2^o ano do ensino médio e o restante o 3^o ano do ensino médio. Em relação aos seus estudos no ensino fundamental, os cinco participantes se dividiram em: Escola pública municipal, Escola pública estadual, Escola federal, Escola particular e parte em escola particular e parte em escola pública federal.

Em relação ao perfil sócio econômico, os cinco responderam que possuem computador e celular em casa. Todos os participantes responderam que possuíam acesso a internet, contudo, três responderam possuir internet banda larga. Considerando a quantidade de horas por dia, em média, gastam com o acesso a internet, 60% respondem gastar entre 4 e 6 horas por dia e 40% respondeu mais de 6h por dia.

A Figura 17 exhibe os resultados sobre os materiais que os professores de ciência/biologia

⁴Estamos desconsiderando na análise o participante que abandonou o experimento após a primeira etapa.

usam para abordar os tópicos de matéria na aula (mais de uma opção poderia ser selecionada), 100% dos participantes responderam que os professores usam slides projetados em sala, 80% utilizavam pesquisas e vídeos em plataformas online, 60% utilizam testes, 40% utilizam filmes, livros didáticos e textos, 20% utilizam outros meios de dispor o material e nenhum, dentro dos cinco participantes, utiliza jogos ou livros paradidáticos.

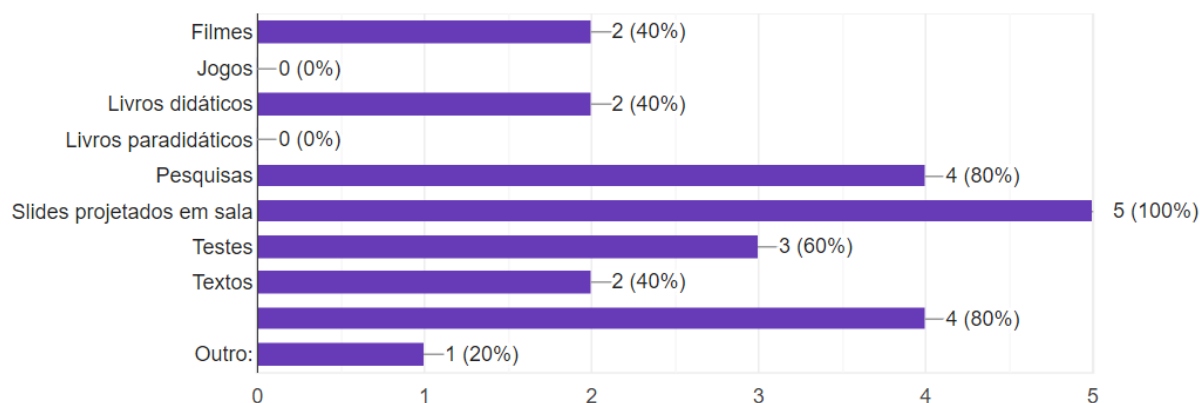


Figura 17: Resultados da pergunta "Que materiais e/ou recursos os professores de Ciências e/ou Biologia costumam utilizar para abordar os tópicos da matéria nas aulas?"

Quando perguntados sobre seu conhecimento de biorremediação 60% responderam conhecer o assunto e o restante respondeu nunca ter ouvido sobre. Dentre os 60% que responderam conhecer biorremediação, todos indicaram ter conhecido por algum de meio de comunicação como televisão, internet e jornais. Um dos participantes indicou ter conhecido por meio de aulas de ciências/biologia. Como esperado, nenhum dos participantes teve conhecimento de biorremediação por meio da revitalização de áreas e descontaminação de solos.

Os resultados da primeira etapa mostram que ninguém utiliza jogos para o aprendizado de tópicos relacionados a biologia, também é importante destacar que a maioria conheceu sobre biorremediação através dos meios de comunicação.

5.2 Análise da Segunda etapa

Esta seção analisa os *logs* de uso do *BioLand* pelos participantes nas 48 horas da segunda etapa, obtidos através do *PlayFab*. Cabe destacar que o participante 1 teve problemas com a instalação do *BioLand*, tendo conseguiu usar apenas o *EcoLab*. O participante 2 jogou cinco vezes o *BioLand* (quatro vezes a fase 1 e uma vez a fase 2), o participante 3 jogou 16 vezes (13 vezes a fase 1 e três vezes a fase 2), o participante 4 jogou 31 vezes (20 vezes a fase 1 e 11 vezes

a fase 2) e o participante 5 jogou apenas duas vezes a fase 1. A Tabela 4 resume a quantidade de tentativas e exibe os status de cada tentativa dos participantes.

Participante	Fase 1			Fase 2		
	win	lose	quit	win	lose	quit
1	-	-	-	-	-	-
2	3	0	1	1	0	0
3	9	1	3	2	0	1
4	8	2	10	8	0	3
5	1	0	1	0	0	0

Tabela 4: Tabela com dados de vitória, derrota e saída obtidos dos participantes

Na Tabela 4, a coluna *win* indica a quantidade de vitórias numa dada fase, a coluna *lose* a quantidade de derrotas e *quit* a quantidade de desistências. Cabe destacar que a quantidade de desistências pode ser associada à derrota numa fase, devido ao fato de o jogador tender a abandonar a fase quando sabe que vai perder. Pela tabela é possível observar que o participante 4 teve dificuldades da fase 1 devido a grande quantidade de abandonos (*quit*). Contudo, na fase 2 teve um bom aproveitamento obtendo oito vitórias.

