



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE  
DO PARANÁ**  
***Campus Cornélio Procópio***

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO**

---

THAYNARA APARECIDA MACHADO

**PRODUÇÃO TÉCNICA EDUCACIONAL**

**ENSINO DE BOTÂNICA:  
UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ATUALIZAÇÃO DOS  
CONHECIMENTOS ACERCA DO ESTRESSE ABIÓTICO E  
DA COMUNICAÇÃO RADICULAR DE PLANTAS NO ENSINO  
SUPERIOR**

THAYNARA APARECIDA MACHADO

## **PRODUÇÃO TÉCNICA EDUCACIONAL**

### **ENSINO DE BOTÂNICA: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ATUALIZAÇÃO DOS CONHECIMENTOS ACERCA DO ESTRESSE ABIÓTICO E DA COMUNICAÇÃO RADICULAR DE PLANTAS NO ENSINO SUPERIOR**

Produção Técnica Educacional apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino da Universidade Estadual do Norte do Paraná – *Campus* Cornélio Procópio, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Souza Poletto

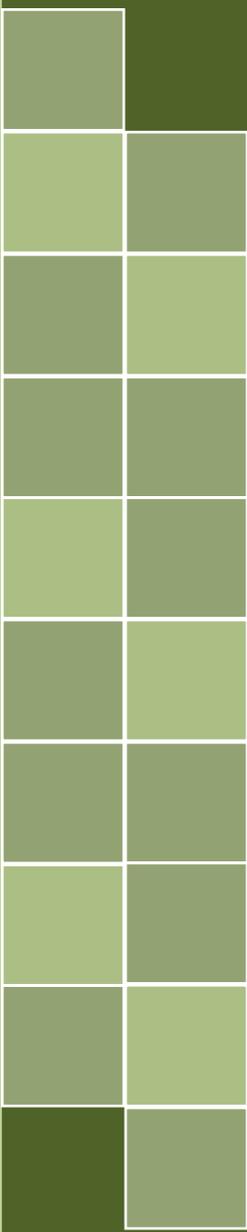
CORNÉLIO PROCÓPIO – PR  
2018

Ficha catalográfica elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UENP

Mp Machado, Thaynara Aparecida  
Produção Técnica Educacional - Ensino de Botânica:  
uma sequência didática para atualização dos  
conhecimentos acerca do estresse abiótico e da  
comunicação de plantas no Ensino Superior / Thaynara  
Aparecida Machado; orientador Rodrigo de Souza  
Poletto - Cornélio Procópio, 2018.  
57 p.

Dissertação (Mestrado em Ensino) - Universidade  
Estadual do Norte do Paraná, Centro de Ciências  
Humanas e da Educação, Programa de Pós-Graduação em  
Ensino, 2018.

1. Ensino de Botânica. 2. Fisiologia vegetal. 3.  
Formação inicial . 4. Transposição didática. 5.  
Sequência didática. I. Poletto, Rodrigo de Souza,  
orient. II. Título.



---

---

# ENSINO DE BOTÂNICA

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA  
ATUALIZAÇÃO DOS CONHECIMENTOS  
ACERCA DO ESTRESSE ABIÓTICO E DA  
COMUNICAÇÃO RADICULAR DE PLANTAS NO  
ENSINO SUPERIOR

# SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO .....	6
1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA.....	12
1.1	FORMAÇÃO DE PROFESSORES E SABERES DOCENTES: UM OLHAR PARA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS/BIOLOGIA .....	12
1.2	TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA E ATUALIZAÇÃO DOS CONHECIMENTOS CIENTÍFICOS RECENTES NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES.....	15
1.3	ABORDAGEM DO CONTEÚDO DE ESTRESSE ABIÓTICO E COMUNICAÇÃO RADICULAR.....	17
1.3.1	Estresse Abiótico.....	17
1.3.2	Comunicação Vegetal .....	18
1.4	SEQUÊNCIA DIDÁTICA E OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS: ELABORAÇÃO E APRESENTAÇÃO DAS ATIVIDADES .....	19
2	PRODUÇÃO TÉCNICA EDUCACIONAL .....	22
2.1	SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ATUALIZAÇÃO DOS CONHECIMENTOS ACERCA DO ESTRESSE ABIÓTICO E DA COMUNICAÇÃO RADICULAR DE PLANTAS NO ENSINO.....	25
3	SUGESTÕES DE LEITURAS .....	37
	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	38
	REFERÊNCIAS.....	39
	APÊNDICES .....	40
	APÊNDICE A – Avaliação diagnóstica .....	41
	APÊNDICE B – Situação problema.....	42
	APÊNDICE C – Avaliação formativa.....	43
	APÊNDICE D – Regras do jogo .....	44
	APÊNDICE E – Questões do jogo .....	45

APÊNDICE F – Situação problema .....	49
APÊNDICE G – Avaliação somativa.....	51
ANEXOS.....	52
ANEXO A – Texto para discussão .....	52

# INTRODUÇÃO

---

O desenvolvimento desse trabalho foi motivado pela preocupação quanto à formação inicial de professores de Ciências e Biologia para o ensino de Botânica. A partir de nossas experiências enquanto estudantes em um curso de licenciatura em Ciências Biológicas e pesquisadores iniciantes na área do ensino, entendemos que o processo de ensino e a aprendizagem destes conteúdos se torna razão de apreensão por parte de professores e alunos<sup>1</sup>.

A Botânica é uma subárea da Biologia que envolve muitas áreas de estudo, como a Fisiologia Vegetal, que estuda o funcionamento das plantas; a Morfologia e a Anatomia Vegetal que estudam respectivamente a forma e as estruturas internas das plantas; a Sistemática Vegetal, que estuda os critérios e as características que envolvem a classificação dos grupos vegetais; entre outras.

Em nossas experiências, vimos o desinteresse de alunos e a dificuldade de compreensão com relação aos conteúdos da Botânica. Do mesmo modo, diversos trabalhos têm demonstrado que o ensino de Botânica é caracterizado por apresentar dificuldades de aprendizagem para os alunos, devido ao fato de o conteúdo apresentar muitos termos técnicos, muitas vezes desatualizados, de difícil assimilação e que são transmitidos de maneira distante da realidade social. Além disso, pesquisas também indicam a dificuldade para o ensino destes conteúdos pelos próprios professores, que consideram a Botânica uma temática complexa (SILVA, 2008; FIGUEIREDO 2009; TOWATA; URSI; SANTOS, 2010; NASCIMENTO et al, 2017).

