Universidade de São Paulo

Instituto de Biociências

Instituto de Química

Instituto de Física

Faculdade de Educação

Danilo Fogaça de Macedo

O uso da simulação baseada em hipervídeo como recurso de
ensino e aprendizagem de botânica

São Paulo
2018

Danilo Fogaça de Macedo

O uso da simulação baseada em hipervídeo como recurso de
ensino e aprendizagem de botânica

Versão Corrigida

Dissertação apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Área de concentração: Ensino de Biologia

Orientador: Guilherme A. Marson

São Paulo
2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Macedo, Danilo Fogaça de

O uso da simulação baseada em hipervídeo como recurso de ensino e aprendizagem de botânica. São Paulo, 2018.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Andrade Marson
Área de Concentração: Ensino de Biologia

Unitermos: 1. Biologia – Estudo e Ensino; 2. Tecnologia educacional; 3. Ensino médio; 4. Simulação (Aprendizagem); 5. Prática de ensino.

USP/IF/SBI-001/2018

*Ao meu avô,
que me sonhou mestre.*

AGRADECIMENTOS

Certamente que o agradecimento mais importante é aquele destinado à minha mãe e ao meu pai. Foram eles que, como muito esforço, proveram a educação que recebi durante tantos anos e que foi responsável pela possibilidade de elaborar esta dissertação. Agradeço a eles e às minhas irmãs pelo amor, dedicação e companhia.

Não posso também deixar de agradecer ao Prof. Dr. Guilherme Marson pela paciência em me orientar mesmo ciente da minha rotina atribulada e das minhas dificuldades. Obrigado por acreditar em mim, os aprendizados foram muitos.

Que também conste a gratidão ao Bob, porque sem ele eu jamais teria as portas abertas para realizar esta pesquisa. Agradeço por interceder por mim e por ser uma referência na docência em biologia.

Agradeço também os meus alunos por participarem tão ativamente desta trajetória. Agradeço a todos e todas pelo carinho e pela jornada, mas agradeço especialmente aqueles que participaram deste trabalho e compartilharam comigo seu saber para que esta etapa da minha vida fosse concluída.

Finalmente, não posso esquecer de agradecer todas as outras pessoas que caminharam comigo nos últimos anos. À Carol, obrigado pela parceria constante e infalível. Não poderia esquecer do Rodolfo, que mesmo sem perceber esteve presente quando os dias ficaram difíceis. Obrigado à Fernanda, não apenas pela incrível amizade, mas também por ser minha maior torcedora. E, também, é impossível não citar aqueles e aquelas que invariavelmente estiveram comigo nos últimos anos: Mariana, Fábio, João, Talitha, Aline e Letícia.

Como professor, seria impossível não lembrar também de todos os professores que marcaram minha vida e me trouxeram até aqui. Carregarei sempre todas e todos vocês comigo.

RESUMO

MACEDO, Danilo Fogaça de. **O uso da simulação baseada em hipervídeo como recurso de ensino e aprendizagem de botânica**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

O estudo do reino vegetal, apesar de sua importância, pode ser bastante desafiador, não apenas devido à dificuldade de aproximá-lo do cotidiano dos alunos, mas também em decorrência da grande extensão curricular prevista para o ensino médio. Logo, pode ser difícil para o professor propiciar situações de aprendizagem que privilegiem a construção do conhecimento pela experimentação. É importante, pois, que haja o desenvolvimento de ferramentas que visem ampliar as possibilidades de ensino e aprendizagem em ciências, e que assim possam fornecer condições para que professores consigam abordar o currículo em contextos investigativos e dinâmicos. Ademais, no caso da botânica, muitas vezes há dificuldade em observar certos fenômenos relacionados às plantas em sala de aula, como é o caso do fototropismo. Para tanto, o desenvolvimento de recursos educacionais, como simuladores, pode ser uma alternativa para o encaminhamento de conteúdos considerados difíceis de serem ensinados e aprendidos pelos meios tradicionais. Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um simulador baseado em hipervídeo capaz de atuar como ferramenta no ensino e aprendizagem de conceitos de botânica. Propõe-se que a simulação seja uma ferramenta adequada para a análise do comportamento fototrópico, uma vez que este fenômeno se torna facilmente observável pela simulação do tempo, favorecendo a adoção de metodologias capazes de confrontar os alunos com as suas concepções alternativas do fenômeno sem que sejam priorizadas a memorização e a transmissão de conteúdos. Dessa maneira, a simulação fornece condições aos aprendizes de aplicar o conceito de fototropismo em diversos contextos diferentes, extrapolando a compreensão deste conteúdo para além das suas concepções prévias. A elaboração do simulador foi feita com auxílio da plataforma tecnológica do portal LABIQ (Laboratório Integrado de Química e Bioquímica), instrumento que permite que professores e alunos produzam seus próprios objetos de aprendizagem. O simulador foi utilizado em situações de ensino com alunos da 2ª série do ensino médio de uma escola particular da cidade de São Paulo. As concepções dos alunos acerca do

fototropismo foram identificadas de quatro maneiras: i – pela aplicação de pré-testes e pós-testes, ii – pela gravação das interações aluno-simulador utilizando um *software* de captura de tela, iii – pela análise das hipóteses construídas pelos alunos sobre o comportamento das plantas e iv – pelas representações visuais elaboradas pelos alunos sobre o fototropismo. Os resultados apontam para o entendimento de que a aprendizagem pode ser privilegiada em situações de ensino nas quais os estudantes têm a oportunidade de experimentar suas próprias hipóteses, confrontando suas concepções prévias com o registro do fenômeno estudado.

Palavras-chave: Ensino e aprendizagem. Tecnologia educacional. Simulação. Ensino de botânica.

ABSTRACT

MACEDO, Danilo Fogaça de. **The use of hypervideo-based simulation as a teaching and learning resource for botany.** 2018. Dissertation (Master's Degree) – Post-graduate Program in Science Teaching, University of São Paulo, São Paulo, 2018.

The study of the plant kingdom, despite its importance, can be quite challenging, not only due to the difficulty of bringing it closer to students' daily lives, but also due to the great extension of the curriculum planned for high school. Therefore, it may be difficult for the teacher to provide learning situations that privilege the construction of knowledge through experimentation. It is therefore important to develop tools to expand the possibilities of teaching and learning in science and thus provide the conditions for teachers to be able to approach the curriculum in research and dynamic contexts. In addition, concerning botany, it is often difficult to observe certain phenomena related to plants in the classroom, as it is the case of phototropism. Therefore, the development of educational resources, such as simulators, can be an alternative for the referral of content considered difficult to be taught and learned by traditional means. This work aimed to develop a simulator based on hypervideo, capable of acting as a tool in teaching and learning botany concepts. It is proposed that simulation is an adequate tool for the analysis of phototrophic behavior, since this phenomenon is easily observable by time simulation, favoring the adoption of methodologies able to confront students with their alternative conceptions of the phenomenon without priority being given to the storage and transmission of content. In this way, the simulation provides conditions for the apprentices to apply the concept of phototropism in several different contexts, extrapolating the comprehension of this content beyond their previous conceptions. The elaboration of the simulator was done using the technological platform of the LABIQ (Integrated Chemistry and Biochemistry Laboratory) portal, an instrument that allows teachers and students to produce their own learning objects. The simulator was used in teaching situations with high school students of a private school in the city of São Paulo. Students' conceptions of phototropism were identified in four ways: i - by applying pre-tests and post-tests, ii - by recording student-simulator interactions using screen capture software, iii - by analyzing constructed hypotheses by students about the behavior of plants and iv - by visual representations made by students about phototropism. The results point to the understanding that learning can be privileged in teaching situations in which students

can experience their own hypotheses, confronting their previous conceptions with the record of the phenomenon studied.

Keywords: Teaching and learning. Educational technology. Simulation. Botany teaching.

Lista de figuras

Figura 1 - Características dos conhecimentos prévios	29
Figura 2 - Exemplo de representação visual de plantas apresentando fototropismo	46
Figura 3 - Diagrama de navegações possíveis em simuladores	62
Figura 4 – Primeira versão da caixa para filmagem dos coleóptiles, fechada	68
Figura 5 - Interior da primeira versão da caixa de filmagem	69
Figura 6 – Interior da primeira versão da caixa montada	70
Figura 7 - Segunda versão da caixa escura, em papelão	71
Figura 8 - Interior da segunda versão da caixa escura, em papelão.....	71
Figura 9 - Diagrama de funcionamento básico do simulador	73
Figura 10 – Exemplo do menu de opções do simulador (versão 2016)	88
Figura 11 – Exemplo de vídeo de coleóptiles crescendo sob estímulo luminoso unilateral.....	89
Figura 12 - Análise de clusters* em 2016 (GC1)	93
Figura 13 - Análise de clusters* em 2016 (GC2)	96
Figura 14 – Análise de clusters* em 2016 (GC3)	100
Figura 15 - Análise de clusters* em 2017 (GC1)	103
Figura 16 - Análise de clusters* em 2017 (GC2)	106
Figura 17 - Análise de clusters* em 2017 (GC3)	110
Figura 18 – Representações visuais do aluno 21F	120
Figura 19 – Representações visuais do aluno 14E	122
Figura 20 – Representações visuais do aluno 22D	124
Figura 21 – Análise de clusters* (turmas de 2016).....	128
Figura 22 – Análise de clusters* (turmas de 2017).....	137
Figura 23 – Interação alunos-professor na sala de aula regular	145
Figura 24 – Interação alunos-professor durante levantamento de hipóteses	146
Figura 25 – Interação alunos-professor durante interação com simulador.....	146
Figura 26 - Dendograma para o grupo conceitual 1 (turmas A, B e C)	206
Figura 27 - Dendograma para o grupo conceitual 1 (turmas D, E e F).....	207
Figura 28 - Dendograma para o grupo conceitual 2 (turmas A, B e C)	208
Figura 29 - Dendograma para o grupo conceitual 2 (turmas D, E e F).....	209
Figura 30 - Dendograma para o grupo conceitual 3 (turmas A, B e C)	210
Figura 31 - Dendograma para o grupo conceitual 3 (turmas D, E e F).....	211

Figura 32 - Dendograma geral das turmas A, B e C.....	212
Figura 33 - Dendograma geral das turmas D, E e F	213

Lista de gráficos

Gráfico 1 – Composição das provas de biologia da Fuvest (2005 – 2015)	
por área.....	27
Gráfico 2 - Composição das provas de biologia da Unicamp (2005 – 2015)	
por área.....	28
Gráfico 3 – Diagrama de navegação (teste 1, aluno 7A, cluster I)	130
Gráfico 4 – Diagrama de navegação (teste 1, aluno 41B, cluster II)	131
Gráfico 5 – Diagrama de navegação (teste 1, aluno 36A, cluster III)	131
Gráfico 6 – Diagrama de navegação (teste 2, aluno 7A, cluster I)	132
Gráfico 7 – Diagrama de navegação (teste 2, aluno 41B, cluster II)	133
Gráfico 8 – Diagrama de navegação (teste 2, aluno 36A, cluster III)	133
Gráfico 9 – Diagrama de navegação (teste 3, aluno 7A, cluster I)	134
Gráfico 10 – Diagrama de navegação (teste 3, aluno 41B, cluster II)	135
Gráfico 11 – Diagrama de navegação (teste 3, aluno 36A, cluster III)	135
Gráfico 12 - Diagrama de navegação (teste 1, aluno 21F, cluster I)	139
Gráfico 13 - Diagrama de navegação (teste 1, aluno 22D, cluster II).....	139
Gráfico 14 - Diagrama de navegação (teste 1, aluno 14E, cluster III)	140
Gráfico 15 - Diagrama de navegação (teste 2, aluno 21F, <i>cluster</i> I)	141
Gráfico 16 - Diagrama de navegação (teste 2, aluno 22D, cluster II).....	142
Gráfico 17 - Diagrama de navegação (teste 2, aluno 14E, cluster III)	142
Gráfico 18 - Diagrama de navegação (teste 3, aluno 21F, <i>cluster</i> I)	143
Gráfico 19 - Diagrama de navegação (teste 3, aluno 22D, cluster II).....	143
Gráfico 20 - Diagrama de navegação (teste 3, aluno 14E, <i>cluster</i> III)	144

Lista de quadros

Quadro 1 - Turmas investigadas e respectivas posições no ranqueamento	35
Quadro 2 - Concepções alternativas comuns em biologia	41
Quadro 3 - Concepções alternativas comuns no estudo de plantas	43
Quadro 4 - Níveis de abertura de práticas de ensino	55
Quadro 5 - Matriz dos conceitos julgados mais relevantes para o ensino e aprendizagem de tropismos	59
Quadro 6 - Tipos de simuladores	61
Quadro 7 - Modos representacionais de simulação de fenômenos	63
Quadro 8 – Planejamento de aulas para 2016	75
Quadro 9 – Planejamento de aulas para 2017	76
Quadro 10 – Respostas esperadas no pós-teste para o primeiro grupo de questões	80
Quadro 11 – Respostas esperadas no pós-teste para o segundo grupo de questões	81
Quadro 12 – Respostas esperadas no pós-teste para o terceiro grupo de questões	82
Quadro 13 – Pontuação atribuída às representações visuais	86
Quadro 14 – Hipóteses para a primeira pergunta e testadas no simulador	116
Quadro 15 – Hipóteses para a segunda pergunta e testadas no simulador	117
Quadro 16 – Hipóteses para a terceira pergunta e testadas no simulador	118
Quadro 17 – Variações nos testes dos alunos que tiveram as representações visuais analisadas	119
Quadro 18 - Pontuação do aluno 21F	120
Quadro 19 – Hipóteses do aluno 21F	121
Quadro 20 – Pontuação do aluno 14E	122
Quadro 21 – Hipóteses do aluno 14E	123
Quadro 22 – Pontuação do aluno 22D	124
Quadro 23 – Hipóteses do aluno 22D	125

Lista de tabelas

Tabela 1 – Número de resultados a partir da busca de termos em repositórios digitais de objetos de aprendizagem	32
Tabela 2 – Resultados dos testes (GC1)	92
Tabela 3 – Variação do desempenho nos pré e pós-testes (GC1).....	94
Tabela 4 - Resultados dos testes (GC2)	95
Tabela 5 – Variação do desempenho nos pré e pós-testes (GC2).....	97
Tabela 6 – Resultados dos testes (GC3)	99
Tabela 7 – Variação do desempenho nos pré e pós-testes (GC3).....	101
Tabela 8 – Resultados dos testes (GC1)	102
Tabela 9 – Variação do desempenho nos pré e pós-testes (GC1).....	104
Tabela 10 – Resultados dos testes (GC2)	105
Tabela 11 – Variação do desempenho nos pré e pós-testes (GC2).....	107
Tabela 12 – Resultados dos testes (GC3)	109
Tabela 13 – Variação do desempenho nos pré e pós-testes (GC3).....	111
Tabela 14 – Análise geral das variações por cluster (2016).....	129
Tabela 15 – Variações individuais dos alunos que tiveram vídeos analisados (2016).....	129
Tabela 16 – Análise geral das variações por cluster (2017).....	138
Tabela 17 – Variações individuais dos alunos que tiveram vídeos analisados (2017).....	138
Tabela 18 – Resultados dos pré-testes da turma A	179
Tabela 19 - Resultados dos pós-testes da turma A.....	181
Tabela 20 - Resultados dos pré-testes da turma B	183
Tabela 21 - Resultados dos pós-testes da turma B.....	185
Tabela 22 - Resultados dos pré-testes da turma C	187
Tabela 23 – Resultados dos pós-testes da turma C.....	189
Tabela 24 – Resultados dos pré e pós-testes da turma D	191
Tabela 25 – Resultados dos pré e pós-testes da turma E.....	193
Tabela 26 - Resultados dos pré e pós-testes da turma F.....	195
Tabela 27 - Variações calculados para a turma A.....	197
Tabela 28 - Variações calculados para a turma B.....	199
Tabela 29 - Variações calculados para a turma C.....	201

Tabela 30 - Variações calculados para a turma D	203
Tabela 31 - Variações calculados para a turma E	204
Tabela 32 - Variações calculados para a turma F	205

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Tecnologias educacionais e aprendizagem	23
1.2	Desafios no ensino da botânica e sua relevância curricular e formativa	24
1.3	O ensino do conceito de fototropismo	29
2	CONTEXTO INVESTIGATIVO	34
3	PROBLEMA INVESTIGATIVO	36
4	OBJETIVOS	37
5	REFERENCIAL TEÓRICO	38
5.1	As concepções alternativas.....	38
5.2	Representações e registros visuais.....	44
5.3	Experimentação e simulação	47
5.4	Simulação e aprendizagem.....	51
5.5	A inserção do simulador no contexto de ensino.....	53
6	Pergunta de pesquisa	57
7	Proposta de trabalho	58
8	METODOLOGIA	64
8.1	Concepção do simulador.....	64
8.2	Construção do simulador	67
8.2.1	Captação de imagens.....	67
8.2.2	Edição de imagens	72
8.2.3	Finalização do simulador	72
8.3	Investigação do papel do simulador	74
8.3.1	Planejamento e aplicação dos testes	74
8.3.2	Análise dos vídeos de captura de tela	84
8.3.3	Análise das representações visuais dos alunos	85
9	RESULTADOS E DISCUSSÃO	87

9.1	O simulador desenvolvido	87
9.2	Resultados dos testes	90
9.2.1	Turmas A, B e C.....	90
9.2.2	Turmas D, E e F.....	101
9.2.3	Conclusões parciais.....	112
9.3	Análise das hipóteses dos alunos.....	113
9.3.1	Turmas A, B e C.....	113
9.3.2	Turmas D, E e F.....	119
9.3.3	Conclusões parciais.....	125
9.4	Análise dos percursos de interação com o simulador.....	126
9.4.1	Turmas A, B e C.....	126
9.4.2	Turmas D, E e F.....	136
9.4.3	Conclusões parciais.....	144
9.5	Aprendizagem: da passividade para o protagonismo	145
9.6	Expectativas dos alunos perante as representações visuais dos livros e apostilas de biologia.....	147
9.7	As concepções dos alunos sobre ciência e a cultura do gabarito	148
10	CONCLUSÕES.....	150
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153
12	APÊNDICE A – Relato de experiência	160
12.1	Um pouco da história que culminou na elaboração deste trabalho	160
12.2	O contexto escolar.....	161
12.3	A aplicação dos pré-testes e a aula introdutória	162
12.4	As aulas no laboratório de informática.....	164
12.5	A aplicação do pós-teste e a aula de fechamento	167
13	APÊNDICE B – Questionário de pré e pós-teste (2016).....	171
14	APÊNDICE C – Questionário de pré e pós-teste (2017)	175

15	APÊNDICE D – Questionário para recolhimento das representações visuais dos alunos (2017)	178
16	APÊNDICE E – Resultados dos pré-testes e pós-testes por aluno.....	179
17	APÊNDICE F – Variações calculados por aluno e por grupo conceitual.....	197
18	APÊNDICE G – Dendogramas.....	206

1 INTRODUÇÃO

1.1 Tecnologias educacionais e aprendizagem

Apesar dos avanços da pesquisa em Educação, a escola continua a recorrer aos métodos tradicionais de ensino ao oferecer aos alunos aulas exclusivamente expositivas baseadas em materiais de apoio que seguem extensos programas curriculares. Por conta disso, há uma demanda pela elaboração de métodos de ensino diversificados e pela disponibilização de recursos didáticos que possam contribuir para a adoção de dinâmicas alternativas dentro da sala de aula. Nesta perspectiva, é impossível não constatar que as novas tecnologias digitais de informação e comunicação (TIC) têm conquistado amplo espaço não apenas no cotidiano das pessoas, mas também no contexto educacional. Nas palavras de Leite (2003), as tecnologias educacionais são aquelas definidas pelo estudo teórico-prático que objetiva a análise e utilização crítica de tecnologias presentes na sociedade que sirvam de instrumento para que profissionais e pesquisadores realizem um bom trabalho pedagógico de construção de conhecimento. No entanto, enfatiza a autora, usar indiscriminadamente a tecnologia educacional não basta para uma boa prática de ensino. Para que esta seja efetiva na escola, Ward (2010, p. 197) estipula três requisitos para seu uso:

1. O uso da TIC deve estar alinhado à uma boa prática no ensino;
2. Tais recursos devem possibilitar que os alunos satisfaçam uma meta de aprendizagem;
3. As TIC devem fazer algo que não pode ser alcançado sem o seu uso ou possibilitar esse alcance de forma mais efetiva.

Assim, as tecnologias educacionais podem constituir-se como novas ferramentas disponíveis para o professor de forma a viabilizar melhores práticas por parte dos professores, como por exemplo deslocar os estudantes de uma postura passiva em direção a um papel mais ativo no processo de ensino e aprendizagem. O papel das TIC também transcende sua importância pedagógica ao contribuir para que os alunos tenham acesso a um conjunto informações e recursos tecnológicos que

podem ser requisitados em outros contextos e não apenas em sala de aula. Utilizar as TIC no ensino é, portanto, uma oportunidade de contemplar o letramento digital – ou seja, o desenvolvimento e apropriação de habilidades que permitam a manipulação e o uso eficiente de novas tecnologias em diversos contextos (ATAIDE; PINHO, 2013). Reforça-se, assim, que as TIC estão cada vez mais presentes na vida cotidiana e adentram a sala de aula conforme a tecnologia avança e se populariza.

Logo, considera-se relevante explorar o uso destas tecnologias educacionais como forma de contribuir para a pesquisa em educação e a prática docente, ampliando nossa compreensão sobre a influência destas ferramentas no processo de ensino e aprendizagem. Da mesma maneira, é importante que se invista na criação de novas ferramentas educacionais baseadas nas TIC para que estas possam auxiliar professores e estudantes no encaminhamento de propostas metodológicas que acompanhem o desenvolvimento destas tecnologias.

1.2 Desafios no ensino da botânica e sua relevância curricular e formativa

Uma das motivações mais comuns para o desenvolvimento de recursos educacionais baseados nas TIC é auxiliar a abordagem de alguns conteúdos que, por muitos motivos, são difíceis de serem ensinados e aprendidos por meios convencionais. No caso da biologia, ensinar botânica pode ser uma tarefa bastante desafiadora. Apesar da importância do reino vegetal para o homem e mesmo que este mantenha relações diretas ou indiretas com as plantas (confeção de utensílios e roupas, produção de fármacos e alimentos, etc.), muitos autores continuam a elencar motivos que sustentam uma histórica aversão à botânica nas escolas e também para a dificuldade de aproximá-la do dia-a-dia dos alunos (MINHOTO, 2014; SANTOS, 2014; MACIAS; RODRIGUEZ, 2014).

Para representar este cenário, Wandersee e Schussler (2001) cunharam o termo “cegueira botânica” para definir a incapacidade de as pessoas (e logicamente, os alunos) perceberem a variedade e a importância das plantas em seu cotidiano. Estes autores, assim como Hershey (1996), colocam que boa parte deste

desinteresse pelas plantas deriva da imobilidade destes organismos, uma vez que os aprendizes possuem um fascínio bastante grande por movimento e, por consequência, maior interesse pelo reino animal. Dessa maneira, abordar os conteúdos de botânica relacionados aos movimentos das plantas poderia despertar a curiosidade dos estudantes, vislumbrando maiores chances de sucesso no ensino e aprendizagem. Com a mesma intenção, professores procuram recorrer à experimentação em sala de aula como forma de intrigar seus alunos. No entanto, como será discutido a seguir, abordar tropismos e outros tópicos de botânica em aulas experimentais pode ser bastante complexo por conta da dificuldade em observar estes e outros fenômenos no curto espaço de tempo de aula que os professores têm à disposição.

Para além das dificuldades instrumentais enfrentadas pelos professores no ensino de botânica, o programa curricular do ensino médio para esta área de conhecimento é denso e extenso. Além disso, em muitas escolas o material utilizado para embasar as aulas é apostilado, o que engessa ainda mais a prática docente ao impor ao professor um cronograma de conteúdos que, por conta do tempo escasso, deve ser cumprido à risca. Essa realidade tem se tornado cada vez mais comum no Brasil principalmente devido ao crescimento do ensino privado nos últimos anos – que normalmente faz uso de material didático apostilado, em geral bastante conteudista – enquanto observa-se a redução do número de matrículas nas redes estaduais e municipais (INEP, 2014). Ademais, as escolas públicas também têm se apropriado de materiais apostilados através de parcerias público-privadas, sobretudo nas redes municipais do estado de São Paulo, disseminando os chamados “sistemas de ensino” (ADRIÃO et al., 2009). Por consequência, é cada vez mais difícil para o professor recorrer à experimentação em sala de aula por conta da redução do tempo disponível para abarcar a totalidade do currículo. Segundo Krasilchik (2005), a aprendizagem dos conteúdos de botânica demanda atividades práticas que viabilizem um ensino contextualizado, permitindo que o aluno desenvolva seu senso crítico e criativo conferindo seus próprios significados às aulas – diferentemente do ensino transmissivo que normalmente é propagado no espaço escolar. Para além da questão de abordagem dos conteúdos curriculares, Hershey (1996) levanta uma série de outros obstáculos para a aprendizagem de botânica nas escolas, dentre eles:

1. A formação precária de professores na área, o que compromete o ensino e a aprendizagem sobretudo porque o docente tende a dispensar pouco tempo para as aulas sobre o assunto;
2. A falta de entusiasmo e interesse pela botânica verificada em alunos e professores, que normalmente a veem como uma ciência demasiadamente complexa;
3. Pouco uso de plantas vivas em aulas práticas, o que aumenta o desinteresse dos alunos pelos objetos de estudo;
4. Supressão dos conteúdos relacionados à área nos materiais didáticos utilizados.

O autor enfatiza que, apesar destes obstáculos, conferir relevância ao ensino de botânica não é difícil, uma vez que a maioria dos conceitos na área possuem significado bastante prático; como exemplos, Hershey (1996) cita a propagação vegetativa de plantas, a identificação taxonômica e a compreensão dos tropismos para a manutenção artificial de plantas. Para tornar esse interesse ainda maior, o uso de recursos didáticos baseados nas TIC poderia auxiliar na abordagem destes conteúdos, oferecendo propostas para o ensino de botânica na educação básica. Como exemplos já descritos na literatura, temos a construção de modelos de crescimento de plantas com ajuda de *softwares* (ERGAZAKI; KOMIS; ZOGZA, 2005), o uso de *sites* interativos e tutoriais *online* para estudo de estruturas florais e folhas (BURROWS, 2008, 2010), a utilização de jogos digitais para o ensino da fotossíntese (CULP et al., 2014), a elaboração de bancos de imagens digitais de plantas (THOMASSON, 2002) e de herbários (FLANNERY, 2013), o uso da microscopia virtual (BONSER et al., 2013) e também do GPS (*Global Positioning System*) enquanto ferramenta de ensino e aprendizagem (MARCH, 2012). Em suma, tais recursos permitem que os conteúdos relacionados à botânica sejam explorados pelos aprendizes em contexto investigativo e dinâmico, ajudando a conferir à área de conhecimento a importância devida. Apesar destes exemplos, Silva, Cavallet e Alquini (2006) ressaltam que há uma carência de trabalhos sobre o ensino de botânica nas últimas décadas em todos os âmbitos, chamando a atenção para uma necessária retomada da pesquisa nessa área.

A relevância da botânica pode ser também verificada ao analisarmos a ocorrência de tais assuntos nas provas dos exames vestibulares mais disputados.

Uma análise de 244 questões das provas de Biologia da Fuvest¹ entre 2005 e 2015 traz 49 questões sobre o assunto, totalizando cerca de 20% das questões analisadas, constituindo o assunto mais abordado pelo vestibular no período.

Gráfico 1 – Composição das provas de biologia da Fuvest (2005 – 2015) por área

Fonte: SuperProWeb (2015).

Similarmente, o vestibular da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) também conta com um percentual representativo de questões de botânica. No mesmo período (2005 – 2015), de 185 questões analisadas, foram 25 questões deste eixo curricular – o que representa 13% do total. O percentual é alto sobretudo se levarmos em consideração a grande variedade de assuntos a serem abordados em biologia.

¹ Fundação Universitária para o Vestibular, que organiza e prepara os vestibulares da Universidade de São Paulo (USP).

Gráfico 2 - Composição das provas de biologia da Unicamp (2005 – 2015) por área

Fonte: SuperProWeb (2015).

Refletir sobre estes dados é importante sobretudo pela relevância destas e outras universidades. Outro elemento de grande importância que tem atuado como modulador dos conteúdos programáticos abordados na escola brasileira é o ENEM – Exame Nacional do Ensino Médio. Enquanto instrumento de avaliação de estudantes que pretendem ingressar sobretudo nas universidades federais, o exame interferiu substancialmente na estrutura do currículo e impactou na prática pedagógica (ROCHA; RAVALLEC; TERESA, 2014). Torna-se necessário ressaltar, portanto, que tais exames refletem os conteúdos que as universidades consideram importantes para o ingresso nos cursos de ensino superior e que tais exames são utilizados, das mais diferentes formas, como parâmetro norteador no planejamento curricular de muitas escolas brasileiras. O ENEM, mais recentemente, ganhou ainda maior importância por suas políticas inclusivas, que permitem uma via de acesso à universidade para segmentos minoritários da população. Logo, o papel deste exame é de grande relevância por influenciar a abordagem do currículo por professores de todas as disciplinas, exigindo dos alunos uma crescente quantidade de conhecimentos. Mesmo que a intenção aqui não seja tecer uma crítica a respeito destas constatações, essa problematização é importante para sustentar a importância do desenvolvimento de ferramentas, tecnológicas ou não, que amparem situações de ensino e aprendizagem em ciências durante a abordagem de um currículo cada vez mais complexo.

Além dos desafios já citados, é importante que se leve em consideração a bagagem cultural trazida pelos alunos para as salas de aula, assim como suas próprias concepções dos fenômenos naturais – ou seja, seus conhecimentos prévios. Dentre estas concepções prévias está, por exemplo, a dificuldade que estudantes têm – sobretudo os mais jovens – de compreender as plantas enquanto seres vivos (WOOD-ROBINSON, 1991). No esquema abaixo, Coll et al. (1998) elencam algumas das características destas concepções.

Figura 1 - Características dos conhecimentos prévios

Fonte: Coll et al. (1998, p. 41).

Logo, dada a relevância do estudo da botânica e da escassa disponibilidade de estratégias para seu ensino, considera-se importante ampliar o repertório de recursos didáticos, principalmente aqueles que favoreçam a adoção de metodologias que superem a memorização e simples transmissão dos conteúdos.

1.3 O ensino do conceito de fototropismo

Por mais que as atividades práticas sejam apontadas como necessárias, muitas vezes há dificuldade em observar fenômenos relacionados às plantas em sala de aula, distanciando a experimentação dos conteúdos programáticos pela falta de recursos ou tempo. Dentre os fenômenos que têm sua observação limitada pelo tempo estão os tropismos.

De forma geral, os tropismos são crescimentos ou movimentos apresentados pelas plantas, em direção a um estímulo ou afastando-se deste. Muitos são os estímulos capazes de desencadear os tropismos, porém os mais abordados no ensino médio são aqueles desencadeados pelo toque (tigmotropismo), pela gravidade (gravitropismo) e, é claro, pela luz (fototropismo). Em geral, a resposta da planta aos estímulos se dá pela variação na concentração ao longo dos órgãos vegetais de um hormônio que promove crescimento, denominado auxina. Este hormônio é, de certa forma, fotossensível: isto significa que sua concentração diminui quando um determinado órgão vegetal é exposto à luz. Logo, quando caules de plantas como o milho e o feijão recebem um estímulo luminoso, a região do caule não iluminada acaba por concentrar maior quantidade de hormônio. O lado não iluminado do caule cresce mais e, por consequência, curva a planta em direção ao estímulo luminoso. Como os caules, em geral, tendem a crescer curvando-se em direção à luz, diz-se que estes órgãos apresentam fototropismo positivo. A concentração ideal para promover ou inibir o crescimento varia entre os diferentes órgãos das plantas: uma raiz típica, por exemplo, apresentaria um fototropismo negativo por afastar-se do estímulo luminoso ao crescer no interior do solo (CAMPBELL, 2010).

Na maior parte das vezes, assim como outros fenômenos estudados no contexto escolar, o fototropismo é apresentado aos alunos através de um modelo explicativo na forma de uma representação visual que, muitas vezes, distorce a realidade, levando o aluno a criar uma imagem mental idealizada sobre o objeto de estudo e/ou até mesmo a manter determinadas concepções alternativas sobre o fenômeno. Ressalta-se que ao longo da educação formal os estudantes experimentam uma diminuição do grau de registro dos fenômenos e um aumento do grau representacional, entrando em contato com conceitos mais abstratos representados esquematicamente. Da mesma forma, a manipulação de elementos composicionais como cor e escala são mais evidentes também nas séries finais, o que demanda maior esforço por parte dos estudantes para que compreendam estas representações (MARTINS; GOUVÊA; PICCININI, 2005).

O fototropismo, apesar de ser um fenômeno comum, necessita de várias horas para ser observado. Dessa forma, a possibilidade de recorrer às TIC para facilitar tais observações constitui um trunfo que não deve ser descartado pelo professor. A investigação dos processos que levam as plantas a apresentar o fototropismo parece

se encaixar perfeitamente nestas situações, uma vez que o tempo de resposta das plantas para os estímulos ambientais é em geral bastante demorado; logo, um simulador capaz de simular o tempo e viabilizar o ensino e a aprendizagem dos tropismos no tempo da sala de aula pode ser um recurso bastante útil nestas situações.

Considera-se importante que, no contexto escolar, esta simulação seja realizada preferencialmente em um contexto experimental e investigativo. No entanto, a inexistência de uma visão crítica acerca das possibilidades do método científico, limitando-o a um determinismo experimental e laboratorial, não ajuda os aprendizes no entendimento de que a ciência é muito mais do que somente fazer observações previsíveis em laboratório. Viabilizar simulações de situações reais para ampliar este cenário e mostrar aos alunos que a prática científica é muito mais do que apenas observar e tirar conclusões de situações minuciosamente controladas poderia contribuir também para a superação da ideia de que a ciência é um fazer estritamente metódico e previsível. Em suma:

Para que os aprendizes tenham acesso aos sistemas de conhecimento da ciência, o processo de construção do conhecimento tem que ultrapassar a investigação empírica pessoal. Quem aprende precisa ter acesso não apenas às experiências físicas, mas também aos conceitos e modelos da ciência convencional. O desafio está em ajudar os aprendizes a se apropriarem desses modelos, a reconhecerem seus domínios de aplicabilidade e, dentro desses domínios, a serem capazes de usá-los. Se ensinar é levar os estudantes às ideias convencionais da ciência, então, a intervenção do professor é essencial, tanto para fornecer evidências experimentais apropriadas como para disponibilizar para os alunos as ferramentas e convenções culturais da comunidade científica (DRIVER et. al., 1999, p. 34).

Poucos são os objetos educacionais desenvolvidos pensando-se no estudo dos tropismos. Para além de exemplos do uso das TIC no ensino de botânica já citados na literatura, os repositórios digitais de objetos de aprendizagem na internet guardam também muitos recursos. O quadro abaixo apresenta resultados de buscas em quatro destes repositórios utilizando-se os termos “botânica”, “tropismos” e “fototropismo”.

Tabela 1 – Número de resultados a partir da busca de termos em repositórios digitais de objetos de aprendizagem

Termo buscado	Banco Internacional de Objetos Educacionais	Portal do Professor	Biblioteca Digital de Ciências da Unicamp	TECA
Botânica	353	239	37	1347
Tropismos	2	6	1	1
Fototropismo	6	40	1	5

Fonte: do autor.

Ressalta-se que muitos dos resultados encontrados para a busca dos termos “tropismos” e “fototropismo” coincidem, e ambos se encontram também nos resultados de busca para o termo “botânica”. Ademais, nem todos os resultados apresentam objetos de aprendizagem, mas também incluem outros documentos como imagens, vídeos, áudios, planos de aula, propostas de experimentos, publicações e demais recursos que podem auxiliar o professor. É alentador constatar a quantidade de recursos disponíveis para o professor nos repositórios, visto que a maioria destes dão acesso livre a um conteúdo que permite subsidiar a prática docente (MACIEL; BACKES, 2012). Ainda assim, é pequena a quantidade de recursos elaborados especificamente com o propósito de atuar como ferramenta em sala de aula na forma de *softwares*, simuladores e afins.

Logo, este trabalho propõe que um simulador desenvolvido como um objeto de aprendizagem pode constituir-se como uma ferramenta capaz de propiciar diferentes oportunidades metodológicas passíveis de serem exploradas pelos professores com seus alunos. As características dos conteúdos relacionados aos tropismos e, em especial, o fototropismo, servem aos propósitos deste trabalho pois podem favorecer transposições para diferentes situações de ensino e aprendizagem de outros temas do currículo escolar ou em diferentes contextos escolares. Supõe-se, então, que diante das dificuldades para se apresentar e esclarecer tais conteúdos, as TIC – e, no

caso da proposta que será feita neste trabalho, a simulação baseada em hipervídeo² – podem, em princípio, trazer significativa contribuição para o ensino de botânica ao possibilitar que os alunos compreendam o mundo vegetal de forma mais integrada e distinta do que aquela possibilitada por uma abordagem tradicional.

² Tais simuladores constituem-se em vídeos digitais produzidos a partir da captação de imagens de experimentos ou fenômenos reais. A tais vídeos é acrescida uma interface gráfica de interação com elementos que relacionam a linha de tempo do vídeo com as possibilidades de simulação oferecidas pelo recurso educacional. Tornam-se, portanto, vídeos navegáveis, não lineares, em que é possível incluir tomadas de decisão. A simulação ocorre não por meio de representações gráficas, mas por registro de imagens do próprio fenômeno.

2 CONTEXTO INVESTIGATIVO

O trabalho foi desenvolvido junto a alunos da 2ª série do ensino médio (uma vez que os conteúdos relativos a fitormônios e tropismos estão previstos no programa curricular desta série) em uma escola particular da cidade de São Paulo. O simulador foi apresentado a seis turmas: três em 2016 e três em 2017, totalizando 225 alunos.³

Faz-se necessário ressaltar que a escola se utiliza de ranqueamento para organizar suas turmas. Esse ranqueamento é baseado em diversos elementos, mas o desempenho formal dos estudantes é o fator mais determinante. As seis turmas aqui analisadas seguem o ranqueamento determinado na escola. O ranqueamento é refeito várias vezes ao ano, em geral ao final de cada bimestre, de forma que os estudantes podem trocar de turmas de acordo com a variação em seu desempenho formal ao longo do período letivo. A investigação realizada no âmbito deste trabalho se deu ao final do segundo bimestre (primeiro semestre) em dois anos consecutivos. O quadro a seguir resume as informações relativas às turmas em termos de posição no ranqueamento e ano no qual o estudo foi feito.

³ Na escola em questão, as disciplinas são subdivididas em áreas sob responsabilidade de diferentes professores. No caso da biologia, na segunda série do ensino médio a disciplina é dividida nas áreas de botânica/ecologia, citogenética e zoologia/evolução, além das aulas práticas em laboratório - cada qual destas quatro áreas lecionadas por professores diferentes. Por consequência, cada professor acaba por lecionar em cada turma apenas uma aula semanal – o que muitas vezes inviabiliza projetos muito longos. Para que a interação com o simulador fosse possível, o professor de informática das turmas investigadas cedeu suas aulas durante duas semanas para que todos os alunos pudessem experimentar a interação. Como o laboratório comporta apenas metade dos alunos de cada turma, as atividades de informática são realizadas sempre em duas aulas: os alunos de números pares vão para o laboratório de ciências enquanto os alunos ímpares vão para o laboratório de informática, e a dinâmica se inverte na semana seguinte. A sequência didática descrita na metodologia deste trabalho dependeu não apenas do calendário escolar, mas também das demandas por parte da própria escola.

Quadro 1 - Turmas investigadas e respectivas posições no ranqueamento

Turma	Posição no ranqueamento	Ano em que a investigação foi realizada
A	1º	2016
B	2º	
C	3º	
D	1º	2017
E	2º	
F	3º	

Fonte: do autor.

Ressalta-se que o contexto no qual esse trabalho está sendo realizado é delineado por uma abordagem tradicional e transmissiva de ensino, na qual a avaliação somativa assume um papel central na organização da escola e do seu currículo. O autor desta dissertação é professor nas turmas em que este estudo foi realizado.

3 PROBLEMA INVESTIGATIVO

Neste trabalho delinea-se como problema investigativo analisar o papel de um simulador baseado em hipervídeo no processo de apropriação de conceitos sobre fototropismo por estudantes de ensino médio, no contexto discutido.