A Tabela 5 exibe o caminho dos participantes para a tentativa em que obtiveram melhor pontuação na fase 1. É possível visualizar que a melhor pontuação está diretamente relacionada com o tempo de jogo. Quanto mais rápido, melhor a pontuação. Também é possível observar que os participantes 3 e 4 utilizaram a técnica de bioaumento (*bioaugmentation*) na bactéria correta (*Arthrobacter sp.*). Essa bactéria é crucial nesta fase pois é a única capaz de degradar o contaminante (diesel). Assim, é necessário potencializar sua quantidade no terreno a fim de acelerar o processo de degradação. Os participantes 2 e 5 obtiveram pontuações menores devido ao fato de não potencializarem a *Arthrobacter sp.* da melhor forma possível.

Dia	Participantes				
	1	2	3	4	5
0	-	Atenuation	Atenuation	Bioaumentation (<i>Arthrobacter sp.</i>)	Atenuation
30	-	Bioestimulation	Bioestimulation	Bioestimulation	Bioestimulation
60	-	Atenuation	Bioaumentation (<i>Arthrobacter sp.</i>)	Bioestimulation	Bioaumentation (<i>Arthrobacter sp.</i>)
90	-	Bioestimulation	Bioaumentation (<i>Arthrobacter sp.</i>)	Bioaumentation (<i>Staphylococcus sp.</i>)	Bioaumentation (<i>Staphylococcus sp.</i>)
120	-	Atenuation	Bioestimulation	Bioaumentation (<i>Staphylococcus sp.</i>)	Bioaumentation (<i>Staphylococcus sp.</i>)
150	-	Atenuation	Bioestimulation	Bioestimulation	Bioaumentation (<i>Staphylococcus sp.</i>)
180	-	Bioestimulation	Bioestimulation	Bioestimulation	Atenuation
210	-	Atenuation	-	-	Bioaumentation (<i>Staphylococcus sp.</i>)
240	-	Bioaumentation (<i>Bacillus sp.</i>)	-	-	Bioaumentation (<i>Staphylococcus sp.</i>)
270	-	Atenuation	-	-	-
300	-	Bioaumentation (<i>Micrococcus sp.</i>)	-	-	-
330	-	Atenuation	-	-	-
360	-	Atenuation	-	-	-
390	-	Bioaumentation (<i>Burkholderia sp.</i>)	-	-	-
Score final	-	445	1030	940	555

Tabela 5: Tabela com os caminhos das melhores pontuações de cada participante na fase 1

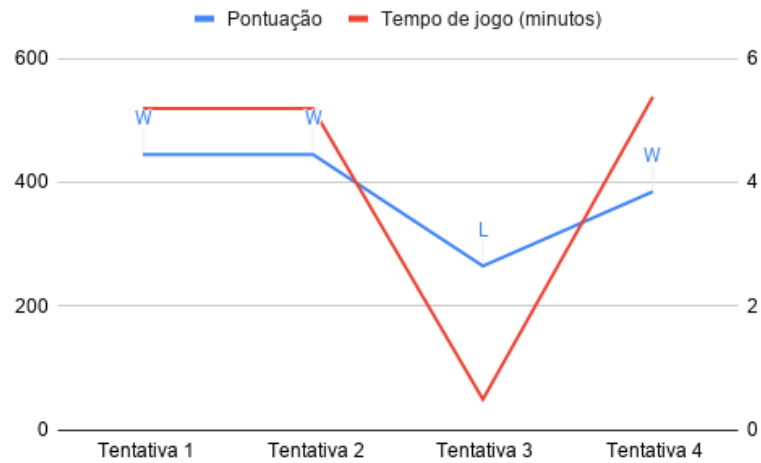
Na fase 2, a dificuldade em relação a primeira é menor devido ao fato de as bactérias disponíveis degradarem o biodiesel mais rápido que o diesel, conforme apresentado em [Matos, 2016]. Na Tabela 6 é exibido o caminho, juntamente com a pontuação final de cada participante. O participante 4 obteve melhor pontuação devido ao fato de utilizar o bioaumentamento em uma das bactérias que degradam o biodiesel (*Burkholderia sp.*). Desta forma conseguiu acelerar o processo de degradação devido ao fato de ter testado anteriormente essa população com o

EcoLab. O participante 2 obteve uma pontuação parecida, mas em um tempo maior utilizando as técnicas de bioestímulo (*Bioestimulation*) e atenuação natural (*Atenuation*) para depois usar o bioaumentamento. Contudo, um bioaumentamento foi feito numa bactéria que degrada o contaminante (*Bacillus sp.*) e outro numa que não degrada o contaminante. O participante 3 obteve uma pontuação menor em relação aos outros devido ao fato de ter errado a bactéria degradadora quando foi utilizar o bioaumentamento, causando uma perda de BioCoins. O participante 5 não jogou a fase 2, logo não registro do caminho deste participante.