No entanto, é uma necessidade formativa dos professores do campo das Ciências Naturais que atuem no Ensino Fundamental e Médio que conheçam o conteúdo a ser ensinado. Entretanto, isto implica em ter conhecimentos profissionais muito diversos, que vão para além do que habitualmente se aborda nos cursos universitários – entre eles, ter algum conhecimento dos desenvolvimentos científicos recentes e suas perspectivas para poder proporcionar uma visão dinâmica e não fechada da ciência (CARVALHO; GIL-PÉREZ, 2011).

---

<sup>1</sup> Nesta pesquisa, referimos como Alunos os que cursam a Educação Básica de Ensino, e como Estudantes/Licenciandos/Acadêmicos, os que cursam Ensino Superior – formação inicial.

---

Para que futuros professores de Ciências e Biologia, ao lecionarem suas disciplinas, não fiquem pautados apenas em conceitos dos livros didáticos, que podem conter erros conceituais, embora sejam importantes materiais de uso dos professores, acreditamos que estes devem ser estimulados desde a sua formação inicial a buscarem conhecimentos recentes, a fim de atualizar sua prática. No entanto, durante nossa experiência como estudantes de licenciatura, o que vemos durante o Ensino Superior são docentes que também pautam suas aulas somente no que os livros acadêmicos abordam, sem mencionar estudos recentes ou sem estimular seus estudantes a pesquisar acerca do que a comunidade científica vem abordando recentemente, o que pode contribuir para contextualizar e compreender determinados assuntos.

Além disso, vemos tanto a necessidade de que o professor busque por alternativas que facilitem e auxiliem nos processos de ensino e de aprendizagem, quanto que os futuros professores tenham uma formação inicial adequada relacionada aos conteúdos da Botânica, assim como à atualização desses conhecimentos.

Ao realizarmos buscas a respeito do ensino de Botânica, nos deparamos com o trabalho de Silva, Cavallet e Alquini (2005) o qual demonstra que havia uma escassa produção científica na área de ensino de Botânica no Brasil, que poderia auxiliar na melhoria do ensino dos conteúdos dessa área. Ao realizarem um levantamento em anais dos Congressos Nacionais de Botânica, os autores observaram que 127 trabalhos foram apresentados na sessão temática ensino de Botânica, no período de 1995 até 2002. Destes 127, aproximadamente 29% (Tabela 1) enfocaram o ensino para a graduação; os outros trabalhos, em sua maioria, contemplaram o Ensino Fundamental e Médio, ao passo que outros apresentaram materiais didáticos que possam ser utilizados por diferentes públicos.

Tabela 1 – Trabalhos sobre ensino de Botânica apresentados nos Congressos Nacionais de Botânica de 1995 a 2002

Ano	Total de trabalhos sobre o ensino de Botânica	Trabalhos com enfoque no ensino superior
2002	32	7
2001	24	8
2000	22	4
1999	10	1
1998	10	5
1997	11	3
1996	6	4
1995	12	5
Total	127	37
%	100	29,13

Fonte: Silva, Cavallet e Alquini (2005).

Passados mais de 10 anos da publicação de Silva, Cavallet e Alquini (2005), pudemos observar em um levantamento que realizamos no período de abril de 2017 a fevereiro de 2018, na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), no portal de periódicos CAPES e nos periódicos de índices restritos da área de Ensino, *Qualis* A1, A2 e B1 (Quadriênio 2013-2016), que pouca produção na área do ensino de Botânica tem sido realizada<sup>2</sup>.

O levantamento nas três bases de dados resultou na análise de 6.104 trabalhos, dos quais apenas 49 (0,8%) englobavam o ensino de Botânica nos diferentes níveis educacionais: Fundamental, Médio, Superior e espaços não formais. Ainda, dos trabalhos resultantes, 13 estão voltados para o Ensino Superior. A partir destes dados foi possível perceber que existe uma carência de trabalhos voltados ao ensino de Botânica, em um âmbito geral. Os dados podem ser visualizados na tabela 2.

<sup>2</sup> Levantamento completo submetido à revista Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista (ENCITEC).

Tabela 2 – Revisão Sistemática da Literatura acerca do ensino de botânica, no período de 2007 a 2017

Base de dados	Total de trabalhos analisados	Trabalhos sobre ensino de botânica	Trabalhos com enfoque no Ensino Superior
IBICT	238	07	01
Portal de periódicos CAPES	37	12	04
Periódicos de índice restrito em Ensino Qualis A1, A2 e B1	5829	30	05
Total	6104	49	10

Fonte: dos autores (2018).

Os trabalhos apresentaram abordagens diferentes para o ensino de Botânica, de modo a diferenciar o ensino tradicional e buscar um maior interesse dos estudantes pela temática. Tais abordagens referem-se à utilização e elaboração de diferentes recursos didáticos, assim como de estratégias que estimulam a reflexão dos alunos, utilização de aulas práticas e aulas de campo. Alguns destes trabalhos englobam a elaboração destes recursos e estratégias didáticas por licenciandos em Ciências Biológicas, a fim de favorecer a formação inicial. Além disso, apresentam trabalhos que discutem as concepções de professores e estudantes de graduação sobre o ensino e a aprendizagem da Botânica, enquanto formadores e futuros docentes.

No entanto, nenhum dos trabalhos enfoca a temática para promover a atualização dos conhecimentos científicos recentes da Botânica, tampouco focam o ensino de conteúdos da Fisiologia Vegetal, destacando a carência de pesquisas nesta área. Desse modo, o ensino de Botânica apresenta um cenário propício a pesquisas que possibilitem o estabelecimento de relações coerentes com estratégias de ensino que utilizem a atualização de conhecimentos científicos para favorecer a formação inicial de professores.

Nesta perspectiva, configuramos a seguinte questão de pesquisa: Quais possíveis contribuições a elaboração de uma sequência didática sobre estresse abiótico e comunicação radicular poderiam promover no processo de aprendizagem desses conteúdos, no âmbito da formação inicial de professores de Ciências/Biologia?