4 OBJETIVOS

1. Desenvolver um simulador baseado em hipervídeo para o estudo do fototropismo;
2. Estudar o papel do simulador em situações de ensino e aprendizagem no ensino médio.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

Apesar de sua importância, a experimentação é muito pouco empregada em sala de aula, por inúmeras razões. Assim, a fundamentação será então discutida em termos das contribuições da experimentação por simulação e seu potencial como ferramenta que favoreça o ensino e a aprendizagem de conceitos em botânica. Nessa discussão serão abordados sobretudo aspectos referentes às representações visuais dos fenômenos e aos modos de exploração do simulador desenvolvido no âmbito deste trabalho.

5.1 As concepções alternativas

A ideia de que os estudantes chegam nas escolas sem qualquer tipo de compreensão anterior a respeito dos mais diversos conceitos sobre a ciência foi superada. Ainda assim, a escola ainda permanece como um espaço no qual pressupõe-se o aluno como um ser incompleto e passível de ser completado pela assimilação de conceitos científicos construídos e formatados; neste espaço escolar, cabe ao professor somente fornecer estes conceitos aos alunos e esperar que os mesmos internalizem integralmente os conhecimentos produzidos pela ciência. No entanto, os alunos realizam suas interpretações a partir de suas próprias conclusões, embasadas em conhecimentos previamente construídos a partir da sua relação com o mundo – o que pode influenciar o processo de aprendizagem de novos conceitos na escola (PFUNDT; DUIT, 1991; CARMICHAEL et al.⁴, 1990 apud TEIXEIRA, 2011). Estas crenças pessoais, desprovidas de embasamento científico, que procuram explicar os fenômenos naturais são denominadas de concepções espontâneas (VIENNOT, 1979). Tais concepções, na maioria das vezes, não correspondem ao conhecimento científico, e podem ser assim denominadas concepções alternativas.

⁴ CARMICHAEL, P. et al (Eds.). **Research on students' conceptions in science: a bibliography**. 1 ed. Leeds, UK: Children's Learning in Science Research Group, University of Leeds, 1990.

Estas últimas são formadas, sobretudo, quando o indivíduo procura preencher lacunas durante o desenvolvimento de um modelo mental sobre um determinado fenômeno a partir de seus conhecimentos prévios (VOSNIADOU; MASON, 2012). Muito do que tem sido feito na pesquisa em ensino busca não apenas identificar quais são estas concepções, mas também procura maneiras de produzir conhecimento científico no espaço escolar a partir destas concepções. Nesse contexto, pesquisadores criaram modelos para melhor compreender o processo da chamada mudança conceitual, a partir do qual estudantes adotariam as concepções científicas em detrimento de suas concepções prévias (POSNER, 1982; MORTIMER, 1996). Os modelos de mudança conceitual, no entanto, não foram capazes de explicar os processos que levariam os alunos à adoção dos conhecimentos científicos e, como se não bastasse, verificou-se que os estudantes na realidade resistem à adoção do modelo científico e tendem a permanecer com suas concepções prévias e/ou alternativas (DREYFUS; JUNGWIRTH; ELIOVITCH, 1990; LIMÓN; CARRETERO, 1997; GUZZETTI, 2000).

Diante deste cenário, Mortimer (1995) apresentou o modelo de perfil conceitual, que estabelece que os conceitos e modelos mentais dos estudantes evoluem conforme estes passam a aceitar novas interpretações da natureza; tais conceitos sofrem influência do contexto no qual o aluno está inserido, e são resgatados de acordo com uma hierarquia conceitual construída mentalmente pelo indivíduo. Em suma, o estudante traria consigo diferentes concepções para um mesmo fenômeno e mobilizaria, consciente ou inconscientemente, tais concepções a depender do contexto (a sala de aula, o laboratório, o meio familiar, o processo de elaboração de um relatório, etc.). Assim, diversas concepções sobre um fenômeno, alternativas ou não, coexistiram em uma mesma estrutura cognitiva.

Para além dos estudantes, os professores também podem apresentar suas próprias concepções alternativas, visto que estas são originadas a partir de experiências pessoais intrínsecas a todos os indivíduos. Como se não bastasse, por conta da dificuldade no entendimento dos conceitos por parte dos próprios professores, estes podem acabar ensinando estas concepções alternativas aos seus alunos (PINE; MESSER; ST. JOHN, 2001). Ademais, as concepções alternativas podem ser produto da interação dos alunos não apenas com seus professores, mas também com o material didático. Muitas vezes, mesmo que sejam confrontados com concepções científicas na escola, os estudantes tendem a permanecer com suas

próprias concepções sobretudo quando submetidos a métodos tradicionais de ensino (TEIXEIRA, 2011). Há alunos que até mesmo apresentam resultados satisfatórios em avaliações formais mesmo mantendo suas concepções conflitantes com os conceitos científicos (FETHERSTONHAUGH; TREAGUST, 1992). Diante disso, Carvalho e Gil-Pérez (2000) propõem que para haver de fato aprendizagem, o aprendiz deve envolver-se ativamente no processo de construção de conhecimento diante do importante papel que desempenham suas concepções prévias. Os autores também chamam a atenção para o fato de que muitas pesquisas a respeito das concepções prévias mostram que existe um padrão de compreensão em relação aos conceitos mais investigados em diferentes partes do mundo. Haveria, portanto, concepções prévias comuns entre sujeitos em idade escolar mesmo em contextos culturais distintos. Dessa maneira, é importante compreender como essas concepções são formadas e de que maneira podem ser utilizadas na promoção da aprendizagem em ciências.

Desqualificar tais concepções durante o processo de ensino e aprendizagem pode ser contraproducente, uma vez que a durante a adoção do ensino por transmissão pode haver maior dificuldade na construção e reconstrução de conhecimentos científicos pelos alunos – além de ser impossível impor aos estudantes a simples desconsideração do que já trazem construído para a sala de aula através de suas próprias experiências. Uma armazenagem arbitrária de um novo conhecimento, produto de um processo de memorização, está fadada ao esquecimento se não for construída significativamente (SCHNETZLER, 1992). É importante, pois, que os professores saibam identificar tais concepções de forma a promover uma melhor aprendizagem dos conceitos científicos na escola. Driver et al. (1999) sugerem que atividades bem elaboradas que desafiam as concepções prévias dos alunos os encorajam a reorganizar suas teorias pessoais.

Em biologia, alguns trabalhos apontam que muitos dos conceitos ensinados na escola são bastante abstratos ou demasiadamente complexos e, dessa forma, as concepções alternativas acabam sendo formadas na escola a partir do contato dos estudantes com estes conteúdos (LAWSON, 1988). Como já ressaltado, muitas das concepções alternativas são recorrentes nos mais variados contextos; logo, o mapeamento de tais concepções pode auxiliar professores no desenvolvimento de

estratégias para mitigação destas situações de ensino e aprendizagem. Na literatura, muitas destas concepções já foram identificadas, como mostra o quadro a seguir.

Quadro 2 - Concepções alternativas comuns em biologia

Respiração

A respiração acontece somente nos pulmões
 Alguns animais, sobretudo invertebrados, não respiram
 Animais respiram aerobiamente e plantas anaerobiamente

Ecologia

Seres vivos não interagem com o meio não vivo
 População é uma área onde os seres vivos ocorrem
 População é o número de pessoas ou organismos
 Comunidade é sinônimo de população
 Há mais herbívoros do que carnívoros porque os primeiros têm mais prole
 Organismos mais fortes têm mais energia
 Bactérias são a fonte de energia em uma cadeia alimentar

Energia

Digestão é um processo de liberação de energia
 Animais obtêm sua energia dormindo, ao se aquecerem e do ar que respiram

Genética

Genes contêm alelos
 Alelos contém genes
 Genes e alelos são a mesma coisa
 A replicação do DNA ocorre na prófase
 Cromossomos e DNA estão separados no núcleo

Classificação

Pinguins, lagartos, crocodilos e tartarugas são anfíbios
 Baleias, golfinhos, focas, águas-vivas e estrelas-do-mar são peixes
 Morcegos são aves
 Comportamento e habitat são critérios para classificação
 Paramécios pertencem ao reino animal
 Seres humanos não são animais

Sistema circulatório

A linfa é o armazenamento de plasma sanguíneo
 A parede grossa e elástica das artérias auxilia na retenção de calor
 A baixa velocidade do sangue nos capilares é devido ao seu pequeno diâmetro
 O sangue é responsável por armazenar, limpar, filtrar e produzir sangue

Fonte: Tekkaya (2002), p. 261-262.

É bastante comum, inclusive, que muitas destas concepções sejam reforçadas a partir do livro didático, devido a imagens e analogias visuais ou sobretudo pelo uso inapropriado de elementos da linguagem – visto que muitas palavras podem carregar

sentidos ambíguos ou serem enganosas. Como os estudantes confiam nos livros didáticos e, muitas vezes, recorrem a eles na ausência do professor, muitas concepções podem acabar não sendo tratadas criticamente e internalizam-se. Na biologia, é comum os estudantes creditarem a aprendizagem à aquisição de um vasto vocabulário, porém muitas das palavras que aprendem podem carregar concepções alternativas. Muitos termos científicos não possuem definição precisa e as palavras utilizadas na ciência podem possuir significados diferentes, e assim precisam ser apresentados aos estudantes de modo a diminuir a possibilidade de sentidos ambíguos ou diversos do sentido que se deseja ensinar (BARRASS, 1984).

Mais especificamente em botânica, Hershey (2004, 2005a) enfatiza que muitos conteúdos acabam mantendo-se como concepções alternativas replicadas até mesmo na literatura, confundindo não apenas alunos, mas também professores. O autor categoriza tais concepções alternativas em:

1. Simplificações excessivas (p. ex. a utilização da equação da fotossíntese, que resume um processo extremamente complexo a uma equação química);
2. Generalizações excessivas (p. ex. a ideia de que todas as plantas fazem fotossíntese, enquanto existem plantas que podem até mesmo atuar como parasitas);
3. Subgeneralizações (p. ex. limitar características morfológicas somente a um grupo de plantas quando as características são compartilhadas também com outros grupos);
4. Utilização de termos e conceitos obsoletos (p. ex. o uso do termo geotropismo fora abandonado em detrimento do termo gravitropismo⁵; o segundo termo é mais assertivo, visto que implica em um crescimento da planta sob influência da força da gravidade);
5. Identificações equivocadas (p. ex. a identificação do pinhão como um fruto do pinheiro-do-paraná, enquanto na verdade o pinhão é a sua semente);
6. Erros de pesquisa (p. ex. a ideia equivocada e disseminada de que a extinção dos dodôs condenou a chamada árvore-dodô, que teria suas sementes

⁵ O gravitropismo, já citado na introdução deste trabalho, é um tipo de tropismo em que a planta cresce ou se movimenta influenciada pela força da gravidade. Caules em geral apresentam gravitropismo negativo por crescerem contra a força da gravidade, ou seja, para cima. Já raízes apresentam gravitropismo positivo porque crescem, em geral, a favor da força da gravidade e em direção ao solo.

dispersadas apenas pela ave extinta; estudos ecológicos mais recentes sugerem que a realidade não é exatamente essa).

Percebe-se que as categorias propostas acima estão bastante ligadas aos conteúdos curriculares propriamente ditos, sendo que as três primeiras categorias (simplificações excessivas, generalizações excessivas e subgeneralizações) estão diretamente associadas à uma perspectiva cientificista, enquanto as três demais categorias (utilização de termos e conceitos obsoletos, identificações equivocadas e erros de pesquisa) associam-se a informações erradas ou desatualizadas potencialmente presentes no discurso do professor.

Para além dos exemplos dados para cada uma das categorias acima, Tekkaya (2002) também traz outras concepções alternativas relacionadas ao estudo das plantas, listadas no quadro a seguir.

Quadro 3 - Concepções alternativas comuns no estudo de plantas

Fotossíntese

Plantas fotossintetizam e não respiram
 Fotossíntese é a respiração das plantas na luz
 Fotossíntese é o processo pelo qual as plantas respiram
 Fotossíntese é um processo de troca de gases
 Fotossíntese é um mecanismo que fornece energia
 Somente plantas verdes fazem fotossíntese

Trocas gasosas

A respiração em plantas ocorre somente à noite
 Plantas convertem gás carbônico em oxigênio

Nutrição

Gás carbônico, água, fertilizantes e sais minerais são o alimento das plantas
 Plantas tiram seu alimento do solo
 Plantas obtêm sua energia do solo, ar, sol, vento, água e animais

Reprodução

A reprodução sexuada não ocorre em plantas, somente em animais

Fonte: Tekkaya (2002), p. 261-262.

Analisar com cuidado estas concepções pode auxiliar professores e alunos na construção do conhecimento científico no espaço escolar.

5.2 Representações e registros visuais

Ainda no âmbito das concepções alternativas, torna-se aqui importante a discussão sobre o papel das representações visuais na construção dos conceitos pelos estudantes no espaço escolar. Esta discussão é sobretudo necessária, pois, para o propósito deste trabalho, a construção de um simulador que utiliza o hipervídeo como recurso instrucional se apoia na imagem dinâmica. Consideramos, então, que o vídeo cumpre a função de ser um registro da imagem de um objeto em movimento no tempo. Contrastando com o registro, temos as representações visuais enquanto recursos importantes na comunicação de conceitos científicos, seja entre cientistas ou na sala de aula, mesmo que estudantes tenham dificuldade na extração de informações destas representações. Ainda assim, ensinar conceitos não visíveis e abstratos seria bastante difícil se as representações visuais não tornassem tais conceitos mais concretos (PATRICK; CARTER; WIEBE, 2005). Ademais, na sala de aula as representações visuais são importantes pois ajudam a representar fenômenos que os estudantes não podem experimentar ou observar diretamente (BUCKLEY, 2000).

É importante que se discuta a relação estabelecida entre as representações visuais presentes no universo escolar e as ideias nelas contidas, e até que pontos essas imagens guardam semelhanças com os objetos representados. Neste aspecto, de acordo com Villafañe (2006), as imagens podem ser classificadas de acordo com suas respectivas materialidades nas seguintes categorias:

1. Imagens criadas: são imagens internalizadas no pensamento a partir da adição de novos elementos diferentes daqueles que constituem o objeto observado, ou seja, são imagens evocadas pelo indivíduo que não representam cópias exatas da realidade;
2. Imagens mentais: não demandam um estímulo físico para que sejam criadas, ou seja, são constituídas psiquicamente a partir de um conteúdo interiorizado e implica em um modelo da realidade;
3. Imagens naturais: representam o visível, ou seja, tudo o que é passível de ser captado pela retina;

4. Imagens registradas: construídas a partir de uma cópia relativamente exata do objeto real, são complexas em termos de materialidade e em geral possuem clara intenção comunicativa.

Muitas das representações e/ou registros visuais apresentados aos alunos no contexto escolar são imagens registradas, ou seja, pretendem apresentar um elemento qualquer da realidade, como fotografias da natureza ou desenhos fidedignos desta, assim como paisagens e momentos históricos e/ou contemporâneos. Similarmente, os registros podem ser apresentados também na forma de vídeo. Outras representações e/ou registros são feitos dentro do contexto de um experimento científico, e inevitavelmente resgatam o papel do experimento na construção do conhecimento na ciência. Muitos experimentos são representados de forma a mostrar ao estudante uma realidade montada, composta e construída deliberadamente com finalidade experimental. Dessa maneira, algumas representações visuais apresentadas aos estudantes podem fornecer uma ideia distorcida do que é o empreendimento científico, ao replicar idealizações e construções mentais socialmente compartilhadas ao invés de fatos da realidade concreta. Em outras palavras, levar os estudantes a acreditar que as afirmações da ciência dão descrições exatas da realidade e ainda passíveis de serem convertidas em representações visuais seria dotá-los de um realismo ingênuo (MEDEIROS; MEDEIROS, 2011). É necessário tomar cuidado para que o próprio experimento não seja representado de forma idealizada para que assim se minimize a distorção do modelo sobre a realidade na representação. Embora o experimento também seja organizado em função de conhecimentos estabelecidos em um modelo, visto que o cientista ao compor o experimento parte de pressupostos estabelecidos, o registro, se bem utilizado, pode prover ao processo de ensino e aprendizagem uma visualização mais fidedigna quando se trata da produção de conhecimento científico.

No caso específico dos tropismos e do fototropismo, este cenário não é diferente: como as representações visuais presentes nos livros didáticos, sobretudo na forma de desenhos e esquemas, apresentam um distanciamento inevitável da realidade do fenômeno, a utilização de registros visuais do fenômeno estudado em detrimento da utilização de representações visuais poderia ser capaz de minimizar esta distorção. Poder-se-ia dizer que o nível de realidade do registro é, assim, maior do que o nível de realidade da representação visual (VILLAFANE, 2006). A figura

abaixo mostra um exemplo de como o fototropismo é comumente representado em um livro-texto.

Figura 2 - Exemplo de representação visual de plantas apresentando fototropismo

Fonte: Campbell (2010, p. 825).

Assim, substituir a realidade pela sua representação moldada pelo modelo científico atribuiria caráter de verdade ao modelo. Formular uma concepção não científica da realidade a partir de interpretações errôneas de representações poderia reforçar não apenas concepções empiristas, mas também concepções alternativas. Como sugerem Gallego e Alonso⁶ (1995 apud DIAS, 2007), a imagem é um formato de apresentação da informação privilegiado pois, ao entrar em contato com o aluno, ela concretiza visualmente, evoca, sugere e simboliza. Entendemos, assim, que as representações visuais não necessariamente possuem significado imediato e transparente, e suas possibilidades de interpretação e significação dependem do contexto e do universo cultural do observador (MARTINS, 1997). É importante atentar-se a elas e apresentá-las aos estudantes de forma a minimizar possíveis interpretações indesejadas.

⁶ GALLEGO, D. J.; ALONSO, C. M. Sistemas multimedia. **Nuevas Tecnologías aplicadas a la Educación**. Editorial Marfil. Alcoy, 1995.

5.3 Experimentação e simulação

Como explicitado, é um desafio para o professor viabilizar a construção do conhecimento científico em sala de aula. Embora não haja única abordagem para este encaminhamento, admite-se que o uso de metodologias investigativas para a experimentação no ensino pode contemplar uma série de objetivos de aprendizagem. Por conta disso, muitos professores buscam mostrar a seus alunos que

(...) realizar observações meticulosas e controladas de um fenômeno, elaborar uma ou mais hipóteses a respeito do problema, testar a hipótese por meio da experimentação, interpretar e analisar a hipótese testada, bem como generalizar e propor uma teoria explicativa para o fato observado, constitui-se em **uma das formas como a ciência busca interpretar e explicar a natureza** (ARMSTRONG; BARBOZA, 2011, p. 122, grifo nosso).

Assim, na escola, o uso da experimentação como processo investigativo contempla não apenas o objetivo de formar futuros cientistas, mas também possibilita ao indivíduo um entendimento de como se dá a construção deste conhecimento científico. Nas palavras de Lewin e Lomáscolo (1998, p. 148):

A situação de formular hipóteses, preparar experiências, realizá-las, recolher dados, analisar resultados, quer dizer, encarar trabalhos de laboratório como “projetos de investigação” favorece fortemente a motivação dos estudantes, fazendo-os adquirir atitudes, tais como curiosidade, desejo de experimentar, acostumar-se a duvidar de certas afirmações, a confrontar resultados, a obterem profundas mudanças conceituais, metodológicas e atitudinais.

No caso da botânica, um exemplo de experimentação muito abordado em livros escolares foi o estudo feito por Charles Darwin e seu filho Francis sobre o fototropismo em plantas, que culminou na edição do livro *The Power of Movement in Plants* (O poder do movimento nas plantas, tradução nossa). Este trabalho ajudou a elucidar os mecanismos de resposta das plantas sob influência da luz, viabilizou o posterior estudo dos hormônios vegetais e constituiu evidência para a construção da teoria evolutiva darwiniana (DARWIN, 1880). O trabalho em equipe dos Darwin pode ser utilizado para ilustrar conceitos-chave das ciências da natureza e servir de modelo para mostrar aos aprendizes como questões são feitas e respondidas na ciência (HARLEY, 2010).

A experimentação pode promover a contextualização de muitos assuntos no espaço escolar. No entanto, muitos dos conteúdos previstos no currículo do ensino médio não são facilmente tangíveis e abordáveis pela experimentação e constituem desafios para o professor. Na prática, a tentativa de recorrer a essa abordagem acaba muitas vezes levando a demonstrações previsíveis em sala de aula ou laboratório, em decorrência de uma formação deficiente dos professores em relação aos conceitos científicos e pedagógicos, ou em decorrência das condições de trabalho e da cultura escolar.

Para além destas concepções alternativas citadas na seção anterior e olhando especificamente para o fototropismo enquanto fenômeno, Firn (2009) identifica e traz quatro concepções prévias comuns que poderiam ser abordadas pela experimentação:

1. O fototropismo seria a capacidade de a planta *detectar* a direção da luz;
2. Só há um tipo de fototropismo, enquanto possivelmente há mais de dois tipos;
3. É possível estudar o fototropismo sem a interferência da gravidade no crescimento da planta (gravitropismo);
4. O fototropismo em laboratório mimetiza o que acontece na natureza.

O quarto item anterior é especialmente interessante, principalmente porque quando o fototropismo é estudado em laboratório e/ou no ambiente escolar, muitas concepções prévias não são abordadas por conta da impossibilidade de manipulação de características típicas do ambiente natural das plantas estudadas. Para além disso, fenômenos que são captáveis pelo olho humano sem aparatos de aumento ou aproximação, como é o caso do tropismo, e apresentados através do uso de imagens, podem apresentar problemas de visualização para o aluno. Isso acontece devido à dificuldade de os alunos construírem as relações entre a representação de um fenômeno em uma ilustração no livro didático e o registro do mesmo fenômeno em fotografias e/ou vídeos, como discutido na seção anterior. Outro ponto importante em relação à visualização é a questão do tamanho, uma vez que nem sempre o aluno é capaz de compreender as escalas dentro das quais os fenômenos estão sendo apresentados. Por fim, existem também dificuldades relacionadas à percepção do tempo; ou seja, para visualizar um fenômeno que acontece muito rapidamente ou

muito lentamente (como é o caso dos tropismos), é necessário que tal fenômeno seja referenciado na memória, por registros ou representações.

Face a estas questões, a simulação por meio de registros, na forma do hipervídeo, se apresenta como um recurso didático vantajoso. De acordo com Susi, Johannesson e Backlund (2007), simuladores são representações de situações reais elaboradas em programas de computador. O caráter inovador destes recursos evidencia um novo âmbito a ser explorado pela pesquisa que não deve ser negligenciado. Simulações com finalidades educativas podem constituir situações bastante estruturadas e projetadas para desenvolver nos alunos competências passíveis de serem transferidas para o mundo real – viabilizando novas construções de soluções para problemas apresentados pelo professor (ULICSAK; WRIGHT, 2010).

Mesmo diante do potencial das simulações, há relativamente poucos estudos sobre o uso de simuladores em botânica se compararmos com trabalhos desenvolvidos em outros centros de interesse na pesquisa educacional em ensino de biologia. Apesar de as tecnologias educacionais fornecerem alternativas a este cenário, os *softwares* criados com finalidades didáticas muitas vezes são produzidos por técnicos que não se atentam aos aspectos pedagógicos, às teorias de ensino e aprendizagem e aos conteúdos curriculares para elaboração destes programas – levando a falhas conceituais. Por outro lado, programas criados por professores podem incorrer em falhas técnicas apesar de possuírem conteúdos mais elaborados. Justamente por estes motivos, Lopes e Oliveira (2013) consideram que é vantajosa a possibilidade de elaboração de simuladores pelo próprio professor sem a necessidade de conhecimentos avançados de programação, utilizando ferramentas de edição que enquadrem os objetos de aprendizagem em determinado contexto educativo e respondam a uma necessidade pedagógica concreta. Os mesmos autores reforçam que, se houver a possibilidade de utilização de editores de criação de simuladores também pelos alunos, esse processo de autoria levaria a um conjunto novo de competências a serem desenvolvidas pelos aprendizes. Além disso, a criação do recurso didático em si cria uma ferramenta que pode ser utilizada em salas de aulas por diferentes professores em diversos contextos, ampliando o potencial de utilização destas tecnologias. Por estes mesmos motivos, como será abordado mais adiante, o simulador desenvolvido pelo autor deste trabalho foi construído utilizando-se da plataforma tecnológica do portal do Laboratório Integrado de Química e Bioquímica

da Universidade de São Paulo (LABIQ, 2015), que possui ferramentas disponíveis para o desenvolvimento de objetos de aprendizagem de licença livre sem a necessidade de conhecimentos avançados em programação. Dessa maneira, teríamos a possibilidade de encaminhar boas propostas metodológicas mediadas pelas TIC e, mais especificamente, pela simulação, dentro de contextos investigativos que viabilizem o envolvimento do aluno com o conteúdo e estimulem a criatividade, favorecendo a aprendizagem (ZANOTTO; CARLETTO; KOSCIANSKI, 2012).

Espera-se, portanto, que simuladores enquanto recursos didáticos podem ser importantes aliados para a transformação de conhecimentos prévios em científicos, já que colocam os alunos em contato com situações baseadas na realidade que dificilmente poderiam ser observadas na sala de aula. Não é de se surpreender que, apesar de a abordagem dos conteúdos de botânica pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2000) ser bastante generalista, as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) sugeriram o uso da simulação como ferramenta que permita o teste de hipóteses pelos alunos para que se efetive a aprendizagem em biologia (BRASIL, 2002). A possibilidade de o professor direcionar e mediar a interação dos alunos com tais realidades simuladas também é importante recurso para a construção de conhecimentos no ambiente escolar.

Associada à esta perspectiva, a teoria cognitiva da aprendizagem multimídia de Richard E. Mayer e Roxana Moreno (MAYER; MORENO, 1998, 2003; MORENO; MAYER, 2000) pode complementar estes pressupostos e oferecer um novo panorama que norteie a integração das TIC e da aprendizagem de conceitos científicos a partir das concepções prévias. Mayer e Moreno estudaram, inclusive, a construção de conhecimento em botânica utilizando ambientes de realidade virtual (MORENO; MAYER, 2002). Os autores reforçam a necessidade de confrontar os aprendizes com suas concepções a partir do reconhecimento de que determinada concepção sobre o funcionamento de um fenômeno pode não ser aplicável em determinadas situações. Os mesmos autores também sugerem que a construção de um novo modelo de concepção é favorecida quando o professor oferece ao aluno representações concretas do modelo que está sendo estudado – viabilizando testes de hipóteses por parte dos alunos. É diante desta perspectiva que discutiremos, na seção a seguir, a teoria cognitiva da aprendizagem multimídia de Mayer e Moreno.

5.4 Simulação e aprendizagem

Uma vez delimitada a distância entre o universo cultural da ciência e o universo cultural do indivíduo, percebemos que esta distância gera concepções alternativas sobretudo associadas a estruturas de linguagem, empregadas no ensino e na forma como os conceitos são apresentados nos recursos didáticos. Para diminuir esta distância, ou seja, fazer a ponte entre estes dois universos (indivíduo e ciência), sugerimos que a experimentação e a simulação pelo uso de vídeos e registros podem trazer inúmeras vantagens. Assim, a simulação baseada em hipervídeo, enquanto um recurso multimídia, pode auxiliar na construção desta ponte entre estes dois distintos universos. Para caracterizar a construção e o papel do simulador utilizado no âmbito deste trabalho, foram utilizados princípios da teoria cognitiva da aprendizagem multimídia (TCAM).

A TCAM, elaborada por Richard Mayer e Roxana Moreno (MAYER; MORENO, 1998, 2003; MORENO; MAYER, 2000), norteados pelo princípio de que os estudantes devem aprender melhor através do uso de palavras e imagens do que somente pelo uso das palavras isoladas, apoia-se nos seguintes pressupostos:

1. Hipótese da codificação dual: o processamento de sons e imagens é feito separadamente pelo indivíduo, até que estes estímulos sejam organizados e compilados com outras informações de maneira a constituir a memória de longo prazo. Esta hipótese é sustentada pela teoria da codificação dual (CLARK; PAIVIO, 1991);
2. Hipótese da capacidade limitada: este processamento de estímulos (sons e imagens) possui limitações, ou seja, nem toda informação disponível é passível de ser processada pelo indivíduo;
3. Hipótese do processamento ativo: o processamento das informações pelos indivíduos é um processo cognitivo ativo. Em outras palavras, as representações mentais construídas pelos indivíduos durante a aprendizagem são elaboradas pela seleção de informações julgadas mais relevantes.
4. Seleção, organização e integração: a aprendizagem ocorre após a seleção e organização de palavras e imagens pelo indivíduo e a integração das

representações verbais e visuais construídas a partir destas seleções com seus conhecimentos prévios.

A partir destes pressupostos, Mayer e Moreno (2003) concluíram que a redução da carga cognitiva deve auxiliar na promoção da aprendizagem. Para isso, reforçar e complementar a informação pela utilização de mídias de forma a amenizar essa carga pode trazer uma contribuição relevante no processo de aprendizagem. Visando este incremento na aprendizagem, Moreno e Mayer (2000) foram capazes de construir os seguintes princípios:

1. Princípio da coerência: o aprendizado é mais eficiente quando não são incluídos materiais que não contribuem significativamente para a construção do material multimídia explicativo, a exemplo de sons e imagens indevidamente contextualizados;
2. Princípio da contiguidade espacial: em uma mesma tela é necessário que texto e audiovisual estejam integrados fisicamente e não separados, para que a aprendizagem seja mais eficiente;
3. Princípio da contiguidade temporal: além da integração física, é importante também que texto e audiovisual estejam sincronizados temporalmente;
4. Princípio da modalidade: a locução promove melhor aprendizagem do que apenas a leitura do texto em tela;
5. Princípio da redundância: texto, animação e narração, quando apresentados simultaneamente, promovem melhor o aprendizado do que se apresentados separadamente;
6. Princípio da divisão da atenção: é importante que o material de instrução não leve o aprendiz a dividir seu foco de atenção entre várias fontes de informação, sejam elas visuais ou verbais.

Pressupõe-se que a simulação baseada nos princípios da TCAM possa abordar concepções prévias relacionadas à botânica e ao fototropismo e articulá-las com o conhecimento científico, de maneira a fazer com que a aprendizagem de conceitos relacionados a estes assuntos ocorra. Levando também em consideração o interesse que os movimentos das plantas podem despertar nos estudantes, o uso da simulação poderia viabilizar a exploração deste conteúdo pelo professor ao mesmo tempo em que sensibiliza os alunos para assuntos do conteúdo programático de botânica.

Espera-se que a simulação seja uma ferramenta adequada para a análise do comportamento fototrópico, uma vez que o fototropismo se torna facilmente observável se acelerado quando gravado em vídeo – ou seja, quando o tempo é simulado. Uma análise mais minuciosa da bibliografia mostra que ainda é pequena a quantidade de trabalhos sobre o tema, principalmente sobre o desenvolvimento de metodologias que possam ser utilizadas por professores para a construção de seus próprios simuladores (ZAPALSKA; BROZIK; RUDD, 2012). Relacionado à botânica, Maixner, Noyd e Krueger (2010) propõem o uso de um simulador baseado em um *software* de edição de planilhas para estudar o processo de transferência de calor ao longo do caule de plantas. Porém, abordagens como esta resultam em recursos didáticos que priorizam quase que exclusivamente aspectos quantitativos dos processos. A literatura carece de propostas de simuladores baseados em outras mídias para o ensino de biologia e botânica.

5.5 A inserção do simulador no contexto de ensino

É de competência do professor estabelecer os métodos pedagógicos que melhor se adequem ao seu alunado. Nem todos os estudantes têm as mesmas capacidades, interesses e ritmos de aprendizagem; para tanto é necessário um modelo de ensino e aprendizagem flexível que acompanhe essa diversidade. Práticas de ensino muito restritas e pouco flexíveis tendem a mobilizar processos cognitivos menos complexos, enquanto práticas de ensino mais amplas viabilizam a mobilização de processos cognitivos mais complexos (VALVERDE; JIMÉNEZ; VIZA, 2005). Benjamim Bloom (BLOOM et al., 1956) criou uma taxonomia capaz de hierarquizar estes processos cognitivos em termos de complexidade, ou seja, de acordo com o esforço intelectual que tais processos requerem por parte do indivíduo. Os três processos cognitivos que requerem menor esforço intelectual são conhecidos como processos cognitivos de baixa ordem (lembrar, compreender e aplicar) enquanto os três demais processos cognitivos que demandam maior esforço intelectual são denominados de processos cognitivos de alta ordem (analisar, avaliar e sintetizar).

Levando em consideração a taxonomia de Bloom, Priestley⁷ (1997 apud VALVERDE; JIMÉNEZ; VIZA, 2005) propôs uma escala de sete níveis de abertura para as práticas de ensino; conforme se avança de um nível para outro, o esforço cognitivo de acordo com a taxonomia de Bloom é potencializado. A escala está sumarizada na tabela a seguir.

⁷ PRIESTLEY, William Joseph. The impact of longer term intervention on reforming physical science teachers' approaches to laboratory instruction: seeking a more effective role for laboratory in science education. **Dissertation Abstracts International**, v. 58, n. 3, 1997.

Quadro 4 - Níveis de abertura de práticas de ensino

Nível	Título	Descrição das atividades	Processo cognitivo requerido
1	Hermeticamente fechado	Os alunos recebem todos os procedimentos da prática já prontos e inserem os dados em um roteiro com espaços em branco preparado pelo professor. Tabelas são utilizadas para listar os dados.	Lembrar
2	Muito fechado	Os alunos recebem todos os procedimentos da prática já prontos. Tabelas são utilizadas para listar os dados.	Lembrar
3	Fechado	Os alunos recebem todos os procedimentos da prática já prontos.	Lembrar e compreender
4	Entreaberto	Os alunos recebem todos os procedimentos da prática já prontos. Algumas perguntas e conclusões são abertas.	Compreender e aplicar
5	Ligeiramente aberto	Os alunos recebem a maioria dos procedimentos da prática já prontos. Algumas perguntas e conclusões são abertas.	Aplicar
6	Aberto	Os alunos desenvolvem seus próprios procedimentos. Muitas perguntas e conclusões são abertas.	Analisar e sintetizar
7	Muito aberto	É indicado aos alunos um problema que estes devem resolver, ou que eles mesmos propõem. Os alunos desenvolvem seus próprios procedimentos e tiram suas próprias conclusões.	Sintetizar e avaliar

Fonte: Priestley⁸ (1997 apud VALVERDE; JIMÉNEZ; VIZA, 2005, p.60)

⁸ PRIESTLEY, William Joseph. The impact of longer term intervention on reforming physical science teachers' approaches to laboratory instruction: seeking a more effective role for laboratory in science education. **Dissertation Abstracts International**, v. 58, n. 3, 1997.

Uma forma de fomentar situações para que os estudantes revejam os próprios conceitos é, portanto, aumentar o nível de abertura da atividade, solicitando por exemplo que os estudantes desenhem os procedimentos das práticas (SHILAND, 1999). Assim, o grau de intervenção do docente é inversamente proporcional ao grau de abertura da prática de ensino (que seria o mesmo que o grau de descobrimento por parte do estudante). Logo, atividades com baixos níveis de abertura mobilizariam processos cognitivos de baixa ordem, o que não levaria necessariamente à uma aprendizagem significativa. Ainda assim, atividades escolares que envolvem menores níveis de abertura são mais frequentes do que atividades de investigação, alternativas às atividades e aulas expositivas (SCHWAB, 1958). Segundo Domin (1999), estas últimas seriam como receitas de cozinha, ou seja, durante tais atividades não seria dada a devida importância à investigação ou interpretação dos resultados. Ademais, como já exposto, práticas expositivas não parecem alterar significativamente a aprendizagem e não representam o que é de fato a atividade científica; em outras palavras, os alunos passam mais tempo preocupando-se em chegar ao resultado correto previsto pelo professor do que planejando e organizando a atividade (STEWART, 1988). Sem protocolos prontos, os estudantes são estimulados a conduzir suas próprias práticas e experimentos, além de elaborarem suas próprias hipóteses e conclusões (TAMIR, 1977).

6 Pergunta de pesquisa

O desenvolvimento de um simulador requer um modelo explicativo que defina as possibilidades de simulação. Assim, o simulador necessariamente expõe uma realidade construída dentro das cercanias do modelo explicativo adotado. Isto implica em limitações e torna necessário o cuidado para que o modelo não suplante a realidade, de modo a não reforçar a ideia de que o conhecimento científico pode prever fenômenos – reforçando concepções positivistas de ciência. Esta questão não é relevante apenas no âmbito da concepção do simulador e na definição dos parâmetros de simulação disponíveis ao estudante, mas também no que diz respeito à escolha das representações visuais dos fenômenos simulados. Por vezes, adotam-se estereótipos que melhor representam os fenômenos de modo que sejam representações de uma projeção da realidade determinada pelo modelo que norteia o simulador e não pela realidade em si. Neste caso, as representações também podem favorecer a substituição da realidade pelo modelo, novamente contribuindo para reforçar concepções positivistas de ciência. De fato, isto é relativamente comum nas ilustrações presentes em livros de didáticos e outros recursos de ensino. No caso específico do tropismo, como será mostrado mais adiante neste trabalho, o uso de vídeos causou estranhamento nos estudantes que esperavam que as plantas se comportassem tal qual as representações presentes nos livros.

Espera-se, portanto, que os conceitos sobre tropismos possam ser transpostos em outros contextos a partir do uso de um simulador capaz de favorecer a incorporação destes conceitos ao repertório do aluno. Ademais, esperamos que a construção deste objeto de aprendizagem viabilize em sala de aula o estudo de um fenômeno biológico complexo e, ao mesmo tempo, possibilite a discussão de temas importantes, não apenas na botânica, mas também no âmbito da construção do conhecimento na ciência.

7 Proposta de trabalho

Este trabalho foi conduzido partindo-se do pressuposto de que as questões levantadas até aqui devem ser levadas em conta tanto no **âmbito da construção do simulador** quanto no **âmbito da situação de ensino em que o simulador é aplicado**. No âmbito do simulador, ou seja, no plano da representação dos fenômenos, admitimos que o uso de vídeos reais (registros) no lugar de animações pode contribuir para que se estabeleçam relações mais significativas entre o modelo e o fenômeno simulado. Já no âmbito da atividade, admitimos que o contexto investigativo no qual se pretende utilizar o simulador favorece a aprendizagem. Admitimos também que um indício da aprendizagem de um conceito é a possibilidade de aplicar tal conceito em situação análoga, porém diversa daquela em que o conceito foi apresentado. Estas premissas foram examinadas a partir da atividade de uso do simulador no contexto investigativo delineado e também pela análise da produção de estudantes em dois níveis de abordagem:

- 1) Requisição de conceitos que possam ser deduzidos ou obtidos diretamente do simulador;
- 2) Aplicação dos conceitos deduzidos/obtidos do simulador em situações distintas da simulação, através de interpolação ou extrapolação dos conceitos abordados.

Para a operacionalização destes princípios na concepção da atividade com o simulador, foi utilizada a matriz conceitual proposta a seguir. A matriz é organizada em dois eixos analíticos: **abordagem dos fenômenos** e **dimensões de representação dos fenômenos**. O eixo de abordagem leva em consideração o que se objetiva descrever e explicar em relação aos fenômenos, enquanto o eixo de dimensões de representação leva em consideração a dimensão macroscópica (fenomenológica concreta) e a dimensão microscópica (fisiologia e hormônios vegetais), análogo a outros esquemas adotados na química (JOHNSTONE, 1991; MORTIMER; MACHADO; ROMANELLI, 2000). Em suma, na matriz conceitual abaixo estão elencados os conceitos-chave julgados necessários para a compreensão do conteúdo abordado.

Quadro 5 - Matriz dos conceitos julgados mais relevantes para o ensino e aprendizagem de tropismos

	MACROSCOPICAMENTE	MICROSCOPICAMENTE
DESCREVER	<ol style="list-style-type: none"> 1. Como a planta cresce e/ou se curva com diferentes posicionamentos da fonte de luz em relação à planta; 2. Qual lado da planta em relação à fonte de luz crescerá mais para que haja a curvatura; 3. Como se dá o crescimento da planta quando em diferentes posições (em pé, deitada, invertida, etc.); 4. As diferenças no crescimento de plantas expostas à luz e no escuro; 5. As diferenças entre as respostas da raiz e do caule a estímulos externos 6. O crescimento de uma planta e suas estruturas em um ambiente natural. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. A resposta do hormônio auxina a diferentes estímulos externos à planta como luz e gravidade; 2. Em que parte do caule e da raiz haverá maior ou menor concentração do hormônio auxina para que o crescimento e/ou curvatura seja estimulado ou inibido; 3. As diferenças nas respostas do caule e da raiz para diferentes concentrações de auxina.
EXPLICAR	<ol style="list-style-type: none"> 1. Por que a raiz e o caule respondem à luz apresentando crescimentos/curvaturas distintos uma vez que a distribuição do hormônio ao longo dessas estruturas sob influência da luz é a mesma; 2. Por que o crescimento da planta é possível mesmo sem haver estímulo luminoso e como esse crescimento implica em vantagens para a planta; 3. Por que um caule iluminado unilateralmente cresce mais no lado não iluminado e, portanto, a luz inibe o crescimento do lado iluminado; 4. Por que um caule de ponta cabeça tenderá a curvar-se e voltar seu crescimento para cima ao invés de continuar a crescer verticalmente para baixo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Como as diferentes sensibilidades ao hormônio auxina por parte do caule e da raiz podem influenciar seus crescimentos e curvaturas; 2. Como o local de produção de auxina pode influenciar as diferentes sensibilidades ao hormônio ao longo da planta; 3. Como as variações nas concentrações hormonais podem estimular ou inibir o crescimento do caule ou da raiz.