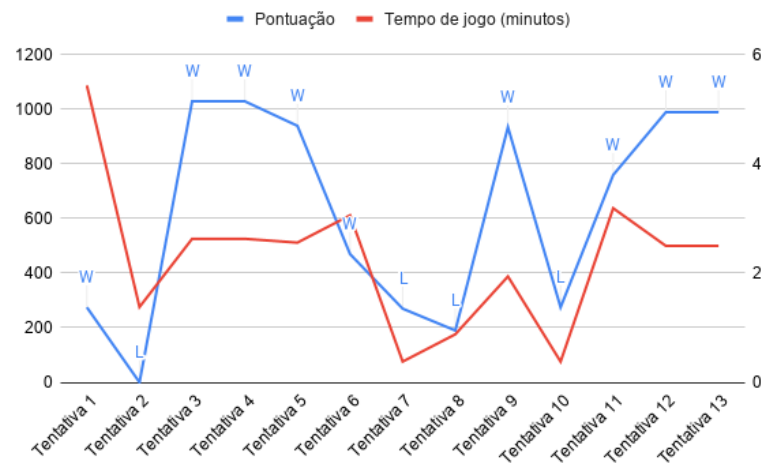
Dia	Participantes				
	1	2	3	4	5
0	-	Atenuation	Bioestimulation	Bioestimulation	-
30	-	Bioestimulation	Bioestimulation	Bioaumentation (Burkholderia sp.)	-
60	-	Bioestimulation	Bioaumentation (<i>Arthrobacter sp.</i>)	Bioaumentation (Burkholderia sp.)	-
90	-	Atenuation	Bioestimulation	Bioaumentation (Burkholderia sp.)	-
120	-	Bioaumentation (Bacillus sp.)	Bioaumentation (<i>Arthrobacter sp.</i>)	-	-
150	-	Bioaumentation (<i>Cupriavidus sp.</i>)	Bioaumentation (<i>Arthrobacter sp.</i>)	-	-
180	-	Bioestimulation	Bioaumentation (<i>Arthrobacter sp.</i>)	-	-
Score final	-	990	765	1035	-

Tabela 6: Tabela com os caminhos das melhores pontuações de cada participante na fase 2

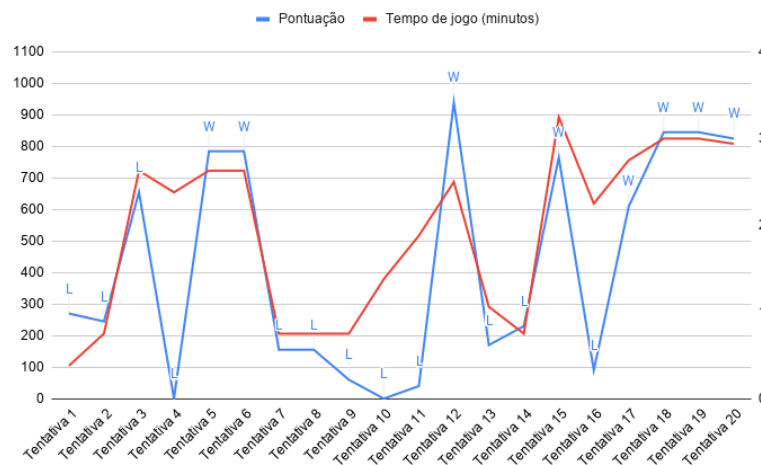
A Figura 18 apresenta gráficos de dois eixos com as tentativas dos participantes 2, 3 e 4 na fase 1. O eixo horizontal representa a tentativa do jogador e os eixos verticais representam pontuação e tempo de jogo. As marcas (W) são usadas para tentativas em que o participante ganhou e (L) para a tentativa em que perdeu ou abandonou o jogo.



(a) Participante 2



(b) Participante 3



(c) Participante 4

Figura 18: Tentativas dos participantes na fase 1, conforme registradas no log.

Na Figura 18(a) é possível observar que o participante 2 obteve duas vitórias nas primeiras

tentativas, sofreu uma derrota e na ultima tentativa obteve vitória com pontuação inferior as duas primeiras tentativas. Na Figura 18(b) é possível observar que o participante 3 ganhou a primeira tentativa com pontuação muito baixa, perdeu na segunda, e após isso oscilou entre vitórias e derrotas. Na Figura 18(c), é possível observar que o participante 4 oscilou entre vitórias e derrotas no início, mas no fim conseguiu uma boa estabilidade de pontuação e tempo. Tanto o participante 3 quanto a 4 obtiveram uma estabilidade de vitórias com uma pontuação alta nas ultimas tentativas, mostrando que conseguiram compreender o caminho para ganhar a fase.

Por fim, a Tabela 7 exhibe o tempo médio de jogo dos participantes no *BioLand*. Esse tempo foi calculado com base nos dias totais multiplicado pelo tempo médio de um dia no jogo (1s no modo normal e 0,5s no modo rápido, sendo usado o tempo médio de 0,75s). Cabe ressaltar que o tempo de instalação, visualização de tutoriais e utilização do *EcoLab* não são contabilizados na tabela. O participante 4 foi o que jogou por mais tempo, isso pode ser explicado pelo alto número de tentativas (ver Tabela 4).