---

Segundo Zabala (1998), das diferentes variáveis metodológicas, a opção de começar pelas sequências é justificada se levarmos em conta a principal importância das intenções educacionais na definição dos conteúdos de aprendizagem e, portanto, do papel das atividades que se propõem. Assim,

[...] a identificação das fases de uma sequência didática, as atividades que a conformam e as relações que se estabelecem devem nos servir para compreender o valor educacional que têm, as razões que as justificam e a necessidade de introduzir mudanças ou atividades novas que a melhorem (ZABALA, 1998 p. 54).

Nesse contexto, a atualização do conhecimento científico possui grande relevância, visto que, segundo Marandino (2005 p. 162), “[...] os processos e produtos da ciência e da técnica impregnam nosso cotidiano e [...] é fundamental que se promova a apropriação desses conhecimentos pela população como forma de inclusão social”. Desse modo, a autora considera Chevallard (1991) um autor essencial para compreensão do processo de transformação do conhecimento científico, em razão dele ser o principal responsável pela divulgação do conceito de transposição didática. Na perspectiva de Neves (2009), à luz de Chevallard, o objetivo da transposição didática é o de propiciar o contínuo processo de atualizações dos saberes escolares advindos dos saberes científicos.

Logo, a transposição didática é uma ferramenta que não só contribui para a atualização dos saberes escolares, mas que também pode contribuir para a formação de professores, a fim de que estes possam refletir sobre sua ação e prática de ensino, visto que sempre irão se deparar com conteúdos novos ao longo de sua jornada como docente. Desse modo, tal processo pode contribuir para compreender de que forma novos conhecimentos podem ser inclusos nas aulas, contextualizando os conteúdos de uma disciplina específica.

Conforme apontam Marandino, Selles e Ferreira (2009), a prática docente compreendida como uma simples reprodução de conhecimentos simplificados passa a ser reconhecida em seu caráter criativo de transformação dos conhecimentos científicos e acadêmicos em conhecimentos escolares. Assim, a transposição didática pode contribuir para o redimensionamento da formação inicial e das atividades de formação continuada.

---

Em vista disso, o objetivo geral deste trabalho consistiu em realizar uma transposição didática do conhecimento científico a respeito do estresse abiótico e a da comunicação radicular, por meio de uma sequência didática, para estudantes de um curso de licenciatura em Ciências Biológicas, a fim de promover a atualização destes conhecimentos científicos e contribuir para o processo de formação inicial de professores.

Assim, para atingir o referido objetivo geral, elencamos alguns objetivos específicos: a) compreender, por meio de uma revisão sistemática da literatura, de que forma a Botânica é trabalhada no Ensino Superior e se conhecimentos científicos recentes relacionados a este conteúdo são abordados na formação inicial de professores; b) investigar as especificidades formativas dos professores do campo das Ciências; c) apresentar as contribuições da transposição didática de Chevallard para a atualização de conhecimentos científicos; d) evidenciar o conhecimento científico recente de comunicação radicular de plantas, relacionando-o ao conteúdo de resposta ao estresse abiótico; e) elencar os subsídios teórico-metodológicos para o processo de construção de uma sequência didática; f) construir e aplicar uma sequência didática para a atualização dos conhecimentos científicos de estresse abiótico e comunicação radicular, em uma turma do 4º ano de uma licenciatura em Ciências Biológicas; g) analisar as atividades dos estudantes que participaram da pesquisa e as contribuições e/ou limitações da aplicação da sequência didática.

Para tanto, no primeiro capítulo desta produção técnica, o referencial teórico-metodológico que fundamentou a elaboração da nossa sequência didática. No segundo capítulo, apresentamos a estrutura completa da sequência didática elaborada e as atividades propostas.

O quarto capítulo, por sua vez, apresenta alguns referenciais como sugestão de leitura, para apoio. Por fim, elencamos as considerações finais resultantes da aplicação da sequência didática.

# 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

---

## 1.1

### FORMAÇÃO DE PROFESSORES E SABERES DOCENTES: UM OLHAR PARA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS/BIOLOGIA

A prática docente envolve a mobilização de diversos saberes, os quais são adquiridos por diversos meios. Além disso, algumas áreas do conhecimento necessitam de especificidades formativas para uma melhor atuação docente, como as Ciências Naturais.

De acordo com Tardif (2014), o professor possui um saber plural que provem de várias fontes, como seus saberes curriculares, os saberes de sua própria experiência profissional, os saberes disciplinares e os saberes da sua formação. Além disso, o saber do professor também é temporal, pois é adquirido no contexto de uma história de vida e de uma carreira profissional, estando diretamente relacionado com as interações dos alunos.

No mesmo sentido, para Gauthier et al (2013) a prática docente é formada por um reservatório, a partir do qual os professores se abastecem para lidar com as exigências apresentadas em sua realidade de ensino.

Logo, a formação de professores, inicial e continuada, envolve o processo de autoformação a partir da reelaboração constante dos saberes que realizam em sua prática, confrontados diante suas experiências no âmbito escolar, e envolve também o processo de formação nas instituições escolares em que atuam (PIMENTA, 2000).

Desse modo, faz-se importante que a formação inicial possibilite ao futuro professor ir construindo seus saberes-fazeres docentes, adequando-os às especificidades formativas da sua área de formação.

No âmbito da área das Ciências Naturais, as disciplinas de Ciências e Biologia são marcadas historicamente por inúmeras críticas relacionadas a um ensino que favorece a descrição e a memorização, constituído por aulas e avaliações

---

consideradas pouco significativas para que os estudantes possam realizar conexões com finalidades além dos conhecimentos biológicos (MARANDINO; SELLES; FERREIRA, 2009).

Assim, para que o ensino de Ciências possa ser eficaz, é importante que as abordagens metodológicas utilizadas durante as aulas busquem despertar o interesse dos alunos. Dessa maneira, existe a necessidade de utilização de estratégias de ensino que visem apresentar ao aluno uma Ciência concreta, relativa ao seu convívio sócio-cultural, e que permita a ele compreender, contextualizar e intervir sobre ela (CACHAPUZ et al., 2005). Nesse contexto, ensinar Ciências e Biologia na Educação Básica apresenta-se como uma tarefa complexa (MARANDINO; SELLES; FERREIRA, 2009), que cada vez mais demonstra a necessidade de mudanças diante a prática docente.