Fonte: do autor.

Acredita-se que o hipervídeo elaborado seja capaz de suprir esta lacuna ao permitir, em diferentes situações de ensino, uma ampla abordagem da matriz conceitual. Já em termos elaboração de hipervídeos, propõe-se que estes podem ser empregados pelo aprendiz em quatro modos de interação distintos:

1. Reprodução simples: o aluno para e continua o vídeo;
2. Anotação: o aluno interage com o vídeo de modo a obter informação textual ou hipertextual a partir de regiões interativas do vídeo, porém não interfere na linha de tempo, que deve ser seguida de forma linear;

3. Simulação: o aluno interage com regiões interativas do vídeo que apresentam possibilidades de manipular variáveis experimentais; estas regiões interativas remetem a outros pontos da linha do tempo do vídeo que contêm sequências em vídeo dos resultados correspondentes às escolhas tomadas anteriormente;
4. Autoria: o aluno produz seus próprios simuladores em um software que permita editar a navegação do vídeo.

Logo, o hipervídeo elaborado viabiliza a relação do objeto de aprendizagem com o aluno até o 3º nível de interação, favorecendo a construção do conhecimento científico pela exploração dos conteúdos de botânica relacionados ao fototropismo em nível de simulação. Dessa maneira, a interação entre aluno e simulador converge com a proposta de uso da simulação como forma de diminuir a distância entre o fazer científico e o cotidiano dos alunos, que muitas vezes é reforçado pelos materiais didáticos e suas representações visuais dos fenômenos estudados. Nestas situações, a simulação se coloca também como uma alternativa a estas representações por apresentar registros na forma de imagens dinâmicas de fenômenos reais, propiciando situações nas quais o estudante pode valorar o poder explanatório de seus conceitos prévios e dos conceitos científicos face às situações problema, favorecendo a utilização das concepções prévias e do simulador na busca da organização dos conhecimentos a serem construídos em sala de aula (LALIN-SOATO, 2010).

A partir destas constatações, para os propósitos deste trabalho é conveniente estabelecer uma classificação para os simuladores, considerando-se dois eixos fundamentais: o eixo do percurso realizado durante a simulação e o eixo das representações do fenômeno simulado. Assim, quatro tipos propostos de simuladores em termos de exploração seriam passíveis de serem construídos, descritos no quadro a seguir.

Quadro 6 - Tipos de simuladores

Tipo de simulador	Descrição
a. simulador pontual	Não há percurso a ser navegado; circunscrito a um corpo restrito de conceitos, não permite exploração entre corpos do universo conceitual
b. unidirecional (exploração linear)	Há exploração seguindo um percurso definido pelo criador do simulador; admite apenas um trajeto de exploração envolvendo um ou mais conceitos dentro do universo conceitual total ou de parte dele.
c. multidimensional (exploração não linear)	A exploração admite escolhas por parte do usuário, porém dentro de caminhos pré-determinados pelo criador do simulador, dentro do universo conceitual total ou de parte dele.
d. pluridimensional (exploração livre)	Admite a criação de percursos de exploração, seja dentro do universo conceitual total ou de parte dele, que não foram necessariamente previstos pelo criador do simulador.

Fonte: do autor.

É importante ressaltar que cada um dos quatro tipos supracitados trafega dentro de espaços mais ou menos amplos em termos de possibilidades de navegação, como mostra o diagrama a seguir. Percebe-se pelo diagrama que conforme aumentamos as possibilidades de exploração, mais tipos de simuladores podem ser elaborados para explorar um certo universo conceitual.

Figura 3 - Diagrama de navegações possíveis em simuladores

Fonte: do autor.

No diagrama, percebe-se que simuladores de exploração pontual permitem uma menor interação com o simulador. Em contrapartida, simuladores de exploração linear são capazes de realizar interações maiores, porém menores do que a abordagem realizada pelos simuladores de exploração linear. Por conseguinte, simuladores de exploração livre permitem ampla navegação e interação. Dentre as quatro classificações propostas, o objeto de aprendizagem construído no âmbito deste trabalho poderia ser categorizado como um simulador de exploração não linear (c). Propõe-se também que conforme aumentamos as possibilidades de exploração, aumentamos também o grau de abertura da prática de ensino de acordo com a classificação de Priestley⁹ (1997 apud VALVERDE; JIMÉNEZ; VIZA, 2005) e, simultaneamente, mobilizamos um esforço cognitivo maior por parte do alunado. Esta taxonomia de classificação de simuladores é, enfim, um instrumento teórico proposto para articular os aspectos metodológicos da experimentação com os aspectos do simulador como recurso didático.

⁹ PRIESTLEY, William Joseph. The impact of longer term intervention on reforming physical science teachers' approaches to laboratory instruction: seeking a more effective role for laboratory in science education. **Dissertation Abstracts International**, v. 58, n. 3, 1997.

Nesse momento, é importante também estabelecer que, para além dos percursos navegáveis, os simuladores podem apresentar diferentes modos representacionais dos fenômenos simulados, resumidos no quadro abaixo.

Quadro 7 - Modos representacionais de simulação de fenômenos

Registro		Simbólico e/ou analógico
Estático	Fotografia	Desenho; equação; gráfico.
Dinâmico	Vídeo	Animação; equação animada; gráfico animado.

Fonte: do autor.

Uma vez formalizada esta classificação dos modos representacionais, reforça-se aqui que, para o simulador de fototropismo, o modo representacional escolhido foi o registro dinâmico em vídeo. Esta escolha justifica-se pela ausência deste tipo de representação nos materiais escolares, a exemplo de livros-texto e apostilas, que preferem utilizar sobretudo representações estáticas em forma de desenhos. Tais representações se afastam em demasiado do fenômeno; logo, a utilização do registro não apenas se apresenta como uma alternativa didática possivelmente mais interessante como também se constitui como uma inovação no estudo do fototropismo dentro do contexto do ensino médio.

Como já abordado, pretendeu-se que o simulador viabilizasse a aprendizagem dentro da proposta da teoria cognitiva de aprendizagem multimídia. Logo, objetos de aprendizagem como animações, vídeos e simulações oferecem recursos que podem levar a alternativas na construção de tais modelos de representação de fenômenos, sobretudo quando o professor tem dificuldades para observar tais fenômenos com seus alunos na prática. Espera-se que após a simulação os aprendizes tenham condições de aplicar os conceitos aprendidos em outros contextos, extrapolando a compreensão do conteúdo para além das concepções prévias já documentadas na bibliografia e neste trabalho.

8 METODOLOGIA

A metodologia a seguir contempla a concepção e desenvolvimento do objeto de aprendizagem, assim como o detalhamento da tomada e tratamento de dados durante a investigação do papel do simulador junto aos estudantes.

8.1 Concepção do simulador

O simulador de fototropismo em hipervídeo, em duas versões, foi concebido a partir de percepções acerca dos conteúdos em termos curriculares e da relação destes com os estudantes. Em outras palavras, a concepção se deu a partir da conversão de um conhecimento tácito, intrínseco ao professor, para o explícito. A partir destas percepções e do conhecimento gerado a partir delas, foi buscada a fundamentação teórica apresentada anteriormente, que serviu de base para o planejamento do simulador.

Logo, o simulador foi concebido a partir da observação dos modos representacionais do fototropismo nos materiais didáticos (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2013; CAMPBELL et al., 2010; LOPES; ROSSO, 2010; SILVA JUNIOR; SASSON, 2002; LINHARES; GEWANDSZNAJDER, 2005; PAULINO, 2002; AMABIS; MARTHO, 2006), o que resultou no registro em *time-lapse*¹⁰ de coleóptiles¹¹ em crescimento sob influência da luz em condições variadas. É importante sublinhar que a pretensão deste simulador de fototropismo é, na realidade, **simular o tempo** – uma vez que o crescimento das plântulas é lento e dificilmente constatado no intervalo de tempo de uma aula regular.

¹⁰ Um vídeo de lapso temporal ou *time-lapse* é aquele produzido a partir de uma sequência de fotos que contemplam um fenômeno; quando tais fotos são vistas em determinada velocidade, tem-se de a impressão de que o fenômeno ocorre mais rapidamente do que o normal.

¹¹ Coleóptile ou coleóptilo é a camada protetora dos caules de plântulas do grupo das monocotiledôneas, o mesmo grupo do milho e do alface. Os coleóptiles são utilizados como modelo no estudo dos tropismos.

Na perspectiva da teoria cognitiva de aprendizagem multimídia (TCAM), discutida no referencial teórico, uma aprendizagem efetiva se dá pela combinação das representações verbais e não verbais. No âmbito da TCAM, Moreno e Mayer (2007) definem *modo* como o código utilizado para representar uma informação, seja ela verbal (a exemplo de textos e palavras faladas) ou não verbal (a exemplo de ilustrações e vídeos). Já *modalidade* se refere aos sentidos utilizados durante a recepção de dados, ou seja, a audição e a visão. Assim, uma aprendizagem multimodal, ou seja, baseada em vários modos, pode ser interativa ou não interativa. Nesta última, a mensagem multimodal apresenta-se pré-determinada, impossibilitando o aluno de alterar o caminho durante o processo de aprendizagem, como ocorre em livros didáticos e animações narrativas. Outro exemplo de aprendizagem multimodal não interativa se dá no formato tradicional da sala de aula, quando os alunos apenas escutam as explicações do professor e observam ilustrações e animações. Na aprendizagem multimodal interativa, no entanto, a aprendizagem seria mais ativa por conta da possibilidade de interação entre aluno e conteúdo. Moreno e Mayer (2007) definem cinco tipos de aprendizagem multimodais interativas:

1. Diálogo: determinado pela interação entre conteúdo e aluno, sobretudo através de perguntas e repostas;
2. Controle: o aluno define o ritmo do conteúdo, na forma de uma apresentação que pode ser pausada, acelerada e continuada a critério do estudante;
3. Pesquisa: determinado pela busca de informações em que há participação ativa do indivíduo;
4. Navegação: se dá pela seleção de informações necessárias;
5. Manipulação: permite alteração de variáveis relacionadas à uma representação por parte do aluno.

O quinto tipo de aprendizagem multimídia é especialmente relevante para este trabalho, uma vez que é este o tipo de interação que leva o aluno a uma postura mais ativa e parece contribuir positivamente para a aprendizagem, pois assim o aluno pode compreender melhor o modelo que está sendo ensinado (MOREIRA; BORGES, 2007).

Ressalta-se que, apesar da contribuição que os recursos multimídia podem trazer para a aprendizagem, isso não significa necessariamente que ambientes ricos em recursos multimídia certamente resultarão em melhor aprendizagem ou levem à elaboração de estruturas cognitivas mais elaboradas (SCHNOTZ; LOWE, 2003). Moreira e Borges (2007) sugerem que a utilização de recursos multimídia deve alinhar a capacidade cognitiva dos estudantes com o conteúdo que será ensinado. Assim, as representações, sejam elas verbais ou não verbais, devem ser apresentadas aos estudantes pelas modalidades auditivas e visuais, pois o processamento destes estímulos possui limitações quanto ao seu processamento. Logo, o uso de recursos multimídia deve ser planejado de maneira a não levar a distrações que impactem negativamente no ensino e aprendizagem pelo aumento da carga cognitiva.

O simulador de fototropismo construído leva em consideração uma situação de ensino e aprendizagem que se pretende multimodal e interativa a partir do momento em que viabiliza uma discussão entre alunos e professor acerca dos conteúdos de botânica pela interação dos alunos com o objeto de aprendizagem. Nesta interação, o aluno deve mobilizar cinco processos cognitivos distintos (Mayer, 2009):

1. Seleção de palavras relevantes para que sejam processadas na memória operacional verbal;
2. Seleção de imagens significativas para que sejam processadas na memória operacional visual;
3. Organização das palavras selecionadas em um modelo verbal;
4. Organização das imagens selecionadas em um modelo visual;
5. Integração das representações verbais e visuais com um conhecimento prévio.

Logo, a construção de um objeto de aprendizagem na forma de um simulador pelo próprio professor viabiliza a escolha, por parte do docente, de representações que sejam adequadas para seu público-alvo que possam ser articuladas com os conhecimentos prévios de seus alunos.

8.2 Construção do simulador

Para a construção do simulador baseado em hipervídeo foi necessário o desenvolvimento de uma metodologia capaz de acompanhar o crescimento das plântulas (coleóptiles) em diferentes condições de luminosidade e suas respectivas respostas fototrópicas. Para tanto, foi construída uma caixa escura capaz de viabilizar a gravação em vídeo destas plântulas. Tais vídeos passaram por processamento e posterior edição através da plataforma tecnológica do portal LABIQ¹². O detalhamento destes processos encontra-se a seguir.

8.2.1 Captação de imagens

Para que as filmagens fossem possíveis, conectou-se ao computador uma *webcam* com capacidade de gravar vídeos em alta resolução em função macro, uma vez que as plântulas possuem tamanho reduzido e precisam ser filmadas com razoável aproximação da câmera. Esta *webcam* foi disposta no interior de caixas escuras dentro das quais as plântulas em crescimento foram dispostas. Duas versões¹³ de caixas escuras foram construídas: a primeira em isopor e a segunda em papelão, tendo em vista a maior facilidade de acesso a este material. A segunda versão da caixa também recebeu em seu interior papel preto quadriculado em branco, para que o crescimento das plantas fosse mais facilmente medido ao longo das gravações. Cada caixa elaborada resultou na produção de um simulador distinto.

¹² O Laboratório Integrado de Química e Bioquímica (LABIQ), apresentado anteriormente no referencial teórico, visa o desenvolvimento de objetos de aprendizagem de licença livre.

¹³ Em 2016, em sua primeira versão, a caixa escura foi construída em isopor com dimensões aproximadas de 28,5 cm de comprimento, 18 cm de largura e 17 cm de altura. Em 2017, a segunda versão da caixa foi construída em papelão, com dimensões aproximadas de 25 cm de comprimento, 15 cm de largura e 12,5 cm de altura.

Figura 4 – Primeira versão da caixa para filmagem dos coleóptiles, fechada

Fonte: do autor.

No interior das caixas, revestido pela cor preta, foram dispostas duas lâmpadas do tipo LED ligadas individualmente a interruptores, de maneira a possibilitar o acendimento de qualquer uma das duas lâmpadas, individual ou simultaneamente.¹⁴ Para a filmagem dos vídeos foram utilizadas plântulas de milho inicialmente estioladas (ou seja, germinadas no escuro) e posteriormente submetidas à iluminação em nove diferentes situações, a depender da posição da luz e da integridade do ápice caulinar¹⁵:

Situação 1. Plântula com ápice intacto:

- a. Iluminada unilateralmente à esquerda
- b. Iluminada unilateralmente à direita
- c. Iluminada unilateralmente à esquerda

¹⁴ A primeira versão da caixa escura dispunha de duas lâmpadas nas laterais, e para iluminar as plântulas homoganeamente ambas as lâmpadas eram acionadas simultaneamente. A segunda versão da caixa dispunha de aberturas para as lâmpadas em sua porção superior, que permitiam a disposição das lâmpadas em qualquer um dos lados ou centralmente (esta última permitia a iluminação homogênea).

¹⁵ O ápice caulinar é a região da planta responsável pela distribuição do hormônio auxina, que promove o crescimento da planta. Se o ápice caulinar for removido, a produção de hormônio cessa e a planta retarda seu crescimento. Se o ápice caulinar for coberto, a planta é incapaz de promover o fototropismo e cresce apenas verticalmente.

Situação 2. Plântula com ápice cortado:

- a. Iluminada unilateralmente à esquerda
- b. Iluminada unilateralmente à direita
- c. Iluminada unilateralmente à esquerda

Situação 3. Plântula com ápice coberto:

- a. Iluminada unilateralmente à esquerda
- b. Iluminada unilateralmente à direita
- c. Iluminada unilateralmente à esquerda

Figura 5 - Interior da primeira versão da caixa de filmagem

Fonte: do autor.

Figura 6 – Interior da primeira versão da caixa montada

Fonte: do autor.

A segunda versão do simulador, diferentemente da primeira, recebeu uma grade quadriculada¹⁶ para que o crescimento das plântulas ao longo da simulação pudesse ser quantificado. Para a constatação da resposta fototrópica, foram utilizadas lâmpadas LED de 6 watts, 480 lumens e luz branca. A proximidade entre as lâmpadas e as plântulas é crucial para que ocorra a resposta ao estímulo luminoso; é importante, pois, que a caixa tenha pequenas dimensões, viabilizando também a proximidade entre planta e câmera para a filmagem. Lâmpadas LED também são mais versáteis por sua baixa temperatura, o que não compromete o isopor, papelão ou outros tipos de materiais que possam vir a ser utilizados durante filmagens muito longas.

¹⁶ Com quadrados de 0,5 cm de lado, desenhados em branco sobre papel preto.

Figura 7 - Segunda versão da caixa escura, em papelão

Fonte: do autor.

Figura 8 - Interior da segunda versão da caixa escura, em papelão

Fonte: do autor.

Para a germinação das sementes de milho foi utilizado substrato comum, disposto em pequenos vasos de plástico. Após cobrir as sementes com substrato, o vaso recebia água regularmente e a germinação acontecia após cerca de três dias.

Quando as plântulas atingiam entre 2 e 3 cm, os vasos eram dispostos dentro da caixa e filmados ao longo de, em média, 8 horas. Plantas mais velhas são menos sensíveis à variação de luz e o crescimento dos coleóptiles deixa de ser facilmente verificado. Para a filmagem dos vídeos de lapso temporal foi utilizado o *software* de licença gratuita *SkyStudioPro*¹⁷.

8.2.2 Edição de imagens

Os vídeos gravados pelo *SkyStudioPro* são automaticamente salvos pelo programa em uma pasta previamente escolhida pelo usuário e, em geral, dispensam edições individuais. No entanto, a plataforma LABIQ edita apenas um vídeo anotado por vez e não é capaz de mesclar vários vídeos em apenas um. Dessa maneira, foi necessário o uso de uma ferramenta capaz de mesclar todos os vídeos produzidos em um só e que também fosse capaz de inserir legendas de identificação para cada vídeo produzido. Para isso, o *software Movie Maker*¹⁸ foi escolhido por sua facilidade de uso e acesso, além de ser também gratuito. Após a fusão de todos os vídeos e inserção das respectivas legendas foi criado um único arquivo de vídeo em formato *.mp4, utilizado como base para a construção do recurso didático.

8.2.3 Finalização do simulador

Os ajustes finais da construção do simulador baseado em hipervídeo foram feitos na plataforma tecnológica do portal LABIQ. Como já discutido, a plataforma possui ferramentas de autoria com interface de fácil operação, o que dispensa conhecimentos de programação. Tal instrumento permite que quaisquer professores e alunos com acesso à internet produzam seus objetos de aprendizagem com enfoque

¹⁷ Disponível em <http://www.skystudiopro.com>.

¹⁸ Disponível em <https://support.microsoft.com/pt-br/help/14220/windows-movie-maker-download>.

menos técnico e mais pedagógico, atendendo à proposta deste trabalho. Para a criação de hipervídeo, a ferramenta da plataforma utilizada foi o editor de vídeos anotados, que cria vídeos interativos que podem interagir com outros objetos disponíveis na plataforma. O esquema a seguir representa a estrutura básica das duas versões do simulador criado.

Figura 9 - Diagrama de funcionamento básico do simulador

Fonte: do autor.

As setas indicam saltos na linha temporal do hipervídeo a partir de um menu de opções que possibilita a alteração de variáveis como posição da luz e integridade do coleóptile. Cada salto da linha temporal remete a um vídeo que exibe uma plântula de milho crescendo nas condições escolhidas; ao final do vídeo, um botão clicável é exibido possibilitando o retorno ao menu inicial. Na segunda versão do simulador, o botão de retorno ao menu foi disponibilizado durante toda a simulação, e não apenas ao final de cada vídeo, possibilitando que o aluno retornasse ao menu em qualquer

momento. Após a finalização da construção do objeto de aprendizagem pela plataforma, este é alocado automaticamente em um endereço *online*. Os simuladores desenvolvidos podem ser acessados pelos endereços a seguir:

Primeira versão (2016): <http://bit.ly/simuladorfototropismo>

Segunda versão (2017): <http://bit.ly/fototropismo>

8.3 Investigação do papel do simulador

8.3.1 Planejamento e aplicação dos testes

Para viabilizar os testes foram construídas sequências didáticas organizadas como descrito nos quadros a seguir. As diferenças na quantidade de aulas de um ano para outro e no planejamento das sequências se deu por conta de obrigações para com o planejamento de atividades escolares previstas para cada ano.

Quadro 8 – Planejamento de aulas para 2016

SEMANA 1				
AULA (50 minutos por aula)	OBJETIVO DE ENSINO	OBJETIVO DE PESQUISA	DADOS COLETADOS	INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS
1 (sala comum, com toda a turma)	Introduzir os conteúdos sobre fitormônios (auxinas) e tropismos	Aplicação do pré-teste; levantamento rápido de hipóteses a serem testadas juntamente dos alunos	Concepções prévias dos alunos sobre o conteúdo de tropismos e hormônios vegetais; constatações acerca da dinâmica em sala de aula	Questionário pré-teste; registro de diário de campo
2 (laboratório de informática, com metade da turma – alunos ímpares)	Compreender os mecanismos que levam às respostas fototrópicas	Retomada das hipóteses pré-elaboradas na aula 1; teste das hipóteses junto da interação com o hipervídeo	Capturas de tela em vídeo das interações dos alunos com o objeto de aprendizagem; constatações acerca da dinâmica em sala de aula	Software de captura de tela (CamStudio); registro de diário de campo
SEMANA 2				
3 (sala comum, com toda a turma)	Aula sobre o mecanismo de funcionamento e funções das auxinas.	Verificar eventuais mudanças na compreensão do conceito de tropismo	Constatações acerca da dinâmica em sala de aula	Registro de diário de campo
4 (laboratório de informática, com a metade restante da turma – alunos pares)	Compreender os mecanismos que levam às respostas fototrópicas	Retomada das hipóteses pré-elaboradas na aula 1; teste das hipóteses junto da interação com o hipervídeo.	Capturas de tela em vídeo das interações dos alunos com o objeto de aprendizagem; constatações acerca da dinâmica em sala de aula	Software de captura de tela (CamStudio); registro de diário de campo
SEMANA 3				
5 (sala comum, com toda a turma)	Discussão e formalização dos conhecimentos construídos coletivamente; aula expositiva sobre tropismos e demais movimentos vegetais.	Aplicação do pós-teste; verificar eventuais mudanças na compreensão do conceito de tropismo	Mudanças nas concepções prévias dos alunos sobre o conteúdo de tropismos e hormônios vegetais; constatações acerca da dinâmica em sala de aula	Questionário pós-teste; registro de diário de campo

Quadro 9 – Planejamento de aulas para 2017

SEMANA 1				
AULA (50 minutos por aula)	OBJETIVO DE ENSINO	OBJETIVO DE PESQUISA	DADOS COLETADOS	INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS
1 (sala comum, com toda a turma)	Compreender os conteúdos relacionados aos fitormônios (auxinas) e tropismos	Identificar concepções prévias e alternativas	Concepções prévias dos alunos sobre tropismos e hormônios vegetais; constatações acerca da dinâmica em sala de aula	Registro de diário de campo
SEMANA 2				
2 (sala comum, com toda a turma)	Devido ao tempo escasso, somente foi realizada a aplicação do pré-teste e do questionário de recolhimento das representações visuais	Aplicação do pré-teste e recolhimento das representações visuais dos estudantes	Concepções prévias dos alunos sobre tropismos e hormônios vegetais; constatações acerca da dinâmica em sala de aula	Questionário de pré-teste e de representações visuais; registro de diário de campo
3 (laboratório de informática, com metade da turma – alunos ímpares)	Compreender os mecanismos que levam às respostas fototrópicas	Levantamento rápido de hipóteses e teste das hipóteses junto ao simulador	Capturas de tela em vídeo das interações dos alunos com o simulador; constatações acerca da dinâmica em sala de aula	Software de captura de tela (CamStudio); registro de diário de campo
SEMANA 3				
4 (sala comum, com toda a turma)	Aula sobre os demais hormônios vegetais	Aplicação do pós-teste para os alunos que já haviam interagido com o simulador	Mudanças nas concepções prévias dos alunos sobre tropismos e hormônios vegetais; dados da dinâmica em sala de aula; pós-teste.	Questionário pós-teste; registro de diário de campo
5 (laboratório de informática, com a metade restante da turma – alunos pares)	Compreender os mecanismos que levam às respostas fototrópicas	Levantamento das hipóteses a serem testadas; teste das hipóteses junto da interação com o hipervídeo; aplicação do pós-teste	Capturas de tela em vídeo das interações dos alunos com o simulador; constatações acerca da dinâmica em sala de aula	Questionário pós-teste; software de captura de tela (CamStudio); registro de diário de campo

Como explicitado na seção que descreve o contexto investigativo, a sequência didática foi aplicada em seis turmas da 2ª série do ensino médio (três em 2016 e três em 2017) em uma escola particular da cidade de São Paulo, totalizando 225 alunos. Como modelo de pré-teste e pós-teste, foi aplicado um questionário com itens em uma escala de quatro pontos do tipo Likert¹⁹ (LIKERT, 1932), de modo a mensurar a distância entre os níveis de concordância e discordância antes e após os testes.

Na primeira aula, após a aplicação do pré-teste, foi contada a história sobre a descoberta das auxinas, o mecanismo geral de produção de hormônio e a maneira como este é transportado ao longo da planta. Em seguida, foi apresentado aos alunos o conceito de tropismos com base na percepção generalizada que os alunos têm do conceito a partir de suas construções e experiências pessoais.

Em 2016, para finalizar a primeira aula em sala comum, foram construídas coletivamente hipóteses a respeito de três perguntas, a serem retomadas na aula seguinte, no laboratório de informática. A elaboração destas perguntas e seu respectivo roteiro de discussão foi feita com base na matriz conceitual da proposta de trabalho, que orientou também a construção do questionário utilizado como pré-teste e pós-teste. As perguntas e o roteiro de exploração estão apresentados a seguir.

Pergunta 1: o caule sempre busca o estímulo luminoso? De que maneira?

Roteiro de discussão:

- A. A planta sempre cresce em direção à luz?
- B. Essa busca pela luz caracteriza-se por um crescimento real da planta ou apenas uma simples curvatura?
- C. Em caso de crescimento, qual o lado que mais cresce: o iluminado ou o não iluminado?
- D. Há curvatura se a luz for homogênea?
- E. É possível fazer a planta se curvar ao se manipular a luz ambiente?

¹⁹ Os itens utilizados foram: discordo totalmente, discordo parcialmente, concordo parcialmente e concordo totalmente. O questionário aplicado em 2016 possuía catorze questões, enquanto o questionário de 2017 possuía dez questões. Essa diferença se deu porque a primeira versão do questionário abordou também conteúdos relativos ao gravitropismo, pois pretendia-se que o simulador fosse capaz de abordar também este assunto. Verificada a não possibilidade desta abordagem em 2016, o questionário aplicado em 2017 não contemplou as questões com referência ao gravitropismo.

Pergunta 2: considerando a forma pela qual as auxinas são produzidas, como impedir o crescimento/curvatura do caule?

Roteiro de discussão:

- A. Se não houver crescimento, há curvatura?
- B. Se não houver crescimento, a planta responderá à luz?

Pergunta 3: seria possível impedir que a planta curve em direção à luz sem impedir seu crescimento?

Roteiro de discussão:

- A. Um caule coberto, se iluminado lateralmente, terá disposição diferencial de auxinas em algum de seus lados?
- B. Se o caule busca sempre a luz, isso significa que as concentrações de auxinas ao longo do caule são diferentes?
- C. Em um caule coberto, a produção de auxinas é mantida?

Em 2017, tal roteiro foi utilizado apenas para guiar os alunos durante a interação com o simulador no laboratório de informática, visto que a primeira aula foi utilizada não apenas para aplicação dos pré-testes, mas também para o recolhimento das representações visuais dos estudantes acerca do fototropismo – não restando tempo hábil para a discussão prévia do roteiro.

Na aula 2, no laboratório de informática, o roteiro foi utilizado para orientar a discussão e a construção coletiva das hipóteses. Para cada pergunta, cada uma das hipóteses construídas coletivamente era então testada no simulador. Enquanto isso, cada computador recolheu dados da interação utilizando o *software* de licença gratuita *CamStudio*; tal aplicação é capaz de capturar e gravar em vídeo toda a atividade que ocorre no computador, permitindo o detalhamento e entendimento da relação aluno-simulador.

É importante ressaltar que alguns conceitos não diretamente abordados pelo questionário, pela sequência didática e pelo roteiro poderiam influenciar as respostas dos pré-testes e pós-testes. Tais conceitos estariam atrelados às exceções observadas entre as plantas em relação às respostas a estímulos externos e as relações destes estímulos com os hormônios vegetais e os tropismos. Em outras palavras, eram esperados questionamentos por parte dos alunos a respeito de comportamentos das plantas não previstos pelo modelo utilizado no ensino médio. De

fato, o comportamento apresentado pelos coleóptiles de milho não é o mesmo comportamento verificado por outras espécies de plantas. Algumas constatações que esperava-se encontrar entre os alunos são:

1. Nem todo caule apresenta fototropismo positivo
2. Nem toda raiz apresenta fototropismo negativo
3. Nem todo caule apresenta gravitropismo negativo
4. Nem toda raiz apresenta gravitropismo positivo
5. O ápice caulinar não é o único local de produção da auxina

Estas questões poderiam ser pensadas pelos alunos espontaneamente, e sobretudo porque as apostilas utilizadas como material didático poderiam ter sido lidas e estudadas a qualquer momento ao longo das semanas de aplicação dos testes e interação com o simulador. O quadro a seguir traz as respostas esperadas, por questão, e respectivas observações, quando necessárias. As perguntas foram organizadas em grupos conceituais a depender da natureza das concepções abordadas nos enunciados; estes mesmos grupos conceituais serão utilizados também para a discussão dos resultados.

Quadro 10 – Respostas esperadas no pós-teste para o primeiro grupo de questões

Grupo conceitual 1 (GC1): concepções sobre o crescimento da planta sob a influência da luz	
Enunciado 1.1 Se a planta for iluminada de forma homogênea (ou seja, recebendo a mesma quantidade de luz em todos os lados), ela crescerá sem se curvar.	
Resultado esperado	Aumento da concordância.
Enunciado 1.2 Se a planta for iluminada mais em um lado, ela crescerá mais no lado iluminado.	
Resultado esperado	Aumento da discordância.
Observações	Aborda a concepção prévia comum de que a luz influencia diretamente o crescimento e de que o lado do coleóptile que mais cresce é o que recebe mais luz.
Enunciado 1.3 Se a planta for iluminada mais em um lado, ela curvará para o lado iluminado.	
Resultado esperado	Aumento da concordância.
Observações	O fototropismo nem sempre é positivo; a questão não especifica qual órgão da planta curva em direção à luz.
Enunciado 1.4 A planta é capaz de crescer sem luz.	
Resultado esperado	Não eram esperadas alterações significativas.
Observações	Esperava-se que o aluno compreendesse que a luz é importante para o crescimento da planta, mas há situações em que ela pode crescer na ausência de luz; o simulador não apresenta a possibilidade de observar a planta crescendo no escuro.

Quadro 11 – Respostas esperadas no pós-teste para o segundo grupo de questões

Grupo conceitual 2 (GC2): interpolações acerca do crescimento da planta sob influência da luz

Enunciado 2.1 Na situação abaixo*, para que a planta tenha adquirido tal curvatura, uma fonte de luz foi disposta no lado esquerdo do vaso.

Resultado esperado	Aumento da concordância.
---------------------------	--------------------------

Enunciado 2.2 Na situação abaixo*, para que a semente de feijão germine e cresça de acordo com a figura, a única possibilidade seria estimular tal crescimento com uma fonte de luz bem acima da planta.

Resultado esperado	Aumento da discordância.
Observações	Dispor uma fonte de luz acima da planta não é a única forma de estimular o crescimento vertical uniforme; como a primeira versão do simulador demonstra, pode-se também dispor as luzes ao lado da planta.

*Nota: *as imagens utilizadas nos testes encontram-se nos apêndices deste trabalho.*

Quadro 12 – Respostas esperadas no pós-teste para o terceiro grupo de questões

Grupo conceitual 3 (GC3): extrapolações acerca do crescimento da planta sob influência da luz	
Enunciado 3.1 Uma planta seria capaz de crescer dentro de uma caixa como a mostrada na situação A*.	
Resultado esperado	Não eram esperadas alterações significativas.
Observações	Plantas podem crescer na ausência de luz; o simulador, no entanto, não apresenta a possibilidade de observar a planta crescendo no escuro.
Enunciado 3.2 Uma planta crescendo no meio de um cômodo como o mostrado na figura B* não curvaria para nenhum lado durante seu crescimento.	
Resultado esperado	Aumento da concordância.
Enunciado 3.3 Qualquer planta colocada em um ambiente como o mostrado em C* inevitavelmente crescerá verticalmente sem se curvar.	
Resultado esperado	Aumento da concordância.
Observações	Desconsidera-se aqui outros fatores que poderiam influenciar o crescimento vertical.
Enunciado 3.4 No cômodo demonstrado em D*, uma planta crescerá mais quando disposta ao lado da janela.	
Resultado esperado	Aumento da concordância.

*Nota: *as imagens utilizadas nos testes encontram-se nos apêndices deste trabalho.*

As perguntas foram incluídas no questionário por sua relevância curricular, por sua relação direta com os conteúdos abordados pelo simulador e pelo embasamento fornecido pela matriz conceitual. Os resultados esperados contemplaram os conhecimentos sobre tropismos a serem construídos no contexto do ensino médio em termos da abordagem destes conceitos por parte do simulador. Como exemplo, temos o gravitropismo: a capacidade de a planta direcionar o seu crescimento sob influência da gravidade. No simulador, apesar de o caule apresentar gravitropismo negativo, não é possível comparar explicitamente este crescimento com aquele apresentado pela raiz – dessa maneira, foi razoável supor que as questões que abordam o conteúdo de gravitropismo não necessariamente apresentariam alterações significativas no pós-teste. Similarmente, outras questões que abordavam o crescimento da planta em ausência de luz também não deveriam apresentar alterações, uma vez que o

simulador não fornece a possibilidade de exibir a planta crescendo no escuro. Dessa maneira, se alterações significativas no pós-teste fossem observadas para estas questões, isto implicaria na possibilidade de o simulador também influenciar estas concepções.

Após a obtenção dos dados coletados pelos questionários de pré-teste e pós-teste, foi atribuído um valor para cada tipo de resposta fornecida para cada uma das questões:

-2 para discordo totalmente (DT);

-1 para discordo parcialmente (DP);

+1 para concordo parcialmente (CP);

+2 para concordo totalmente (CT).

Para cada questão foi analisada a distância (Δ) entre a resposta fornecida no pós-teste e a resposta fornecida no pré-teste. Quanto maior a distância entre as duas respostas, mais aproximado o aluno estaria do resultado esperado. Dessa maneira, valores de distância (Δ) igual a zero indicariam que não houve alteração do pré para o pós-teste. Nos casos em que o resultado esperado era um aumento no grau de discordância, a distância (Δ) foi multiplicada por (-1): dessa maneira, variações positivas implicaram em uma aproximação dos resultados esperados mesmo quando estes consistiram em uma elevação da discordância.

Os resultados produzidos foram analisados pelo *software* de mineração de dados Orange em termos dos grupos conceituais apresentados, o que produziu dendogramas²⁰ que agruparam os alunos em diferentes *clusters*²¹. Para cada dendograma produzido, três *clusters* foram delimitados para facilitar a análise dos dados.

²⁰ Dendograma é um diagrama que organiza grupos a partir da análise de dados e variáveis. É semelhante às árvores filogenéticas utilizadas no estudo da evolução.

²¹ *Cluster* é o termo que designa cada subgrupo formado com base na análise estatística dos dados utilizados na geração dos dendogramas.

8.3.2 Análise dos vídeos de captura de tela

Para a análise dos vídeos que registraram as interações aluno-simulador, foram gerados dendogramas através da inserção dos dados produzidos a partir dos pré-testes e pós-testes no *software* de mineração de dados Orange. Devido ao grande número de vídeos gerados e pela impossibilidade de analisá-los em sua totalidade, o uso dos dendogramas permitiu a visualização de *clusters*, ou seja, subgrupos que apresentam características em comum. O uso deste *software* apresentou-se como uma ferramenta útil que viabilizou a escolha dos vídeos analisados de maneira criteriosa. Assim, os vídeos foram escolhidos com base nos seguintes requisitos:

1. Disponibilidade dos vídeos: nem todos os alunos conseguiram realizar a gravação da interação com sucesso;
2. Integridade dos vídeos: alguns vídeos não permitiram a análise por estarem incompletos ou por apresentarem problemas durante a gravação (p. ex. comprometimento da resolução);
3. Coincidência com os *clusters* (subgrupos) observados nos dendogramas gerados pelo *software* Orange: para cada subgrupo, foi escolhido um estudante que atendia aos requisitos acima;
4. Heterogeneidade: na medida do possível, a depender dos requisitos acima, procurou-se escolher um aluno de cada turma.

Cada aluno gravou três vídeos, um para cada uma das três hipóteses a serem testadas de acordo com o roteiro de discussão descrito anteriormente. Para cada teste/vídeo, foi gerado um diagrama de navegação capaz de explicitar as telas do simulador pelas quais o aluno navegou, assim como o tempo gasto em cada uma delas. Assim, para cada ano foram analisados três alunos (totalizando seis alunos), cada qual com três vídeos gerados, em um total de dezoito vídeos analisados.

8.3.3 Análise das representações visuais dos alunos

Para as turmas de 2017, foi feita a análise das representações visuais fornecidas pelos alunos. Este questionário, que se encontra nos apêndices, foi concebido posteriormente e não foi solicitado para as turmas de 2016.

Para a escolha das representações visuais analisadas, utilizou-se o mesmo método para escolha dos vídeos a serem analisados. Em suma, foram analisados os mesmos alunos que tiveram os vídeos analisados. Devido à aplicação do questionário de representações visuais, a construção coletiva de hipóteses feita em 2016 não foi realizada em 2017, uma vez que os próprios questionários demandavam dos alunos a construção individual de hipóteses. Assim, a análise destas hipóteses dos alunos de 2017 foi feita juntamente da análise das representações visuais elaboradas pelos estudantes.

A análise das representações visuais dos alunos foi feita com base em uma escala criada com o intuito de comparar as produções dos estudantes não apenas com as representações dos livros didáticos, mas também com os registros das respostas fototrópicas das plantas. Estas comparações têm como pretensão uma melhor compreensão sobre a forma que os estudantes constroem mentalmente estas representações, inferindo o papel dos livros didáticos e demais materiais utilizados no ensino e aprendizagem dos conceitos botânicos estudados.

Esta escala leva em consideração três aspectos das representações: composição, elementos representados e presença de legendas ou quadros descritivos. Cada um destes aspectos foi analisado e, a depender da complexidade da representação, uma pontuação foi atribuída à produção do aluno. A pontuação obtida supõe-se capaz de identificar uma maior ou menor proximidade da produção individual do estudante com as representações dos materiais didáticos ou com os registros do fenômeno. Supõe-se que, quanto maior a pontuação obtida pela representação construída pelo aluno, mais distante essa representação estará daquelas apresentadas pelo modelo e mais próxima ela estará do registro e da simulação. O quadro abaixo delineia os detalhes de como esta pontuação foi atribuída aos registros.

Quadro 13 – Pontuação atribuída às representações visuais

Aspectos representacionais		Pontuação
1) Composição	Representação da planta	+1 ponto
	Presença de substrato, vasos, etc.	+1 ponto
	Indicação de luz (lâmpadas, sol, etc.)	+1 ponto
	Presença de paisagem	+1 ponto
2) Elementos representados	Semelhança com representações de livros e afins	-1 ponto
	Semelhança com elementos do simulador ou diferente das representações tradicionais (registro)	+1 ponto
3) Legenda ou quadros explicativos (à exceção da hipótese apresentada)	Presença	+1 ponto
	Ausência	0 ponto

9 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados obtidos.