Participante	Tempo de Jogo (minutos)
1	-
2	17,2
3	34,2
4	52,5
5	6,5

Tabela 7: Tabela com tempo de jogo nas fases do *BioLand*

5.3 Terceira etapa

Na terceira etapa, ocorreu apresentação dos participantes sobre a experiencia que tiveram jogando o *BioLand* e o *EcoLab*. Os participantes destacaram os pontos positivos, negativos e dificuldades encontradas durante o experimento. Conforme já apresentado na Seção 5.2, o participante 1 teve problemas na instalação do *BioLand*. Outro problema relatado pelos participantes foi o antivírus notificar que o arquivo de instalação poderia ser um vírus, isso é causado pelo fato do arquivo ser um *.exe*.

Os participantes, em geral, relataram que no inicio tiveram dificuldades no entendimento do jogo e em ganhar as fases nas primeiras tentativas. Sem utilizar o *EcoLab*, o participante 3 relatou que após algumas tentativas conseguiu ganhar a fase, mas com poucos pontos. Após ter

utilizado o *EcoLab*, conseguiu melhorar sua pontuação. O participante 2 relatou ter começado jogando o *BioLand* e relatou que fez o processo testando diferentes técnicas com o objetivo de aprender como elas funcionavam. Contudo, o participante não utilizou muito o *EcoLab*. Isso podendo ter causado um impacto na sua pontuação na fase 1, conforme exibido na Tabela 5. O relato abaixo reforça esse entendimento.

"(...) para conseguir passar as fases eu fui testando, usando diferentes técnicas sem ligar muito para o quanto que eu tava gastando de BioCoins porque eu só queria testar esse o que acontecia e aí lá pela terceira vez/quarta vez que eu fui jogando o primeiro nível que eu entendi como é que funcionava e fui fazendo os outros" (Participante 2)

Após a apresentação feita pelos participantes, foi disponibilizado o segundo questionário. Utilizando a tematização de [Fontoura, 2011] foi feita a escolha dos temas com suas unidade de contexto. Os temas escolhidos foram: (i) Papel do *BioLand*, (ii) Papel do problema proposto e (iii) Game Design do *BioLand*. O primeiro tema (*Papel do BioLand*) é apresentado na Tabela 8.

Tema 1: *Papel do BioLand*

Categorias	Unidades de contexto
<p>Avaliação enquanto estratégia de ensino</p>	<p>Gostei bastante de jogar e da forma que foi elaborado o jogo, o qual possibilita o aluno a entender sobre o assunto mesmo sem nunca ter tido um contato inicial.</p> <p>Avaliaria essa estratégia como uma das melhores que já vi. Após o jogo e o simulador pude notar uma grande evolução com relação a meu conhecimento sobre o assunto tratado!.</p> <p>Estratégia bem traçada, e quando posta em prática deu super certo. Novas estratégias desse tipo melhoram o ensino do aluno, com bastante interatividade, como foi o caso do jogo apresentado.</p>
<p>Conhecimento obtido</p>	<p>Eu tinha apenas um mínimo conhecimento sobre o assunto e conforme fui jogando, entendi melhor sobre o tema.</p> <p>Era totalmente leiga no assunto e logo após usar a ferramenta pude explicar para o professor relativamente bem o assunto. Foi muito gratificante e desejo que outras pessoas possam ter esse sentimento.</p> <p>Quando comecei a jogar não sabia de quase nada sobre o assunto, logo após o início do jogo comecei a interagir com ele e a dinâmica proposta me fez aprender em poucos passos.</p> <p>Mesmo não tendo entendido sobre a questão problema inicialmente, comecei a jogar e consegui aprender na prática o que foi proposto.</p>
<p>Auxílio do EcoLab ao BioLand</p>	<p>Tive muita dificuldade em entender o problema proposto no início. Apenas depois de eu jogar o jogo e utilizar o simulador, com sucesso, que senti facilidade na leitura e compreendi a questão problema.</p> <p>O <i>Ecolab</i> foi um grande facilitador de respostas, para depois irmos ao <i>BioLand</i> pondo literalmente a mão na massa. Porém como o assunto no começo era desconhecido por mim, a solução não foi achada rapidamente e nem com muita facilidade. Depois de muitos testes no <i>Ecolab</i> que consegui obter bons resultados e até mesmo entender a dinâmica do jogo.</p>
<p>Aplicações</p>	<p>Seria ótimo empregar a biorremediação em contaminantes que poluem os rios, para diminuir cada vez mais os problemas decorrentes dessa situação.</p> <p>Creio que conseguiria aplicar a biorremediação em algum problema que envolve petróleo</p> <p>Acho que ela poderia ser usada em tratamento de água e na construção de poços artesianos para uma possível descontaminação do solo ao redor do poço</p>

Tabela 8: Categorias do tema: *Papel do BioLand*

A criação do primeiro tema partiu através das quatro primeiras perguntas do questionário da

terceira etapa que, de modo geral, são perguntas relacionadas a experiência com o *BioLand*. As unidades de contexto em relação a categoria “*Avaliação enquanto estratégia de ensino*” estão de acordo com Savi and Ulbricht [2008] ao apontarem que o jogo possibilita ao aluno entender sobre o tema sem algum contato prévio. Conforme Savi and Ulbricht [2008], isso ocorre pelo fato do jogo educacional atuar como um *facilitador de aprendizado* em vários campos do conhecimento.