Diante a complexidade que é ensinar Ciências, Carvalho e Gil-Pérez (2011) defendem uma orientação da prática pedagógica como um trabalho coletivo de inovação, pesquisa e formação permanente e apresentam algumas necessidades que devem ser consideradas na formação do professor do campo das Ciências, como: a) a ruptura com visões simplistas sobre o ensino de Ciências; b) conhecer a matéria a ser ensinada; c) questionar as ideias docentes de “senso comum” sobre o ensino e aprendizagem das Ciências; d) adquirir conhecimentos teóricos sobre a aprendizagem das Ciências; e) saber analisar criticamente o “ensino tradicional”; f) saber preparar atividades capazes de gerar uma aprendizagem efetiva; g) saber dirigir o trabalho dos alunos; h) saber avaliar e i) adquirir a formação necessária para associar ensino e pesquisa.

Estas especificidades formativas constituem um conjunto necessário para a formação do professor de Ciências, as quais devem ser consideradas tanto na formação inicial, quanto na formação continuada. No entanto, cada uma delas exige conhecimentos muito diversos.

Mesmo que pareça um tanto quanto óbvio que o conhecimento do conteúdo é indispensável para a formação do professor, esse item possui particularidades que, muitas vezes, não são levadas em consideração durante a prática docente. Conhecer o conteúdo da disciplina vai muito além do que a mera reprodução do exposto nos livros didáticos e materiais de apoio. Para um bom

---

conhecimento da Ciência, é necessário um aprofundamento pelo professor. Todavia, os professores não são estimulados a buscar por esse aprofundamento, e acabam repetindo o que aprenderam como alunos, ao longo dos anos, durante sua formação escolar e acadêmica.

Assim, cabe aos docentes formadores, seja na formação inicial ou continuada, incentivar a busca por estes conhecimentos para que os professores possam contribuir para a aprendizagem dos alunos, no perfil atual.

Diante disto,

*Estar em sintonia com a produção contemporânea – para além daquela que tradicionalmente é abordada – e com os resultados da pesquisa em ensino de Ciências é algo imprescindível para uma atuação docente consistente, seja a dos professores de Ciências, seja a de seus formadores (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011, p. 23, grifos dos autores).*

Desse modo, ter conhecimentos científicos desenvolvidos recentemente e suas perspectivas é importante para poder proporcionar aos alunos uma visão mais dinâmica, não fechada da Ciência. Assim como, relacioná-los aos conhecimentos de outras áreas, para abordar as interações existentes entre elas, de forma a evitar uma imagem estagnada dos conteúdos (CARVALHO; GIL-PÉREZ, 2011).

Logo, desenvolver atividades que contribuam para a atualização de conhecimentos científicos recentes, desde a formação inicial, pode encorajar os professores de Ciências a desenvolver atividades que façam os alunos pensarem criticamente e com profundidade sobre o papel da ciência no mundo moderno.

Diante dos diversos saberes a serem mobilizados durante uma adequada prática docente, consideraremos, além dos conhecimentos específicos de Botânica que serão abordados em nossa sequência didática, as dimensões pedagógicas do ensino e da aprendizagem desses conteúdos, conforme orienta a literatura de formação de professores evidenciada neste trabalho.

Nesta seção, buscamos apresentar possíveis contribuições da transposição didática apresentada por Chevallard (1991) para a atualização dos conhecimentos científicos para que o professor possa refletir sobre sua ação e analisar sua prática de ensino, visto que a transposição didática trata das transformações ocorridas a partir da produção dos saberes científicos até chegarem aos saberes escolares, que resultam no saber que o professor aborda em sala de aula.

Para Chevallard (1991, p. 45):

Um conteúdo de saber que tem sido designado como saber a ensinar, sofre a partir de então um conjunto de transformações adaptativas que vão torná-lo apto para ocupar um lugar entre os *objetos de ensino*. O "trabalho" que transforma de um objeto de saber a ensinar em objeto de ensino é denominado *de transposição didática*. [grifos do autor - tradução nossa]

Essas transformações que ocorrem de um conteúdo de conhecimento preciso para uma versão didática de conhecimento a ser ensinado podem ser denominadas "transposição didática *stricto sensu*" (CHEVALLARD, 1991). Segundo Chevallard, os saberes podem ser classificados em três níveis: o saber sábio, o saber a ser ensinado e o saber ensinado. O saber sábio é o advindo da produção do conhecimento científico, que possui uma linguagem e formatação própria na qual o cientista está inserido. Para que seja ensinado, o saber sábio é adaptado para se tornar um saber a ser ensinado, tornando-se assim um conhecimento escolarizável. O saber a ser ensinado ao ser transmitido em sala de aula pelo professor transforma-se em um saber ensinado, o qual é um processo pessoal, de cada professor, pois leva em consideração a intersubjetividade da sua prática.

Essas transformações, portanto, ocorrem em dois momentos: a transposição didática externa e interna. Na transposição didática externa, o saber sábio é selecionado externamente ao meio escolar, e é transformado em saber a ser ensinado, a partir de regras que se estabeleceram com o tempo. A transposição didática interna ocorre no próprio ambiente escolar, no qual o saber a ser ensinado é

---

realmente ensinado na sala de aula por meio da abordagem pedagógica selecionada pelo professor, transformando-se assim em saber ensinado (ALVES FILHO, 2000; NEVES, 2009).

Um saber, ao se tornar um saber a ser ensinado ou ensinado, deve manter semelhanças com saber original, adquirindo significados próprios para o ambiente escolar, sem ocorrer deformações. Desse modo, a transformação dos saberes não deve ocorrer por meras simplificações, estes devem ser adaptados conforme a necessidade específica de ensino (NEVES, 2009).

De acordo com Chevallard, a existência da transposição didática está atrelada ao princípio da vigilância epistemológica, o qual consiste em evitar que durante a transposição ocorra uma deformação no processo de didatização dos saberes e que os mesmos percam seus significados em relação aos saberes que lhes deram origem. É relevante salientar que tanto o pesquisador que elabora o conteúdo, quanto o professor podem aplicar tal princípio.

Como abordado nesta seção, a transposição didática ocorre no âmbito do saber escolar, portanto tais saberes possuem diferenças dos saberes das disciplinas acadêmicas. No entanto, mesmo que os saberes de tais disciplinas estejam mais próximos dos conhecimentos científicos, neles também ocorrem transformações para que sejam ensinados no Ensino Superior (MARANDINO, SELLES, FERREIRA, 2009).