9.1 O simulador desenvolvido

Na literatura há poucos exemplos de trabalhos que guiem a manipulação de plantas para a gravação de vídeos de lapso temporal ou que forneçam orientações de cultivo para que estudantes e professores mantenham suas plantas em casa ou nos laboratórios escolares com propósitos didáticos. Da mesma maneira, apesar da abordagem de conteúdos relativos aos tropismos e hormônios vegetais pelo currículo escolar, não existem trabalhos que repliquem – mesmo que didaticamente – os experimentos realizados por Charles Darwin e seu filho Francis com coleóptiles de alpine (DARWIN, 1880). Algumas poucas publicações, no entanto, podem ser citadas: Hershey (2005b) e Sinclair e Johnson (1996) sugerem algumas atividades relacionadas ao fototropismo e gravitropismo, assim como Sert, Kern e Cortez (2006) descrevem um protocolo a ser utilizado em sala de aula para observação do fototropismo em plantas de beijo e feijão. Estes trabalhos, porém, utilizam dicotiledôneas²², e não os coleóptiles característicos das monocotiledôneas representados nos livros didáticos. Essa diferenciação é importante porque a abordagem dos livros-texto utilizados no ensino básico e superior (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2013; CAMPBELL et al., 2010; LOPES; ROSSO, 2010; SILVA JUNIOR; SASSON, 2002; LINHARES; GEWANDSZNAJDER, 2005; PAULINO, 2002; AMABIS; MARTHO, 2006), assim como a abordagem do material apostilado do colégio onde este estudo foi feito, se pautam em experimentos históricos (DARWIN, 1880; WENT, 1935) que utilizaram monocotiledôneas para a compreensão dos tropismos e do funcionamento das auxinas.

²² As dicotiledôneas constituem um grupo à parte das monocotiledôneas e, portanto, não apresentam determinadas características deste último grupo. A representação visual dos coleóptiles comumente utilizada nos livros didáticos não se aplica às dicotiledôneas.

Elaborar uma metodologia para o estudo do crescimento e da resposta fototrópica em caules de monocotiledôneas é importante, portanto, para aproximar alunos e professores da realidade apresentada pelos livros. A caixa construída para a gravação dos vídeos foi produto de experimentação e aprimoramento constantes até que as condições para o crescimento e filmagem das plantas fossem satisfeitas. Espera-se que esta metodologia torne o estudo do fototropismo e dos hormônios vegetais mais acessível.

Figura 10 – Exemplo do menu de opções do simulador (versão 2016)

Fonte: do autor

Figura 11 – Exemplo de vídeo de coleóptiles crescendo sob estímulo luminoso unilateral

Fonte: do autor.

É também importante ressaltar que ao longo das gravações dos vídeos as plantas muitas vezes não demonstraram o comportamento esperado de acordo com os livros-texto de biologia e botânica e, por consequência, esse comportamento também discordou daquele apresentado no material dos alunos. Essa observação é interessante, uma vez que professores podem se surpreender em sala de aula ao tentar obter das plântulas o comportamento esperado na literatura, uma vez que esse tipo de conteúdo já está tão sedimentado que dificilmente cogita-se um comportamento discordante por parte da planta. O recurso didático, nessa situação, pode abrir as portas para discussões em sala de aula sobre a construção do conhecimento científico.

9.2 Resultados dos testes

9.2.1 Turmas A, B e C

Os resultados foram analisados a partir dos grupos conceituais descritos na metodologia. Escolheu-se analisar as turmas de 2016 separadamente das turmas de 2017, uma vez que as sequências de aulas utilizadas nos dois anos foram diferentes. A análise dos resultados das questões segue o formato do questionário de testes aplicado em 2017, disponível nos apêndices.

Grupo conceitual 1 (GC1): concepções sobre o crescimento da planta sob a influência da luz

O primeiro grupo de questões analisa uma concepção prévia importante a ser explorada pelo simulador: **a de que o crescimento da planta é mais acentuado no lado em que esta recebe mais luz**²³. Apesar de ser uma concepção prévia ainda não documentada pela literatura, essa ideia é bastante disseminada entre os alunos quando estudam os conteúdos relacionados ao fototropismo. Parece haver entre os estudantes uma associação direta entre a presença de luz com uma maior intensidade do processo fotossintético, o que leva o estudante a crer que a luz intensifica o crescimento na região da planta que recebe mais luz. A ideia é incorreta: apesar da importância da luz para o processo fotossintético e para o crescimento das plantas, não é possível afirmar que ela intensifique homogeneamente este crescimento em todos os órgãos das plantas. No caso dos coleóptiles de milho apresentados pelo simulador, o lado iluminado da planta apresenta menor crescimento. A primeira questão do primeiro grupo conceitual abordava o entendimento que os alunos têm desse mecanismo. Apesar de a interação com o simulador aparentemente melhorar essa compreensão por parte dos alunos, evidencia-se uma discrepância nesse

²³ A tendência é haver um crescimento mais acentuado do caule na região do órgão que recebe menos luz. Isso decorre do fato de o hormônio de crescimento auxina ser fotofóbico, levando à acumulação do hormônio no lado escuro da planta. Dessa maneira, o alongamento mais acentuado do tecido na região menos iluminada leva a uma curvatura do caule em direção à luz. Esse é o mecanismo básico do fototropismo sob influência hormonal, como descrito no início deste trabalho.

incremento entre as turmas analisadas: as turmas de maior rendimento formal parecem ter suscitado resultados mais evidentes no pós-teste.

Para as questões 1.1 e 1.2, os aumentos esperados na concordância e na discordância, possibilitam supor um incremento no entendimento dos mecanismos de interação entre a produção de hormônios de crescimento e a luz. A questão 1.3, em especial, abordou a concepção prévia de que a planta cresce em geral curvando-se em direção ao estímulo luminoso – o que, em geral é bastante aplicável. Por conta disso, a pequena variação (Δ) entre os testes se explica devido a uma alta concordância com o enunciado já no pré-teste. A quarta questão do primeiro grupo conceitual, no entanto, apresentou resultados que divergem das três primeiras questões. Nesse caso, a maior variação correspondeu à turma B e não à turma A. Para essa questão não eram esperadas alterações significativas nos resultados após a interação com o simulador e, apesar de as plantas serem capazes de crescer no escuro, este assunto não foi abordado diretamente pelo simulador ou em sala de aula até a aplicação dos testes. Os resultados estão na tabela a seguir

Tabela 2 – Resultados dos testes (GC1)

Enunciado 1.1 Se a planta for iluminada de forma homogênea (ou seja, recebendo a mesma quantidade de luz em todos os lados), ela crescerá sem se curvar.

Resultado esperado: aumento na concordância.

Turma A		Turma B		Turma C	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
$1,42 \pm 1,29$	2,00	$1,10 \pm 1,86$	1,00	$0,52 \pm 1,56$	1,00

Enunciado 1.2 Se a planta for iluminada mais em um lado, ela crescerá mais no lado iluminado.

Resultado esperado: aumento na discordância.

Turma A		Turma B		Turma C	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
$1,69 \pm 1,63$	2,00	$1,05 \pm 2,09$	1,00	$0,28 \pm 2,30$	0,50

Enunciado 1.3 Se a planta for iluminada mais em um lado, ela curvará para o lado iluminado.

Resultado esperado: aumento na concordância.

Turma A		Turma B		Turma C	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
$0,89 \pm 1,22$	1,00	$0,63 \pm 1,91$	1,00	$0,37 \pm 1,48$	1,00

Enunciado 1.4 A planta é capaz de crescer sem luz.

Resultado esperado: não eram esperadas alterações significativas.

Turma A		Turma B		Turma C	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
$0,36 \pm 1,95$	1,00	$0,51 \pm 1,55$	1,00	$0,11 \pm 1,11$	1,00

Outra análise sobre este grupo conceitual foi feita com base na utilização de dendogramas. Os dados produzidos a partir dos pré-testes e pós-testes foram analisados pelo *software* de mineração de dados Orange. A partir destes dados, o *software* foi capaz de gerar dendogramas nos quais os alunos foram agrupados em *clusters*, ou seja, aglomerados que compartilham informações em comum. Cada

dendograma foi gerado a partir da análise de um grupo conceitual de questões e, pela análise de cada diagrama, foram isolados três grupos principais. Para uma melhor análise pelo leitor, os dendogramas apresentados ao longo deste trabalho também se encontram em maior tamanho e com maior detalhamento nos apêndices. O dendograma a seguir foi produzido com base no grupo de questões que compõem o grupo conceitual 1.

Figura 12 - Análise de *clusters** em 2016 (GC1)

** Nota: os dendogramas e clusters foram gerados a partir da análise dos dados pelo software estatístico Orange.*

É possível verificar no dendograma acima a delimitação de três grupos principais, ou *clusters*. Analisando os dados mais profundamente, é possível verificar que cada *cluster* gerado possui um intervalo diferente para as variações calculadas entre o pós-teste e o pré-teste. Em outras palavras, o *software* foi capaz de identificar grupos a partir do desempenho formal que os alunos obtiveram no pós-teste, ou seja, após a interação com o simulador. Estes dados estão apresentados na tabela abaixo,

que compara as variações obtidas pelos alunos em dois cenários: 1 – variações calculadas para todas as questões e 2 – variações calculadas somente para as questões do grupo conceitual 1.

Tabela 3 – Variação do desempenho nos pré e pós-testes (GC1)

Composição dos clusters			Todas as questões				GC1			
			Δ mín.	Δ máx.	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ mín.	Δ máx.	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
Total de alunos (n=132)			-1,00	1,90	$0,51 \pm 0,61$	0,50	-0,37	0,75	$0,18 \pm 0,22$	0,18
Cluster I (n=40)			-1,00	0,20	$-0,17 \pm 0,30$	-0,15	-0,37	0,31	$0,00 \pm 0,17$	0,06
A*	B	C								
8	13	19								
Cluster II (n=59)			0,20	0,90	$0,53 \pm 0,22$	0,60	-0,18	0,50	$0,18 \pm 0,14$	0,18
A	B	C								
18	21	20								
Cluster III (n=33)			1,00	1,90	$1,30 \pm 0,29$	1,10	-0,12	0,75	$0,40 \pm 0,16$	0,43
A	B	C								
19	7	7								

Nota: *os números sob as letras A, B e C correspondem à composição dos clusters quanto às turmas.

Com base nestes dados, percebe-se que o *cluster I* é composto por alunos que obtiveram menores variações a partir da interação com o simulador; da mesma maneira, o *cluster II* é composto por alunos com variações intermediárias e, finalmente, as maiores variações foram obtidas por alunos incluídos no *cluster III*.

A partir dos dados verifica-se que, apesar do *cluster I* (com menores variações) ser composto por uma maior quantidade de alunos da turma C (menor rendimento formal) e de o *cluster III* (com maiores variações) ser composto por uma maior quantidade de alunos da turma A (maior rendimento formal), o *cluster II* contém o maior número de alunos independentemente da turma. Ademais, alunos de maior rendimento formal (turma A) também podem ser encontrados no *cluster I*, assim como

alunos considerados como de menor rendimento formal (turma C) são também encontrados no *cluster* III. Em suma, mesmo que o ranqueamento realizado pela escola agrupe alunos com base no rendimento formal e este ranqueamento possa ser em partes inferido a partir da análise dos dados aqui obtidos, é importante constatar que este tipo de categorização dos alunos parece ser bastante limitante, uma vez que alunos de todas as turmas estão presentes em todos os *clusters*, em maior ou menor número.

Grupo conceitual 2 (GC2): interpolações acerca do crescimento da planta sob influência da luz

O segundo grupo conceitual apresentou questões que buscavam nos alunos o entendimento de como a luz é capaz de modificar os padrões de crescimento das plantas. Em outras palavras, tais questões demandavam a elaboração de uma hipótese que explicasse a forma de crescimento das plantas apresentadas nos enunciados. Os resultados estão apresentados na tabela abaixo.

Tabela 4 - Resultados dos testes (GC2)

Enunciado 2.1 Na situação A*, para que a planta tenha adquirido tal curvatura, uma fonte de luz foi disposta no lado esquerdo do vaso. Resultado esperado: aumento na concordância.					
Turma A		Turma B		Turma C	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
0,91 $\pm$ 1,19	1,00	0,41 $\pm$ 1,55	1,00	0,61 $\pm$ 1,52	1,00
Enunciado 2.2 Na situação B*, para que a semente de feijão germine e cresça de acordo com a figura, a única possibilidade seria estimular tal crescimento com uma fonte de luz bem acima da planta. Resultado esperado: aumento na discordância.					
Turma A		Turma B		Turma C	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
0,49 $\pm$ 1,96	1,00	-0,59 $\pm$ 1,90	0,00	-0,11 $\pm$ 1,59	0,00

Nota: *as imagens utilizadas nos testes encontram-se nos apêndices deste trabalho.

Apesar dos resultados satisfatórios para a primeira questão, os alunos aparentemente tiveram problemas com a segunda questão. A discussão trazida por esse enunciado pretendia resgatar nos alunos o entendimento de que a planta pode crescer verticalmente não apenas recebendo luz acima dela, mas também ao receber luz lateralmente homogênea. Apesar de a turma A apresentar esse aumento esperado na discordância para com o enunciado, as turmas B e C pareceram dispensar a possibilidade de iluminação homogênea lateral. Aqui, faz-se necessário pontuar que, como já descrito anteriormente, a turma A tem o melhor desempenho formal dentre as três salas; cabe supor aqui que essa alteração nos níveis de discordância possa estar relacionada a momentos de estudo extraclasse e leitura do material apostilado.

O grupo conceitual 2 também foi analisado através do *software* Orange. O dendograma gerado está disposto abaixo, assim como sua versão completa está também nos apêndices.

Figura 13 - Análise de *clusters** em 2016 (GC2)

* Nota: os dendogramas e clusters foram gerados a partir da análise dos dados pelo software estatístico Orange.

Novamente, cada *cluster* foi novamente analisado com base nas variações gerais e nas variações para o grupo conceitual em questão. A tabela abaixo elenca os dados obtidos.

Tabela 5 – Variação do desempenho nos pré e pós-testes (GC2)

Composição dos <i>clusters</i>			Todas as questões				GC2			
			Δ mín.	Δ máx.	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ mín.	Δ máx.	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
Total de alunos (<i>n</i> =132)			-1,00	1,90	$0,51 \pm 0,61$	0,50	-0,87	1,00	$0,07 \pm 0,27$	0,00
Cluster I (<i>n</i> =20)			-1,00	-0,20	$-0,42 \pm 0,25$	-0,30	-0,87	0,25	$-0,13 \pm 0,24$	-0,12
A*	B	C								
3	9	8								
Cluster II (<i>n</i> =16)			1,30	1,90	$1,56 \pm 0,17$	1,60	-0,25	1,00	$0,34 \pm 0,31$	0,37
A	B	C	-0,10	1,10	$0,52 \pm 0,35$	0,50	-0,50	0,62	$0,07 \pm 0,23$	0,00
12	3	1								
Cluster III (<i>n</i> =96)			-0,10	1,10	$0,52 \pm 0,35$	0,50	-0,50	0,62	$0,07 \pm 0,23$	0,00
A	B	C								
30	29	37								

Nota: *os números sob as letras A, B e C correspondem à composição dos clusters quanto às turmas.

Neste caso, temos que o *cluster* II apresentou as maiores variações em termos de melhora no pós-teste, seguido pelo *cluster* III e, por fim, o *cluster* I. Percebe-se que o *cluster* II, com maiores variações, constituiu um pequeno grupo ante os *clusters* I e III, com menores variações. Percebe-se também que a maior parte do *cluster* II é composta por alunos da turma A. O *cluster* III, com escores intermediários, comporta a maior quantidade de alunos, das três turmas. Por fim, o *cluster* I, com menores variações, comporta uma pequena quantidade de alunos, em sua maioria das turmas B e C.

Grupo conceitual 3 (GC3): extrapolações acerca do crescimento da planta sob influência da luz

O terceiro grupo traz enunciados também a respeito de fototropismo, de modo a verificar a capacidade de os alunos preverem reações das plantas em diferentes situações de iluminação. A primeira questão, que trazia a possibilidade de crescimento de uma planta no interior de uma caixa, não pretendia grandes alterações no pós-teste, visto que este tipo de cenário não havia sido abordado em nenhuma circunstância pelo conteúdo programático até aquele momento. No entanto, houve um aumento geral na concordância. Tal resultado condiz com a realidade na medida que reafirma os resultados apresentados pela quarta questão do primeiro grupo conceitual, na qual a possibilidade de crescimento da planta na ausência de luz já havia sido abordada mesmo que alterações significativas na concordância ou discordância não fossem esperadas. Aparentemente há um entendimento generalizado de que as plantas são capazes de crescer no escuro – não é possível afirmar, no entanto, se esse entendimento se sustenta por uma concepção prévia sobre o assunto ou em um conhecimento construído em sala de aula.

A segunda questão esperava um aumento na concordância, reforçando a ideia de as plantas direcionam seus caules em busca de luz – o que foi de fato constatado. Para a terceira questão, esperava-se que os alunos fossem capazes de compreender que uma planta possa crescer verticalmente sem curvatura quando iluminada homogeneamente independentemente da direção da luz.

Tabela 6 – Resultados dos testes (GC3)

Enunciado 3.1 Uma planta seria capaz de crescer dentro de uma caixa como a mostrada na situação A*.

Resultado esperado: não eram esperadas alterações significativas.

Turma A		Turma B		Turma C	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
$0,62 \pm 1,32$	1,00	$0,54 \pm 1,71$	1,00	$0,07 \pm 1,36$	1,00

Enunciado 3.2 Uma planta crescendo no meio de um cômodo como o mostrado na figura B* não curvaria para nenhum lado durante seu crescimento.

Resultado esperado: aumento na concordância.

Turma A		Turma B		Turma C	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
$1,13 \pm 1,71$	1,00	$0,46 \pm 1,86$	1,00	$0,96 \pm 1,63$	1,00

Enunciado 3.3 Qualquer planta colocada em um ambiente como o mostrado em C* inevitavelmente crescerá verticalmente sem se curvar.

Resultado esperado: aumento na concordância.

Turma A		Turma B		Turma C	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
$0,53 \pm 1,82$	1,00	$0,63 \pm 1,80$	1,00	$0,15 \pm 1,63$	0,00

Enunciado 3.4 No cômodo demonstrado em D*, uma planta crescerá mais quando disposta ao lado da janela.

Resultado esperado: aumento na concordância.

Turma A		Turma B		Turma C	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
$-0,20 \pm 1,77$	0,00	$-0,27 \pm 1,13$	0,00	$-0,09 \pm 0,95$	1,00

*Nota: *as imagens utilizadas nos testes encontram-se nos apêndices deste trabalho.*

A quarta questão, no entanto, revelou resultados não esperados no pós-teste com aumento na discordância. É necessário tomar cuidado com a interpretação do resultado para essa questão. Apesar de a luz intensificar o crescimento do caule da planta em seu lado não iluminado e de a planta ser capaz de crescer no escuro

durante um certo período, isto não significa que a planta pode dispensar a luz para que cresça de maneira sustentável. Plantas em ambientes fechados como o mostrado na figura do questionário crescerão mais, em geral, quando dispostas ao lado de uma janela. No entanto, os alunos podem ter entendido que a curvatura de uma planta em direção à janela não implica necessariamente em um aumento do crescimento.

Assim como nos grupos anteriores, foi também feita a análise do dendograma para o terceiro grupo conceitual. O diagrama encontra-se a seguir.

Figura 14 – Análise de *clusters** em 2016 (GC3)

* Nota: os dendogramas e clusters foram gerados a partir da análise dos dados pelo software estatístico Orange.

Após a construção do dendograma, as variações foram analisados, gerando a tabela a seguir.

Tabela 7 – Variação do desempenho nos pré e pós-testes (GC3)

Composição dos <i>clusters</i>			Todas as questões				GC3			
			Δ mín.	Δ máx.	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ mín.	Δ máx.	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
Total de alunos (n=132)			-1,00	1,90	0,51 $\pm$ 0,61	0,50	-0,37	0,62	0,09 $\pm$ 0,20	0,06
Cluster I (n=33)			1,00	1,90	1,30 $\pm$ 0,29	1,10	-0,06	0,62	0,28 $\pm$ 0,16	0,31
A*	B	C								
19	7	7								
Cluster II (n=20)			-1,00	-0,20	-0,42 $\pm$ 0,25	-0,30	-0,37	0,06	-0,09 $\pm$ 0,14	-0,06
A	B	C								
3	9	8								
Cluster III (n=79)			-0,10	0,90	0,41 $\pm$ 0,28	0,40	-0,37	0,50	0,06 $\pm$ 0,16	0,06
A	B	C								
23	25	31								

Nota: *os números sob as letras A, B e C correspondem à composição dos clusters quanto às turmas.

No caso do grupo conceitual 3, percebe-se que o *cluster* com as maiores variações é o de número I, seguido pelo *cluster* III e, finalmente, o *cluster* II. Para este grupo conceitual, é perceptível a dificuldade que os alunos tiveram na resolução das questões, sobretudo alunos do *cluster* II: as variações gerais se afastaram do resultado esperado e os alunos deste *cluster* que apresentaram melhor desempenho formal apresentaram variações discretas.

9.2.2 Turmas D, E e F

Os resultados destas turmas serão analisados da mesma maneira que os resultados das turmas do ano anterior. Reforça-se que a escolha da análise separada dos dados justifica-se pelas diferentes sequências didáticas utilizadas nos dois anos.

Grupo conceitual 1 (GC1): concepções sobre o crescimento da planta sob a influência da luz

Os resultados calculados para o grupo conceitual 1 estão dispostos na tabela a seguir.

Tabela 8 – Resultados dos testes (GC1)

Enunciado 1.1 Se a planta for iluminada de forma homogênea (ou seja, recebendo a mesma quantidade de luz em todos os lados), ela crescerá sem se curvar.					
Resultado esperado: aumento na concordância.					
Turma D		Turma E		Turma F	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
0,95 $\pm$ 1,18	1,00	0,50 $\pm$ 1,43	1,00	0,29 $\pm$ 1,71	0,00
Enunciado 1.2 Se a planta for iluminada mais em um lado, ela crescerá mais no lado iluminado.					
Resultado esperado: aumento na discordância.					
Turma D		Turma E		Turma F	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
0,97 $\pm$ 2,14	1,00	1,18 $\pm$ 2,46	2,00	0,57 $\pm$ 1,90	1,00
Enunciado 1.3 Se a planta for iluminada mais em um lado, ela curvará para o lado iluminado.					
Resultado esperado: aumento na concordância.					
Turma D		Turma E		Turma F	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
0,32 $\pm$ 1,27	1,00	0,68 $\pm$ 1,63	1,00	0,86 $\pm$ 1,77	1,00
Enunciado 1.4 A planta é capaz de crescer sem luz.					
Resultado esperado: não eram esperadas alterações significativas.					
Turma D		Turma E		Turma F	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
1,76 $\pm$ 1,68	2,00	1,71 $\pm$ 1,56	2,00	1,11 $\pm$ 1,93	1,50

Os resultados apresentados pelas turmas de 2017 aparentam ser mais discretos que os resultados das turmas de 2016, apesar de apresentarem, no geral, os resultados esperados. A única questão do primeiro grupo conceitual que diverge não apenas dos resultados esperados, mas também da comparação com as turmas de 2016, é a quarta questão. Apesar de não serem esperadas alterações significativas, os resultados apontam um aumento na concordância para com o enunciado, o que é compatível com o conhecimento científico. Esses resultados podem ser explicados pela diferença no planejamento das aulas para este ano: diferentemente das turmas de 2016, as turmas D, E e F tiveram o conteúdo relativo aos hormônios vegetais e tropismos compactado em uma menor quantidade de aulas. Assim, os alunos já sabiam de antemão ao realizar o pós-teste que as plantas podem crescer na ausência de luz, o que pode ter influenciado nos resultados.

Assim como realizado com as turmas de 2016, os dados das turmas de 2017 também foram submetidos à análise do *software* Orange. O dendograma de análise do grupo conceitual 1 encontra-se a seguir.

Figura 15 - Análise de *clusters** em 2017 (GC1)

* Nota: os dendogramas e clusters foram gerados a partir da análise dos dados pelo *software* estatístico Orange.

Para a análise destes dendogramas também foram escolhidos três *clusters*, e os dados relativos a estes grupos encontram-se na próxima tabela.

Tabela 9 – Variação do desempenho nos pré e pós-testes (GC1)

Composição dos <i>clusters</i>			Todas as questões				GC1			
			Δ mín.	Δ máx.	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ mín.	Δ máx.	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
Total de alunos (<i>n</i> =93)			-1,50	2,50	-0,49 $\pm$ 0,64	0,50	-0,43	0,75	0,22 $\pm$ 0,23	0,18
Cluster I (<i>n</i> =13)			-1,50	-0,10	-0,48 $\pm$ 0,42	-0,30	-0,43	0,12	-0,12 $\pm$ 0,16	-0,06
D*	E	F								
5	2	6								
Cluster II (<i>n</i> =4)			1,70	2,50	2,02 $\pm$ 0,31	1,95	0,62	0,75	0,68 $\pm$ 0,04	0,68
D	E	F								
1	3	0								
Cluster III (<i>n</i> =76)			0,00	1,60	0,58 $\pm$ 0,42	0,50	-0,06	0,68	0,26 $\pm$ 0,17	0,25
D	E	F								
31	23	22								

Nota: *os números sob as letras D, E e F correspondem à composição dos clusters quanto às turmas.

Estes dados indicam que o *cluster* II foi, nesse caso, o grupo que apresentou uma melhoria mais significativa em comparação ao pré-teste. O número de alunos para este *cluster* é, no entanto, muito pequeno. O *cluster* com maior número de alunos é o de número III e, assim como na análise de *clusters* das turmas de 2016, o maior grupo comporta os alunos de média melhora no desempenho formal. Por fim, o *cluster* I foi o que apresentou resultados destoantes do esperado, havendo relativo distanciamento dos resultados esperados. A variação máxima para o grupo conceitual I das turmas de 2017 coincidiu com o das turmas de 2016.

Percebe-se pela tabela acima que, no *cluster* de maior rendimento formal (número II), há um maior número de alunos da turma E, enquanto há apenas um aluno da turma D. No *cluster* I, com resultados mais destoantes, encontramos cinco alunos da turma D, um número bastante próximo dos alunos da turma F. Novamente percebe-se aqui que o ranqueamento feito pela escola não necessariamente corresponde aos dados recolhidos.

Grupo conceitual 2 (GC2): interpolações acerca do crescimento da planta sob influência da luz

Retomamos aqui que o segundo grupo conceitual apresentou questões que buscavam nos alunos o entendimento de como a luz é capaz de modificar os padrões de crescimento das plantas. Os resultados estão apresentados na tabela abaixo.

Tabela 10 – Resultados dos testes (GC2)

Enunciado 2.1 Na situação a seguir*, para que a planta tenha adquirido tal curvatura, uma fonte de luz foi disposta no lado esquerdo do vaso. Resultado esperado: aumento na concordância.					
Turma D		Turma E		Turma F	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
$0,24 \pm 1,10$	1,00	$0,43 \pm 1,59$	1,00	$0,36 \pm 1,74$	1,00
Enunciado 2.2 Na situação abaixo*, para que a semente de feijão germine e cresça de acordo com a figura, a única possibilidade seria estimular tal crescimento com uma fonte de luz bem acima da planta. Resultado esperado: aumento na discordância.					
Turma D		Turma E		Turma F	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
$-0,73 \pm 1,83$	0,00	$-0,96 \pm 1,86$	-1,00	$-0,75 \pm 2,03$	-1,00

*Nota: *as imagens utilizadas nos testes encontram-se nos apêndices deste trabalho.*

Com estas turmas, mais uma vez, os alunos aparentemente tiveram problemas com a segunda questão. No ano anterior, as turmas A, B e C também haviam apresentado resultados semelhantes; no entanto, a turma A havia apresentado uma discreta melhoria no pós-teste. Em 2017, até mesmo a turma D, de melhor rendimento formal, afastou-se dos resultados esperados. Aqui, todas as turmas pareceram dispensar a possibilidade de iluminação homogênea lateral. Para as turmas do ano anterior, foi suposto que melhoria observada para a turma de melhor rendimento formal estivesse relacionada a momentos de estudo extraclasses e leitura do material apostilado. No mais, pode-se supor que o distanciamento dos resultados esperados não guarda necessariamente alguma concepção alternativa, podendo estar

relacionado à construção do próprio enunciado. O dendograma a partir destes dados está apresentado a seguir.

Figura 16 - Análise de *clusters** em 2017 (GC2)

** Nota: os dendogramas e clusters foram gerados a partir da análise dos dados pelo software estatístico Orange.*

Neste caso, o *cluster* de maior rendimento é o *cluster* I, seguido pelo *cluster* III e, finalmente, o *cluster* II. Os dados destes grupos estão na tabela a seguir.

Tabela 11 – Variação do desempenho nos pré e pós-testes (GC2)

Composição dos <i>clusters</i>			Todas as questões				GC2			
			Δ mín.	Δ máx.	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ mín.	Δ máx.	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
Total de alunos (<i>n</i> =93)			-1,50	2,50	0,49 $\pm$ 0,64	0,50	-0,75	0,75	-0,05 $\pm$ 0,31	-0,12
Cluster I (<i>n</i> =11)			1,20	2,50	1,64 $\pm$ 0,37	1,50	-0,62	0,75	0,25 $\pm$ 0,39	0,37
D*	E	F								
2	4	5								
Cluster II (<i>n</i> =2)			-1,50	-1,30	-1,40 $\pm$ 0,10	-1,30	-0,75	-0,12	-0,43 $\pm$ 0,31	-0,12
D	E	F								
0	1	1								
Cluster III (<i>n</i> =80)			-0,70	1,20	0,38 $\pm$ 0,42	0,40	-0,50	0,50	-0,09 $\pm$ 0,26	-0,12
D	E	F								
35	23	22								

*Nota: *os números sob as letras D, E e F correspondem à composição dos clusters quanto às turmas.*

Novamente, a maior parte dos alunos encontra-se no *cluster* de rendimento médio, o que tem sido uma tendência ao longo dessa análise. Apesar da menor quantidade, muitos alunos foram agrupados no *cluster* de maior rendimento, e poucos alunos ficaram no grupo de baixo rendimento. De qualquer forma, é necessário tomar cuidado com a análise deste grupo conceitual sobretudo por conta do segundo enunciado, que mostrou resultados diferentes do que era esperado, nos dois anos de análise. No caso, seria necessário explorar as hipóteses construídas pelos alunos durante a resolução do pós-teste desta questão para obter conclusões mais refinadas.

Mais uma vez, encontramos alunos de todas as turmas no *cluster* de rendimento médio (III), seguido por um menor número de alunos no *cluster* de maior rendimento (I) e, por último, somente dois alunos no *cluster* de baixo rendimento (II). No *cluster* de maior rendimento, encontramos um maior número de alunos das turmas E e F em comparação com a turma D. Já no *cluster* de menor rendimento, não encontramos nenhum aluno da turma D. Ademais, todos os alunos do *cluster* de maior rendimento para o grupo conceitual 1 estavam também incluídos no *cluster* de maior

rendimento do grupo conceitual 2. Similarmente, os dois alunos do *cluster* de menor rendimento para o grupo conceitual 2 também estavam no grupo de menor rendimento para o grupo conceitual 1. Supõe-se que conclusões mais assertivas poderão ser realizadas pela análise das representações visuais e dos vídeos gravados.

Grupo conceitual 3 (GC3): extrapolações acerca do crescimento da planta sob influência da luz

Retomamos aqui que os enunciados do terceiro grupo têm a pretensão de verificar a capacidade de os alunos preverem reações das plantas em diferentes situações de iluminação. Assim como para as turmas de 2016, a primeira questão apresentou um aumento na concordância, novamente corroborando os resultados apresentados pela quarta questão do primeiro grupo conceitual, na qual a possibilidade de crescimento da planta na ausência de luz já havia sido abordada. Aqui, no entanto, a compreensão de que as plantas podem crescer no escuro pode ter sido decorrente do planejamento de aulas executado para estas turmas.

A segunda questão esperava um aumento na concordância, o que foi de fato constatado. Para a terceira questão, esperava-se que os alunos fossem capazes de compreender que uma planta possa crescer verticalmente sem curvatura quando iluminada homogeneamente independentemente da direção da luz, o que também foi constatado. A quarta questão, no entanto, revelou resultados não esperados no pós-teste com aumento na discordância, o que também ocorreu no ano anterior. Novamente, os alunos podem ter entendido que o crescimento curvado de uma planta em direção à janela não implica necessariamente em um incremento do crescimento. Em outras palavras, os alunos podem ter entendido que a curvatura da planta não indica necessariamente maior taxa de crescimento. Este é um dado importante, pois verifica-se recorrentemente em sala de aula que os estudantes têm dificuldade de compreender a curvatura das plantas pelos tropismos como um crescimento. Aparentemente há uma dificuldade por parte dos alunos de superar esta concepção prévia. Os resultados dos testes estão apresentados na próxima tabela.

Tabela 12 – Resultados dos testes (GC3)

Enunciado 3.1 Uma planta seria capaz de crescer dentro de uma caixa como a mostrada na situação A*.

Resultado esperado: não eram esperadas alterações significativas.

Turma D		Turma E		Turma F	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
1,19 $\pm$ 1,72	1,00	1,57 $\pm$ 1,61	1,50	1,00 $\pm$ 2,05	1,00

Enunciado 3.2 Uma planta crescendo no meio de um cômodo como o mostrado na figura B* não curvaria para nenhum lado durante seu crescimento.

Resultado esperado: aumento na concordância.

Turma D		Turma E		Turma F	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
0,51 $\pm$ 1,39	1,00	0,61 $\pm$ 1,65	1,00	0,46 $\pm$ 1,86	1,00

Enunciado 3.3 Qualquer planta colocada em um ambiente como o mostrado em C* inevitavelmente crescerá verticalmente sem se curvar.

Resultado esperado: aumento na concordância.

Turma D		Turma E		Turma F	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
0,51 $\pm$ 1,33	1,00	0,46 $\pm$ 1,55	0,00	0,18 $\pm$ 1,67	1,00

Enunciado 3.4 No cômodo demonstrado em D*, uma planta crescerá mais quando disposta ao lado da janela.

Resultado esperado: aumento na concordância.

Turma D		Turma E		Turma F	
Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
-0,89 $\pm$ 1,47	0,00	-0,25 $\pm$ 1,02	0,00	-0,11 $\pm$ 1,05	0,00

*Nota: *as imagens utilizadas nos testes encontram-se nos apêndices deste trabalho.*

Por fim, temos a análise do dendograma.

Figura 17 - Análise de *clusters** em 2017 (GC3)

* Nota: os dendogramas e clusters foram gerados a partir da análise dos dados pelo software estatístico Orange.

Neste grupo conceitual, temos que o *cluster* de maior rendimento é o de número I, seguido pelo *cluster* III e pelo *cluster* II. Os valores estão próxima tabela.

Tabela 13 – Variação do desempenho nos pré e pós-testes (GC3)

Composição dos <i>clusters</i>			Todas as questões				GC3			
			Δ mín.	Δ máx.	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda	Δ mín.	Δ máx.	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
Total de alunos (<i>n</i> =93)			-1,50	2,50	0,49 $\pm$ 0,64	0,50	-0,43	0,87	0,10 $\pm$ 0,21	0,06
Cluster I (<i>n</i> =9)			1,40	2,50	1,73 $\pm$ 0,34	1,60	0,25	0,87	0,50 $\pm$ 0,18	0,43
D*	E	F								
1	4	4								
Cluster II (<i>n</i> =2)			-1,50	-1,30	-1,40 $\pm$ 0,10	-1,30	-0,43	-0,12	-0,28 $\pm$ 0,15	-0,12
D	E	F								
0	1	1								
Cluster III (<i>n</i> =82)			-0,70	1,12	0,40 $\pm$ 0,44	0,40	-0,31	0,43	0,07 $\pm$ 0,16	0,06
D	E	F								
36	23	23								

*Nota: *os números sob as letras D, E e F correspondem à composição dos clusters quanto às turmas.*

Verifica-se, mais uma vez, um mesmo conjunto de alunos presentes nos três *clusters* de maior rendimento formal para os três grupos conceituais. Similarmente, os mesmos alunos do *cluster* de menor rendimento para este grupo conceitual também estão incluídos nos *clusters* de menor rendimento dos demais grupos conceituais. Nas demais seções será realizada uma análise mais detalhada destes grupos. No mais, como esperado, o *cluster* de rendimento médio contém o maior número de alunos.

É importante ressaltar que a quantidade de alunos da turma D tendeu a ser maior no *cluster* de médio rendimento por conta do maior número de alunos desta turma na amostra analisada. As turmas E e F apresentaram no ano de 2017 uma maior quantidade de faltas do que a turma D, o que reduziu a quantidade de alunos das amostras destas turmas. Os dois alunos do *cluster* II encontravam-se em duas salas distintas, E e F, como acusou também a análise do grupo conceitual 2. Finalmente, o *cluster* I, de maior rendimento, foi constituído de um maior número de alunos da turma E e F, com apenas um aluno da turma D. Pode-se dizer, para os dois

anos de análise dos testes, que os resultados aqui obtidos não corroboram por completo o ranqueamento por salas realizado pela escola, e evidencia-se aqui uma heterogeneidade maior do que a esperada inicialmente para estas turmas. Ademais, pode-se afirmar que, no geral, os resultados obtidos foram satisfatórios e que a sequência didática estabelecida juntamente do uso do simulador pôde ajudar na construção de um conhecimento mais próximo do científico pelo alunado.

9.2.3 Conclusões parciais

Estes resultados são importantes para uma compreensão mais profunda sobre como os alunos assimilam estes conceitos e também para compreender melhor o impacto que o simulador causa no processo de aprendizagem. Infelizmente, não há dados disponíveis na literatura que tratem da construção destes conceitos que poderiam ser utilizados para uma melhor compreensão acerca dos dados obtidos no âmbito deste trabalho. Espera-se, dessa maneira, que este conjunto de dados possa servir como parâmetros confiáveis em análises futuras nesse âmbito.

Faz-se necessário também ressaltar que, em uma análise superficial, os resultados esperados se mostram mais evidentes nas turmas que apresentam melhor desempenho formal: turmas A/D, seguidas pelas turmas B/E, e por fim, as turmas C/F. No entanto, a análise mais cuidadosa mostra também que os *clusters* de maior rendimento não necessariamente são compostos somente por alunos das primeiras turmas ranqueadas. Ademais, os maiores *clusters*, de desempenho médio, mostram uma constituição bastante heterogênea de alunos.

9.3 Análise das hipóteses dos alunos

9.3.1 Turmas A, B e C

Como delineado na metodologia deste trabalho, o levantamento de hipóteses com as turmas de 2016 foi feito imediatamente antes da interação com o simulador, no laboratório de informática. A seguir, uma discussão mais detalhada sobre esta etapa do trabalho é feita. Em seguida, são apresentadas tabelas onde estão resumidas as hipóteses. Nota-se que, devido ao roteiro elaborado para guiar a discussão, muitas destas hipóteses convergem; no entanto, em alguns casos os aprendizes tiveram dificuldades para chegar em uma hipótese consensual por maioria simples. Nestes casos, as devidas observações estão colocadas na tabela juntamente das hipóteses que geraram algum tipo de discussão. Em outros casos, a sala não obteve uma hipótese consensual antes da interação com o simulador.

Análise das hipóteses elaboradas para responder à pergunta 1: o caule sempre busca o estímulo luminoso? De que maneira?

Percebe-se que há um entendimento geral de que a curvatura do caule em resposta ao estímulo luminoso se dá acompanhada de um crescimento – e que sem o crescimento, a curvatura não é possível. Esse detalhamento é importante, uma vez que crescimento e curvatura não necessariamente representam a mesma coisa no contexto de crescimento da planta: pode haver crescimento sem curvatura, mas se o caule curvar é porque o crescimento necessariamente aconteceu. Não são todos os alunos que aparentaram compreender que o caule curva para o lado oposto ao lado que mais cresce (ou ainda, em outras palavras, o lado que mais cresce é o lado que não recebe luz). Essa correlação entre luz e crescimento leva à construção de uma concepção prévia que, se aplicada em convergência com o conceito de fototropismo, acaba levando o aprendiz a compreender incorretamente o mecanismo de crescimento da planta sob influência da luz e dos hormônios vegetais. Mesmo após a interação com o simulador, muitos alunos não chegaram a um consenso sobre o lado do caule que mais cresce sob a luz e muitos continuaram associando o lado de maior

crescimento ao lado da curvatura. É possível que esse problema de compreensão não seja um problema exclusivo da Biologia e da botânica e possua caráter interdisciplinar.