A categoria “*Conhecimento obtido*” corrobora com Souza and Dourado [2015] ao apontar que os participantes conseguiram entender melhor o tema e conseguiram explicar bem o assunto. Souza and Dourado [2015] afirmam que através da metodologia da ABP o aluno se torna protagonista de sua aprendizagem, devido a se sentir motivado, valoriza seus conhecimentos, amplia e desenvolve seu potencial para novas aprendizagens.

A categoria “*Auxilio do EcoLab ao Bioland*” indica que os alunos conseguiram ter a percepção que o *EcoLab* potencializa seus resultados no *BioLand*. Tal característica vai de encontro a Figura 2, que mostra que a biorremediação compreende vários processos. No caso, o *BioLand* atua nas etapas *in-situ*, enquanto o *EcoLab* atua na etapa *ex-situ*.

Em relação a categoria “*Aplicações*”, os participantes apresentaram situações onde poderiam utilizar o conhecimento que foi obtido por meio do uso do *BioLand* e do *EcoLab*. Os exemplos apresentados vão de encontro ao que foi apresentado por Souza and Dourado [2015], que a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), promove o processo de desenvolvimento de habilidades, competências e atitudes em todo processo de aprendizagem do tema, podendo aplicar os conceitos aprendidos em outros contextos da vida.

Tema 2: Papel do problema proposto

Categorias	Unidades de contexto
Competitividade	Com certeza, estimula muito para que façamos uma pontuação alta e tente diversas combinações e técnicas Esse jogo impulsionou minha competitividade e sentia que a cada fim de fase conseguia fazer uma pontuação melhor, com mais Biocoins
Contextualização	A questão problema serviu para exemplificar em que situação se empregará a biorremediação. A questão problema do jogo foi muito efetiva, depois de jogar algumas partidas e conhecer um pouco mais do que o jogo oferecia, pude solucionar o problema proposto com mais agilidade.

Tabela 9: Categoria do tema: *Papel do problema proposto*

O tema “*Papel do problema proposto*”, destacado na Tabela 9, exhibe relatos dos participantes em relação ao efeito causado pelo problema proposto na segunda etapa do experimento. As unidades de contexto da categoria “*Competitividade*” vão de encontro ao que foi apresentado por Savi and Ulbricht [2008], ao indicarem que o problema proposto estimulou os alunos a obterem pontuações melhores. De acordo com os autores, umas das características que os jogos digitais educacionais podem trazer ao processo de aprendizagem é se transformarem em agentes de *socialização* a medida que aproximam os jogadores competitivamente ou cooperativamente.

Na categoria “*Contextualização*” são exibidos relatos do participantes sobre o impacto da contextualização, através do problema proposto, no *BioLand* e *EcoLab*. Os relatos vão de encontro a Duré et al. [2018] por apontar que os jogos serviram para exemplificar a situação, que é um papel muito importante. Segundo os autores, a contextualização é uma ferramenta importante no ensino da biologia pois na matéria existem muitos termos complexos e com pouca relação com a realidade dos estudantes. Trazer esses temas de uma maneira mais próxima ao cotidiano do aluno se torna uma tarefa importante.

O tema “*Game Design do BioLand*”, exibido na Tabela 10, destaca os aspectos de implementação e interface do jogo, bem como suas dificuldades e qualidades. A categoria “*Compreensão*” destaca a compreensão dos participantes em relação a interface do jogo. Os participantes escreveram que a interface foi clara, explicativa e objetiva. Esses relatos estão de acordo com o trabalho de Prieto et al. [2005], pois, segundo os autores, o apelo visual do jogo acaba chamando a atenção de jogadores, e até professores.

A categoria “*Dificuldades*” destaca as dificuldades encontradas pelos participantes durante o uso do jogo. Os principais problemas destacados foram: Problemas de segurança no download e mais interatividade na interface, como no tutorial.

Por fim, a categoria “*Possibilidades do BioLand*”, apresenta relatos da experiência dos participantes com o *BioLand*. Os participantes destacaram que obtiveram uma experiência que provavelmente não teriam. Esse fato vai de encontro ao benefício de *experiência de novas identidades* promovido por jogos educacionais destacado por Savi and Ulbricht [2008]. Neste, o jogador possui oportunidades de experiências de imersão em outros mundos e vivenciar diferentes identidades. No caso do *BioLand*, Os participantes vivenciaram a vida de um biólogo que faz biorremediação de solos.