Desse modo, para as autoras, existem de fato diferenças entre os conhecimentos escolares e acadêmicos, porém estes também se distinguem dos saberes científicos.

Por conseguinte, levar em consideração os cuidados e requisitos apresentados pela transposição didática é importante não só para os saberes escolares (da Educação Básica), mas também para os saberes acadêmicos, a serem ensinados na formação de professores.

Tendo conhecimento de tais princípios (como o da vigilância epistemológica), os docentes formadores e professores podem apresentar a seus alunos temáticas científicas desenvolvidas recentemente, com a finalidade de atualizar os conhecimentos científicos dos conteúdos e estimular os futuros professores inserirem essa abordagem em suas práticas pedagógicas.

Partindo do objetivo de possibilitar a atualização dos conhecimentos para estudantes da disciplina de Fisiologia Vegetal, pensamos em abordar o tema da comunicação radicular de plantas, que é um assunto que vem sendo estudado nos últimos anos por pesquisadores nacionais e internacionais e que ainda não é abordado nos cursos de Ciências Biológicas. Para isso, utilizamos como fundamentação as considerações da transposição didática de Chevallard e os conhecimentos científicos trazidos na tese de Franco (2017), intitulada: *Comunicação radicular induzida por diferentes tipos de substâncias químicas*.

Em sua tese, o autor apresenta o desenvolvimento da pesquisa realizada em seu doutorado e um vasto referencial teórico acerca de estudos relacionados à temática, no qual nos baseamos para a textualização deste capítulo.

Para contextualizar o assunto de comunicação radicular a partir de conteúdos presentes nos livros acadêmicos utilizados pelos estudantes, utilizamos o conteúdo de estresse abiótico, que vai ao encontro do que é abordado na pesquisa desenvolvida por Franco e também dos referências que o pesquisador contempla no decorrer de seu trabalho.

### 1.3.1 Estresse Abiótico

Os vegetais são organismos vivos que apresentam hábito de vida sésstil, logo, estão sujeitos a diversas alterações bióticas e abióticas no espaço que ocupam. Desse modo, esses seres vivos desenvolveram mecanismos de sobrevivência e desenvolvimento, visto que a capacidade de resistir aos eventos estressantes aos quais estarão sujeitos durante seu ciclo de vida, é fundamental para o sucesso da espécie (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Assim, ao longo do tempo, os vegetais podem desenvolver adaptações ao ambiente em que vivem. Essas adaptações ocorrem a partir de mudanças genéticas na população por meio da seleção natural. No entanto, indivíduos de uma população podem responder às mudanças ambientais que podem ser benéficas ou prejudiciais, o

---

que pode ocasionar alterações fisiológicas, anatômicas e morfológicas no vegetal. Nesse sentido, quando o vegetal é exposto a uma condição/fator estressante, pode ativar várias respostas que lhe permita enfrentar perturbações ocasionadas por essas condições. Esse tipo de resposta é denominado de resposta ao estresse (TAIZ; ZEIGER, 2013).

As alterações ocasionadas devido à resposta ao estresse abiótico nos indivíduos são permitidas a partir da plasticidade fenotípica e representam mudanças não permanentes na fisiologia ou morfologia do indivíduo e podem ser revertidas se as condições ambientais prevalentes mudarem (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Diferentes fatores abióticos podem influenciar o crescimento e o desenvolvimento dos vegetais, tais como: inundação, seca, radiação UV elevada, salinidade, metais pesados, além de temperaturas altas e baixas (TAIZ; ZEIGER, 2013). Entre os diferentes tipos de alteração, Franco (2017) aponta em seu trabalho a deficiência hídrica, acúmulo de compostos alelopáticos, acúmulo de substâncias herbicidas e a sinalização por hormônios vegetais.

### 1.3.2 Comunicação Vegetal

Diante da diversidade de eventos estressantes a que os vegetais podem estar sujeitos durante o seu ciclo de vida, a capacidade de resistir a eles é determinante para o sucesso da espécie. Dito isso, a comunicação vegetal pode ter importante função de processamento dessas informações (GROSS, 2016), pois a sinalização após um evento estressante recebida de uma planta vizinha que já está sob efeito do estresse pode levar à ativação de mecanismos de tolerância, antes de ser exposta a condição adversa (FRANCO, 2017).

Como as plantas não apresentam mobilidade, os mecanismos de defesa e de comunicação são os mesmos, por volatilização na parte aérea e pela exsudação radicular, os quais liberam compostos químicos produzidos em diferentes tecidos e órgãos (GROSS, 2016; VENTURI; KEEL, 2016).

A volatilização é o tipo de comunicação vegetal mais relacionada aos benefícios ecológicos das populações vegetais. É um mecanismo utilizado para atração de polinizadores e para evitar herbivoria. Já a exsudação radicular é importante não só para a comunicação entre os vegetais, mas também é importante

---

para a interação entre planta e micro-organismos. Um fator importante para que ocorra comunicação radicular é que as raízes das plantas vizinhas ocorram no mesmo local, pois ainda que haja o distanciamento da parte aérea, o crescimento de raízes ocorre de maneira radial, possibilitando o contato com raízes de outras plantas vizinhas o que propicia a ocorrência eficiente da comunicação química (FRANCO, 2017).

A do estudo de Franco (2017) sabe-se que para suceder a comunicação radicular de uma planta com a outra é necessário que uma delas receba um estímulo externo. Assim, substâncias com atividades características vão induzir o vegetal a produzir respostas que podem alterar diferentes vias moleculares e fisiológicas e estimular a produção de sinalizadores para a planta vizinha que não foi afetada diretamente por aquela substância. Porém, ao receber a sinalização da planta afetada, a planta vizinha também pode apresentar alteração em diferentes parâmetros fisiológicos, anatômicos, morfológicos e biomoleculares, e em um evento futuro semelhante ao experimentado pela planta vizinha podem responder com maior efetividade a esta adversidade.

A partir do exposto, elaboramos uma sequência didática para promover a abordagem destes conhecimentos científicos para estudantes da disciplina de Fisiologia Vegetal de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas.