Todos concordaram, no entanto, de que o caule busca a luz (buscar não é, afinal, sinônimo de crescer ou curvar). Essa compreensão parece estar atrelada a um conhecimento prévio de que a luz é importante para a planta e que estas tendem a crescer em direção a um estímulo luminoso para fazer mais fotossíntese. Dessa forma, de forma geral as turmas concluíram que era possível modificar a curvatura do caule ao se alterar a posição da luz. Houveram discordâncias, no entanto: alguns alunos entenderam que a generalização de que o caule sempre busca a luz era exagerada e concordaram que a maioria dos caules assim o fazem – porém exceções na natureza são comuns. De fato, nem todas as espécies de plantas possuem caules que apresentam fototropismo positivo.

Análise das hipóteses elaboradas para responder à pergunta 2: considerando a forma pela qual as auxinas são produzidas, como impedir o crescimento/curvatura do caule?

Para responder à segunda pergunta o consenso foi atingido mais facilmente – o que era esperado, uma vez que durante a aula introdutória ficou bastante explícito que a região responsável pela produção de auxinas é o ápice caulinar. Logo, retirá-lo resultaria na redução da quantidade de hormônio de crescimento no caule.

Propositalmente, um dos *time-lapses* de coleóptiles com ápices cortados permaneceu com uma pequena plântula que emergiu do solo somente após o início da gravação. Esta plântula, de ápice intacto, obviamente demonstrou crescimento normal. Por consequência, alguns alunos (turma A, pares) perceberam a pequena planta crescendo normalmente e utilizaram esta observação para tirar suas conclusões à respeito da importância do ápice caulinar no crescimento vegetal. A mesma turma, no entanto, já havia entrado inicialmente em consenso que o crescimento e a curvatura poderiam ser impedidos pelo corte do ápice caulinar.

Análise das hipóteses elaboradas para responder à pergunta 3: seria possível impedir que a planta curve em direção à luz sem impedir seu crescimento?

Finalmente, a última pergunta trouxe hipóteses que não encontraram dificuldades em serem elaboradas consensualmente na maior parte das turmas – o que já era esperado, visto que os alunos já haviam interagido com o simulador ao longo da aula. Excepcionalmente, um aluno par da turma A afirmou que o caule sequer cresceria se fosse coberto. Na mesma turma, muitos alunos afirmaram que o caule coberto apresentaria fototropismo e mudaram de ideia após a simulação. Ao final da aula, todos acabaram concordando que mudanças nas concentrações de auxinas nos lados do caule levam à curvatura e que sem o ápice a auxina não é produzida.

Os alunos pares da turma B somente entraram em consenso após a última simulação. Talvez a conclusão de que a ponta coberta impede a curvatura tenha sido feita apenas a partir das interações anteriores com o simulador sem a correlação dessa não curvatura com a distribuição de hormônio auxina. Aparentemente, estes alunos não correlacionaram as diferenças nas concentrações de auxinas ao longo do caule e a influência da luz na disposição do hormônio – aparentemente, associaram a curvatura do caule em busca do estímulo luminoso a uma espécie de intenção voluntária da planta em deslocar o hormônio ao longo do coleóptile enquanto, na verdade, a auxina é fotofóbica. Essa concepção alternativa (o entendimento de que a planta “detecta” a luz) já foi documentada pela literatura e anteriormente citada neste trabalho (FIRN, 2009). Alguns alunos dessa turma também citaram a possibilidade de o caule coberto não produzir mais auxinas; devido ao tempo reduzido de aula, não foi possível explorar mais profundamente a origem desta hipótese.

Nas páginas seguintes estão os quadros que comparam as turmas com base nas hipóteses elaboradas, para cada pergunta feita.

Quadro 14 – Hipóteses para a primeira pergunta e testadas no simulador

Pergunta 1: o caule sempre busca o estímulo luminoso? De que maneira?					
ALUNOS ÍMPARES			ALUNOS PARES		
TURMA A	TURMA B	TURMA C	TURMA A	TURMA B	TURMA C
<p>1. O caule se curva porque cresce.</p> <p>2. O lado que mais cresce é o lado não iluminado.</p> <p>3. Pode-se alterar o crescimento do caule ao se alterar artificialmente a posição da luz.</p>	<p>1. O caule se curva porque cresce.</p> <p>2. O lado que mais cresce é o lado não iluminado.</p> <p>3. Pode-se alterar o crescimento do caule ao se alterar artificialmente a posição da luz.</p>	<p>1. O caule se curva porque cresce.</p> <p>2. Não houve consenso sobre o lado do caule que mais cresce: o iluminado ou o não iluminado. Muitos também levantaram a hipótese de a auxina se concentrar mais no lado iluminado, mas sem correlacionar esse aumento na concentração com o crescimento. Alguns alunos cogitaram a possibilidade desse aumento na concentração não se refletir em crescimento para a planta.</p> <p>3. Pode-se alterar o crescimento do caule ao se alterar artificialmente a posição da luz.</p>	<p>1. O caule se curva porque cresce.</p> <p>2. O lado que mais cresce é o lado não iluminado (apenas um aluno discordou e teve dificuldades para compreender o conceito).</p> <p>3. Pode-se alterar o crescimento do caule ao se alterar artificialmente a posição da luz (alguns alunos colocaram que a planta não se curva se a iluminação for homogênea).</p>	<p>1. O caule se curva porque cresce.</p> <p>2. Não houve consenso sobre o lado do caule que mais cresce: o iluminado ou o não iluminado.</p> <p>3. Pode-se alterar o crescimento do caule ao se alterar artificialmente a posição da luz. A maioria achou que o caule nem sempre busca a luz, mas depois alguns mudaram de ideia, quando mudei a pergunta, tirando o "sempre" de "sempre busca a luz", a maioria concordou. Concordaram que com luz homogênea o caule cresce reto.</p>	<p>1. O caule se curva porque cresce (o consenso foi mais difícil, mas a maioria acabou por concluir o mesmo).</p> <p>2. Não houve consenso sobre o lado do caule que mais cresce: o iluminado ou o não iluminado.</p> <p>3. Pode-se alterar o crescimento do caule ao se alterar artificialmente a posição da luz. Dois alunos discordaram enfaticamente de que se a luz é homogênea, o crescimento é homogêneo; após a interação, os alunos mudaram de ideia.</p>
<p>Observações: mesmo após a interação, os alunos continuaram achando que o lado do caule que mais cresce é o lado iluminado.</p>					
<p>Observações: um aluno percebeu que o coleótilo de ápice coberto não busca a luz ainda antes de elaborar as hipóteses para a pergunta 3.</p>					

Quadro 15 – Hipóteses para a segunda pergunta e testadas no simulador

Pergunta 2: considerando a forma pela qual as auxinas são produzidas, como impedir o crescimento/curvatura do caule?					
ALUNOS ÍMPARES			ALUNOS PARES		
TURMA A	TURMA B	TURMA C	TURMA A	TURMA B	TURMA C
1. Ao se cortar o ápice caulinar, a planta não cresce e não responde à luz.	1. Ao se cortar o ápice caulinar, a planta não cresce e não responde à luz.	1. Ao se cortar o ápice caulinar, a planta não cresce e não responde à luz.	1. Ao se cortar o ápice caulinar, a planta não cresce e não responde à luz (foi necessário diferenciar gema apical e ápice caulinar).	1. Ao se cortar o ápice caulinar, a planta não cresce e não responde à luz.	1. Ao se cortar o ápice caulinar, a planta não cresce e não responde à luz (alguns discordaram, mas a maioria entrou em consenso).
			Observações: alguns alunos perceberam que entre as plântulas de ápice cortado (que não cresciam) havia uma plântula de ápice intacto brotando do solo e crescendo normalmente; dessa forma, utilizaram essa observação para concluir que o ápice é indispensável para o crescimento do caule.	Observações: após a interação, alguns notaram que o crescimento não é impedido completamente, mas sim retardado. Antes mesmo da elaboração das hipóteses para a pergunta 2 e após a primeira interação, um aluno percebeu de antemão que a auxina é produzida no ápice e é sensível à luz.	

Quadro 16 – Hipóteses para a terceira pergunta e testadas no simulador

Pergunta 3: seria possível impedir que a planta curve em direção à luz sem impedir seu crescimento?						
ALUNOS IMPARES			ALUNOS PARES			
TURMA A	TURMA B	TURMA C	TURMA A	TURMA B	TURMA C	
1. Ao cobrir a ponta do caule, o hormônio auxina se distribui homogeneamente e não há curvatura.	1. Ao cobrir a ponta do caule, o hormônio auxina se distribui homogeneamente e não há curvatura.	1. Ao cobrir a ponta do caule, o hormônio auxina se distribui homogeneamente e não há curvatura.	1. Ao cobrir a ponta do caule, o hormônio auxina se distribui homogeneamente e não há curvatura. Um aluno afirmou que o caule não crescia se tivesse o ápice coberto, mas mudou de ideia após a interação.	1. Ao cobrir a ponta do caule, não há curvatura (somente houve consenso após a simulação).	1. Ao cobrir a ponta do caule, o hormônio auxina se distribui homogeneamente e não há curvatura.	
			Observações: alguns alunos acharam que mesmo com o ápice coberto o caule se curvava, mesmo após a interação com o simulador (após discussão, mudaram de ideia).	Observações: os alunos não correlacionaram a luz com a mudança nas concentrações de auxinas, mas mudaram de ideia após a interação. Curiosamente, houve um consenso de que se o caule busca a luz, as concentrações de auxina mudam para que haja a curvatura. Aparelamente, os alunos não correlacionaram a luz como fator de influência na distribuição de auxinas ao longo do caule, mas entenderam que essa distribuição era alterada por mecanismos da própria planta para que esta se aproximasse da luz. Alguns pensaram antes da simulação que a produção de auxina poderia ser interrompida se o caule fosse coberto.	Observações: os alunos continuaram achando que o lado iluminado cresce mais.	

9.3.2 Turmas D, E e F

As turmas de 2017 tiveram suas hipóteses individuais analisadas juntamente da construção também individual de representações visuais sobre o fototropismo. A escolha dos alunos que tiveram as representações analisadas se deu a partir da escolha dos vídeos de interação com o simulador, para que se obtivesse um melhor panorama sobre como estes estudantes constroem os conhecimentos estudados. Assim, maiores detalhes sobre a seleção destes alunos encontram-se na próxima seção. As variações nos testes dos três alunos selecionados estão no quadro a seguir.

Quadro 17 – Variações nos testes dos alunos que tiveram as representações visuais analisadas

Aluno	Δ geral (todas as questões)
21F	-1,30
14E	0,10
22D	1,80

Cada representação visual recebeu uma pontuação, a depender de seus aspectos representacionais. O detalhamento de como essa pontuação foi atribuída encontra-se na metodologia.

A primeira representação analisada foi a do aluno 27E. É perceptível, em um primeiro momento, que as representações se assemelham muito às encontradas nas apostilas e nos esquemas de lousa.

Figura 18 – Representações visuais do aluno 21F

Os detalhes da pontuação atribuída ao aluno 21F encontra-se no quadro abaixo.

Quadro 18 - Pontuação do aluno 21F

Aspectos representacionais		Pontuação
1) Composição	Representação da planta	1 ponto
	Presença de substrato, vasos, etc.	1 ponto
	Indicação de luz (lâmpadas, sol, etc.)	1 ponto
	Presença de paisagem	0 ponto
2) Elementos representados	Semelhança com representações de livros e afins	-1 ponto
	Semelhança com elementos do simulador ou diferente das representações tradicionais (registro)	0 ponto
3) Legenda ou quadros explicativos (à exceção da hipótese apresentada)	Presença	0 ponto
Total de pontos		2 pontos

Para além da pontuação atribuída, temos também as hipóteses construídas pelo aluno, como mostra o quadro a seguir.

Quadro 19 – Hipóteses do aluno 21F

Pergunta	Hipótese
1) O caule sempre busca o estímulo luminoso? De que maneira?	<i>“Pensa no gira-sol, ele segue a luz, logo crescerá pro sol”</i>
2) Considerando a forma pela qual as auxinas são produzidas, como impedir a curvatura e/ou crescimento do caule?	<i>“Se tirá a gema apical, ela não cresce, logo impede”</i>
3) Seria possível impedir que a planta curve em direção à luz sem impedir seu crescimento?	<i>“A planta cresce em direção a luz, (incompreensível)”</i>

Pela análise da variação nos testes do aluno 21F, percebemos que houve um distanciamento razoável em seu rendimento formal no pós-teste. Pela pontuação atribuída às suas representações visuais, percebe-se que há também um distanciamento destas representações daquilo que vemos no registro do fenômeno e na simulação. Em outras palavras, as representações visuais do aluno 21F se aproximam muito mais das representações do fenômeno apresentadas nos livros didáticos, nas apostilas e nos esquemas de lousa. A utilização do exemplo do girassol para a elaboração da hipótese relacionada à pergunta 1 é comum no contexto escolar, apesar de não ser respaldada cientificamente²⁴. Já a segunda hipótese, bem respondida, encontrou fundamento não apenas nas aulas durante o decorrer da sequência didática aplicada, como também pelo material apostilado. A terceira hipótese, no entanto, não pôde ser analisada devido à impossibilidade de leitura da produção do aluno.

Em seguida, temos as representações do aluno 14E.

²⁴ O girassol, na realidade, apresenta um tropismo denominado heliotropismo, que consiste na movimentação da planta com base na posição do sol – e não de qualquer estímulo luminoso. O heliotropismo não implica em crescimento.

Figura 19 – Representações visuais do aluno 14E

Pela análise dos desenhos, foi atribuída a pontuação conforme descrito no quadro abaixo.

Quadro 20 – Pontuação do aluno 14E

Aspectos representacionais		Pontuação
1) Composição	Representação da planta	1 ponto
	Presença de substrato, vasos, etc.	1 ponto
	Indicação de luz (lâmpadas, sol, etc.)	1 ponto
	Presença de paisagem	0 ponto
2) Elementos representados	Semelhança com representações de livros e afins	0 ponto
	Semelhança com elementos do simulador ou diferente das representações tradicionais (registro)	1 ponto
3) Legenda ou quadros explicativos (à exceção da hipótese apresentada)	Presença	0 ponto
Total de pontos		4 pontos

Por fim, para o estudante 14E, temos também suas hipóteses propostas no quadro a seguir.

Quadro 21 – Hipóteses do aluno 14E

Pergunta	Hipótese
1) O caule sempre busca o estímulo luminoso? De que maneira?	<i>“Quase sempre a planta cresce mais no lado fora do contato do sol, por causa da auxina, porém o girasol só é estimulado pelo sol, sem outras fontes luminosas”</i>
2) Considerando a forma pela qual as auxinas são produzidas, como impedir a curvatura e/ou crescimento do caule?	<i>“Para impedir a curvatura é necessário colocar luz em todos os lados da planta. Para evitar o crescimento dela é preciso cortar a gema apical”</i>
3) Seria possível impedir que a planta curve em direção à luz sem impedir seu crescimento?	<i>“Sim, colocando luz em todos os lados da planta”</i>

Observando suas representações visuais e a pontuação atribuída a elas, fica evidente que a produção do aluno 14E mostra um distanciamento maior da representação do fenômeno geralmente utilizada nos materiais didáticos. Percebe-se que o aluno optou por representar a planta de forma distinta da dos coleóptiles normalmente utilizados neste tipo de estudo. As hipóteses construídas também corroboram um maior domínio do conhecimento científico por parte do estudante, como mostram as hipóteses para as perguntas 2 e 3. A hipótese para a pergunta 1 converge com a concepção do aluno 21F a respeito do movimento dos girassóis em direção ao sol, indicando que esta é uma concepção bastante comum no contexto escolar.

A última análise das representações é a do aluno 22D, como mostra a figura a seguir.

Figura 20 – Representações visuais do aluno 22D

Sua pontuação em termos dos aspectos representacionais está no quadro abaixo.

Quadro 22 – Pontuação do aluno 22D

Aspectos representacionais		Pontuação
1) Composição	Representação da planta	1 ponto
	Presença de substrato, vasos, etc.	1 ponto
	Indicação de luz (lâmpadas, sol, etc.)	1 ponto
	Presença de paisagem	0 ponto
2) Elementos representados	Semelhança com representações de livros e afins	-1 ponto
	Semelhança com elementos do simulador ou diferente das representações tradicionais (registro)	1 ponto
3) Legenda ou quadros explicativos (à exceção da hipótese apresentada)	Presença	1 ponto
Total de pontos		4 pontos

As hipóteses do aluno 22D também foram transcritas e encontram-se a seguir.

Quadro 23 – Hipóteses do aluno 22D

Pergunta	Hipótese
1) O caule sempre busca o estímulo luminoso? De que maneira?	<i>“O caule sempre busca o estímulo luminoso e faz isso se curvando em direção ao estímulo”</i>
2) Considerando a forma pela qual as auxinas são produzidas, como impedir a curvatura e/ou crescimento do caule?	<i>“Cortando a gema apical”</i>
3) Seria possível impedir que a planta curve em direção à luz sem impedir seu crescimento?	<i>“Sim, colocando a auxina no lado em que a planta está sendo iluminada”</i>

Com a mesma pontuação do aluno 14E, o estudante 22D mostra também um distanciamento maior em relação às representações convencionais, mesmo que os desenhos feitos para responder às perguntas 2 e 3 guardem semelhanças evidentes em relação aos coleóptiles. A hipótese fornecida para a pergunta 1 é, no entanto, incompleta, pois não propõe um mecanismo para que haja a curvatura do caule sob efeito da luz. A segunda hipótese acusa a compreensão por parte do aluno do papel da gema apical na produção do hormônio auxina. A terceira hipótese é pouco convencional: o aluno propõe a aplicação de hormônio no lado iluminado da planta, onde esta concentração é menor. Dessa maneira, ao equilibrar a concentração do hormônio nos dois lados da planta, esta cresceria homogeneamente. A hipótese do aluno, apesar de incomum, é bastante plausível e leva-nos a concluir que o estudante compreende bem a função da auxina no fototropismo.

9.3.3 Conclusões parciais

Parece-nos que a construção de hipóteses, quando feita coletivamente com o professor enquanto mediador, leva à elaboração de respostas mais assertivas em termos de conhecimento científico. A sequência didática utilizada com as turmas de 2016 não privilegiou a construção individual das hipóteses, inviabilizando a avaliação

de hipóteses muito diferentes das esperadas. Em contrapartida, a situação experimentada privilegiou uma melhor análise sobre a percepção que os alunos obtiveram do fenômeno simulado durante a interação com o recurso didático²⁵.

Já a sequência didática de 2017, apesar de não ter contemplado a construção coletiva de hipóteses, tornou possível a análise individual destas juntamente de suas representações visuais. Assim, foi possível extrair dessa análise outras possíveis hipóteses que dificilmente emergiriam no contexto da sequência didática de 2016. Percebeu-se que muitas concepções prévias e alternativas anteriormente destacadas continuaram evidentes, como a ideia de que o lado da planta que mais cresce é o lado iluminado. Infelizmente, não é possível trazer conclusões mais assertivas, uma vez que as hipóteses e as representações visuais foram elaboradas antes da interação com o simulador. Ainda assim, estes dados complementam o panorama sobre como se dá a construção do conhecimento destes alunos, nessas situações, a respeito destes fenômenos – e fornece subsídios para a abordagem futura destes conteúdos.

9.4 Análise dos percursos de interação com o simulador

9.4.1 Turmas A, B e C

É importante salientar que nem todos os alunos foram capazes de gravar suas próprias interações com o simulador por motivos diversos. Alguns tiveram dificuldades em utilizar o software de captura de tela ou problemas técnicos com o uso do computador; outro problema bastante comum no decorrer da aula no laboratório de informática foi a incapacidade de a rede sustentar o salvamento de múltiplos arquivos ao mesmo tempo, sobretudo porque os vídeos produzidos são grandes em tamanho.

²⁵ Em 2017, por conta do planejamento escolar, a sequência didática foi elaborada de forma a prever a aplicação do pós-teste na mesma aula em que os alunos testaram o simulador. Assim, o tempo de aula foi reduzido, não permitindo uma análise mais profunda das percepções dos alunos em relação a simulação como ocorrido no ano anterior.

Logo, a escolha dos vídeos teve que levar também em consideração as limitações aqui descritas e as condições colocadas na metodologia.

A análise dos vídeos que registraram as interações aluno-simulador foi guiada pela elaboração de dendogramas, gerados a partir dos dados dos pré-testes e pós-testes analisados no *software* de mineração de dados Orange. Ressalta-se mais uma vez que, para uma melhor análise pelo leitor, os dendogramas apresentados nesta seção também se encontram em maior tamanho e com maior detalhamento nos apêndices deste trabalho.

As aulas de laboratório respeitaram os pressupostos da teoria cognitiva de aprendizagem multimídia ao unir dois canais distintos de processamento de informações, o visual e o auditivo. A interação dos alunos com o simulador foi guiada pelo autor deste trabalho através do roteiro de discussão e elaboração de hipóteses apresentado na metodologia.

Primeiramente, foi gerado um dendograma incluindo todos os alunos das turmas A, B e C. A partir deste dendograma, mostrado a seguir, foram extraídos três grupos principais.

Figura 21 – Análise de *clusters** (turmas de 2016)

* Nota: os dendogramas e clusters foram gerados a partir da análise dos dados pelo software estatístico Orange.

A composição de cada *cluster* foi determinada pelo rendimento geral dos alunos em termos das variações obtidas individualmente, ou seja, de acordo com a diferença de resultados obtidos no pós-teste face aos resultados do pré-teste. Os valores das variações de cada grupo, assim como a composição de cada *cluster* por turma, estão nos quadros abaixo.

Tabela 14 – Análise geral das variações por *cluster* (2016)

			Δ geral mín.	Δ geral máx.	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
Todos os alunos (n=132)			-1,00	1,90	0,51 $\pm$ 0,61	0,50
<i>Cluster I</i> (n=112)			-0,50	1,90	0,50 $\pm$ 0,50	0,40
A*	B	C				
35	35	42				
<i>Cluster II</i> (n=12)			0,60	1,80	1,32 $\pm$ 0,42	1,50
A	B	C				
8	3	1				
<i>Cluster III</i> (n=8)			-1,00	0,10	-0,55 $\pm$ 0,36	-0,65
A	B	C				
2	3	3				

Nota: *os números sob as letras A, B e C correspondem à composição dos clusters quanto às turmas.

Os alunos contidos nestes três grupos tiveram seus vídeos analisados e, a partir dessa primeira análise, três alunos foram escolhidos: 7A (*cluster I*), 41B (*cluster II*) e 36A (*cluster III*). A não inclusão de um aluno da turma C se deu por conta da percepção da grande semelhança na navegação dos alunos 7A e 41B, como será discutido adiante. Infelizmente, no *cluster III*, nenhum aluno da turma C possuía vídeos passíveis de serem analisados. Os resultados destes alunos nos testes encontram-se no quadro abaixo.

Tabela 15 – Variações individuais dos alunos que tiveram vídeos analisados (2016)

Aluno	Δ
7A (<i>cluster I</i>)	0,50
41B (<i>cluster II</i>)	1,80
36A (<i>cluster III</i>)	-0,2

Inicialmente foi retomada a discussão feita com os alunos na aula anterior à interação com o simulador, a partir da qual as hipóteses elaboradas coletivamente foram discutidas inicialmente. O primeiro teste de hipóteses foi feito a partir da pergunta 1 do roteiro, juntamente da qual foi feita a discussão que guiou a interação

aluno-simulador. Convém retomarmos o roteiro juntamente desta discussão, para melhor compreensão:

Pergunta 1: o caule sempre busca o estímulo luminoso? De que maneira?

Roteiro de discussão:

- A. A planta sempre cresce em direção à luz?
- B. Essa busca pela luz caracteriza-se por um crescimento real da planta ou apenas uma simples curvatura?
- C. Em caso de crescimento, qual o lado que mais cresce: o iluminado ou o não iluminado?
- D. Há curvatura se a luz for homogênea?
- E. É possível fazer a planta se curvar ao se manipular a luz ambiente?

Analisando individualmente os vídeos gravados para este teste de hipótese, percebe-se que os alunos permanecem por mais tempo nas telas de número 1, 2 e 3, que exibem as plântulas intactas com iluminação homogênea. O roteiro de discussão parece ter papel importante nesse direcionamento da simulação. A semelhança entre os diagramas de navegação dos alunos 7A e 41B sugere que somente a simulação das plantas em diferentes tipos de iluminação pode ser suficiente para elaborar hipóteses para a primeira pergunta.

Gráfico 3 – Diagrama de navegação (teste 1, aluno 7A, *cluster I*)

Gráfico 4 – Diagrama de navegação (teste 1, aluno 41B, *cluster II*) **Simulações:**

- 9 Caule cortado com luz à direita
- 8 Caule cortado com luz homogênea
- 7 Caule cortado com luz à esquerda
- 6 Caule coberto com luz à direita
- 5 Caule coberto com luz homogênea
- 4 Caule coberto com luz à esquerda
- 3 Caule intacto com luz à direita
- 2 Caule intacto com luz homogênea
- 1 Caule intacto com luz à esquerda
- 0 Menu

Gráfico 5 – Diagrama de navegação (teste 1, aluno 36A, *cluster III*) **Simulações:**

- 9 Caule cortado com luz à direita
- 8 Caule cortado com luz homogênea
- 7 Caule cortado com luz à esquerda
- 6 Caule coberto com luz à direita
- 5 Caule coberto com luz homogênea
- 4 Caule coberto com luz à esquerda
- 3 Caule intacto com luz à direita
- 2 Caule intacto com luz homogênea
- 1 Caule intacto com luz à esquerda
- 0 Menu

Já o diagrama de navegação do aluno 36A destoa dos dois primeiros não apenas pela diferença na navegação de telas, mas também pelo tempo demandado para navegação – quase o dobro dos dois primeiros alunos. Percebe-se também que o aluno simulou o crescimento de uma plântula com ápice coberto, o que permite sugerir que essa observação foi necessária para a construção da hipótese ou essa navegação foi aleatória. Considerando que muitos alunos navegaram aleatoriamente no primeiro teste de hipóteses, – provavelmente por estarem conhecendo melhor o

simulador e testando as variadas possibilidades – parece correto assumir que esse é o cenário mais provável.

Em seguida, temos o segundo teste de hipóteses:

Pergunta 2: considerando a forma pela qual as auxinas são produzidas, como impedir o crescimento/curvatura do caule?

Roteiro de discussão:

- A. Se não houver crescimento, há curvatura?
- B. Se não houver crescimento, a planta responderá à luz?

Considerando como a pergunta foi feita, o esperado seria que os alunos simulassem as plantas com ápices cortados. Tal escolha se justifica, pois plantas com ápices cortados não produzem o hormônio de crescimento auxina, e assim ficam impedidas de crescer. Os diagramas estão apresentados a seguir.

Gráfico 6 – Diagrama de navegação (teste 2, aluno 7A, *cluster I*)

Gráfico 7 – Diagrama de navegação (teste 2, aluno 41B, *cluster II*) **Simulações:**

- 9 Caule cortado com luz à direita
- 8 Caule cortado com luz homogênea
- 7 Caule cortado com luz à esquerda
- 6 Caule coberto com luz à direita
- 5 Caule coberto com luz homogênea
- 4 Caule coberto com luz à esquerda
- 3 Caule intacto com luz à direita
- 2 Caule intacto com luz homogênea
- 1 Caule intacto com luz à esquerda
- 0 Menu

Gráfico 8 – Diagrama de navegação (teste 2, aluno 36A, *cluster III*) **Simulações:**

- 9 Caule cortado com luz à direita
- 8 Caule cortado com luz homogênea
- 7 Caule cortado com luz à esquerda
- 6 Caule coberto com luz à direita
- 5 Caule coberto com luz homogênea
- 4 Caule coberto com luz à esquerda
- 3 Caule intacto com luz à direita
- 2 Caule intacto com luz homogênea
- 1 Caule intacto com luz à esquerda
- 0 Menu

Percebe-se também que o aluno 41B fez uma quantidade maior de simulações quando comparado aos seus colegas. Algumas destas simulações foram feitas, inclusive, sem passar pelo menu de opções – isto fica claro pela troca de telas sem retornar à tela de menu. Esse comportamento do diagrama sugere que o aluno estaria interagindo com o simulador utilizando não apenas as zonas clicáveis do objeto de aprendizagem, mas também navegando pela alteração da linha do tempo do hipervídeo. De qualquer maneira, apesar de utilizar-se de uma navegação menos

convencional, percebe um maior tempo gasto nas simulações das plantas de ápice cortado. Percebe-se também o maior tempo demandado pelo aluno 41B, o que parece sugerir uma navegação mais exploratória, talvez com o intuito de familiarizar-se com o simulador.

Por fim, temos o último teste de hipóteses:

Pergunta 3: seria possível impedir que a planta curve em direção à luz sem impedir seu crescimento?

Roteiro de discussão:

- A. Um caule coberto, se iluminado lateralmente, terá disposição diferencial de auxinas em algum de seus lados?
- B. Se o caule busca sempre a luz, isso significa que as concentrações de auxinas ao longo do caule são diferentes?
- C. Em um caule coberto, a produção de auxinas é mantida?

Para o último teste de hipóteses, como sugerido pelo roteiro, as simulações mais utilizadas são aquelas nas quais os caules encontram-se cobertos. É interessante notar que os diagramas de navegação dos alunos 7A e 41B são quase idênticos. O diagrama do aluno 36A, também bastante similar, diferencia-se dos demais basicamente pelo maior tempo de navegação.

Gráfico 9 – Diagrama de navegação (teste 3, aluno 7A, *cluster I*)

Gráfico 10 – Diagrama de navegação (teste 3, aluno 41B, *cluster II*) **Simulações:**

- 9 Caule cortado com luz à direita
- 8 Caule cortado com luz homogênea
- 7 Caule cortado com luz à esquerda
- 6 Caule coberto com luz à direita
- 5 Caule coberto com luz homogênea
- 4 Caule coberto com luz à esquerda
- 3 Caule intacto com luz à direita
- 2 Caule intacto com luz homogênea
- 1 Caule intacto com luz à esquerda
- 0 Menu

Gráfico 11 – Diagrama de navegação (teste 3, aluno 36A, *cluster III*) **Simulações:**

- 9 Caule cortado com luz à direita
- 8 Caule cortado com luz homogênea
- 7 Caule cortado com luz à esquerda
- 6 Caule coberto com luz à direita
- 5 Caule coberto com luz homogênea
- 4 Caule coberto com luz à esquerda
- 3 Caule intacto com luz à direita
- 2 Caule intacto com luz homogênea
- 1 Caule intacto com luz à esquerda
- 0 Menu

É possível concluir, pois, que apesar das diferenças nas variações apresentadas pelos alunos nos testes, seus diagramas de navegação são muito parecidos. Parece razoável supor que esta semelhança na navegação seja decorrente do roteiro de discussão e exploração elaborado para guiar as aulas no laboratório de informática.

9.4.2 Turmas D, E e F

A análise dos vídeos das turmas de 2017 seguiu a mesma metodologia utilizada para as turmas de 2016. Como sempre, os dendogramas apresentados nesta seção também se encontram em maior tamanho e com maior detalhamento nos apêndices deste trabalho.

Os mesmos inconvenientes enfrentados durante a gravação das simulações também foram enfrentados em 2017 (dificuldades na gravação das interações e na manipulação do *software*, salvamento dos arquivos na rede, etc.). Aqui, as aulas de laboratório continuaram a respeitar os pressupostos da teoria cognitiva de aprendizagem multimídia, unindo os dois canais de processamento de informações: o visual e o auditivo. Mais uma vez, a interação dos alunos com o simulador foi guiada pelo autor deste trabalho através do roteiro de discussão para elaboração de hipóteses apresentado na metodologia, que será retomado para o desenvolvimento mais fluido desta discussão.

Primeiramente, foi gerado o dendograma incluindo todos os alunos das turmas D, E e F, a partir do qual foram extraídos três grupos principais.

Figura 22 – Análise de *clusters** (turmas de 2017)

** Nota: os dendogramas e clusters foram gerados a partir da análise dos dados pelo software estatístico Orange.*

A seguir, os clusters obtidos foram analisados, e os dados extraídos encontram-se apresentados a seguir.

Tabela 16 – Análise geral das variações por *cluster* (2017)

			Δ geral mín.	Δ geral máx.	Δ méd. $\pm \sigma$	Moda
Todos os alunos (n=93)			-1,50	2,50	$0,49 \pm 0,64$	0,50
Cluster I (n=4)			-1,50	-0,40	$-0,92 \pm 0,48$	-0,90
D*	E	F				
1	1	2				
Cluster II (n=67)			-0,40	2,50	$0,59 \pm 0,60$	0,50
D	E	F				
31	19	17				
Cluster III (n=22)			-0,70	1,20	$0,43 \pm 0,44$	0,60
D	E	F				
5	8	9				

Nota: *os números sob as letras E, E e F correspondem à composição dos clusters quanto às turmas.

Os dados acima foram cruzados com os vídeos gravados disponíveis. Os alunos escolhidos, assim como suas variações calculadas a partir dos testes, estão no quadro a seguir. Estes mesmos alunos tiveram também suas representações visuais analisadas na seção anterior.

Tabela 17 – Variações individuais dos alunos que tiveram vídeos analisados (2017)

Aluno	Δ
21F (<i>cluster</i> I)	-1,30
22D (<i>cluster</i> II)	1,80
14E (<i>cluster</i> III)	0,10

Uma vez escolhidos os alunos, estes tiveram seus diagramas de navegação construídos a partir dos vídeos do primeiro teste de hipóteses. Assim, novamente convém retomarmos o roteiro de discussão:

Pergunta 1: o caule sempre busca o estímulo luminoso? De que maneira?

Roteiro de discussão:

A. A planta sempre cresce em direção à luz?

- B. Essa busca pela luz caracteriza-se por um crescimento real da planta ou apenas uma simples curvatura?
- C. Em caso de crescimento, qual o lado que mais cresce: o iluminado ou o não iluminado?
- D. Há curvatura se a luz for homogênea?
- E. É possível fazer a planta se curvar ao se manipular a luz ambiente?

Diferentemente das turmas de 2016, percebe-se que os diagramas de navegação dos alunos analisados são bastante heterogêneos.

Gráfico 12 - Diagrama de navegação (teste 1, aluno 21F, *cluster I*)

Gráfico 13 - Diagrama de navegação (teste 1, aluno 22D, *cluster II*)

Gráfico 14 - Diagrama de navegação (teste 1, aluno 14E, *cluster* III)

Outra característica destes diagramas é o tempo despendido na navegação, que é muito maior que o dos alunos analisados no ano anterior. Apesar de a navegação parecer aleatória, um olhar mais atento permite a constatação de que os alunos estão isolando variáveis na busca de evidências que sustentem suas hipóteses. Outra explicação para a alteração nos diagramas de um ano para outro estaria na concepção do simulador em sua nova versão. No ano anterior, o botão que permitia que o aluno voltasse ao menu inicial apenas era disponibilizado após a simulação ser completamente exibida. No novo simulador, o botão que permite voltar ao menu inicial permanece sempre disponível, o que permite que o aluno retorne ao menu inicial a qualquer momento. Não seria errado supor que esse incremento em termos de possibilidades de navegação viabilizou uma maior dinamicidade na interação do aluno com o simulador, permitindo uma exploração mais plástica. O maior número de telas navegadas em comparação com o ano anterior parece reforçar essa impressão.

Em seguida, temos o segundo teste de hipóteses:

Pergunta 2: considerando a forma pela qual as auxinas são produzidas, como impedir o crescimento/curvatura do caule?

Roteiro de discussão:

- A. Se não houver crescimento, há curvatura?
- B. Se não houver crescimento, a planta responderá à luz?

Assim como no primeiro teste, os diagramas apresentam-se com uma maior complexidade quando comparados aos alunos do ano anterior. Apesar de todos os alunos simularem caules com ápices cortados, como era esperado devido ao roteiro de discussão, praticamente todas as outras simulações também foram executadas. O tempo de navegação também diminuiu, o que parece indicar um caráter exploratório para os diagramas do primeiro teste. Outro indicativo de que os alunos estariam mais familiarizados com o simulador no segundo teste é a maior quantidade de telas navegadas com plântulas nas condições sugeridas pela segunda pergunta, ou seja, com seu ápice cortado. As demais simulações foram realizadas em menor número.

Gráfico 15 - Diagrama de navegação (teste 2, aluno 21F, *cluster I*)

Gráfico 16 - Diagrama de navegação (teste 2, aluno 22D, *cluster II*) Gráfico 17 - Diagrama de navegação (teste 2, aluno 14E, *cluster III*)

Por último, temos a terceira pergunta:

Pergunta 3: seria possível impedir que a planta curve em direção à luz sem impedir seu crescimento?

Roteiro de discussão:

- A. Um caule coberto, se iluminado lateralmente, terá disposição diferencial de auxinas em algum de seus lados?
- B. Se o caule busca sempre a luz, isso significa que as concentrações de auxinas ao longo do caule são diferentes?
- C. Em um caule coberto, a produção de auxinas é mantida?

A seguir, temos os diagramas de navegação para a última pergunta.

Gráfico 18 - Diagrama de navegação (teste 3, aluno 21F, *cluster I*)

Gráfico 19 - Diagrama de navegação (teste 3, aluno 22D, *cluster II*)

Gráfico 20 - Diagrama de navegação (teste 3, aluno 14E, *cluster* III)

Para o último teste de hipóteses os diagramas mostraram-se mais simples. O tempo de navegação foi reduzido ainda mais, o que permite supor uma familiaridade dos alunos com o simulador ainda maior, não apenas por já terem executado outras simulações, mas também porque provavelmente os estudantes já sabiam quais simulações deveriam assistir para elaborar as hipóteses para a última pergunta. Essa impressão se justifica pelo fato de todos os alunos terem realizado a simulação de plântulas com ápices caulinares cobertos, como é proposto pelo roteiro de exploração. Outro aspecto que deve ser ressaltado está no planejamento de aulas das turmas de 2017, que não puderam discutir previamente as hipóteses a serem construídas no laboratório de informática. Isto significa que as hipóteses foram elaboradas individualmente, sem discussão coletiva. Com um menor direcionamento e menor intervenção por parte do professor, parece sensato sugerir que a navegação no simulador acabou refletindo esse menor direcionamento.

9.4.3 Conclusões parciais

Quando os diagramas de navegação das turmas de 2016 e 2017 são comparados, percebe-se uma clara distinção na utilização do simulador por parte dos

alunos. Os alunos de 2016 indicam um propósito claro na navegação, circunscrita somente às simulações que possuem relação direta com o roteiro de exploração utilizado pelo professor. Supõe-se que o formato das aulas dentro da sequência didática tenha influenciado essa tendência, uma vez que a elaboração das hipóteses testadas foi feita coletivamente. Em contrapartida, os alunos de 2017 puderam elaborar suas hipóteses individualmente, o que possivelmente levou a um número maior de hipóteses construídas e, conseqüentemente, a uma variedade maior de diagramas de navegação. Apesar de a navegação dos estudantes de 2017 parecer aleatória à primeira vista, uma análise mais cuidadosa permite concluir que os alunos na realidade estão simulando variáveis específicas, como a posição da luz no entorno da planta. Em suma, as diferenças no planejamento das aulas e o tipo de abordagem do roteiro de exploração utilizado podem impactar diretamente no tipo de interação que os alunos estabelecem com o recurso didático.

9.5 Aprendizagem: da passividade para o protagonismo

Mesmo em um contexto no qual o ensino transmissivo é valorizado, o uso do simulador evidenciou uma completa transição de uma dinâmica de aula onde apenas o professor falava em direção a uma aula protagonizada pelos aprendizes. Nas aulas em sala regular, o aprendiz assumiu, como sempre, uma postura exclusivamente passiva, dependente das informações fornecidas pelo professor e do conteúdo exposto em lousa.

Figura 23 – Interação alunos-professor na sala de aula regular

Fonte: do autor.

A partir do momento em que se deu início à construção das hipóteses, a interação aluno-professor foi intensificada pelo debate e compartilhamento de ideias, sobretudo nas turmas de 2017, nas quais essa construção deu-se em grupo.

Figura 24 – Interação alunos-professor durante levantamento de hipóteses

Fonte: do autor.

Durante a aplicação do simulador para o teste de hipóteses, a interação alunos-professor assumiu um caráter mais complexo, evidenciando também a interação entre alunos que até então não havia sido observada nas situações anteriores de ensino. A atividade proposta com o simulador parece favorecer outras formas de interação em sala de aula mesmo num contexto escolar que adota o ensino tradicional, baseado em apostilas e lousa, como método principal de promoção de aprendizagem.