Tema 3: *Game Design do BioLand*

Categorias	Unidades de contexto
Compreensão	<p>O jogo é complexo no início para os leigos, porém após algumas tentativas e erros ele se torna fácil de se compreender e jogar. Principalmente se o Ecolab for usado junto.</p> <p>A interface do jogo foi muito clara, explicativa, e objetiva. Quando abri o jogo o tutorial foi bem esclarecedor, e ainda foi bem breve nas palavras. Que ajudou a dinamizar o jogo.</p>
Dificuldades	<p>Apenas o Download, as outras dificuldades foram por questão de falta de conhecimento sobre biorremediação o que me fez ter que repetir as fases do jogo para assimilar tudo.</p> <p>Tive a dificuldade de baixar e da permissão de segurança para o jogo ser instalado no meu computador.</p> <p>A interface, mesmo com o tutorial foi meio complicada de entender, no início. Sugiro que fizesse um tutorial para mostrar como jogar (pelo menos o básico), acredito que ajudaria quem fosse jogar e ainda passaria mais conhecimento, indiretamente.</p> <p>Não apresentei muitas dificuldades no jogo, ocorreu um apenas um impasse com relação ao meu conhecimento da matéria, que dificultou um pouco eu achar a solução para o problema proposto. Que logo foi resolvido quando eu coloquei a mão na massa o jogo.</p>
Possibilidades do BioLand	<p>A forma leve com que o assunto foi levado para plataforma tornando mais divertido.</p> <p>O jogo permitiu eu vivenciar uma experiência que provavelmente eu não teria, além de eu aprender de uma forma mais prática sobre a biorremediação.</p> <p>Gostei muito que eu aprendi o que é biorremediação brincando. Uma matéria que poderia levar uma aula, aprendi em poucos passos e consegui me divertir.</p>

Tabela 10: Categorias do Tema: *Game Design do BioLand*

Ao final da entrevista foi feita uma pergunta simulando uma situação real:

Uma pessoa quer construir um *shopping center*, contudo o solo está contaminando, e os participantes foram contratados como consultores que dão o aval para permitir a construção com base na situação do solo, após fazer todas as simulações no *BioLand* e no *EcoLab*, qual plano será traçado para resolver a situação desta pessoa?

O participante 3 respondeu que deveria checar as condições do solo inicialmente e utilizar as bactérias que degradam o diesel e o biodiesel, o restante dos integrantes do experimento seguiram a mesma linha do participante 3. O relato abaixo exibe o trecho da fala do participante 3, indicando que o mesmo foi capaz de compreender o conceito da biorremediação, bem como utilizar em situações reais de descontaminação de solos. O relato a seguir reforça essa percepção.

"Eu acho que deveríamos checar as condições do solo, o pH, a umidade, como vimos no jogo, e ver o momento certo, porque no início no jogo eu tentei pela bioestimulação, e logo depois o pH ficou melhor, e nesse momento eu diria para você usar a bactéria apropriada para aquele contaminante (...) Para o diesel, você deveria utilizar a Arthobacter, porque fizemos os testes em laboratório e notamos que ela era a mais eficiente para o contaminante que está no seu solo, então eu deveria usar essa, procurar as melhores condições, e no melhor momento testar essa bactéria no seu solo que vai dar certo. Na segunda situação, no biodiesel, era a Bacillus e a Burkholderia. Você pode ver qual é a que melhor te convém, e você utiliza no solo também após checar as condições dele" (Participante 3)

Capítulo 6

Conclusão

Com a evolução tecnológica, novas técnicas de aprendizado são desenvolvidas para fazer com que os alunos consigam aprimorar seus conhecimentos de uma forma mais agradável. A ABP utiliza uma abordagem onde os alunos enfrentam situações-problemas reais para melhorar sua compreensão sobre um tema. Por outro lado, jogos educacionais são ferramentas de suma importância para exibir o conteúdo de forma amigável e interativa e, também, estimulando a competição e cooperação entre participantes.

Diversos jogos educacionais foram desenvolvidos com o objetivo de facilitar o aprendizado dos alunos em assuntos de biologia que foram *MicroWar*, *Painel de Microbiologia*, *Mircroligue*, *Célula Adentro* e *Control Harvest 2*. Contudo, não foi possível encontrar jogos analógicos ou digitais que abordem o assunto da biorremediação no âmbito escolar. O ensino de biorremediação apresenta um desafio de ser um tema com pouca ligação com o cotidiano dos alunos, dificultando assim sua compreensão [Duré et al., 2018].

Nesse contexto, o *BioLand* tem como objetivo criar uma nova perspectiva, utilizando conceitos da ABP e de jogos educacionais, para o aprendizado de uma área importante da biologia que é a biorremediação. Utilizando o *BioLand*, o aluno possuirá diversos desafios para construir seu conhecimento sobre técnicas de biorremediação, características físicas e químicas do solo e sobre a diversidade microbiana.

Cada fase do jogo apresenta um desafio diferente para a construção do aprendizado de forma lúdica. Cada uma possui características de solo diferente e contaminantes diferentes tornando o jogo dinâmico e requerendo que o jogador se adapte a diversas situações-problema. Ainda, o jogo possui um *ranking* para estimular a competitividade entre jogadores e, de acordo com Savi and Ulbricht [2008], fortalecer o aprendizado.