#### 1.4

#### SEQUÊNCIA DIDÁTICA E OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS: ELABORAÇÃO E APRESENTAÇÃO DAS ATIVIDADES PROPOSTAS

Fundamentamos nossa proposta de sequência didática a partir da obra de Zabala (1998) de nome *A Prática Educativa: como ensinar*. De acordo com o autor, critérios utilizados para organizar as atividades de ensino permitem identificar ou caracterizar alguns aspectos da forma de ensinar.

As sequências didáticas são definidas por Zabala (p.79) como “[...] conjunto ordenado de atividades estruturadas e articuladas para consecução de um objeto educacional em relação a um conteúdo concreto” [grifos do autor]. Portanto, as sequências de conteúdo apresentam uma série de atividades a fim de atingir um objetivo educacional estabelecido.

Deste modo, é importante observar quais atividades são necessárias

---

modificar ou acrescentar em uma sequência, de modo a identificar de que forma estas se articulam e estruturam na sequência.

Para a sistematização da sequência didática, nos baseamos na abordagem metodológica de ensino *Três momentos pedagógicos*, apresentada por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2012). Esta abordagem é caracterizada por três momentos de ensino, com funções específicas e diferenciadas entre si: a problematização inicial, a organização do conhecimento e a aplicação do conhecimento.

Na problematização inicial, o professor apresenta situações envolvidas com o tema do conteúdo, as quais os alunos reconhecem e presenciam, de forma que sejam desafiados a expor o que estão pensando sobre as situações, com base em poucas questões propostas relativas ao tema e às situações significativas.

A organização do conhecimento é o momento em que os conteúdos para compreensão do tema e da problematização inicial são sistematizados pelo professor. Nessa etapa, podem ser empregadas as mais variadas atividades, de modo que o professor possa desenvolver a conceituação identificada como fundamental para uma compreensão científica.

Na aplicação do conhecimento, o conhecimento que vem sendo incorporado pelos alunos é abordado de forma sistematizada, a fim de analisar e interpretar as situações relacionadas ao conhecimento apresentado. O principal objetivo deste momento é de incentivar os estudantes no emprego do conhecimento para que articulem a conceituação científica com situações reais.

Para contemplar os conhecimentos científicos trazidos na tese de Franco (2017) intitulada *Comunicação radicular induzida por diferentes tipos de substâncias químicas*, nos fundamentamos nas considerações da transposição didática de Chevallard (1991), a fim de evitarmos a deformação do conteúdo. Tais considerações foram apresentadas no capítulo 2 desta dissertação.

Diante disto, para contextualizar o assunto de comunicação radicular a partir de conteúdos presentes nos livros acadêmicos utilizados pelos estudantes, empregamos o conteúdo de estresse abiótico, que vai ao encontro do que é abordado na pesquisa desenvolvida por Franco (2017) e também dos referências que o pesquisador contempla no decorrer de seu trabalho.

Por o trabalho realizado por Franco (2017) conter muitas informações técnicas e um vasto referencial sobre o assunto e em função da adequação dessas informações para conteúdos a serem tratados em horas-aula, selecionamos informações-chave que pudessem demonstrar o trabalho como um todo, bem como sua relevância e pertinência para a formação inicial de professores de Ciências/Biologia.

Desse modo, informações de caráter mais técnico, como por exemplo aquelas sobre a regulação gênica do crescimento das raízes de determinadas espécies e especificidades da experimentação realizada, foram suprimidas, pois não julgamos relevantes abordá-la nas aulas com os licenciandos.

Além disso, no quadro 03 do capítulo 02, por exemplo, sintetizamos os resultados da experimentação de Franco (2017) de forma pontual, pois na fonte original, ao tratar de tais informações, o autor fazia uma discussão muito técnica, o que não nos pareceu pertinente abordar em uma aula para a formação de professores. Por esse motivo, em função da vigilância epistemológica, tivemos o cuidado de fazer uma edição por meio de um quadro, elencando os principais resultados da experimentação, que é o suficiente para que os licenciandos compreendam estes resultados.

Tais edições foram realizadas levando em consideração o princípio da vigilância epistemológica apresentado por Chevallard (1991), a fim de evitar que ocorresse uma deformação no processo de transposição dos saberes e que os mesmos não perdessem seus significados em relação às informações originais.

## 2 PRODUÇÃO TÉCNICA EDUCACIONAL

---

*O Produto Técnico Educacional apresentado neste documento é parte integrante da Dissertação de Mestrado Instituída: “ENSINO DE BOTÂNICA: uma sequência didática para atualização dos conhecimentos acerca do estresse abiótico e a comunicação radicular de plantas no ensino superior”, disponível em <<http://www.uenp.edu.br/mestrado-ensino>>. Para maiores informações, entre em contato com a autora: e-mail: [thaynara.apmachado@gmail.com](mailto:thaynara.apmachado@gmail.com).*

Para a sistematização da sequência didática, nos baseamos na abordagem metodológica de ensino *Três momentos pedagógicos*, apresentada por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2012). Esta abordagem é caracterizada por três momentos de ensino, com funções específicas e diferenciadas entre si: a problematização inicial, a organização do conhecimento e a aplicação do conhecimento.

Partindo do princípio apresentado por Zabala (1998) acerca da sequência didática e da abordagem didática dos três momentos pedagógicos, desenvolvemos uma sequência didática com diferentes modalidades didáticas e atividades avaliativas, a fim de contribuir para a aprendizagem dos conteúdos de estresse abiótico e comunicação radicular de futuros professores.

Para tanto, apresentamos a seguir o quadro geral da sequência didática sistematizada, o qual contém as atividades e quantidade de horas/aula sugeridas para cada momento pedagógico. Cada atividade foi pensada e justificada em cada passo da sequência, como pode ser visto no quadro a seguir (Quadro 1).

Quadro 01–Quadro geral da sequência didática baseada nos Três momentos pedagógicos.