Figura 25 – Interação alunos-professor durante interação com simulador

Fonte: do autor.

9.6 Expectativas dos alunos perante as representações visuais dos livros e apostilas de biologia

No decorrer das atividades com os estudantes, salientou-se em diversos momentos o quão distantes as representações dos fenômenos presentes nos livros didáticos estão do universo cotidianos dos estudantes. Essa distância aparentemente se dá pela incapacidade destas representações visuais (esquemas, gráficos, desenhos) presentes nesses materiais de fornecer elementos para que o aprendiz compreenda o que está sendo analisado/observado. Como exemplo, houve no laboratório de informática uma surpresa generalizada ao constatar que os caules de plantas observados na simulação eram os mesmos caules representados nos desenhos das apostilas e da lousa.

Aparentemente, esse distanciamento da representação visual da realidade se dá por conta de um processo de que leva em consideração apenas o estereótipo do fenômeno que está sendo representado. Esse estereótipo do fenômeno é criado a partir da tentativa de imitar e padronizar experimentos clássicos como os já citados experimentos de Charles e Francis Darwin (DARWIN, 1880). Os experimentos, por sua vez, são tentativas de reproduzir fenômenos que acontecem na natureza. Desta maneira, o processo que culmina na produção da representação visual acaba por reproduzir um modelo com função didática que se distancia do fenômeno real – muitas vezes levando a um produto que não cumpre adequadamente sua função.

Como se não bastasse, o contexto classificatório e somativo cria nos alunos uma expectativa de que os fenômenos devem ser sempre previsíveis; caberia ao professor, neste contexto, apenas confirmar se os conceitos foram aprendidos corretamente (FÁVERO; TAUCHEN; SCHWANTES, 2012). Qualquer comportamento destoante do fenômeno observado é encarado como um elemento complicador que encaminha os alunos a conflitos cognitivos julgados indesejáveis. É importante, no entanto, que tais conflitos cognitivos sejam criados de maneira a não reforçar concepções positivistas de ciência nos estudantes. Reforça-se, aqui, o papel do simulador como uma ferramenta capaz de apresentar aos estudantes uma realidade

que não induza o entendimento de que o conhecimento científico pode prever fenômenos.

Ressalta-se ainda que o tropismo é um fenômeno dinâmico e lento na escala de tempo da percepção humana e da duração de uma aula. Portanto, é razoável admitir que, para tais fenômenos, o uso da simulação baseada em hipervídeo traz, além da vantagem de substituir uma representação pictórica pelo registro do fenômeno, a vantagem de poder acelerar o tempo, ressaltando também o aspecto dinâmico do processo. Consideramos que, dentre tudo o que pode ser simulado por meio de hipervídeos, ajustar o tempo do fenômeno ao tempo da percepção humana e da sala de aula seja possivelmente uma das principais contribuições deste tipo de recurso didático.

9.7 As concepções dos alunos sobre ciência e a cultura do gabarito

Durante a sequência didática aplicada e no cotidiano em sala de aula, percebe-se que os alunos possuem expectativas bastante explícitas sobre a ciência. Tais expectativas se refletem na ideia de que, como já discutido, a ciência é um fazer previsível e pré-formatado. Por consequência, as discussões em sala de aula em geral acabam sendo direcionadas no sentido de o professor fornecer respostas concisas e extremamente assertivas para as questões de conteúdo abordadas pelo currículo. Isso parece ser ainda mais evidente nas turmas de melhor desempenho formal, que procuram nos livros e exercícios um padrão de funcionamento da natureza que atenda aos seus anseios por um mundo no qual as respostas estão prontas para serem fornecidas a qualquer momento.

Estes anseios se tornaram evidentes após a aplicação do pré-teste e do pós-teste. Muitos alunos pediram pelo gabarito dos testes como uma forma de prêmio pela atividade feita. A explicação de que os testes não possuíam respostas necessariamente corretas gerou frustração entre estes alunos; de fato, os testes foram concebidos de forma a não encerrar os conteúdos relacionados a tropismos e hormônios vegetais em itens com uma única resposta possível. A biologia, enquanto

ciência, dificilmente é tão generalista – até mesmo a genética abordada no ensino médio tem dificuldades para se constituir como uma área de conhecimento determinista, apesar de assim ser apresentada no currículo escolar. Ao longo deste trabalho foram elencadas possibilidades de outras constatações sobre tropismos não previstas pelo simulador que poderiam influenciar as respostas dos testes, como a impossibilidade de generalizar afirmações.

Novamente, prevalece nos alunos a ideia de previsibilidade da ciência na forma de uma expectativa de que os conteúdos aprendidos na escola sejam integralmente transponíveis para a natureza, sem alterações ou adaptações.

10 CONCLUSÕES

O ensino e a aprendizagem dentro da escola ainda são muito baseados no cientificismo, que reforça nos alunos a concepção de que a ciência é neutra e baseada em um conhecimento verdadeiro. Esta forma de olhar para o conhecimento evidencia o importante papel formativo do professor na construção da visão que os estudantes possuem sobre a ciência. Quaisquer ferramentas que possam se constituir como objetos de aprendizagem capazes de auxiliar o professor não devem ser desprezadas. Na medida do possível, sobretudo na botânica, o ensino deve viabilizar o contato do aluno com a realidade, tornando a aprendizagem mais envolvente do que na abordagem tradicional do conteúdo. A proposta de utilizar a simulação nesse contexto é, portanto, bem-vinda. A atividade de uso da simulação com os alunos permitiu, nas situações de ensino descritas, alterar a forma de abordagem dos conceitos por parte do professor, assim como modificou as dinâmicas de interação em sala de aula e estabeleceu uma nova relação dos alunos com o conteúdo. Levando-se em consideração o contexto escolar no qual este trabalho foi desenvolvido, estas são mudanças importantes: o uso da simulação pode auxiliar outros professores em contextos similares na descoberta de novas possibilidades de encaminhamento do processo de ensino e aprendizagem.

Em relação aos testes aplicados, percebe-se que estes não refletem necessariamente o ranqueamento realizado pela escola em termos de desempenho formal dos alunos. A análise de *clusters*, mais especificamente, evidenciou que nesta situação de ensino a composição dos grupos baseada nos resultados dos testes pode ser bastante heterogênea. Os *clusters* com resultados mais discretos em termos de variação nos testes não necessariamente são compostos pelos alunos das turmas consideradas de menor rendimento formal, assim com os *clusters* de maior desempenho não comportam necessariamente alunos das turmas consideradas de maior rendimento formal pela escola. Os resultados sugerem que o contexto do colégio estudado, tradicional e transmissivo, pode favorecer estudantes que melhor se adaptam a este modelo. Ao que parece, as turmas de melhor desempenho formal dispõem de maior motivação em decorrência do contexto a que estão submetidas. É possível supor que a carência de apoio motivacional frente aos resultados em provas

das turmas de menor rendimento formal leva os estudantes a uma postura de menor autoconfiança em relação às suas capacidades de aprendizagem. Ressalta-se que, com frequência, estudantes das turmas ditas “mais fortes” são sistematicamente estimulados e têm seu sucesso reforçado institucionalmente, ao passo que estudantes das turmas ditas “mais fracas” vivenciam situação muito diversa. Levando-se em conta que para muitos estudantes isto ocorre sistematicamente ano após ano na história escolar, os fatores motivacionais devem ser considerados de grande relevância no contexto educacional em que este estudo foi feito. Ademais, neste contexto, essa cultura escolar leva os alunos a preocuparem-se mais com respostas formatadas e gabaritadas do que com o conhecimento mais próximo do proposto pela ciência.

Assim, pequenas alterações na forma pela qual o conhecimento é construído dentro de determinadas situações de ensino pode mudar bastante a relação dos estudantes com este conhecimento. Poder olhar com mais cuidado para as hipóteses construídas pelos alunos é um privilégio para o professor. Muitas destas hipóteses, em situações de ensino mais restritas, acabam não emergindo em sala de aula e passam despercebidas. A importância destas hipóteses não deve ser desprezada, pois é a partir delas que o professor passa a compreender como os seus alunos estão construindo seus conhecimentos sobre os conteúdos estudados. Fornecer aos alunos situações em que estas hipóteses possam ser exploradas livremente pode colaborar para que estes construam um conhecimento mais próximo do científico e sejam confrontados com suas concepções prévias e alternativas. No caso das hipóteses construídas junto às representações visuais, cabe lembrar que possibilitar ao aluno se expressar por meio de desenhos pode ser capaz de aumentar o nível de abertura da atividade (SHILAND, 1999).

Similarmente, o grau de abertura da atividade (PRIESTLEY, 1997²⁶ apud VALVERDE; JIMÉNEZ; VIZA, 2005) pode impactar também diretamente em outras atividades para além do desenho. No caso deste trabalho, a variação no grau de abertura alterou a maneira pela qual os estudantes interagem com o recurso didático. Os alunos de 2016 que experimentaram uma situação de ensino mais fechada, com

²⁶ PRIESTLEY, William Joseph. The impact of longer term intervention on reforming physical science teachers' approaches to laboratory instruction: seeking a more effective role for laboratory in science education. **Dissertation Abstracts International**, v. 58, n. 3, 1997.

orientações expressas sobre a construção de suas hipóteses e como testá-las no simulador, apresentaram percursos de navegação no simulador parecidos e mais próximos do esperado pelo professor. Em contrapartida, os alunos de 2017 puderam construir suas próprias hipóteses sem uma intervenção mais direcionada, o que culminou em percursos de navegação mais diversos.

É importante que se ressalte a importância deste tipo de trabalho para a prática docente. O desenvolvimento de recursos educacionais que podem auxiliar professores nos processos de ensino e aprendizagem é essencial para que se viabilize novas possibilidades dentro e fora da sala de aula. Mais especificamente no caso do fototropismo, a produção do simulador e a elaboração da metodologia para o tratamento das plantas podem contribuir no encaminhamento destes conteúdos. Para além disso, o simulador pode contribuir também para a discussão de outros assuntos dentro da biologia e da botânica em sala de aula que não apenas os tropismos. Considerou-se que possibilidade de apresentar ao aluno registros do fenômeno estudado, aliado à possibilidade de simular o fenômeno em outra escala de tempo, constituiu-se como uma das maiores vantagens do uso da simulação. O simulador elaborado neste trabalho proporcionou ao professor a possibilidade de propor atividades de viés investigativo em um contexto de ensino em que a experimentação é dificultada dentro da cultura escolar.

É importante considerar também que a dinâmica aluno-professor se alterou após a execução da atividade, evidenciando que a aprendizagem não é apenas o produto de uma situação de ensino, mas também se constitui como uma ferramenta capaz de alterar as interações em sala de aula tornando a aprendizagem mais eficiente.

Assim, o processo de construção do simulador em si, no âmbito deste trabalho, culminou na criação de um objeto de aprendizagem que pode ser utilizado por professores em diferentes propostas e diversos contextos, contribuindo para um incremento nos processos de ensino e aprendizagem em botânica – sobretudo nos conceitos relacionados aos tropismos e, em especial, ao fototropismo.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIÃO, Theresa et al. Uma modalidade peculiar de privatização da educação pública: a aquisição de "sistemas de ensino" por municípios paulistas. **Educação e Sociedade**, Campinas, v. 30, n. 108, p.799-818, out. 2009.

AMABIS, José Mariano; MARTHO, Gilberto Rodrigues. **Fundamentos da Biologia Moderna**. 4. ed. São Paulo: Moderna, 2006.

ARMSTRONG, Diane Lúcia de Paula; BARBOZA, Liane Maria Vargas. **Metodologia do Ensino de Ciências Biológicas e da Natureza**. Curitiba: Ibpx, 2011.

ATAIDE, Denyse Mota da Silva; PINHO, Maria José de. Letramento digital e alfabetização tecnológica: reflexões a partir de um estudo com alunos do PARFOR. **Educação, Formação & Tecnologias**, Braga, v. 6, n. 2, p.68-79, set. 2013.

BARRASS, Robert. Some misconceptions and misunderstandings perpetuated by teachers and textbooks of biology. **Journal of Biological Education**, v. 18, n. 3, p. 201-206, 1984.

BLOOM, Benjamin S. et al. **Taxonomy of educational objectives, handbook I: the cognitive domain**. New York: David McKay Co Inc, 1956.

BONSER, Stephen P. et al. Engaging students by emphasizing botanical concepts over techniques: innovative practical exercises using virtual microscopy. **Journal Of Biological Education**, v. 47, n. 2, p.123-127, jun. 2013.

BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias** (parte III). Brasília: MEC, SEMTEC, 2000.

BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.

BUCKLEY, Barbara C. Interactive multimedia and model-based learning in biology. **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 9, p. 895-935, 2000.

BURROWS, Geoff. Teaching Flower Structure & Floral Formulae: A Mix of the Real & Virtual Worlds. **The American Biology Teacher**, v. 72, n. 5, p.276-280, mai. 2010.

BURROWS, Geoff. What is a leaf? An online tutorial and tests. **Teaching Science**, v. 54, n. 2, p.47-49, jun. 2008.

CAMPBELL, Neil A. et al. **Biologia**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de; GIL-PÉREZ, Daniel. **Formação de professores de Ciências**. São Paulo: Cortez, 2000. 120p.

COLL, César et al. **Os conteúdos na reforma**: ensino e aprendizagem de conceitos, procedimentos e atitudes. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998. 182p.

CLARK, James M.; PAIVIO, Allan. Dual coding theory and education. *Educational psychology review*, v. 3, n. 3, p. 149-210, 1991.

CULP, Katherine McMillan et al. Testing the Impact of a Pre-Instructional Digital Game on Middle-Grade Students' Understanding of Photosynthesis. **Technology, Knowledge and Learning**, v. 20, n. 1, p. 5-26, 17 ago. 2014.

DARWIN, Charles. **The Power of Movement in Plants**. Londres: John Murray, 1880.

DIAS, Maria Manuela Caldeira de Brito da Silva. **A utilização da imagem e das tecnologias interactivas nos programas de treino da percepção visual**: um estudo com alunos do 1º ciclo do ensino básico com dificuldades de aprendizagem. 2007. 464 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnologia Educativa, Universidade do Minho, Braga, 2007.

DOMIN, Daniel S. A content analysis of general chemistry laboratory manuals for evidence of higher-order cognitive tasks. **J. Chem. Educ**, v. 76, n. 1, 1999.

DREYFUS, Amos; JUNGWIRTH, Ehud; ELIOVITCH, Ronit. Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change – some implications, difficulties, and problems. **Science Education**, v. 74, n. 5, p. 555-569, 1990.

DRIVER, Rosalind et al. Construindo conhecimento científico na sala de aula. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 9, p. 31-40, maio 1999.

ERGAZAKI, Marida; KOMIS, Vassilis; ZOGZA, Vassiliki. High-school students' reasoning while constructing plant growth models in a computer-supported educational environment. **International Journal of Science Education**, v. 27, n. 8, p.909-933, jan. 2005.

FÁVERO, Altair Alberto; TAUCHEN, Gionara; SCHWANTES, Lavinia. Da transposição à compreensão didática: sentidos do conhecimento escolar na educação em Ciências. **Roteiro**, Joaçaba, v. 37, n. 2, p. 325-342, 2012.

FETHERSTONHAUGH, Tony; TREAGUST, David F. Students' understanding of light and its properties: Teaching to engender conceptual change. **Science Education**, v. 76, n. 6, p. 653-672, 1992.

FIRN, Richard D. **Plants Tropisms**: correcting some common misconceptions before we start. 2009. Disponível em: <<http://www.york.ac.uk/res/firn/web/tropisms/index.html>>. Acesso em: 3 maio 2014.

FLANNERY, Maura C. Plant Collections Online: Using Digital Herbaria in Biology Teaching. **Bioscene**, v. 39, n. 1, p. 3-9, maio 2013.

GUZZETTI, Barbara J. Learning counter-intuitive science concepts: what have we learned from over a decade of research? **Reading & Writing Quarterly**, v. 16, n. 2, p. 89-98, 2000.

HARLEY, Suzanne M. Charles Darwin's Botanical Investigations. **The American Biology Teacher**, v. 72, n. 2, p. 77-81, fev. 2010.

HERSHEY, David R. A Historical Perspective on Problems in Botany Teaching. **The American Biology Teacher**, v. 58, n. 6, p. 340-347, set. 1996.

HERSHEY, David R. **Avoid Misconceptions When Teaching About Plants**. 2004. Disponível em: <<http://www.actionbioscience.org/education/hershey.html>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

HERSHEY, David R. **More Misconceptions to Avoid When Teaching about Plants**. 2005a. Disponível em: <<http://www.actionbioscience.org/education/hershey3.html>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

HERSHEY, David R. Time for a Plant Clinostat: Effects of Light and Gravity on Plants. **Science Activities: Classroom Projects and Curriculum Ideas**, [S. l.], v. 42, n. 1, p. 30-35, abr. 2005b.

INEP (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira) (Comp.). **Data Escola Brasil**. 2014. Disponível em: <<http://www.dataescolabrasil.inep.gov.br/dataEscolaBrasil/>>. Acesso em: 17 maio 2015.

JOHNSTONE, Alex H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. **Journal Of Computer Assisted Learning**, Glasgow, n. 7, p. 75-83, 1991.

KRASILCHIK, Myriam. **Prática de Ensino de Biologia**. 4. ed. São Paulo: Edusp, 2005.

LABIQ, Portal. **Proposta e recursos do portal**. Disponível em: <http://labiq.iq.usp.br/paginas_view.php?idPagina=33&idTopico=55>. Acesso em: 30 jun. 2015.

LALIN-SOATO, Alessandra Maziero. **Interações discursivas nas aulas de Biologia do ensino médio: a elaboração dos conceitos de fototropismo e gravitropismo**. 2010. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino de Ciências e Educação Matemática, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

LAWSON, Anton E. The acquisition of biological knowledge during childhood: cognitive conflict or tabula rasa? **Journal of Research in Science Teaching**, v. 25, n. 3, p. 185-199, 1988.

LEITE, Lígia Silva (Org.). **Tecnologia educacional: descubra suas possibilidades na sala de aula**. Petrópolis: Vozes, 2003.

LEWIN, A. M. Figueroa de; LOMÁSCOLO, T. M. Monmany de. La metodologia científica en la construcción de conocimientos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 147-154, jun. 1998.

LIKERT, Rensis. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of psychology**, 1932.

LIMÓN, Margarita; CARRETERO, Mario. Conceptual change and anomalous data: A case study in the domain of natural sciences. **European Journal of Psychology of Education**, v. 12, n. 2, p. 213, 1997.

LINHARES, Sérgio; GEWANDSZNAJDER, Fernando. **Biologia**: volume único. São Paulo: Ática, 2005.

LOPES, Nuno; OLIVEIRA, Isolina. Videojogos, Serious Games e Simuladores na Educação: usar, criar e modificar. **Educação, Formação & Tecnologias**, Braga, v. 6, n. 1, p. 4-20, jun. 2013.

LOPES, Sônia; ROSSO, Sergio. **Bio**: Volume 3. São Paulo: Saraiva, 2010.

MACIAS, Leila; RODRIGUEZ, Rita de Cássia M. Cossio. O ensino de botânica: conquistas e desafios. In: SILVA, Tânia Regina dos Santos et al. (Org.). **Botânica na América Latina**: conhecimento, interação e difusão. Salvador: Sociedade Botânica do Brasil, 2014. p. 237-242.

MACIEL, Cristiano; BACKES, Edirles Mattje. Objetos de aprendizagem, objetos educacionais, repositórios e critérios para sua avaliação. **Ambientes Virtuais de Aprendizagem**, p. 161-198, 2012.

MAIXNER, Michael R.; NOYD, Robert K.; KRUEGER, Jerome A. A Computer-Based Simulation for Teaching Heat Transfer across a Woody Stem. **Journal Of Natural Resources & Life Sciences Education**, Madison, v. 39, p. 1-9, 2010.

MARCH, Kathryn A. Backyard Botany: Using GPS Technology in the Science Classroom. **The American Biology Teacher**, v. 74, n. 3, p. 172-177, mar. 2012.

MARTINS, Isabel; GOUVÊA, Guaracira; PICCININI, Cláudia. Aprendendo com imagens. **Ciência e Cultura**, v. 57, n. 4, p. 38-40, 2005.

MARTINS, Isabel. O papel das representações visuais no ensino-aprendizagem de ciências. **Anais do I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências (ENPEC)**, p. 366-373, 1997.

MAYER, Richard E. **Multimedia Learning**. 2. ed. Santa Barbara: Cambridge University Press, 2009.

MAYER, Richard E.; MORENO, Roxana. A split-attention effect in multimedia learning: evidence for dual processing systems in working memory. **Journal of Educational Psychologist**, [S. l.], v. 90, n. 2, p. 312-320, 1998.

MAYER, Richard E.; MORENO, Roxana. Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. **Journal of Educational Psychologist**, [S. l.], v. 38, n. 1, p. 43-52, 2003.

MEDEIROS, Alexandre; MEDEIROS, Cleide. Questões epistemológicas nas iconicidades de representações visuais em livros didáticos de física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 1, 2011.

MINHOTO, Miguel José. A falta que os músculos fazem... In: SILVA, Tânia Regina dos Santos et al. (Org.). **Botânica na América Latina: conhecimento, interação e difusão**. Salvador: Sociedade Botânica do Brasil, 2014. p. 254-258.

MOREIRA, Adelson Fernandes; BORGES, Oto. Ambiente de aprendizagem de Física mediado por animações. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 7, n. 1, 2007.

MORENO, Roxana; MAYER, Richard E. A learner-centered approach to multimedia explanations: Deriving instructional design principles from cognitive theory. **Interactive Multimedia Electronic Journal of Computer Enhanced Learning**, [S. l.], v. 2, n. 2, 2000. Disponível em: <<http://imej.wfu.edu/articles/2000/2/05/index.asp>>. Acesso em: 8 dez. 2017.

MORENO, Roxana; MAYER, Richard. Interactive multimodal learning environments. **Educational Psychology Review**, v. 19, n. 3, p. 309-326, 2007.

MORENO, Roxana; MAYER, Richard E. Learning science in virtual reality multimedia environments: role of methods and media. **Journal of Educational Psychology**, v. 94, n. 3, p. 598-610, 2002.

MORTIMER, Eduardo F. Conceptual change or conceptual profile change? **Science & Education**, v. 4, n. 3, p. 267-285, 1995.

MORTIMER, Eduardo Fleury. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 1, p. 20-39, 1996.

MORTIMER, Eduardo Fleury; MACHADO, Andréa Horta; ROMANELLI, Lilavate Izapovitz. A proposta curricular de Química do estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 273-283, 2000.

PATRICK, Michelle D.; CARTER, Glenda; WIEBE, Eric N. Visual representations of DNA replication: Middle grades students' perceptions and interpretations. **Journal of Science Education and Technology**, v. 14, n. 3, p. 353-365, 2005.

PAULINO, Wilson Roberto. **Biologia**. 8. ed. São Paulo: Ática, 2002.

PFUNDT, Helga; DUIT, Reinders. Bibliography. **Students' alternative frameworks and science education**. 3 ed. Kiel: IPN, 1991.

PINE, Karen; MESSER, David; ST. JOHN, Kate. Children's misconceptions in primary science: A survey of teachers' views. **Research in Science & Technological Education**, v. 19, n. 1, p. 79-96, 2001.

POSNER, George J. et al. Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. **Science education**, v. 66, n. 2, p. 211-227, 1982.

RAVEN, Peter H.; EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. **Biologia Vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

ROCHA, Ana Angelita da; RAVALLEC, Gabriel Le; TERESA, Carmen. ENEM nos documentos: uma leitura pós-fundacional da reestruturação do exame em 2009. **E-Curriculum**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 1993-2018, 2014.

SANTOS, Déborah Yara Alves Cursino dos. Tornando a botânica menos assustadora: cursos de atualização para professores da educação básica. In: SILVA, Tânia Regina dos Santos et al. (Org.). **Botânica na América Latina**: conhecimento, interação e difusão. Salvador: Sociedade botânica do Brasil, 2014. p. 243-245.

SERT, Maria Aparecida; KERN, Kátia Aparecida Pereira; CORTEZ, Elimaida Mayo. Práticas de laboratório: experimento para observação de fototropismo em plantas de beijo (*Impatiens sp*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*). **Revista Arquivos do Mudi**, Maringá, v. 10, n. 3, p. 29-31, 2006.

SCHNETZLER, Roseli Pacheco. Construção do conhecimento e ensino de Ciências. **Em Aberto**, Brasília, v. 11, n. 55, p. 17-22, 1992.

SCHNOTZ, Wolfgang; LOWE, Richard K. External and internal representations in multimedia learning. **Learning and Instruction**, v. 13, n. 2, p. 117-123, 2003.

SCHWAB, Joseph J. The teaching of science as inquiry. **Bulletin of the Atomic Scientists**, v. 14, n. 9, p. 374-379, 1958.

SHILAND, Thomas W. Constructivism: the implications for laboratory work. **J. Chem. Educ**, v. 76, n. 1, p. 107, 1999.

SILVA JUNIOR, César da; SASSON, Sezar. **Biologia 2 - seres vivos: estrutura e função**. 7. ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

SILVA, Lenir Maristela; CAVALLET, Valdo José; ALQUINI, Yedo. O professor, o aluno e o conteúdo no ensino de botânica. **Educação**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 67-80, 2006.

SINCLAIR, Thomas R; JOHNSON, Marty. **Investigating Plants**: Hands-On, Low-Cost Laboratory Exercises in Plant Science. Reston: National Association Of Biology Teachers, 1996. 92p.

STEWART, Barbara Y. The surprise element of a student-designed laboratory experiment. **Journal of College Science Teaching**, v. 17, n. 4, p. 269, 1988.

SUPERPROWEB (Ed.). **Gerador de gráficos e simulados**. Disponível em: <<https://www.sprweb.com.br>>. Acesso em: 13 jun. 2015.

SUSI, Tarja; JOHANNESSEN, Mikael; BACKLUND, Per. Serious Games: an Overview. **Iki Technical Reports**, Si, p. 1-28, 2007.

TAMIR, Pinchas. How are the laboratories used? **Journal of Research in Science Teaching**, v. 14, n. 4, p. 311-316, 1977.

TEIXEIRA, Ana Mafalda Mendes Baía. **Concepções alternativas em Ciência: um instrumento de diagnóstico**. 2011. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino da Biologia e da Zoologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

TEKKAYA, Ceren. Misconceptions as barrier to understanding biology. **Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi**, v. 23, n. 23, 2002.

THOMASSON, Joseph R. Using Digital Imaging in Classroom & Outdoor Activities. **The American Biology Teacher**, v. 64, n. 2, p. 100-106, fev. 2002.

ULICSAK, Mary; WRIGHT, Martha. **Games in Education: serious games**. 2010. Disponível em: <http://media.futurelab.org.uk/resources/documents/lit_reviews/Serious-Games_Review.pdf>. Acesso em: 27 maio 2015.

VALVERDE, Gregorio Jiménez; JIMÉNEZ, Rosa Llobera; VIZA, Anna Llitjós. Los niveles de abertura en las prácticas cooperativas de química. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 3, 2005.

VIENNOT, Laurence. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. **European Journal of Science Education**, v. 1, n. 2, p. 205-221, 1979.

VILLAFANE, Justo. **Introducción a la teoría de la imagen**. Pirámide, 2006.

VOSNIADOU, Stella; MASON, Lucia. Conceptual change induced by instruction: A complex interplay of multiple factors. 2012.

ZANOTTO, Denise do Carmo Farago; CARLETTO, Márcia Regina; KOSCIANSKI, André. A Construção de Softwares Multimídia no Ensino de Ciências: uma Contribuição para o Aprendizado de Angiospermas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 8., 2012, Campinas. **Atas do VII Encontro Nacional em Pesquisa em Educação em Ciência**. Campinas: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2012.

ZAPALSKA, Alina; BROZIK, Dallas; RUDD, Denis. Development of Active Learning with Simulations and Games. **US-China Education Review**, p. 164–169, 2012.

WANDERSEE, James H.; SCHUSSLER, Elisabeth E. Toward a Theory of Plant Blindness. **Plant Science Bulletin**, Columbus, v. 47, n. 1, p. 2-8, 2001.

WARD, Hellen et al. **Ensino de Ciências**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 224p.

WENT, Frits Warmolt. Auxin, the plant growth-hormone. **The Botanical Review**, [S.l.], v. 1, n. 5, p. 162-182, 1935.

WOOD-ROBINSON, Colin. Young People's Ideas About Plants. **Studies In Science Education**, [S.l.], v. 19, n. 1, p. 119-135, jan. 1991.

12 APÊNDICE A – Relato de experiência

12.1 Um pouco da história que culminou na elaboração deste trabalho

Há alguns anos, quando finalizei a graduação, fazer um curso de pós-graduação *stricto sensu* não foi para mim uma opção. Minha pretensão era acumular experiência na educação básica: eu queria ser professor. Não me parecia o momento adequado para iniciar o mestrado, uma vez que eu não me julgava experiente o suficiente a ponto de trazer críticas pertinentes para a realidade na qual eu estava prestes a imergir. Resolvi, então, acumular certa bagagem não apenas trabalhando como professor, mas também realizando alguns cursos *lato sensu* que pudessem trazer elementos que me dessem condições de atuar melhor quando fosse chegada a hora de exercer o papel de pesquisador.

Alguns anos se passaram e ingressei no mestrado. Ainda não me julgava plenamente capaz, mas naquele momento eu já transbordava de críticas e de reflexões acerca da minha prática e das minhas experiências diárias dentro do cotidiano escolar. Eu já desejava explorar essas vivências de modo que elas pudessem trazer colaborações para o meio acadêmico. Era tanta coisa para se pensar, fazer e colocar em prática que eu ansiava em formalizar estas experiências ao agregar uma reflexão científica ao meu fazer docente. Foi desse desejo que meu projeto de mestrado surgiu, ou seja, da vontade de submeter meus fazeres cotidianos a um olhar mais crítico e aprimorá-los, contribuindo com uma visão de professor para o desenvolvimento de práticas de ensino e aprendizagem que pudessem também contribuir com outros professores. Dessa maneira, eu obviamente acabaria por contribuir também com meus alunos e os alunos de outros professores, ao mesmo tempo em que os produtos destas contribuições incrementariam meu desenvolvimento como professor e pesquisador – culminando em um círculo virtuoso em busca de novas produções e reflexões capazes contribuir para o ensino e a aprendizagem em Ciências.

Foi a partir deste desejo, portanto, que pensei este projeto dentro da minha realidade escolar – no meu espaço de atuação. Para mim, este projeto deveria se converter em ferramentas que pudessem ser utilizadas por meus colegas professores e que, ao mesmo tempo, contribuísse para o desenvolvimento de nossos alunos. A produção de um objeto de aprendizagem – na forma de um simulador – acabou sendo, portanto, um caminho bastante empolgante na direção destes objetivos.

Ao ingressar no mestrado, já havia acumulado alguma experiência em outros colégios. Naquele momento, a minha realidade já era minha realidade presente: ensino Biologia tanto no ensino médio quanto no pré-vestibular, na mesma instituição de ensino. Após a decisão de produzir um simulador – a primeira grande dúvida foi o conteúdo a ser abordado. A pretensão era obviamente chegar a um assunto importante em termos curriculares, mas que não fosse contemplado adequadamente pelos livros escolares. Da mesma maneira, era importante que o assunto escolhido fosse algum tema que, pela minha experiência, trouxesse algum inconveniente para os aprendizes no processo de ensino e aprendizagem. Pensar em concepções alternativas foi, portanto, um caminho quase inevitável. Refletir sobre tais concepções em uma área da Biologia de grande importância, mas conhecidamente renegada pelas escolas e professores, seria ainda mais intrigante – e a botânica é uma área de conhecimento bastante adequada neste contexto. Por fim, o estudo dos hormônios vegetais e dos tropismos se colocou como um objeto perfeito, dada a evidente dificuldade dos alunos de compreender estes conceitos, sua importância dentro da botânica e o distanciamento entre cotidiano/realidade e as representações destes assuntos nos livros escolares. Facilitar a compreensão e o ensino dos hormônios vegetais e dos tropismos constituiu-se, finalmente, em uma pretensão bastante adequada.

12.2 O contexto escolar

Na escola onde trabalho, especificamente, o ensino da botânica não é tão renegado como a literatura descreve – apesar de ser uma das áreas da Biologia menos apreciadas pelos alunos. A organização da grade disciplinar implica em aulas

semanais de botânica para o ensino médio e os alunos já iniciam seu contato com essa área do saber no segundo ciclo do ensino fundamental. Chegam, portanto, no ensino médio, já com algum entendimento acerca do estudo dos vegetais. Os motivos para essa preocupação em abordar desde cedo tais assuntos são um reflexo da cultura escolar, que se consolidou em torno do preparo dos aprendizes para os exames vestibulares e olimpíadas das mais variadas áreas (biologia, matemática, história, física, dentre outras). Essa cultura escolar traz vantagens e desvantagens para alunos e professores: se por um lado torna o programa curricular engessado e limita o trabalho do professor, por outro lado consolida a escola como um espaço de estudo e dedicação. Dentro desse âmbito, testar um objeto de aprendizagem não seria difícil – o interesse e a motivação dos meus alunos seriam facilitadores naturais deste processo.

O mais difícil seria convencer a coordenação escolar de realizar o trabalho com os alunos, uma vez que uma mudança mínima no planejamento de aulas poderia comprometer a abordagem do conteúdo. Como se não bastasse, eu precisaria utilizar o laboratório de informática, o que é bastante incomum uma vez que este espaço não é compartilhado entre todos os professores. Nos laboratórios de informática as aulas que lá se desenrolam são apenas as aulas dos professores de informática; os demais professores têm seus espaços de aula delimitados pela sala de aula comum, exclusivamente. Eu teria, portanto, que pedir para que o professor de informática responsável pelas mesmas turmas que eu cedesse suas aulas nas semanas em que eu pretendesse testar o simulador. Por consequência, o professor teria de deixar de dar estas aulas que eu viria a utilizar – comprometendo o programa de aulas de informática. Apesar disso, com um bom planejamento a viabilidade do projeto era indiscutível. De qualquer maneira, o crivo da coordenação me pareceu, à época, quase impossível. Curiosamente, a liberação se deu sem grandes transtornos.

12.3 A aplicação dos pré-testes e a aula introdutória

Nos dois anos de investigação não avisei meus alunos com antecedência, para evitar que ficassem ansiosos. Ter aulas de Biologia no laboratório de informática é,

para eles, um evento completamente destoante de seu cotidiano escolar. Decidi conversar com eles somente na semana que antecedeu o pré-teste, para convencê-los da importância desses dados e de como eu pretendia coletá-los. Na semana que iniciei os conteúdos de hormônios vegetais, ao iniciar o pré-teste, alguns alunos ficaram apreensivos com o que poderia surgir como resultado: temiam errar os testes. Eles sabiam que os testes não influenciariam as notas oficiais, mas aparentemente temiam um suposto julgamento da minha parte em relação às suas capacidades individuais. Como os pré-testes foram feitos antes do contato com o conteúdo, eles não queriam demonstrar desconhecimento; essa preocupação foi mais evidente nas salas de maior rendimento formal, onde a competitividade entre os alunos é grande.

Fora a preocupação com os resultados, os pré-testes se desenrolaram sem problemas. Ao recolhê-los, muitos alunos me questionaram se eu iria disponibilizar o gabarito. Tentei explicar, em vão, como os testes funcionavam e que não haveria necessariamente um gabarito fechado. Isso não pareceu convencê-los e chegou a frustrar alguns; a impressão que tive era de que eles enxergavam o gabarito como um prêmio para a realização da atividade. Para eles, qual o propósito de se fazer um teste se não era possível mensurar os erros e acertos?

Após o recolhimento dos testes, dei início à aula introdutória. Pautei os conteúdos escolhidos com base em sua importância para o entendimento geral não apenas dos tropismos, mas também para a compreensão do mecanismo de funcionamento dos demais hormônios vegetais além das auxinas. De maneira geral, expliquei o conceito de hormônio e expliquei como se dá a produção e o transporte de auxina, correlacionando a principal função desse hormônio (o crescimento vegetal por alongamento celular) com sua influência nos variados órgãos vegetais em termos de concentração hormonal. Nessa primeira aula já falei sobre o efeito das auxinas na promoção do crescimento do caule em direção à luz, mas não dei nomes aos fenômenos. Nas turmas de 2016, ao fim da aula, discuti com os alunos quais seriam as possíveis respostas das plantas a certos estímulos externos como luz e gravidade; pautei a discussão no roteiro construído para o uso no laboratório de informática, mas guiei a discussão de forma livre de forma que as hipóteses pudessem ser construídas livremente, sem preocupação de anotá-las e elencá-las, levando os alunos a um primeiro momento de reflexão sobre o assunto. Essa formalização aconteceria

somente imediatamente antes da interação com o simulador. Em 2017, devido ao tempo mais curto por conta da programação, na primeira aula não pude aprofundar discussões: apenas apliquei o formulário de recolhimento das representações visuais dos fenômenos. Houve apreensão também com este formulário, pois era necessário não apenas desenhar, mas também formalizar hipóteses textualmente. A dificuldade de expressão por parte dos meus alunos foi evidente em todas as salas. Muitos formulários, infelizmente, voltaram em branco. Alguns destes formulários voltaram até mesmo com pedidos de desculpas pela suposta incapacidade de preenchê-los, mesmo com a minha orientação. Nestas turmas tive que acalmar os ânimos, inevitavelmente, e deixar claro que aqueles testes não estavam sendo propostos para desanimá-los. A cultura escolar da competição e do gabarito se fez muito evidente entre estes meus alunos.

12.4 As aulas no laboratório de informática

Como esclarecido anteriormente na metodologia deste trabalho, o laboratório de informática comporta apenas metade dos alunos de uma sala regular. Logo, as aulas de informática são sempre divididas em duas semanas, levando os alunos ímpares para o laboratório na primeira semana e os alunos pares na segunda semana. Por conta dessa dinâmica, o teste de hipóteses com o simulador se estendeu também por duas semanas.

No início da aula retomei a discussão que tivemos na aula anterior (isso foi sobretudo importante na segunda semana de laboratório com os alunos pares, por conta do tempo passado entre a aula introdutória e a aula com o simulador) e, juntamente do roteiro, dei início à elaboração coletiva das hipóteses. Durante a discussão, fui guiando os alunos na direção de uma hipótese coletiva plausível e que também fosse consensual. Como eu já esperava, nem sempre o consenso foi atingido. Uma vez elaboradas as hipóteses para cada pergunta que preparei, dei alguns minutos para que os alunos trabalhassem livremente com o simulador em busca de respostas enquanto um programa de captura de tela gravava em vídeo as interações individuais aluno-simulador.

Fiquei feliz com a reação dos alunos com a simulação: houve uma surpresa generalizada ao verem as plantas crescendo em *time-lapse*. Muitas perguntas foram feitas enquanto eles navegavam pela simulação: quanto tempo levei para fazer as gravações, se era difícil cuidar das plantas, se era possível fazer aquilo em casa, que planta era aquela... Outros se surpreenderam por serem confrontados com a versão “real” dos coleóptiles em comparação aos esquemas que trabalhamos em lousa ou nas apostilas. Ao longo de alguns anos ensinando botânica, essa surpresa já era esperada; já faz tempo que incluí em minhas aulas um momento para mostrar em fotos ou vídeos quem são os tão famosos coleóptiles, e a reação de espanto é sempre inevitável. Mas ver os coleóptiles em vídeo e observá-los crescendo e se curvando de fato provocou o impacto esperado – aquilo foi uma novidade para todos. Foi uma comprovação do que todos já sabiam, mas nunca conseguiram observar em tempo real: as plantas crescem, se movimentam, reagem a estímulos. De fato, uma coisa é saber. Ver e observar o que já se sabe é algo totalmente diferente.

Durante a construção do simulador, tanto em 2016 e 2017, eu procurei utilizar vídeos que demonstrassem o comportamento esperado das plantas, mas com pequenos detalhes que pudessem gerar alguns questionamentos. Um exemplo: em um dos vídeos, os coleóptiles cortados e iluminados dos dois lados não deveriam apresentar crescimento e tampouco curvatura. No entanto, no vídeo gravado os coleóptiles acabam virando tanto para a esquerda quanto para a direita; como esperado, alguns alunos interpretaram aquele comportamento como um tropismo, enquanto na verdade os caules estavam apenas tombando por ressecamento ao longo das várias horas de gravação. Aquele não era de fato um tropismo. Utilizei essa oportunidade para explicar aos alunos que nem sempre o que se observa experimentalmente deve seguir algum padrão ou acontece da maneira que esperamos – e por isso o teste de hipóteses é tão importante. Da mesma forma, houve uma surpresa generalizada ao se constatar que a planta cresce exibindo um movimento ondulatório, como se dançasse. Em outras palavras, os alunos estavam sendo confrontados com a realidade do fazer científico – uma realidade bastante distante do saber escolar que reforça uma concepção previsível e normativa da ciência.