O *BioLand* foi desenvolvido na plataforma *Unity* e seu banco de dados fica disponível na nuvem utilizando a plataforma *PlayFab*. Esse banco é utilizado para salvar os dados dos jogadores e seus respectivos *logs* que representam um caminho traçado pelo jogador durante uma fase.

Um experimento de uso do *BioLand* feito juntamente com a ferramenta *EcoLab* apresen-

tou resultados muito significativos. Os experimentos mostraram que os participantes, mesmo com um período curto para jogar, conseguiram absorver conceitos importantes da biorremediação. Ainda, foi possível observar que os participantes foram capazes de aplicar os conceitos absorvidos em situações reais.

Ainda, os participantes indicaram que o uso da ferramenta *EcoLab* complementa o processo realizado no *BioLand*. Esse resultado corrobora o esperado ao focar o *BioLand* nas etapas de biorremediação *in situ* apresentadas na Figura 2. Desta forma, o *EcoLab* parte de uma visão do *Laboratório* e o *BioLand* abrange as etapas de *Análise de Solo*, *Planejamento/Decisão* e *Aplicação em Campo*.

6.1 Limitações

Atualmente, o *BioLand* não possui som. Acredita-se que isso pode causar uma perda na ambientação dos jogadores. Ainda, conforme apresentado no Capítulo 4, tanto o botão de opções (que exibe configurações de som e tela cheia) e créditos estão desabilitados. Para habilitar essas opções, faz-se necessário implementar tanto uma tela de controle das configurações do jogo, quanto uma tela para apresentar os créditos.

Nos experimentos foi possível observar algumas limitações relacionadas à implementação do *BioLand*. Os participantes relataram problemas de segurança para a instalação do *BioLand*, devido ao fato de o sistema operacional reconhecer o arquivo executável como potencial vírus. Também foram relatados problemas com os gráficos do jogo, o que impossibilitou o uso do *BioLand* pelo participante 1.

Relacionado ao *design* do jogo, foi possível observar nos experimentos que os participantes não compreenderam as situações-problemas apresentadas em cada fase. Foi relatado por eles que o entendimento dessa situação só melhorou após jogar os dois jogos em conjunto. Ainda, percebeu-se que os participantes não perceberam a influência das variáveis de ambiente (umidade, pH, temperatura) na descontaminação e aumento da população de bactérias. Acredita-se que essa falta de percepção causou uma perda na evolução do conhecimento do tema biorremediação.

Apesar dos experimentos indicarem um potencial do uso tanto do *BioLand* quanto do *EcoLab* como ferramenta de ensino de biorremediação, os experimentos foram realizados com um número baixo de participantes. Ressaltamos a dificuldade na realização de experimentos, dado o cenário de pandemia, fazendo com que todas as etapas tivessem que ser realizadas de forma

virtual. Apesar de facilitar o acesso, essa configuração diminui o controle sobre a realização do experimento.

Por fim, apesar de toda a entrevista com os participantes na etapa 3 ter sido transcrita, a tematização apresentada considera apenas os relatos apresentados no segundo questionário. Esta foi uma escolha por conta do grande número de parâmetros a serem analisados e da falta de tempo para realizar essa análise. A transcrição foi utilizada apenas para uma análise dos trechos que reforçavam os objetivos do experimento.

6.2 Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, pretende-se resolver os problemas destacados na seção anterior. Em relação às limitações de implementação pretende-se fazer a inclusão de áudio para jogo e ações do jogador com o objetivo de melhorar a ambientação do jogo. Com relação às funcionalidades do *BioLand*, pretende-se implementar os botões de *Opções* e *Créditos*. Também pretende-se incluir outras técnicas como fitorremediação e *landfarming*, para dinamizar o jogo e os jogadores possuem mais caminhos para ganhar o jogo. Por fim, uma funcionalidade deixada como trabalho futuro é uma maior integração do *BioLand* com o *EcoLab*, dado a complementariedade de ambos.

Com relação aos problemas de uso reportados pelos participantes, pretende-se utilizar apenas a pasta com o jogo e não um instalador, devido aos problemas de segurança. Em relação aos problemas dos gráficos será necessário analisar as dependências necessárias para o funcionamento do jogo.

Em relação ao *game design*, um trabalho futuro é criar uma história no jogo onde o jogador é um biólogo e, em cada fase, o jogo apresenta um jornal com uma notícia descrevendo o que aconteceu (por exemplo, um derramamento de petróleo). Essa notícia também mostrará o contaminante, bactérias e objetivo da fase com o intuito de facilitar o entendimento do jogador sobre a situação problemas da fase. Outro ponto é realizar o ajuste das variáveis de ambiente, encontrando um modo de equilibrar o impacto delas com a dificuldade na jogabilidade.

Sobre a limitação de resultados, os trabalhos futuros tem como objetivo realizar uma análise qualitativa do que foi falado na entrevista. Como resultado dos experimentos tem-se a transcrição de aproximadamente 1 hora e 15 minutos de gravação. A análise aprofundada dessa transcrição será importante para incrementar as conclusões apresentadas no Capítulo 5. Também, será realizado um novo experimento com professores e alunos para mostrar ambos pontos

de vista acerca do *BioLand*. Por fim, pretende-se realizar mais experimentos com mais alunos, de forma a dar mais confiabilidade aos resultados encontrados.