MOMENTOS PEDAGÓGICOS	AULAS (H/A)	ESTRATÉGIA DE ENSINO	OBJETIVOS	JUSTIFICATIVA
1º Momento: Problematização inicial	Aula 01 1h/a	Avaliação diagnóstica inicial (A1).	Investigar os conhecimentos dos alunos a respeito dos conteúdos necessários para introdução à temática e de conteúdos prévios de estresse abiótico e comunicação vegetal a fim de orientar a estratégia de ensino do professor de forma a contribuir com a aprendizagem do estudante.	Orientar a estratégia de ensino do professor de forma mais adequada às características apresentadas pelos estudantes (HADJI, 1993; SANT'ANNA, 2014).
	Aula 02 2h/a	Abordagem de conceitos pré-requisitados (Nivelamento).	Apresentar, de modo geral, conceitos e definições a respeito dos conteúdos pré-requisitados, a fim de auxiliar os estudantes na compreensão da temática a ser introduzida.	Possibilitar a todos os estudantes, as mesmas condições para compreensão de conceitos previamente requisitados para o ensino do conteúdo de estresse vegetal e comunicação radicular. Tais conceitos referem-se a conteúdos relacionados aos conhecimentos genéticos e não diretamente ligados com a problematização da fase posterior.
		Situação problema acerca do conteúdo de estresse abiótico e comunicação radicular- Avaliação formativa (A2).	Levantar e problematizar os conhecimentos prévios dos alunos a partir de uma situação problema.	Problematizar o conhecimento prévio dos alunos, de modo que sejam desafiados a expor o que estão pensando sobre as situações (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2012).
	Aula 03 2h/a	Discussão a partir de um vídeo e um texto de divulgação científica - Avaliação formativa (A3).	Elaborar conclusões por meio de uma discussão a fim de que esta auxilie no processo de construção dos conhecimentos científicos que serão abordados nas aulas seguintes.	A atividade foi pensada para que o estudante aprenda a pesquisar conteúdos recentes de biologia, a fim de desenvolverem ideias novas (KRASILCHIK, 2004).

2º Momento: Organização do conhecimento	Aula 04 2h/a	Aula expositiva-dialogada dos conhecimentos científicos de estresse abiótico e comunicação radicular; Avaliação formativa: questões referentes aos conteúdos apresentados (A4).	Apresentar os conhecimentos científicos a respeito do estresse abiótico e da comunicação radicular para que os estudantes conheçam e compreendam tais conteúdos.	Introduzir o conteúdo de estresse abiótico e comunicação radicular para auxiliar no processo de construção deste conhecimento pelos estudantes.
	Aula 05 2h/a	Jogo: Trilha da comunicação vegetal; Avaliação formativa: Produção de texto (A5).	Aplicar um jogo didático, de forma dinâmica, a fim de auxiliar os estudantes para uma maior compreensão a respeito dos conteúdos de estresse abiótico e a comunicação vegetal.	Motivar os estudantes para situações de aprendizagem de fatos e conceitos, de forma dinâmica (KRASILCHIK, 2004).
	Aula 06 2h/a	Conversa com o pesquisador da tese “Comunicação radicular induzida por diferentes tipos de substâncias químicas” (FRANCO, 2017).	Relacionar a produção do conhecimento científico com o conhecimento acadêmico, a fim que esse processo desperte a curiosidade dos alunos em relação à pesquisa.	Integrar a produção de conhecimento científico ao processo de produção do conhecimento acadêmico.
3º Momento: Aplicação do conhecimento		Resolução de uma situação problema (Avaliação formativa – A6).	Analisar a associação do conhecimento científico pelos estudantes por meio de uma situação problema.	Abordar o conhecimento científico que vem sendo incorporado pelos estudantes de forma contextualizada e analisar a capacidade dos estudantes de articularem estes conhecimentos (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2012).
	Aula 07 2h/a	Avaliação somativa - Questionário final (A7).	Analisar de que forma o conhecimento científico vem sendo incorporado pelos estudantes.	Situar se as abordagens de ensino foram suficientes para a compreensão dos conhecimentos científicos (HADJI, 1993).

Fonte: dos autores (2018).

A seguir, apresentamos a sequência didática detalhada por cada aula.

## SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ATUALIZAÇÃO DOS CONHECIMENTOS ACERCA DO ESTRESSE ABIÓTICO E DA COMUNICAÇÃO RADICULAR DE PLANTAS NO ENSINO SUPERIOR



# AULA 1

Quadro 2 – Sequência didática: descrição da abordagem a ser realizada na aula 01.

APRESENTAÇÃO DO TEMA	
Duração	01 h/a
Objetivo	- Investigar os conhecimentos dos alunos a respeito dos conteúdos necessários para introdução à temática e de conteúdos prévios de estresse abiótico e comunicação vegetal a fim de orientar a estratégia de ensino do professor de forma a contribuir com a aprendizagem do estudante.
Modalidade didática	- Aula expositiva-dialogada
Estratégia de ensino	- Esclarecimento sobre a pesquisa e termo de consentimento para os estudantes assinarem; - Aplicação de uma avaliação diagnóstica (A1) por meio de questionário, a fim de investigar conceitos referentes à aclimatação, plasticidade, fenotípica, expressão gênica, fatores abióticos e comunicação vegetal.
Justificativa	Orientar a estratégia de ensino do professor de forma mais adequada às características apresentadas pelos estudantes (HADJI, 1993; SANT'ANNA, 2014).
Avaliação	A avaliação será na modalidade diagnóstica (A1), por meio do instrumento avaliativo questionário (Apêndice A).

Fonte: dos autores (2018).

A aula 01 (Quadro 02) será iniciada apresentando aos estudantes o esclarecimento a respeito da pesquisa que será realizada e do termo de consentimento que deverão assinar caso aceitem participar, concordando com os itens nele descritos.

Em seguida, será aplicada uma avaliação diagnóstica, codificada como A1 (Apêndice I), por meio do instrumento avaliativo questionário, contendo questões abertas para investigar o conhecimento que os estudantes têm a respeito dos conceitos considerados pré-requisitos (plasticidade fenotípica, expressão gênica, ambiente abiótico, relações hídricas, aclimatação). Neste momento, os conhecimentos

prévios acerca dos conhecimentos de estresse abiótico e comunicação vegetal também serão levantados.

A seguir, apresentamos a descrição da aula 02.



## AULA 2

Quadro 3 – Sequência didática: descrição da abordagem a ser realizada na aula 02.