Em 2016, o que mais me chamou a atenção foi que, ao final das atividades, todas as turmas nas duas semanas de aulas em laboratório me perguntaram quais eram as respostas (no caso, as hipóteses) que eu queria que eles construíssem. Novamente, assim como na aplicação do pré-teste, eles ansiavam pela “resposta correta”. Expliquei, mais uma vez, que não havia resposta correta; que eu esperava apenas que as hipóteses fossem plausíveis e testáveis no simulador; que na ciência as coisas não são construídas dessa maneira; que a ciência é feita de tentativas, muitos erros e poucos acertos; que eu gostaria que eles percebessem um pouquinho dessa realidade. O descontentamento foi generalizado. Para mim, esse descontentamento foi um dos mais importantes dados dessa pesquisa, ao constatar que o aluno deseja que as informações sejam sempre precisas, claras, previsíveis, mensuráveis e, talvez mais importante, que sejam agradáveis (ou seja, que não entrem em confronto com sua zona de conforto). O descontentamento, a dúvida e a frustração não deveriam, para eles, integrar o fazer científico. Confrontar-se com essa realidade foi evidentemente desconfortável para meus alunos. Não foi a primeira vez que vivenciei isso. Finalmente, no entanto, pude documentar e colocar em palavras algumas destas situações.

Já em 2017, as coisas fluíram mais engessadas. O maior choque ocorreu com a turma de maior rendimento formal: durante as discussões para elaboração das hipóteses, a turma que me acompanhou na primeira semana de laboratório ficou completamente muda. Por mais que eu insistisse, eles não respondiam às minhas questões. Apenas me olhavam, de forma estupefata. Após refletir, pude chegar a algumas hipóteses para este comportamento. Dentre elas, está novamente a questão da competitividade: o medo de “errar” respostas levou-os a simplesmente evitar responder. Dentre os meus alunos e alunas naquela primeira semana estavam os de maior rendimento formal – e também mais competitivos – porém também com maior timidez. Em conversas com meus pares, essa hipótese me pareceu bastante apropriada, uma vez que este tipo de situação com a mesma turma não havia sido vivenciado apenas por mim. Uma outra hipótese seria a de que eles estariam se negando a participar, simplesmente. Tal hipótese eu descarto facilmente, uma vez que meus alunos e alunas são pessoas bastante amáveis e muito receptivas individualmente, e que tal comportamento só era percebido no grupo como um todo. De qualquer maneira, com essa primeira experiência, ao receber os demais alunos da

mesma turma na semana seguinte, eu já estava preparado. Conversei com calma com todos no início da aula e contei o que havia acontecido na semana anterior, sem nenhum tipo de julgamento e juízo de valor. Pontuei a importância daquelas aulas para a elaboração do trabalho científico e novamente insisti que, ali, não havia certo ou errado. A partir daí a participação foi generalizada.

Fora do âmbito das relações pessoais, julgo importante relatar aqui algumas dificuldades enfrentadas no decorrer da aplicação. Mesmo com uma estrutura bastante boa, é inevitável que alguns imprevistos acabem por surgir, sobretudo problemas técnicos relacionados às limitações de *software* e *hardware*. Com o laboratório cheio de alunos, gerenciar as relações destes com as máquinas pode ser bastante problemático. Senti um pouco na pele o que é ser professor neste componente curricular. Mesmo com alunos nativos digitais, muitas dificuldades ainda persistem na relação destes com os computadores e sanar tais dificuldades com o tempo escasso (apenas cinquenta minutos de aula) foi bastante difícil. Além do mais, a quantidade de vídeos de captura de tela sendo produzidos ao mesmo tempo muitas vezes sobrecarregou a rede, derrubando-a várias vezes. Muitos estudantes também tiveram dificuldade em manusear o *software* de captura de tela e acabaram perdendo seus vídeos ou salvando em locais diferentes do combinado. Por fim, tivemos que desistir de usar a rede e salvar os arquivos de vídeo de captura de tela localmente e, com um disco rígido, precisei recuperar os vídeos individualmente a partir de cada máquina. Infelizmente, por conta do tempo curto, tais refinamentos nestes procedimentos não foram possíveis e tive que aprender o mais rapidamente possível como minimizar imprevistos referentes ao uso da tecnologia.

12.5 A aplicação do pós-teste e a aula de fechamento

Entre as duas aulas no laboratório de informática, planejei uma aula para abordar as demais funções das auxinas. Na minha escola a aula expositiva, tradicional, é bastante valorizada pelos alunos. Percebo que, com aulas assim, eles sentem-se confortáveis. Ter aulas diferentes é divertido, mas formalizar o saber em um conteúdo pré-formatado, para o aprendiz, aparentemente é mais seguro. Meus

alunos fazem provas quase todos os dias – a segunda série do ensino médio, especificamente, realiza provas nas primeiras aulas de terça-feira à sexta-feira. Por isso, a lousa é quase um patrimônio: você pode utilizar mídias, o *tablet*, o projetor, mas deve necessariamente formatar o conteúdo na lousa. É a partir deste conteúdo que o aprendiz se guia na hora de estudar para a prova e, portanto, possuir um caderno bem estruturado e organizado é, para muitos, a garantia de uma boa nota. Dentro dessa cultura escolar a manutenção de boas notas, por consequência, pode futuramente se refletir na aprovação em um curso concorrido de um vestibular importante. Por fim, como já esclarecido, a competitividade em sala de aula é bastante grande. Os alunos são constantemente estimulados a ter um alto rendimento acadêmico que se reflete não apenas nas notas, mas também na turma em que o aluno está alocado. Um ranqueamento garante que, com boas notas, o aluno será posicionado em determinada sala; da mesma maneira, notas mais baixas colocarão o aluno em uma sala distinta da anterior. O ranqueamento não é feito apenas com base nas notas, mas estas possuem um peso bastante considerável. Ao longo do ano, em geral ao final de cada bimestre (que chamamos conjunto), o ranqueamento é refeito e os alunos podem acabar trocando de sala (“subindo” ou “descendo” no ranqueamento).

Não me surpreendeu, portanto, que apesar da empolgação de uma aula diferente na informática, a aula de auxinas acontecesse naturalmente, sem parecer demonstrar conexão com a atividade anterior. No máximo, alguns alunos que não haviam experimentado o simulador queriam confirmar comigo que também fariam a atividade; no mais, as aulas passaram entre prestar atenção à minha fala, copiar a lousa e elaborar o caderno. Apesar de estar ali com um olhar de pesquisador, meu papel de professor obviamente continuava requerido e eu deveria fornecer as condições de estudo para a prova que, inevitavelmente, viria a acontecer (sobretudo sobre um assunto tão importante como hormônios vegetais). Após essa aula, na mesma semana, os alunos pares também teriam sua experiência com o simulador.

Em 2016 fiz a aplicação do pós-teste apenas na terceira semana de investigação; em 2017, por conta do tempo mais curto, apliquei o pós-teste na segunda semana de investigação com a primeira turma de alunos que foi ao laboratório e a segunda turma que interagiu com o simulador realizou o pós-teste no mesmo dia em que foram ao laboratório. Os alunos executaram a atividade sem

nenhum problema. Expliquei que o teste continha as mesmas perguntas do teste anterior e que a intenção era apenas confirmar se a compreensão sobre o assunto sofreu alguma mudança. Em 2016, após o recolhimento do pós-teste, iniciei a discussão sobre tropismos e finalmente formalizei esse conhecimento na lousa. Foi nesse momento que boa parte dos alunos finalmente compreendeu o mecanismo de crescimento vegetal sob o estímulo luminoso. Reforcei essa compreensão explicando também o conceito de gravitropismo – o crescimento da planta sob efeito da gravidade – o que ajudou no entendimento geral de como as auxinas agem ao promover o crescimento de órgãos vegetais distintos. Como eu planejava abordar o conceito de gravitropismo somente na aula final, eu incluí este conceito nos testes para checar se era possível que o entendimento do mecanismo também fosse capaz de sofrer alteração pela interação com o simulador. Em 2017 foi diferente: concluí que não havia necessidade de explorar o conceito de gravitropismo pela simulação, pois ali não havia elementos suficientes para essa análise por parte dos alunos. Acabei excluindo dos testes as questões relativas ao gravitropismo. Diferentemente de 2016, os conteúdos relativos aos tropismos não foram explorados em três semanas, mas apenas em duas. Por consequência, quando no laboratório, os alunos já conheciam os conteúdos formalizados a respeito do fenômeno. Certamente isso poderia implicar em conclusões distintas a partir da interação com simulador nos dois anos de investigação.

De qualquer maneira, eu percebi novamente que havia uma sensação nas turmas de alívio em entrar em contato com tais conceitos de maneira tão determinada e previsível. Afinal, após a aula de simulação, a realidade trouxe os alunos de volta para suas preocupações mais imediatas – a maior dela naquele momento, talvez, a prova que viria dali a algumas semanas.

Para finalizar, é importante ressaltar também que minhas aulas nestas turmas, nos dois anos de investigação, ocorreram nos primeiros horários da tarde da segunda-feira – único dia da semana que meus alunos não realizavam prova. Por consequência, este era o dia com maior quantidade de faltas. Dessa maneira, muitos alunos realizaram o pré-teste e não realizaram o pós-teste, ou vice-versa. Em 2017, as salas possuíam naturalmente uma menor quantidade de alunos, o que reduziu

ainda mais meu espaço amostral. Felizmente, este quadro não trouxe qualquer tipo de prejuízo para o meu trabalho.

13 APÊNDICE B – Questionário de pré e pós-teste (2016)

Questão 1: utilize as imagens abaixo para julgar os itens a seguir.

1. Se a planta for iluminada de forma homogênea (ou seja, recebendo a mesma quantidade de luz em todos os lados), ela crescerá sem se curvar.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
() Concordo parcialmente () Concordo totalmente

2. Se a planta for iluminada mais em um lado, ela crescerá mais no lado iluminado.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
() Concordo parcialmente () Concordo totalmente

3. Se a planta for iluminada mais em um lado, ela curvará para o lado iluminado.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
() Concordo parcialmente () Concordo totalmente

4. A gravidade não interfere na direção do crescimento da planta.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
 () Concordo parcialmente () Concordo totalmente

5. A planta é capaz de crescer sem luz.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
 () Concordo parcialmente () Concordo totalmente

Questão 2: as sequências abaixo representam diferentes situações em que podemos submeter as plantas para analisar seu crescimento. Analise tais sequências para julgar as afirmativas a seguir.

1. Na situação A, após a planta ser invertida, o caule continuará a crescer verticalmente para baixo.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
 () Concordo parcialmente () Concordo totalmente

2. Na situação B, para que a planta tenha adquirido tal curvatura, uma fonte de luz foi disposta no lado esquerdo do vaso.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
 () Concordo parcialmente () Concordo totalmente

3. Na situação C, para que a semente de feijão germine e cresça de acordo com a figura, a única possibilidade seria estimular tal crescimento com uma fonte de luz bem acima da planta.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
 () Concordo parcialmente () Concordo totalmente

4. Independentemente da situação, a raiz sempre cresce para baixo.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
 () Concordo parcialmente () Concordo totalmente

5. A luz não influencia o crescimento da raiz.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
 () Concordo parcialmente () Concordo totalmente

Questão 3: as próximas imagens mostram ambientes diversos. Imagine como se daria o crescimento de uma planta em tais ambientes e julgue os próximos itens.

A

B

C

D

1. Uma planta seria capaz de crescer dentro de uma caixa como a mostrada na situação A.

- ☐ Discordo totalmente ☐ Discordo parcialmente
☐ Concordo parcialmente ☐ Concordo totalmente

2. Uma planta crescendo no meio de um cômodo como o mostrado na figura B não curvaria para nenhum lado durante seu crescimento.

- ☐ Discordo totalmente ☐ Discordo parcialmente
☐ Concordo parcialmente ☐ Concordo totalmente

3. Qualquer planta colocada em um ambiente como o mostrado em C inevitavelmente crescerá verticalmente sem se curvar.

- ☐ Discordo totalmente ☐ Discordo parcialmente
☐ Concordo parcialmente ☐ Concordo totalmente

4. No cômodo demonstrado em D, uma planta crescerá mais quando disposta ao lado da janela.

- ☐ Discordo totalmente ☐ Discordo parcialmente
☐ Concordo parcialmente ☐ Concordo totalmente

14 APÊNDICE C – Questionário de pré e pós-teste (2017)

Questão 1: utilize as imagens abaixo para julgar os itens a seguir.

1. Se a planta for iluminada de forma homogênea (ou seja, recebendo a mesma quantidade de luz em todos os lados), ela crescerá sem se curvar.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
() Concordo parcialmente () Concordo totalmente

2. Se a planta for iluminada mais em um lado, ela crescerá mais no lado iluminado.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
() Concordo parcialmente () Concordo totalmente

3. Se a planta for iluminada mais em um lado, ela curvará para o lado iluminado.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
() Concordo parcialmente () Concordo totalmente

4. A planta é capaz de crescer sem luz.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
() Concordo parcialmente () Concordo totalmente

Questão 2: as sequências abaixo representam diferentes situações em que podemos submeter as plantas para analisar seu crescimento. Analise tais sequências para julgar as afirmativas a seguir.

1. Na situação A, para que a planta tenha adquirido tal curvatura, uma fonte de luz foi disposta no lado esquerdo do vaso.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
() Concordo parcialmente () Concordo totalmente

2. Na situação B, para que a semente de feijão germine e cresça de acordo com a figura, a única possibilidade seria estimular tal crescimento com uma fonte de luz bem acima da planta.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
() Concordo parcialmente () Concordo totalmente

Questão 3: as próximas imagens mostram ambientes diversos. Imagine como se daria o crescimento de uma planta em tais ambientes e julgue os próximos itens.

B **C** **D**

1. Uma planta seria capaz de crescer dentro de uma caixa como a mostrada na situação A.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
 () Concordo parcialmente () Concordo totalmente

2. Uma planta crescendo no meio de um cômodo como o mostrado na figura B não curvaria para nenhum lado durante seu crescimento.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
 () Concordo parcialmente () Concordo totalmente

3. Qualquer planta colocada em um ambiente como o mostrado em C inevitavelmente crescerá verticalmente sem se curvar.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
 () Concordo parcialmente () Concordo totalmente

4. No cômodo demonstrado em D, uma planta crescerá mais quando disposta ao lado da janela.

- () Discordo totalmente () Discordo parcialmente
 () Concordo parcialmente () Concordo totalmente

15 APÊNDICE D – Questionário para recolhimento das representações visuais dos alunos (2017)

Faça um desenho que melhor represente suas hipóteses. Em seguida, enuncie sua hipótese em forma de texto.

<p>1. O caule sempre busca o estímulo luminoso? De que maneira?</p>		<p>3. Seria possível impedir que a planta curve em direção à luz sem impedir seu crescimento?</p>
<p>Hipótese:</p>	<p>Hipótese:</p>	<p>Hipótese:</p>

16 APÊNDICE E – Resultados dos pré-testes e pós-testes por aluno

Tabela 18 – Resultados dos pré-testes da turma A

Aluno	Prt1.1	Prt1.2	Prt1.3	Prt1.4	Prt1.5	Prt2.1	Prt2.2	Prt2.3	Prt2.4	Prt2.5	Prt3.1	Prt3.2	Prt3.3	Prt3.4
1	2	1	2	2	-1	-1	1	2	1	2	-2	2	1	1
2	1	-1	-2	2	1	-2	-2	-2	1	-1	1	-2	-1	-2
3	1	2	2	-2	2	2	1	-2	-2	-2	-1	-2	-2	-1
4	1	1	1	1	-2	-1	1	-2	-2	1	-1	-1	-1	2
5	-1	-1	-1	-2	-2	2	-1	-1	1	-2	-2	-1	-1	1
6	2	-1	2	-2	1	-1	1	-1	-1	-1		1	1	2
7	1	1	1	1	-2	2	1	-1	1	1	1	2	-1	-1
8	-1	2	2	2	2	-1	1	-2	-2	-1	1	-2	-2	2
9	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-2	1	1	1
10	-2	-2	-2	1	-2	2	-2	2	-1	-1	-2	2	-1	2
11	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-2	-1	-1	-1	1	1
12	1	-1	2	-1	2	2	2	1	-2	-1	-2	1	-1	1
13	1	-2	2	1	-2	2	2	2	-1	1	-2	2	1	2
14	1	1	1	-1	-1	-1	2	-1	-2	2	1	-1	-1	1
15	-1	1	2	2	-2	-2	2	-2	-1	-2	-2	-1	2	1
16	1	-1	1	-1	-1	-2	1	-1	-2	1	-1	1	1	1
17	2	-2	2	2	2	-2	2	-2	-2	-2	-2	-1	2	2
18	2	1	1	-2	1	2	1	-1	-1	-2	-2	-1	-1	1
19	1	-1	1	-2	2	1	1	-2	-2	-2	-1	2	-1	-1
20	2	2	-2	-1	1	2	-2	1	-2	-2	-2	2	-1	1
21	1	-2	2	2	-2	1	1	1	2	-1	-2	2	2	2
22	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
23	2	2	1	-1	-2	-1	2	-2	1	1	-2	-1	-1	2

Aluno	PtT1.1	PtT1.2	PtT1.3	PtT1.4	PtT1.5	PtT2.1	PtT2.2	PtT2.3	PtT2.4	PtT2.5	PtT3.1	PtT3.2	PtT3.3	PtT3.4
24	-2	2	2	1	-2	2	2	1	2	-2	-2	2	1	2
25	1	2	2	-2	-2	1	2	1	-1	-2	-2	-2	2	2
26	-1	1	1	-2	1	2	1	-2	-2	-1	1	1	-1	2
27	1	-1	2	-2	-1	-2	2	-2	-1	1	-1	-1	-1	2
28	1	-1	1	2	-2	2	2	-1	-2	-1	-2	2	-1	2
29	-1	1	1	-1	1	-2	2	1	-2	1	-1	1	-1	1
30	2	2	2	-1	-1	2	2	-1	1	2	-1	-1	-2	2
31	-1	-1	1	2	-2	1	-1	-1	-2	-2	-2	-1	1	1
32	1	2	2	1	-2	-2	2	1	-2	1	-2	-1	-1	1
33	1	-2	2	-2	-2	-2	1	-1	2	2	-2	1	-2	-1
34	-1	1	2	1	1	1	2	-1	-1	-2	-1	1	1	2
35	-1	-1	-1	-2	-2	2	-1	-1	-2	-1	-2	2	-2	-1
36	2	-2	2	1	1	-1	2	1	-1	-2	1	1	-2	2
37	-1	-1	1	-1	-2	1	1	-2	-2	-2	-2	1	-1	2
38	1	2	2	-2	-2	-1	1	1	-2	-2	-2	2	-2	2
39	2	-1	2	2	-2	2	1	1	-2	1	-2	2	1	-2
40	-1	-1	-1	-2	1	1	1	1	-2	-1	-1	-1	1	1
41	-1	-1	-1	-1	-1	-2	1	-2	-1	-2	-1	-1	-2	-1
42	-1	1	1	-2	-2	1	1	-1	-2	-2	-1	-1	-1	1
43	-1	-2	-1	-2	1	1	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-1	1
44	-1	-1	1	-2	-2	1	1	-1	-1	-2	-2	1	-1	1
45	1	1	2	-1	-2	-1	2	1	-1	-1	-2	1	-1	2

Tabela 19 - Resultados dos pós-testes da turma A

Aluno	Pst 1.1	Pst 1.2	Pst 1.3	Pst 1.4	Pst 1.5	Pst 2.1	Pst 2.2	Pst 2.3	Pst 2.4	Pst 2.5	Pst 3.1	Pst 3.2	Pst 3.3	Pst 3.4
1	2	-2	2	-2	1	-2	2	-2	2	2	1	2	1	1
2	2	-2	2	-2	-1	2	2	1	1	-1	-1	2	2	1
3	2	-2	2	-2	2	2	2	-2	-2	-2	2	-2	2	2
4	2	-2	2	-2	2	-1	2	1	1	1	1	2	1	2
5	2	-2	2	-2	2	2	2	1	2	-2	-2	2	2	2
6	2	-2	2	-1	-1	-1	1	-2	-1	-1	-1	-2	1	1
7	2	-2	2	-2	-2	-2	2	-1	-2	-2	1	2	-1	-2
8	1	-2	2	1	-1	2	2	-2	-2	-1	1	1	-2	2
9	2	-2	2	-2	-2	2	2	-2	-2	-2	-2	2	2	2
10	2	-2	2	-2	-2	-1	2	-1	2	2	-2	1	-1	2
11	2	-2	2	-2	1	-2	1	-2	-1	-1	1	2	1	-1
12	2	-1	2	1	-1	2	2	-2	-1	-1	-1	2	-1	-1
13	2	-2	2	-2	2	2	2	-2	-2	1	-2	2	-2	2
14	2	-1	2	-2	2	-1	2	-1	2	2	2	2	1	2
15	2	-1	2	2	-2	-1	2	-2	2	1	-2	2	2	-1
16	2	-2	1	-2	-1	-2	1	-2	1	1	-1	1	1	1
17	2	-2	2	2	-1	-2	2	-2	-2	1	-1	2	-2	2
18	2	-2	2	-2	-1	2	2	-1	2	2	-2	2	-2	2
19	2	-2	2	-2	-1	-2	2	-1	-2	-2	-2	2	-1	2
20	2	-2	2	-2	1	2	2	2	-2	1	-2	2	-1	1
21	2	-2	2	-2	-2	-2	2	-2	-2	-1	-2	2	1	-2
22	2	-2	2	-2	-2	-2	2	-2	-2	1	-1	-1	-1	-1
23	2	-2	2	-2	-2	2	2	2	-2	-2	-2	2	2	-2

Aluno	Pst 1.1	Pst 1.2	Pst 1.3	Pst 1.4	Pst 1.5	Pst 2.1	Pst 2.2	Pst 2.3	Pst 2.4	Pst 2.5	Pst 3.1	Pst 3.2	Pst 3.3	Pst 3.4
24	2	-2	2	-2	2	-2	2	-2	-2	2	2	2	-2	2
25	2	-1	2	-1	-1	1	2	-1	-1	-1	-2	1	1	2
26	2	-2	2	-1	1	2	2	-2	-1	-2	1	2	1	2
27	2	-2	2	-2	1	-2	2	-2	-1	2	1	-1	1	2
28	2	-2	2	2	1	-2	2	-2	-2	-2	-1	2	-2	1
29	2	-2	2	-2	1	-2	2	-2	-1	1	-1	2	2	2
30	2	1	1	2	-1	2	2	1	-1	1	-1	1	1	1
31	2	-2	2	-2	-2	-2	2	-2	-2	2	2	2	1	1
32	2	-2	2	-2	2	-2	2	-2	-2	2	2	2	-2	1
33	2	-2	2	1	-2	-1	2	-2	-2	2	-2	2	1	-2
34	2	-2	2	1	2	1	2	2	1	-2	1	2	2	2
35	2	-2	2	-2	-2	1	2	-1	-2	-1	-2	2	1	2
36	2	-2	2	2	2	2	2	2	-2	2	1	2	-1	-2
37	2	-2	2	-2	1	1	2	-2	-2	-2	-2	2	-1	2
38	2	-2	2	-2	-2	2	2	2	-2	-2	-2	-2	-2	2
39	2	-2	2	-2	-2	2	2	1	-2	1	-2	2	-1	2
40	2	1	1	-2	1	-2	1	-2	-1	-1	1	1	1	1
41	1	-2	1	-2	-1	-2	1	-2	-1	1	-1	2	1	-2
42	2	-2	1	1	-2	2	2	-1	-1	-1	-1	1	1	1
43	1	1	1	-1	-1	1	2	-2	-1	-2	-2	1	-1	1
44	2	-2	2	-1	-2	1	2	1	-1	-1	-2	2	1	1
45	-1	-2	2	-2	-2	-2	2	-2	-2	-1	-2	2	-1	-2

Tabela 20 - Resultados dos pré-testes da turma B

Aluno	Prt1.1	Prt1.2	Prt1.3	Prt1.4	Prt1.5	Prt2.1	Prt2.2	Prt2.3	Prt2.4	Prt2.5	Prt3.1	Prt3.2	Prt3.3	Prt3.4
1	2	-2	2	2	-1	2	2	2	-2	-1	-2	-2	-1	2
2	-2	-2	2	2	-1	2	2	1	-2	-1	-2	1	1	2
3	-1	-2	1	-2	-2	-2	1	1	-1	-1	-2	-1	2	1
4	2	1	2	-1	-1	-1	1	-2	2	-1	-1	2	1	2
5	1	2	-2	1	-2	1	-2	-2	1	-1	-2	2	2	2
6	1	1	1	2	-2	2	2	1	-2	2	-2	-1	-2	2
7	-1	-1	-1	-1	-2	2	-2	-1	-2	-2	-1	-1	-1	1
8	1	2	2	1	-2	-1	2	1	1	-1	-2	-2	1	2
9	-1	1	1	2	-2	2		-2	-1	-2	-2	-2	-2	2
10	1	-1	2	-1	-2	-2	2	-1	-1	-1	-1	1	-2	1
11	-1	2	2	-2	-2	2	2	-1	2	-2	-2	2	1	2
12	-2	1	-2	1	-1	1	2	-2	-1	1	1	2	-2	1
13	2	1	2	-1	-2	1	2	1	1	-1	-2	1	2	2
14	-2	-2	-2	-1	-2	-1	1	-1	-2	-2	-2	1	-1	1
15	2	2	-1	-1	-2	2	2	1	2	1	-2	1	1	2
16	1	-1	1	2	-2	-2	1	-2	-2	1	-2	-1	2	2
17	2	2	-2	-1	-2	-2	-2	2	-1	1	-2	2	1	2
18	2	2	2	1	-2	-1	2	1	-2	-1	-1	1	1	1
19	1	2	2	-1	-1	2	2	-2	-1	-2	-2	2	-2	2
20	1	1	1	-2	-1	2	-2	-2	-1	-2	-1	1	1	2

Aluno	Prt 1.1	Prt 1.2	Prt 1.3	Prt 1.4	Prt 1.5	Prt 2.1	Prt 2.2	Prt 2.3	Prt 2.4	Prt 2.5	Prt 3.1	Prt 3.2	Prt 3.3	Prt 3.4
21	-1	-2	1	-2	-2	2	-1	-1	2	-1	-2	1	-1	2
22	2	2	2	1	-1	2	2	2	-2	-1	-2	2	2	2
23	2	1	2	-2	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1
24	-1	-1	2	-2	-2	1	-1	1	-2	-2	-2	-1	1	2
25	2	1	2	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-2	1	2	2
26	2	2	-1	-2	-2	1	2	2	-1	-2	-2	2	2	2
27	2	1	2	2	1	1	2	1	-1	-1	-1	-1	1	2
28	-2	-2	-2	-1	-2	-2	-2	-1	-2	-1	-2	-2	-2	1
29	-2	2	2	-2	1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	2
30	-2	1	2	-2	-2	1	2	-2	-1	2	-2	-2	2	2
31	-2	2	-2	2	-2	-2	2	-1	2	-2	2	-2	2	-2
32	2	-1	2	-2	1	-2	1	1	-2	-2	-1	2	-1	1
33	1	-2	2	-2	-1	-1	2	1	-1	-2	-2	2	-1	1
34	-2	1	-1	-1	-2	2	1	-2	2	-2	1	-1	-2	1
35	-1	-1	1	1	-2	1	1	-1	-1	-2	-1	-1	-1	1
36	-1	-2	2	1	-2	-2	2	1	1	2	-1	2	1	1
37	1	2	2	1	-2	-2	2	1	-1	-1	-2	1	2	1
38	-1	1	-1	-2	1	2	1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	2
39	1	1	-1	-1	-2	-1	1	1	-2	-1	-2	2	1	2
40	1	-1	-1	-2	-1	-1	1	-1	2	-1	-2	1	-1	2
41	-2	-1	-2	-1	-2	2	1	1	-1	-1	-2	-1	1	2

Tabela 21 - Resultados dos pós-testes da turma B

Aluno	Pst 1.1	Pst 1.2	Pst 1.3	Pst 1.4	Pst 1.5	Pst 2.1	Pst 2.2	Pst 2.3	Pst 2.4	Pst 2.5	Pst 3.1	Pst 3.2	Pst 3.3	Pst 3.4
1	2	-2	2	2	-2	-1	2	-1	-2	-1	-2	2	1	2
2	2	-2	2	-2	-2	-1	2	-1	-1	1	-2	1	1	1
3	-2	2	-1	-1	2	2	2	2	1	1	-2	1	-1	-1
4	-1	-2	2	-1	-1	2	2	-1	2	2	-2	2	1	2
5	2	2	-2	1	-1	1	-2	1	-2	1	-2	2	1	2
6	1	-2	-1	-2	-1	1	2	-2	1	1	-1	-1	2	1
7	-1	-2	2	-1	1	2	2	-1	-1	1	-1	1	2	2
8	2	1	1	1	-1	-1	1	1	1	2	1	-1	1	1
9	-1	1	1	-1	-2	2	1	2	-2	-2	-2	-1	-2	2
10	1	-2	1	2	1	-1	2	-2	-2	2	1	2	-1	1
11	1	-2	2	1	-2	2	2	-2	1	-1	-2	2	1	1
12	2	2	1	1	-2	-1	2	-1	1	-1	-2	-1	2	1
13	2	-2	2	-2	-2	-2	2	1	1	1	-2	2	2	2
14	2	-1	2	-1	-2	2	2	2	-1	-2	-2	2	2	2
15	2	-2	2	1	1	1	2	1	-1	-1	-1	2	-1	2
16	2	-2	2	2	-2	2	2	-2	2	-1	-2	1	2	2
17	2	2	2	2	-2	2	2	2	-1	-2	-2	2	2	2
18	2	-2	2	-2	-2	-2	2	-2	-2	2	-2	2	2	2
19	2	-2	2	1	-2	1	2	2	2	-2	-2	-1	2	2
20	2	-2	2	-2	-2	2	2	2	2	2	-2	2	2	2

Aluno	Pst 1.1	Pst 1.2	Pst 1.3	Pst 1.4	Pst 1.5	Pst 2.1	Pst 2.2	Pst 2.3	Pst 2.4	Pst 2.5	Pst 3.1	Pst 3.2	Pst 3.3	Pst 3.4
21	-1	-2	-1	-1	1	1	-2	1	-2	-1	-2	-1	-1	-2
22	2	-1	2	2	-1	2	2	2	-1	-1	1	2	2	2
23	2	-2	2	-2	-2	-2	2	-1	-1	2	-2	2	2	2
24	2	2	-2	2	1	2	-2	1	1	-2	1	-2	2	-2
25	2	2	2	2	-1	1	2	1	2	-1	-1	1	2	2
26	2	2	2	-2	-2	2	2	2	-2	-1	-2	-1	2	2
27	2	-2	2	-1	1	-2	2	1	2	-1	-1	2	2	2
28	2	2	-2	-2	-2	-2	-1	1	1	-1	2	-1	-2	-1
29	1	-1	1	1	-2	1	1	1	1	-2	-2	-1	-2	1
30	2	2	2	2	-2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
31	-2	2	1	1	-2	2	-2	2	1	-2	2	2	-2	-2
32	-2	-2	2	-2	1	-2	2	1	2	-2	-2	1	1	1
33	2	-2	2	2	1	-2	2	2	1	-1	2	2	2	2
34	2	-2	2	-2	-2	2	2	-1	2	-2	-2	2	2	2
35	2	-1	-1	-1	-2	1	-2	-2	2	-1	-2	-1	-1	1
36	2	-2	2	1	1	-1	2	-1	1	-1	-1	1	-1	2
37	2	-2	2	1	-2	-1	2	1	2	1	-2	2	1	2
38	1	-2	2	-1	1	2	2	1	2	2	-1	-1	-2	2
39	2	-1	2	1	-2	-1	2	1	-2	-2	-1	-1	1	2
40	2	-1	2	-2	1	1	-1	1	2	-1	2	-2	-1	1
41	2	-2	2	1	1	2	2	-1	-2	-1	1	-1	2	1

Tabela 22 - Resultados dos pré-testes da turma C

Aluno	Prt 1.1	Prt 1.2	Prt 1.3	Prt 1.4	Prt 1.5	Prt 2.1	Prt 2.2	Prt 2.3	Prt 2.4	Prt 2.5	Prt 3.1	Prt 3.2	Prt 3.3	Prt 3.4
1	1	-2	1	1	-1	2	1	-1	1	-1	-2	-1	-2	2
2	1	2	1	-2	-2	-1	1	1	-2	-1	-2	1	-2	1
3	-1	-1	1	-1	-2	1	1	-1	1	-1	-1	1	-2	1
4	-1	-1	1	-1	-1	1	2	1	1	1	-2	-1	-1	1
5	2	-1	2	-1	-1	1	2	-1	-2	-1	-1	1	-1	2
6	1	-1	-1	-2	-1	1	1	-1	-2	-2	2	-1	-2	1
7	1	-1	1	-1	-1	2	-1	-2	-2	-1	-2	-1	-2	2
8	-2	-2	1	-1	-2	-1	-2	-1	-2	-2	-2	1	1	2
9	1	2	1	-1	-2	1	1	-1	-1	1	1	-1	2	2
10	-2	1	1	1	-1	2	1	1	-2	-1	1	-2	1	1
11	-2	-2	1	-1	-2	2	1	1	-2	-1	-1	1	-2	1
12	2	-1	2	2	2	-2	2	2	1	-2	-2	-2	1	-1
13	1	2	2	-2	-1	-2	2	1	-1	-2	-1	2	-2	2
14	1	-1	1	1	-1	2	1	-1	-2	-2	-1	-2	-2	2
15	2	1	2	1	-2	-1	2	1	-1	-2	-1	2	1	2
16	1	2	2	-2	-1	-1	2	1	-2	-2	1	-2	1	2
17	1	2	2	2	-2	1	2	1	1	-1	-2	1	1	2
18	2	2	2	-1	-2	1	2	-1	-2	-1	-1	-2	-2	2
19	1	1	1	-1	-2	-1	1	1	1	-1	-2	1	1	1
20	1	-2	2	2	-2	2	2	1	1	-2	-2	1	2	2
21	-1	1	2	-1	-1	1	2	-1	-2	-1	1	-2	-2	2
22	-1	-1	-1	-2	-1	2	-1	-2	1	-1	-1	-2	-2	1
23	1	1	-1	-2	1	-2	1	-2	-2	-2	2	-2	-1	1

Aluno	Prt 1.1	Prt 1.2	Prt 1.3	Prt 1.4	Prt 1.5	Prt 2.1	Prt 2.2	Prt 2.3	Prt 2.4	Prt 2.5	Prt 3.1	Prt 3.2	Prt 3.3	Prt 3.4
24	1	1	1	-2	-1	-2	1	1	-2	-1	-1	1	-2	2
25	2	-1	2	2	-2	-1	2	1	-2	-2	-2	-1	2	2
26	2	2	2	2	-2	1	2	-1	-1	-2	-2	1	2	1
27	1	-1	1	-2	-2	-1	1	-1	1	1	-2	1	-1	2
28	2	2	2	-1	1	2	2	-2	-2	-1	-1	-2	1	1
29	-1	-2	1	2	1	2	-1	2	-2	-2	-1	-2	2	2
30	-1	-2	1	2	2	2	-2	-1	-2	-2	-2	-1	1	2
31	2	1	2	-1	-2	-1	2	1	-2	1	-2	2	1	2
32	1	-1	-1	-2	-1	1	2	1	2	-2	2	-1	-2	2
33	2	-2	2	-1	-2	2	-2	-2	1	-1	1	-1	1	1
34	1	-2	-1	1	-2	-1	-2	2	-2	-1	-2	2	-2	-2
35	-2	-2	-1	-2	-1	2	-1	-1	1	-2	-2	-2	-1	2
36	1	1	2	-1	-2	-1	-2	1	2	-2	1	-1	1	-1
37	1	-1	-2	2	-2	2	-2	-1	-2	-2	1	1	1	2
38	2	1	1	2	-2	2	1	-2	2	-2	-2	-1	1	2
39	-1	1	1	2	-2	-2	1	-1	1	1	-2	-1	-1	2
40	2	-1	2	2	-2	2	2	-2	2	2	-2	-2	-2	2
41	-1	-1	-1	1	-2	-2	2	1	1	-2	-1	1	2	2
42	1	-1	1	-2	-1	-2	1	2	1	-2	-2	1	-1	2
43	1	-1	2	1	-1	2	1	-1	-2	-1	-1	1	-2	1
44	2	1	2	1	-2	-2	2	1	-1	-1	1	-1	1	2
45	1	1	1	-2	-2	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1
46	1	-2	2	1	-2	2	2	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-1

Tabela 23 – Resultados dos pós-testes da turma C

Aluno	Pst 1.1	Pst 1.2	Pst 1.3	Pst 1.4	Pst 1.5	Pst 2.1	Pst 2.2	Pst 2.3	Pst 2.4	Pst 2.5	Pst 3.1	Pst 3.2	Pst 3.3	Pst 3.4
1	1	-1	2	-1	-1	1	2	1	2	-1	-2	1	-1	2
2	-2	-2	2	-2	-2	2	2	2	1	-2	-2	2	-2	2
3	-2	-2	2	2	-2	2	2	2	2	2	-1	2	-2	1
4	1	-1	2	-2	-1	-1	1	1	-2	-1	-2	-2	-1	1
5	2	1	2	2	-1	2	2	1	-1	-1	-1	2	-1	2
6	-1	1	1	-2	-1	1	-1	-1	-2	-2	1	-1	-2	1
7	1	-2	2	-1	-2	1	-2	-2	-2	-2	2	2	-2	2
8	1	-2	2	-1	1	1	2	1	-1	2	-1	2	1	2
9	2	1	2	1	1	-1	2	1	2	1	1	1	-1	2
10	1	1	2	-1	-1	2	2	-1	-1	-1	-2	1	1	2
11	1	1	-1	2	-1	2	2	-1	-2	-1	-2	-1	-1	1
12	2	-2	2	1	1	-2	2	1	2	-2	-2	1	-1	1
13	2	1	2	2	1	2	2	1	-1	-2	-1	2	1	1
14	1	-2	2	-1	-2	1	-2	-2	-1	-2	1	-1	-2	1
15	2	-2	2	-1	-2	1	2	-1	-1	-2	-2	2	1	2
16	1	2	2	-2	-1	-1	2	1	-2	-2	1	2	-1	2
17	2	-2	2	1	-2	2	2	2	-1	1	-2	2	-1	2
18	2	-2	2	1	-1	-1	2	-2	-1	2	1	-2	1	1
19	2	2	2	2	-2	1	2	1	2	-1	-2	2	1	2
20	2	-2	2	2	-2	2	2	1	-2	1	-2	2	1	2
21	1	-1	1	1	-1	-1	2	1	-2	-1	-1	-1	-1	1
22	1	1	1	2	1	1	2	1	-1	-1	1	-1	1	1
23	2	2	2	-1	-1	-1	2	-1	-1	-2	2	-1	-2	2

Aluno	Pst 1.1	Pst 1.2	Pst 1.3	Pst 1.4	Pst 1.5	Pst 2.1	Pst 2.2	Pst 2.3	Pst 2.4	Pst 2.5	Pst 3.1	Pst 3.2	Pst 3.3	Pst 3.4
24	2	-2	2	-2	-1	-1	2	-2	2	1	-1	2	-1	2
25	2	-2	2	-2	-2	-2	2	1	-2	-1	-2	-1	2	1
26	1	-2	1	2	-2	2	2	-2	-1	-2	-2	1	1	1
27	-2	2	2	2	-2	-2	2	-1	2	-1	-2	2	-1	2
28	1	-2	2	-1	1	1	2	-2	-2	1	-1	-1	-1	1
29	-2	1	-1	-1	1	2	-1	2	-2	-2	1	-1	1	-1
30	2	1	1	-1	-1	2	2	2	-1	-2	-2	1	1	2
31	2	-1	2	-1	-2	-2	2	2	-2	2	-2	2	1	2
32	2	2	2	2	-2	2	2	1	2	2	1	2	-1	2
33	2	2	-2	-1	1	2	-2	-1	1	2	-2	-1	-1	2
34	2	-2	2	1	-2	1	2	-2	-1	-2	1	-1	1	-1
35	2	2	2	1	-1	1	1	1	1	1	-1	2	2	2
36	1	1	1	-1	-2	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1
37	2	-2	-2	-1	-1	2	2	-1	-1	-2	1	1	1	1
38	2	-1	2	1	-2	2	2	-2	-1	-1	-2	1	-1	1
39	1	-2	2	2	-2	2	2	-1	-1	2	-2	2	-1	2
40	2	2	2	2	-2	2	2	-2	2	-2	-2	2	2	1
41	2	-2	2	-1	-2	-2	2	2	1	-2	1	-1	1	2
42	1	1	-1	1	-2	-1	2	1	2	-2	-1	-1	1	2
43	2	-2	2	2	-2	2	2	1	-1	1	-2	2	-1	2
44	2	-1	2	-1	-2	-2	2	1	1	-2	-2	-1	-1	2
45	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
46	2	-2	2	2	-2	2	2	-2	-1	-2	-2	2	1	-2