Referências Bibliográficas

- Andrade, J., Augusto, F., and Jardim, I. (2010). Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. *Eclética Química*, 35:17–43.
- Atagana, H., Haynes, R., and Wallis, F. (2003). Optimization of soil physical and chemical conditions for the bioremediation of creosote-contaminated soil. *Biodegradation*, 14:297–307.
- BioJogos (2020). Acesso em 9 de dezembro de 2020.
- Candeias, J. M. G., Hiroki, K. A. N., and Campos, L. M. L. (2007). A utilização do jogo didático no ensino de microbiologia no ensino fundamental e médio. *São Paulo*.
- Carvalho, M. L. C., Souza, R., and Carvalho, M. L. C. (2002). Microligue: o jogo das associações. In *Congresso Instituto Ciências Biomédicas, IV*. Comissão de Cultura e Extensão Universitária do ICB/USP.
- Christine Claire Gaylarde, Maria de Lourdes Bellinaso, G. P. M. (2005). Aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos.
- de Meira Gusmão, A. O., da Silva, A. R., and Medeiros, M. O. (2017). A biotecnologia e os avanços da sociedade. *Biodiversidade*, 16(1).
- dos Santos, S. C., de Castro, D. C. M., de Assunção, P. S., dos Santos, T. L., and Quintella, C. M. (2018). Mapeamento tecnológico de processos microbianos aplicados na biorremediação de metais pesados. *Cadernos de Prospecção*, 11(5):1740.
- Duré, R. C., ANDRADE, M. J. D., and Abílio, F. J. P. (2018). Ensino de biologia e contextualização do conteúdo: quais temas o aluno de ensino médio relaciona com o seu cotidiano. *Experiências em Ensino de Ciências*, 13(1):259–271.
- Fontoura, H. A. d. (2011). Tematização como Proposta de Análise de Dados na Pesquisa Qualitativa. *Niterói: Intertexto*.
- Interaminense, B. d. K. S. (2019). A importância das aulas práticas no ensino da biologia: Uma metodologia interativa/the importance of practical lessons in the teaching of biology: An interactive methodology. *ID on line REVISTA DE PSICOLOGIA*, 13(45):342–354.

- Jacques, R. J. S., Bento, F. M., Antonioli, Z. I., and de Oliveira Camargo, F. A. (2007). Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. *Ciência Rural*, 37(4):1192–1201.
- Machado, A. L. and Carvalho, M. L. C. (2002). Microwar: o jogo da estratégia. In *Congresso Instituto Ciências Biomédicas, IV*. Comissão de Cultura e Extensão Universitária do ICB/USP.
- Marques, F. P. (2019). Jogo eletrônico para apoio ao ensino de manejo agrícola. Diploma thesis, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ).
- Matos, G. I. (2016). *Avaliação da comunidade microbiana cultivável e atividade biodegradadora na biorremediação de solos contaminados com diesel B5 e biodiesel (B100)*. PhD thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Morais Filho, M. and Coriolano, A. C. F. (2016). Biorremediação, uma alternativa na utilização em áreas degradadas pela indústria petrolífera. *HOLOS*, 7:133–150.
- Moreno-Ger, P., Burgos, D., Martínez-Ortiz, I., Sierra, J. L., and Fernández-Manjón, B. (2008). Educational game design for online education. *Computers in Human Behavior*, 24(6):2530–2540.
- Nogueira, L. H. d. R. L. (2020). Educational simulator to assist the study of biorremediation through the interactive observation of microorganism populations. Diploma thesis, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ).
- Prieto, L., Carmo, M., Trevisan, B., Danesi, M., and Falkembach, G. (2005). Uso das tecnologias digitais em atividades didáticas nas séries iniciais. *RENOTE*, 3.
- Savi, R. and Ulbricht, V. (2008). Jogos Digitais Educacionais: Benefícios e Desafios. *RENOTE*, 6.
- Souza, S. and Dourado, L. (2015). Aprendizagem baseada em problemas (abp): Um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo. *HOLOS*, 5:182.
- Spiegel, C. N., Alves, G. G., Cardona, T. S., Melim, L. M., Luz, M. R., Araújo-Jorge, T. C., and Henriques-Pons, A. (2008). Discovering the Cell: An Educational Game about Cell and Molecular Biology. *Journal of Biological Education*, 43(1):27–36.

- Tótola, M. and Chaer, G. (2002). Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. *Tópicos em ciência do solo*, 2(3):195–276.
- Viotti, M. A. P., da Costa, T. F., Amaral, W. D. M., and de Andrade Rodrigues, D. C. G. (2017). Biorremediação de solo contaminado por óleo lubrificante usado em biopilha de bancada. *Cadernos UniFOA*, 12(34):5–14.
- Volkov, I., Banavar, J. R., Hubbell, S. P., and Maritan, A. (2003). Neutral theory and relative species abundance in ecology. *Nature*, 424(6952):1035–1037.