Tabela 24 – Resultados dos pré e pós-testes da turma D

Aluno	PrT 1.1	PrT 1.2	PrT 1.3	PrT 1.4	PrT 2.1	PrT 2.2	PrT 3.1	PrT 3.2	PrT 3.3	PrT 3.4	Pst 1.1	Pst 1.2	Pst 1.3	Pst 1.4	Pst 2.1	Pst 2.2	Pst 3.1	Pst 3.2	Pst 3.3	Pst 3.4
1	1	-2	2	-2	2	-1	-2	-2	-1	-1	2	-2	2	-2	2	2	-2	-2	1	1
2	1	1	-1	-2	1	-1	-2	-1	-1	2	2	1	1	-1	1	-2	1	1	-2	2
3	1	2	2	-2	-2	1	-2	1	-2	1	2	-2	2	1	2	-1	-2	2	-2	-2
4	2	-2	2	1	2	-2	1	2	-1	1	2	-2	2	1	2	1	1	2	1	2
5	2	-2	2	-2	2	-1	-1	2	-2	1	2	-2	2	1	2	-1	1	2	1	2
6	1	-2	1	-1	1	2	-2	-1	-2	-2	1	-1	1	2	2	2	1	-1	1	-2
7	1	-2	2	1	2	-1	-1	1	-1	1	2	-2	2	1	2	1	1	2	1	-1
8	2	-2	2	-1	2	-1	-2	2	-2	1	2	-2	2	1	2	2	-2	2	-2	-1
9	1	-2	2	-1	2	-2	-2	1	-1	1	2	-2	2	-1	2	2	-2	2	1	1
10	1	1	2	1	2	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	2	2	1	1	1	-1	1
11	1	1	1	-1	2	1	-1	1	-1	2	2	-2	1	1	2	1	1	2	-2	-1
12	1	2	2	-2	2	1	-2	2	-1	2	2	-2	2	2	2	1	2	2	-2	1
13	2	-2	-1	-1	2	-2	1	-1	1	1	2	-2	2	2	2	1	2	2	-1	-1
14	1	-1	2	-2	1	2	-1	1	-2	1	2	-2	2	1	2	1	-2	1	-1	2
15	2	2	-1	-2	2	1	-2	2	-1	2	2	-1	-1	-2	2	-2	-1	1	-1	2
16	2	2	1	-1	2	-1	1	1	-1	2	2	-1	-1	-2	2	-2	-1	1	-1	2
17	2	2	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	2	-2	2	1	0	0	-2	2	1	1
18	1	-2	-1	-2	2	-1	-1	-1	1	1	2	2	2	1	2	-2	1	-1	1	1
19	-1	-2	2	-2	2	-1	-2	1	-1	1	2	-2	2	-2	2	-2	-2	2	-1	-2

Aluno	PrT 1.1	PrT 1.2	PrT 1.3	PrT 1.4	PrT 2.1	PrT 2.2	PrT 3.1	PrT 3.2	PrT 3.3	PrT 3.4	Pst 1.1	Pst 1.2	Pst 1.3	Pst 1.4	Pst 2.1	Pst 2.2	Pst 3.1	Pst 3.2	Pst 3.3	Pst 3.4
20	2	-2	2	1	2	-2	1	2	1	2	2	-2	2	1	2	-2	1	2	2	2
21	-1	-2	2	1	1	-1	1	-2	-2	-1	2	1	-1	-2	1	1	-1	1	1	-1
22	-2	1	2	-2	-1	1	-2	-1	-1	2	2	-2	2	2	2	1	1	1	-1	1
23	1	-1	1	-2	2	-1	-2	1	1	2	2	-2	2	1	2	2	-2	2	1	1
24	2	2	-1	-2	-2	1	-2	2	1	2	2	-2	2	2	-2	2	2	2	1	-1
25	2	1	1	-1	2	-1	-2	2	1	1	2	-2	2	2	2	-1	2	2	2	-2
26	1	-2	2	1	2	-2	1	-1	-1	1	2	1	2	2	2	1	2	-2	-2	2
27	2	1	-1	-2	2	2	-2	1	-1	2	2	-2	2	1	2	2	2	2	-1	-2
28	1	-1	1	-2	-1	1	-1	1	-1	1	2	-1	2	1	2	1	-1	1	-1	1
29	-2	1	1	-2	2	-2	-1	2	1	2	2	-2	2	-1	2	2	-1	-2	1	1
30	1	2	2	-2	2	-1	-2	-1	-1	1	2	-2	2	2	2	-1	1	-1	-1	-1
31	1	-2	1	-1	2	1	1	-1	-1	1	2	-2	-1	1	2	-1	1	1	-1	1
32	0	-2	2	-1	1	1	-1	2	-2	1	2	-2	2	2	-2	-1	2	1	2	-2
33	2	-1	2	-1	1	-1	-1	1	-1	1	2	-2	2	-1	2	1	-1	1	1	1
34	-2	-2	2	-2	2	1	-2	-2	1	2	2	-2	2	1	2	1	1	1	1	1
35	1	1	2	-2	2	1	-1	1	2	2	2	-2	2	-2	2	1	-2	-1	1	2
36	2	-1	1	-2	2	-2	-2	1	2	2	2	2	2	-1	2	1	-1	2	2	1
37	2	-1	1	-2	2	-1	-2	1	2	2	2	-2	1	2	2	1	1	2	2	-1

Tabela 25 – Resultados dos pré e pós-testes da turma E

Aluno	P _{PT} 1,1	P _{PT} 1,2	P _{PT} 1,3	P _{PT} 1,4	P _{PT} 2,1	P _{PT} 2,2	P _{PT} 3,1	P _{PT} 3,2	P _{PT} 3,3	P _{PT} 3,4	P _{ST} 1,1	P _{ST} 1,2	P _{ST} 1,3	P _{ST} 1,4	P _{ST} 2,1	P _{ST} 2,2	P _{ST} 3,1	P _{ST} 3,2	P _{ST} 3,3	P _{ST} 3,4	
1	1	2	-1	-2	2	-1	-2	-2	1	2	2	-2	2	2	2	1	2	2	2	1	1
2	2	-2	2	-2	2	1	-2	1	1	2	2	-2	2	1	2	2	2	2	2	-1	2
3	1	1	-1	-2	2	1	-1	-1	-1	1	2	-1	-1	-2	2	-1	1	2	1	-1	
4	2	1	1	-2	2	1	-2	-1	2	2	2	-1	2	1	2	2	-2	1	2	2	
5	2	1	1	-2	1	1	-1	-1	-2	1	2	2	2	1	2	-1	1	-1	-1	-1	
6	2	2	2	-2	2	2	-2	1	2	2	2	-2	1	-2	2	-1	-1	2	1	2	
7	1	-2	2	1	2	1	-1	1	-1	1	1	-2	2	1	1	-1	1	1	1	2	
8	1	1	1	-2	1	-2	2	1	-2	1	1	-1	1	2	1	-1	2	-1	-2	1	
9	1	1	1	2	1	-2	2	1	-2	1	2	-2	1	2	1	2	2	2	1	-2	
10	2	-2	2	1	2	-1	1	2	-2	1	2	-2	2	2	2	2	2	2	2	-1	
11	-2	-2	2	-1	2	-2	-1	1	-1	1	1	2	2	1	2	1	-1	2	1	1	
12	1	2	2	-1	1	1	-2	1	1	1	2	-2	2	2	2	2	2	2	-1	2	
13	2	2	-2	-1	-2	2	-2	2	-1	2	2	-2	2	2	2	2	2	2	2	1	
14	2	-2	2	-1	2	1	-2	-2	1	-1	2	-2	2	-1	2	1	-2	-1	-1	1	
15	-1	1	1	-2	2	-1	-2	2	1	2	2	-2	2	1	2	1	1	2	1	1	
16	1	1	2	2	2	-2	1	-2	-1	1	2	-2	2	1	2	-1	1	-1	-2	-1	
17	1	-2	2	-1	2	1	-1	1	1	1	2	-2	2	1	2	1	2	-1	1	1	
18	1	-2	-2	-2	-1	2	-2	-2	-1	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	
19	1	2	-2	1	-2	2	-2	-2	-1	1	2	-2	2	2	2	2	2	2	2	1	
20	1	2	1	-2	2	1	-1	-1	-2	2	-2	-2	2	1	-2	1	1	-1	-2	2	
21	-1	-2	2	-2	2	-2	-2	1	1	2	2	-2	2	1	2	2	-2	2	2	2	
22	-1	-2	2	-2	2	-2	-1	-1	-2	2	2	-2	2	2	2	2	-2	1	2	1	

	P _{rT} 1.1	P _{rT} 1.2	P _{rT} 1.3	P _{rT} 1.4	P _{rT} 2.1	P _{rT} 2.2	P _{rT} 3.1	P _{rT} 3.2	P _{rT} 3.3	P _{rT} 3.4	P _{sT} 1.1	P _{sT} 1.2	P _{sT} 1.3	P _{sT} 1.4	P _{sT} 2.1	P _{sT} 2.2	P _{sT} 3.1	P _{sT} 3.2	P _{sT} 3.3	P _{sT} 3.4
Aluno																				
23	1	-2	2	1	2	-1	1	2	-2	1	2	-2	2	2	2	2	2	2	2	2
24	2	-2	2	-1	2	-1	-1	2	1	1	2	-2	2	1	2	1	1	2	1	1
25	2	2	-2	-1	2	1	-1	1	2	1	2	-2	2	-2	2	1	-2	2	1	1
26	2	1	1	-1	-2	1	-2	1	2	-1	1	-2	-2	1	2	1	-1	1	2	-1
27	2	-2	2	-2	2	1	-2	1	-1	1	-1	2	2	-2	2	2	-2	-2	-2	-2
28	1	-2	2	-2	2	-1	-2	1	-2	2	1	-2	2	-2	2	2	1	-1	-2	2

Tabela 26 - Resultados dos pré e pós-testes da turma F

Aluno	PrT 1.1	PrT 1.2	PrT 1.3	PrT 1.4	PrT 2.1	PrT 2.2	PrT 3.1	PrT 3.2	PrT 3.3	PrT 3.4	Pst 1.1	Pst 1.2	Pst 1.3	Pst 1.4	Pst 2.1	Pst 2.2	Pst 3.1	Pst 3.2	Pst 3.3	Pst 3.4
1	1	-2	-1	1	-2	1	1	1	1	2	2	-2	2	1	2	1	-2	2	1	1
2	1	-2	2	-2	2	-1	-2	1	1	1	2	-2	2	1	2	1	-2	2	1	1
3	2	-1	1	-1	2	1	-1	-1	-2	2	1	-2	2	1	2	1	1	-1	-2	1
4	1	2	2	-2	2	-1	-2	-1	1	2	2	1	1	1	2	2	-1	-1	1	2
5	2	1	1	1	-1	-1	-2	1	1	1	-2	2	2	1	2	2	1	1	2	-1
6	2	2	-2	-2	-2	2	-2	2	1	2	2	1	-2	-2	-2	1	-2	1	1	2
7	-1	-1	2	-2	1	-2	-2	-1	-2	1	2	-2	2	1	1	2	-1	1	1	1
8	1	1	1	-2	-1	-2	-2	-2	-2	-1	2	-1	1	2	-2	2	2	2	2	1
9	1	1	-1	-2	1	-1	-2	1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1
10	1	-2	1	-1	-1	-2	1	-2	1	2	1	1	-1	1	2	-2	-1	-2	-1	1
11	-2	1	2	1	-1	-2	1	-2	-1	2	2	-2	2	1	2	1	-2	1	-1	1
12	1	1	2	-2	2	2	-2	1	1	2	2	1	1	-2	2	-1	-2	-1	-1	2
13	1	-1	2	-1	-2	2	-2	-1	1	-2	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-2
14	2	2	-2	-1	2	1	-1	1	-1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2
15	1	-2	2	-2	2	-2	-1	1	-1	1	1	-1	2	-2	2	-1	-2	-1	1	1
16	1	2	2	-2	1	-1	1	-1	2	2	2	2	2	-2	2	2	1	2	2	2
17	2	2	2	-2	2	1	-2	-1	-2	-2	1	-1	1	1	2	1	1	1	1	1
18	2	-2	2	-1	2	2	-1	2	2	1	2	-2	2	2	2	-1	1	2	2	-1
19	2	2	2	-1	2	-1	-2	-1	1	2	1	-2	2	-1	-2	-2	2	1	-2	1
20	-1	2	-2	-2	1	-1	-2	1	2	-1	1	1	2	-1	2	1	-1	-2	1	1
21	1	-2	1	2	2	-1	1	2	1	1	2	2	2	-1	-2	1	-1	2	1	1

Aluno	P _T 1.1	P _T 1.2	P _T 1.3	P _T 1.4	P _T 2.1	P _T 2.2	P _T 3.1	P _T 3.2	P _T 3.3	P _T 3.4	P _{ST} 1.1	P _{ST} 1.2	P _{ST} 1.3	P _{ST} 1.4	P _{ST} 2.1	P _{ST} 2.2	P _{ST} 3.1	P _{ST} 3.2	P _{ST} 3.3	P _{ST} 3.4
22	2	1	1	-1	1	1	-2	1	2	2	2	1	2	-1	2	1	-1	-1	2	2
23	2	1	-2	-1	2	2	-2	-2	-1	2	2	-1	2	1	2	1	1	2	-1	1
24	1	2	-1	1	2	2	-2	2	1	2	2	-2	2	-2	2	2	-1	-1	1	2
25	2	-1	-2	-1	2	1	-1	-1	1	2	-2	2	2	1	2	2	1	1	2	2
26	-1	1	2	-2	2	-1	-2	1	1	1	2	-2	1	1	2	2	1	1	-1	1
27	2	-1	-1	1	2	-2	1	2	2	2	1	-1	2	-2	2	-1	-1	2	-1	2
28	-2	2	2	-2	2	1	-2	1	-1	2	-1	1	2	2	2	-1	2	1	1	2

17 APÊNDICE F – Variações calculadas por aluno e por grupo conceitual

Tabela 27 - Variações calculadas para a turma A

Aluno	Turma	Delta Q11	Delta Q12	Delta Q13	Delta Q14	Delta Q21	Delta Q22	Delta Q31	Delta Q32	Delta Q33	Delta Q34	Delta geral	Delta GC1	Delta GC2	Delta GC3
1	A	0	3	0	2	1	4	3	0	0	0	1,30	0,31	0,63	0,19
2	A	1	1	4	-2	4	-3	-2	4	3	3	1,30	0,25	0,13	0,50
3	A	1	4	0	0	1	0	3	0	4	3	1,60	0,31	0,13	0,63
4	A	1	3	1	4	1	-3	2	3	2	0	1,40	0,56	-0,25	0,44
5	A	3	1	3	4	3	-2	0	3	3	1	1,90	0,69	0,13	0,44
6	A	0	1	0	-2	0	1	-1	-3	0	-1	-0,50	-0,06	0,13	-0,31
7	A	1	3	1	0	1	0	0	0	0	-1	0,50	0,31	0,13	-0,06
8	A	2	4	0	-3	1	0	0	3	0	0	0,70	0,19	0,13	0,19
9	A	1	1	3	-1	1	3	0	1	1	1	1,10	0,25	0,50	0,19
10	A	4	0	4	0	4	3	0	-1	0	0	1,40	0,50	0,88	-0,06
11	A	1	1	1	2	0	1	2	3	0	-2	0,90	0,31	0,13	0,19
12	A	1	0	0	-3	0	3	1	1	0	-2	0,10	-0,13	0,38	0,00
13	A	1	0	0	4	0	4	0	0	-3	0	0,60	0,31	0,50	-0,19
14	A	1	2	1	3	0	0	1	3	2	1	1,40	0,44	0,00	0,44
15	A	3	2	0	0	0	0	0	3	0	-2	0,60	0,31	0,00	0,06
16	A	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0,30	0,13	0,13	0,00
17	A	0	0	0	-3	0	0	1	3	-4	0	-0,30	-0,19	0,00	0,00
18	A	0	3	1	-2	1	0	0	3	-1	1	0,60	0,13	0,13	0,19
19	A	1	1	1	-3	1	-1	-1	0	0	3	0,20	0,00	0,00	0,13
20	A	0	4	4	0	4	-1	0	0	0	0	1,10	0,06	0,38	0,00
21	A	1	0	0	0	1	3	0	0	-1	-4	0,00	0,06	0,50	-0,31
22	A	1	3	1	-1	1	1	0	-2	-2	-2	0,00	0,25	0,25	-0,38
23	A	0	4	1	0	0	-4	0	3	3	-4	0,30	0,31	-0,50	0,13

Aluno	Turma	Delta Q11	Delta Q12	Delta Q13	Delta Q14	Delta Q21	Delta Q22	Delta Q31	Delta Q32	Delta Q33	Delta Q34	Delta geral	Delta GC1	Delta GC2	Delta GC3
24	A	4	4	0	4	0	3	4	0	-3	0	1,60	0,75	0,38	0,06
25	A	1	3	0	1	0	2	0	3	-1	0	0,90	0,31	0,25	0,13
26	A	3	3	1	0	1	0	0	1	2	0	1,10	0,44	0,13	0,19
27	A	1	1	0	2	0	0	2	0	2	0	0,80	0,25	0,00	0,25
28	A	1	1	1	3	0	1	1	0	-1	-1	0,60	0,38	0,13	-0,06
29	A	3	3	1	0	0	3	0	1	3	1	1,50	0,44	0,38	0,31
30	A	0	1	-1	0	0	-2	0	2	3	-1	0,20	0,00	-0,25	0,25
31	A	3	1	1	0	3	1	4	3	0	0	1,60	0,31	0,50	0,44
32	A	1	4	0	4	0	3	4	3	-1	0	1,80	0,56	0,38	0,38
33	A	1	0	0	0	1	1	0	1	3	-1	0,60	0,06	0,25	0,19
34	A	3	3	0	1	0	-3	2	1	1	0	0,80	0,44	-0,38	0,25
35	A	3	1	3	0	3	0	0	0	3	3	1,60	0,44	0,38	0,38
36	A	0	0	0	1	0	-1	0	1	1	-4	-0,20	0,06	-0,13	-0,13
37	A	3	1	1	3	1	0	0	1	0	0	1,00	0,50	0,13	0,06
38	A	1	4	0	0	1	-1	0	1	0	0	0,10	0,31	0,00	-0,25
39	A	0	1	0	0	1	0	0	0	-2	4	0,40	0,06	0,13	0,13
40	A	3	-2	2	0	0	3	2	2	0	0	1,00	0,19	0,38	0,25
41	A	2	1	2	0	0	0	0	3	3	-1	1,00	0,31	0,00	0,31
42	A	3	3	0	0	1	0	0	2	2	0	1,10	0,38	0,13	0,25
43	A	2	-3	2	-2	3	1	-1	2	0	0	0,40	-0,06	0,50	0,06
44	A	3	1	1	0	1	-2	0	1	2	0	0,70	0,31	-0,13	0,19
45	A	-2	3	0	0	0	3	0	1	0	-4	0,10	0,06	0,38	-0,19

Tabela 28 - Variações calculadas para a turma B

Aluno	Turma	Delta Q11	Delta Q12	Delta Q13	Delta Q14	Delta Q21	Delta Q22	Delta Q31	Delta Q32	Delta Q33	Delta Q34	Delta geral	Delta GC1	Delta GC2	Delta GC3
1	B	0	0	0	-1	0	3	0	4	2	0	0,80	-0,06	0,38	0,38
2	B	4	0	0	-1	0	2	0	0	0	-1	0,40	0,19	0,25	-0,06
3	B	-1	-4	-2	4	1	-1	0	2	-3	-2	-0,60	-0,19	0,00	-0,19
4	B	-3	3	0	0	1	-1	-1	0	0	0	-0,10	0,00	0,00	-0,06
5	B	1	0	0	1	0	-3	0	0	-1	0	-0,20	0,13	-0,38	-0,06
6	B	0	3	-2	1	0	3	1	0	4	-1	0,90	0,13	0,38	0,25
7	B	0	1	3	3	4	0	0	2	3	1	1,70	0,44	0,50	0,38
8	B	1	1	-1	1	-1	0	3	1	0	-1	0,40	0,13	-0,13	0,19
9	B	0	0	0	0	1	-4	0	1	0	0	-0,20	0,00	-0,38	0,06
10	B	0	1	-1	3	0	1	2	1	1	0	0,80	0,19	0,13	0,25
11	B	2	4	0	0	0	1	0	0	0	-1	0,60	0,38	0,13	-0,06
12	B	4	-1	3	-1	0	-1	-3	-3	4	0	0,20	0,31	-0,13	-0,13
13	B	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0,40	0,19	0,00	0,06
14	B	4	-1	4	0	1	-3	0	1	3	1	1,00	0,44	-0,25	0,31
15	B	0	4	3	3	0	0	1	1	-2	0	1,00	0,63	0,00	0,00
16	B	1	1	1	0	1	0	0	2	0	0	0,60	0,19	0,13	0,13
17	B	0	0	4	0	4	0	0	0	1	0	0,90	0,25	0,50	0,06
18	B	0	4	0	0	0	3	-1	1	1	1	0,90	0,25	0,38	0,13
19	B	1	4	0	-1	0	-4	0	-3	4	0	0,10	0,25	-0,50	0,06
20	B	1	3	1	-1	4	-4	-1	1	1	0	0,50	0,25	0,00	0,06
21	B	0	0	-2	3	-1	-2	0	-2	0	-4	-0,80	0,06	-0,38	-0,38
22	B	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0,60	0,19	0,00	0,19
23	B	0	3	0	-1	3	0	-1	3	3	1	1,10	0,13	0,38	0,38

Aluno	Turma	Delta Q11	Delta Q12	Delta Q13	Delta Q14	Delta Q21	Delta Q22	Delta Q31	Delta Q32	Delta Q33	Delta Q34	Delta geral	Delta GC1	Delta GC2	Delta GC3
24	B	3	-3	-4	3	-1	0	3	-1	1	-4	-0,30	-0,06	-0,13	-0,06
25	B	0	-1	0	-2	1	-2	1	0	0	0	-0,30	-0,19	-0,13	0,06
26	B	0	0	3	0	0	0	0	-3	0	0	0,00	0,19	0,00	-0,19
27	B	0	3	0	0	0	0	0	3	1	0	0,70	0,19	0,00	0,25
28	B	4	-4	0	0	1	-2	4	1	0	-2	0,20	0,00	-0,13	0,19
29	B	3	3	-1	-3	2	-2	0	1	0	-1	0,20	0,13	0,00	0,00
30	B	4	-1	0	0	0	-4	4	4	0	0	0,70	0,19	-0,50	0,50
31	B	0	0	3	0	-4	-3	0	4	-4	0	-0,40	0,19	-0,88	0,00
32	B	-4	1	0	0	1	0	-1	-1	2	0	-0,20	-0,19	0,13	0,00
33	B	1	0	0	2	0	-1	4	0	3	1	1,00	0,19	-0,13	0,50
34	B	4	3	3	0	1	-1	-3	3	4	1	1,50	0,63	0,00	0,31
35	B	3	0	-2	0	-3	1	-1	0	0	0	-0,20	0,06	-0,25	-0,06
36	B	3	0	0	3	0	2	0	-1	-2	1	0,60	0,38	0,25	-0,13
37	B	1	4	0	0	0	0	0	1	-1	1	0,60	0,31	0,00	0,06
38	B	2	3	3	0	1	-2	0	1	0	0	0,80	0,50	-0,13	0,06
39	B	1	2	3	0	1	0	1	-3	0	0	0,50	0,38	0,13	-0,13
40	B	1	0	3	2	-2	-2	4	-3	0	-1	0,20	0,38	-0,50	0,00
41	B	4	1	4	3	1	2	3	0	1	-1	1,80	0,75	0,38	0,19

Tabela 29 - Variações calculadas para a turma C

Aluno	Turna	Delta Q11	DeltaQ12	Delta Q13	Delta Q14	Delta Q21	Delta Q22	Delta Q31	Delta Q32	Delta Q33	Delta Q34	Delta geral	Delta GC1	Delta GC2	Delta GC3
1	C	0	-1	1	0	1	-2	0	2	1	0	0,20	0,00	-0,13	0,19
2	C	-3	4	1	0	1	-1	0	1	0	1	0,40	0,13	0,00	0,13
3	C	-1	1	1	0	1	-3	0	1	0	0	0,00	0,06	-0,25	0,06
4	C	2	0	1	0	-1	0	0	-1	0	0	0,10	0,19	-0,13	-0,06
5	C	0	-2	0	0	0	-2	0	1	0	0	-0,30	-0,13	-0,25	0,06
6	C	-2	-2	2	0	-2	0	-1	0	0	0	-0,50	-0,13	-0,25	-0,06
7	C	0	1	1	-1	-1	0	4	3	0	0	0,70	0,06	-0,13	0,44
8	C	3	0	1	3	4	-2	1	1	0	0	1,10	0,44	0,25	0,13
9	C	1	1	1	3	1	-2	0	2	-3	0	0,40	0,38	-0,13	-0,06
10	C	3	0	1	0	1	2	-3	3	0	1	0,80	0,25	0,38	0,06
11	C	3	-3	-2	1	1	2	-1	-2	1	0	0,00	-0,06	0,38	-0,13
12	C	0	1	0	-1	0	1	0	3	-2	2	0,40	0,00	0,13	0,19
13	C	1	1	0	2	0	0	0	0	3	-1	0,60	0,25	0,00	0,13
14	C	0	1	1	-1	-3	1	2	1	0	-1	0,10	0,06	-0,25	0,13
15	C	0	3	0	0	0	2	-1	0	0	0	0,40	0,19	0,25	-0,06
16	C	0	0	0	0	0	0	0	4	-2	0	0,20	0,00	0,00	0,13
17	C	1	4	0	0	0	-1	0	1	-2	0	0,30	0,31	-0,13	-0,06
18	C	0	4	0	1	0	1	2	0	3	-1	1,00	0,31	0,13	0,25
19	C	1	-1	1	0	1	0	0	1	0	1	0,40	0,06	0,13	0,13
20	C	1	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0,10	0,06	0,00	0,00
21	C	2	2	-1	0	0	-2	-2	1	1	-1	0,00	0,19	-0,25	-0,06
22	C	2	-2	2	2	3	-3	2	1	3	0	1,00	0,25	0,00	0,38
23	C	1	-1	3	-2	1	-1	0	1	-1	1	0,20	0,06	0,00	0,06

Aluno	Turna	Delta Q11	DeltaQ12	Delta Q13	Delta Q14	Delta Q21	Delta Q22	Delta Q31	Delta Q32	Delta Q33	Delta Q34	Delta geral	Delta GC1	Delta GC2	Delta GC3
24	C	1	3	1	0	1	3	0	1	1	0	1,10	0,31	0,50	0,13
25	C	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0,00	0,06	0,00	-0,06
26	C	-1	4	-1	0	0	1	0	0	-1	0	0,20	0,13	0,13	-0,06
27	C	-3	-3	1	0	1	0	0	1	0	0	-0,30	-0,31	0,13	0,06
28	C	-1	4	0	0	0	0	0	1	-2	0	0,20	0,19	0,00	-0,06
29	C	-1	-3	-2	0	0	0	2	1	-1	-3	-0,70	-0,38	0,00	-0,06
30	C	3	-3	0	-3	4	-3	0	2	0	0	0,00	-0,19	0,13	0,13
31	C	0	2	0	0	0	-1	0	0	0	0	0,10	0,13	-0,13	0,00
32	C	1	-3	3	-1	0	0	-1	3	1	0	0,30	0,00	0,00	0,19
33	C	0	-4	-4	3	0	-1	-3	0	-2	1	-1,00	-0,31	-0,13	-0,25
34	C	1	0	3	0	4	4	3	-3	3	1	1,60	0,25	1,00	0,25
35	C	4	-4	3	0	2	-2	1	4	3	0	1,10	0,19	0,00	0,50
36	C	0	0	-1	0	3	2	0	0	0	2	0,60	-0,06	0,63	0,13
37	C	1	1	0	1	4	0	0	0	0	-1	0,60	0,19	0,50	-0,06
38	C	0	2	1	0	1	0	0	2	-2	-1	0,30	0,19	0,13	-0,06
39	C	2	3	1	0	1	0	0	3	0	0	1,00	0,38	0,13	0,19
40	C	0	-3	0	0	0	0	0	4	4	-1	0,40	-0,19	0,00	0,44
41	C	3	1	3	0	0	-1	2	-2	-1	0	0,50	0,44	-0,13	-0,06
42	C	0	-2	-2	-1	1	1	1	-2	2	0	-0,20	-0,31	0,25	0,06
43	C	1	1	0	-1	1	-2	-1	1	1	1	0,20	0,06	-0,13	0,13
44	C	0	2	0	0	0	0	-3	0	-2	0	-0,30	0,13	0,00	-0,31
45	C	-3	3	-3	0	-3	3	-1	-1	-1	-3	-0,90	-0,19	0,00	-0,38
46	C	1	0	0	0	0	1	0	4	3	-1	0,80	0,06	0,13	0,38

Tabela 30 - Variações calculadas para a turma D

Aluno	Turma	Delta Q11	Delta Q12	Delta Q13	Delta Q14	Delta Q21	Delta Q22	Delta Q31	Delta Q32	Delta Q33	Delta Q34	Delta geral	Delta GC1	Delta GC2	Delta GC3
1	D	1	0	0	0	0	-3	0	3	2	2	0,50	0,06	-0,38	0,44
2	D	1	0	2	1	0	1	3	2	-1	0	0,90	0,25	0,13	0,25
3	D	1	4	0	3	4	2	0	1	-3	-3	1,20	0,50	0,75	-0,13
4	D	0	0	0	0	0	-3	0	0	2	1	0,00	0,00	-0,38	0,19
5	D	0	0	0	3	0	0	2	0	3	1	0,90	0,19	0,00	0,38
6	D	0	-1	0	3	1	0	3	0	3	0	0,90	0,13	0,13	0,38
7	D	1	0	0	0	0	-2	2	1	2	-2	0,20	0,06	-0,25	0,19
8	D	0	0	0	2	0	-3	0	0	0	-2	-0,30	0,13	-0,38	-0,13
9	D	1	0	0	0	0	-4	0	1	2	0	0,00	0,06	-0,50	0,19
10	D	0	2	-1	1	0	-2	2	0	0	0	0,20	0,13	-0,25	0,13
11	D	1	3	0	2	0	0	2	1	-1	-3	0,50	0,38	0,00	-0,06
12	D	1	4	0	4	0	0	4	0	-1	-1	1,10	0,56	0,00	0,13
13	D	0	0	3	3	0	-3	1	3	-2	-2	0,30	0,38	-0,38	0,00
14	D	1	1	0	3	1	1	-1	0	1	1	0,80	0,31	0,25	0,06
15	D	0	3	0	0	0	3	1	-1	0	0	0,60	0,19	0,38	0,00
16	D	0	3	-2	-1	0	1	-2	0	0	0	-0,10	0,00	0,13	-0,13
17	D	0	4	1	2	-1	-1	-1	1	0	0	0,50	0,44	-0,25	0,00
18	D	1	-4	3	3	0	1	2	0	0	0	0,60	0,19	0,13	0,13
19	D	3	0	0	0	0	1	0	1	0	-3	0,20	0,19	0,13	-0,13
20	D	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,10	0,00	0,00	0,06
21	D	3	-3	-3	-3	0	-2	-2	3	3	0	-0,40	-0,38	-0,25	0,25
22	D	4	3	1	4	3	0	3	2	0	-1	1,80	0,69	0,38	0,25
23	D	1	1	1	3	0	-3	0	1	0	-1	0,30	0,38	-0,38	0,00
24	D	0	4	3	4	0	-1	4	0	0	-3	1,10	0,69	-0,13	0,06
25	D	0	3	1	3	0	0	4	0	1	-3	0,90	0,44	0,00	0,13
26	D	1	-3	0	1	0	-3	1	-1	-1	1	-0,40	-0,06	-0,38	0,00
27	D	0	3	3	3	0	0	4	1	0	-4	1,00	0,56	0,00	0,06
28	D	1	0	1	3	3	0	0	0	0	0	0,80	0,31	0,38	0,00
29	D	4	3	1	1	0	-4	0	-4	0	-1	0,00	0,56	-0,50	-0,31
30	D	1	4	0	4	0	0	3	0	0	-2	1,00	0,56	0,00	0,06
31	D	1	0	-2	2	0	2	0	2	0	0	0,50	0,06	0,25	0,13
32	D	2	0	0	3	-3	2	3	-1	4	-3	0,70	0,31	-0,13	0,19
33	D	0	1	0	0	1	-2	0	0	2	0	0,20	0,06	-0,13	0,13
34	D	4	0	0	3	0	0	3	3	0	-1	1,20	0,44	0,00	0,31
35	D	1	3	0	0	0	0	-1	-2	-1	0	0,00	0,25	0,00	-0,25
36	D	0	-3	1	1	0	-3	1	1	0	-1	-0,30	-0,06	-0,38	0,06
37	D	0	1	0	4	0	-2	3	1	0	-3	0,40	0,31	-0,25	0,06

Tabela 31 - Variações calculadas para a turma E

Aluno	Turma	Delta Q11	Delta Q12	Delta Q13	Delta Q14	Delta Q21	Delta Q22	Delta Q31	Delta Q32	Delta Q33	Delta Q34	Delta geral	Delta GC1	Delta GC2	Delta GC3
1	E	1	4	3	4	0	-2	4	4	0	-1	1,70	0,75	-0,25	0,44
2	E	0	0	0	3	0	-1	4	1	-2	0	0,50	0,19	-0,13	0,19
3	E	1	2	0	0	0	2	2	3	2	-2	1,00	0,19	0,25	0,31
4	E	0	2	1	3	0	-1	0	2	0	0	0,70	0,38	-0,13	0,13
5	E	0	-1	1	3	1	2	2	0	1	-2	0,70	0,19	0,38	0,06
6	E	0	4	-1	0	0	3	1	1	-1	0	0,70	0,19	0,38	0,06
7	E	0	0	0	0	-1	2	2	0	2	1	0,60	0,00	0,13	0,31
8	E	0	2	0	4	0	-1	0	-2	0	0	0,30	0,38	-0,13	-0,13
9	E	1	3	0	0	0	-4	0	0	0	0	0,00	0,25	-0,50	0,00
10	E	0	0	0	1	0	-3	1	0	1	0	0,00	0,06	-0,38	0,13
11	E	3	-4	0	2	0	-3	0	1	2	0	0,10	0,06	-0,38	0,19
12	E	1	4	0	3	1	-1	4	1	-2	1	1,20	0,50	0,00	0,25
13	E	0	4	4	3	4	0	4	0	2	0	2,10	0,69	0,50	0,38
14	E	0	0	0	0	0	0	0	1	-2	2	0,10	0,00	0,00	0,06
15	E	3	3	1	3	0	-2	3	0	0	-1	1,00	0,63	-0,25	0,13
16	E	1	3	0	-1	0	-1	0	1	-1	-2	0,00	0,19	-0,13	-0,13
17	E	1	0	0	2	0	0	3	-2	0	0	0,40	0,19	0,00	0,06
18	E	1	-4	4	3	3	0	3	3	2	0	1,50	0,25	0,38	0,50
19	E	1	4	4	1	4	0	4	4	3	0	2,50	0,63	0,50	0,69
20	E	-3	4	1	3	-4	0	2	0	0	0	0,30	0,31	-0,50	0,13
21	E	3	0	0	3	0	-4	0	1	1	0	0,40	0,38	-0,50	0,13
22	E	3	0	0	4	0	-4	-1	2	4	-1	0,70	0,44	-0,50	0,25
23	E	1	0	0	1	0	-3	1	0	3	1	0,40	0,13	-0,38	0,31
24	E	0	0	0	2	0	-2	2	0	0	0	0,20	0,13	-0,25	0,13
25	E	0	4	4	-1	0	0	-1	1	-1	0	0,60	0,44	0,00	-0,06
26	E	-1	3	-3	2	4	0	1	0	0	0	0,60	0,06	0,50	0,06
27	E	-3	-4	0	0	0	-1	0	-3	-1	-3	-1,50	-0,44	-0,13	-0,44
28	E	0	0	0	0	0	-3	3	-2	0	0	-0,20	0,00	-0,38	0,06

Tabela 32 - Variações calculadas para a turma F

Aluno	Turma	Delta Q11	Delta Q12	Delta Q13	Delta Q14	Delta Q21	Delta Q22	Delta Q31	Delta Q32	Delta Q33	Delta Q34	Delta geral	Delta GC1	Delta GC2	Delta GC3
1	F	1	0	3	0	4	0	-3	1	0	-1	0,50	0,25	0,50	-0,19
2	F	1	0	0	3	0	-2	0	1	0	0	0,30	0,25	-0,25	0,06
3	F	-1	1	1	2	0	0	2	0	0	-1	0,40	0,19	0,00	0,06
4	F	1	1	-1	3	0	-3	1	0	0	0	0,20	0,25	-0,38	0,06
5	F	-4	-1	1	0	3	-3	3	0	1	-2	-0,20	-0,25	0,00	0,13
6	F	0	1	0	0	0	1	0	-1	0	0	0,10	0,06	0,13	-0,06
7	F	3	1	0	3	0	-4	1	2	3	0	0,90	0,44	-0,50	0,38
8	F	1	2	0	4	-1	-4	4	4	4	2	1,60	0,44	-0,63	0,88
9	F	0	0	2	1	0	-2	1	0	0	0	0,20	0,19	-0,25	0,06
10	F	0	-3	-2	2	3	0	-2	0	-2	-1	-0,50	-0,19	0,38	-0,31
11	F	4	3	0	0	3	-3	-3	3	0	-1	0,60	0,44	0,00	-0,06
12	F	1	0	-1	0	0	3	0	-2	-2	0	-0,10	0,00	0,38	-0,25
13	F	0	0	-1	2	3	3	3	2	0	0	1,20	0,06	0,75	0,31
14	F	-1	1	4	2	0	-1	2	0	2	0	0,90	0,38	-0,13	0,25
15	F	0	-1	0	0	0	-1	-1	-2	2	0	-0,30	-0,06	-0,13	-0,06
16	F	1	0	0	0	1	-3	0	3	0	0	0,20	0,06	-0,25	0,19
17	F	-1	3	-1	3	0	0	3	2	3	3	1,50	0,25	0,00	0,69
18	F	0	0	0	3	0	3	2	0	0	-2	0,60	0,19	0,38	0,00
19	F	-1	4	0	0	-4	1	4	2	-3	-1	0,20	0,19	-0,38	0,13
20	F	2	1	4	1	1	-2	1	-3	-1	2	0,60	0,50	-0,13	-0,06
21	F	1	-4	1	-3	-4	-2	-2	0	0	0	-1,30	-0,31	-0,75	-0,13
22	F	0	0	1	0	1	0	1	-2	0	0	0,10	0,06	0,13	-0,06
23	F	0	2	4	2	0	1	3	4	0	-1	1,50	0,50	0,13	0,38
24	F	1	4	3	-3	0	0	1	-3	0	0	0,30	0,31	0,00	-0,13
25	F	-4	-3	4	2	0	-1	2	2	1	0	0,30	-0,06	-0,13	0,31
26	F	3	3	-1	3	0	-3	3	0	-2	0	0,60	0,50	-0,38	0,06
27	F	-1	0	3	-3	0	-1	-2	0	-3	0	-0,70	-0,06	-0,13	-0,31
28	F	1	1	0	4	0	2	4	0	2	0	1,40	0,38	0,25	0,38

18 APÊNDICE G – Dendogramas

Figura 26 - Dendograma para o grupo conceitual 1 (turmas A, B e C)

Figura 27 - Dendograma para o grupo conceitual 1 (turmas D, E e F)

Figura 28 - Dendograma para o grupo conceitual 2 (turmas A, B e C)

Figura 29 - Dendograma para o grupo conceitual 2 (turmas D, E e F)

Figura 30 - Dendograma para o grupo conceitual 3 (turmas A, B e C)

Figura 31 - Dendograma para o grupo conceitual 3 (turmas D, E e F)

Figura 32 - Dendograma geral das turmas A, B e C

Figura 33 - Dendograma geral das turmas D, E e F