NIVELAMENTO E PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL	
Duração	2 h/a
Objetivo	- Apresentar, de modo geral, conceitos e definições a respeito dos conteúdos pré-requisitados a fim de auxiliar os estudantes na compreensão da temática a ser introduzida. - Investigar e problematizar os conhecimentos prévios dos alunos a partir de uma situação problema.
Modalidade didática	- Aula expositiva-dialogada
Estratégia de ensino	- Abordagem dos conceitos a respeito da variabilidade genética, plasticidade fenotípica, expressão gênica, ambiente abiótico, relações hídricas e aclimação, por meio da modalidade didática aula expositiva-dialogada, a partir da apresentação em PowerPoint. - Problematização inicial a respeito dos conteúdos de estresse abiótico e comunicação vegetal, a partir de uma situação problema (A2).
Justificativa	Possibilitar a todos os estudantes as mesmas condições para compreensão de conceitos previamente requisitados para o ensino do conteúdo de estresse vegetal e comunicação radicalar. Problematizar o conhecimento prévio dos alunos, de modo que sejam desafiados a expor o que estão pensando sobre as situações (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERAMBUCO, 2012).
Avaliação	A avaliação será na modalidade formativa, por meio de uma resolução de problema (A2) (Apêndice B).

Fonte: dos autores.

Na aula 02 (Quadro 03), será realizada uma abordagem de nivelamento referente a conceitos que requerem a compreensão prévia dos estudantes, para assim introduzir o conteúdo da temática. Desse modo, será abordada uma síntese dos conteúdos a respeito da variabilidade genética, plasticidade fenotípica, expressão gênica, ambiente abiótico, relações hídricas e aclimação, por meio da modalidade didática aula expositiva-dialogada, a partir da apresentação em PowerPoint.

Posteriormente, será proposta aos estudantes a resolução de uma situação problema (Apêndice B), para o início da problematização inicial. O professor entregará uma folha contendo uma situação problema, a qual os estudantes deverão responder individualmente. Em seguida, eles socializarão suas respostas coletivamente, orientados pelo professor, de modo que neste momento, este questione e lance dúvidas acerca das respostas dadas, relacionando com o conteúdo que será abordado nas aulas seguintes.

A avaliação será na modalidade formativa, por meio da resolução de problema, codificada como A2.

A seguir, apresentamos a descrição da aula 03.



## AULA 3

Quadro 4 – Sequência didática: descrição da abordagem a ser realizada na aula 03.

PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL	
Tema e subtemas	Tema: Estresse abiótico e comunicação radicular. Subtemas: - Estresse abiótico - Volatilização - Comunicação radicular
Duração	2 h/a
Objetivo	Elaborar conclusões por meio de uma discussão a fim de que esta auxilie no processo de construção dos conhecimentos científicos que serão abordados nas aulas seguintes.
Modalidade didática	Discussão
Estratégia de ensino	- Feedback da aula anterior; - Apresentação de um vídeo referente aos conhecimentos de comunicação entre plantas, apresentados no livro “A vida secreta das árvores” de Peter Wohlleben, disponível em: <a href="http://g1.globo.com/fantastico/noticia/2017/05/alemao-defende-que-arvores-se-ajudam-conversam-e-se-apaixonam.html">http://g1.globo.com/fantastico/noticia/2017/05/alemao-defende-que-arvores-se-ajudam-conversam-e-se-apaixonam.html</a> - Leitura e discussão de um texto de divulgação científica e coleta de dados (Anexo A); - Elaboração de conclusões a respeito da problematização inicial a partir da discussão do texto e do vídeo.
Justificativa	A atividade foi pensada para que o estudante aprenda a pesquisar conteúdos recentes de biologia a fim de desenvolverem novas ideias (KRASILCHIK, 2004).
Avaliação	Avaliação formativa, por meio da observação e análise da discussão (A4).

Fonte: dos autores (2018).

---

A aula 03 (Quadro 04) será iniciada fazendo um feedback dos assuntos da aula anterior. Em seguida, o professor informará aos estudantes que irá apresentar um vídeo e, posteriormente, eles lerão um texto para iniciar uma discussão. Desse modo, os estudantes serão organizados em círculo e assistirão a um vídeo de uma entrevista do programa intitulado Fantástico, transmitido pela Rede Globo, com o engenheiro florestal e pesquisador Peter Wohlleben, que defende a teoria da comunicação entre as árvores. No vídeo, Wohlleben explica as teorias em que acredita, presentes em seu livro de nome *A vida secreta das árvores*.

Após este momento, o professor entregará aos estudantes uma síntese em português de um texto de divulgação científica, intitulado *Could plants have cognitive abilities?* do autor Michal Gross (2016). Este texto aborda evidências científicas de que as plantas poderiam se comunicar, lembrar e até contar — características estas que poderiam ser chamadas de habilidades cognitivas caso fossem observadas em animais. O professor irá propor a leitura do texto e, a partir deste e do vídeo, pedirá que os estudantes colem dados que possam auxiliá-los quanto à formulação de conclusões acerca da problematização inicial para que exponham suas conclusões para a turma na discussão orientada pelo professor, de forma que haja a participação de todos os estudantes.

A avaliação será na modalidade formativa, por meio da discussão.

A seguir, apresentamos a descrição da aula 04.



## AULA 4

Quadro 5 – Sequência didática: descrição da abordagem a ser realizada na aula 04.

Organização do conhecimento	
Tema e subtemas	Tema: Estresse abiótico e comunicação radicular Subtemas: - Fatores abióticos que levam ao estresse vegetal - Resposta e adaptações ao estresse abiótico - Comunicação radicular entre plantas vizinhas
Duração	2 h/a
Objetivo	Apresentar os conhecimentos científicos a respeito do estresse abiótico e da comunicação radicular para que os estudantes conheçam e compreendam tais conteúdos.
Modalidade didática	Aula expositiva-dialogada
Estratégia de ensino	- Feedback da aula anterior; - Apresentação dos conhecimentos científicos acerca da relação entre o estresse abiótico e a comunicação radicular baseada na tese de Franco (2017), por meio de apresentação em PowerPoint; - Avaliação formativa.
Justificativa	Introduzir o conteúdo de estresse abiótico e comunicação radicular para auxiliar no processo de construção desse conhecimento pelos estudantes.
Avaliação	A avaliação será na modalidade formativa, por meio do instrumento questionário (Apêndice C).

Fonte: dos autores (2018).

A aula 04 (quadro 05) será iniciada fazendo um feedback a respeito dos assuntos da aula anterior. Em seguida, serão apresentados os conhecimentos científicos a respeito do estresse abiótico e a comunicação radicular, baseado na tese de Franco (2017), a fim de que os estudantes conheçam e compreendam esses conteúdos. Para tanto, a aula se dará na modalidade expositiva-dialogada, utilizando o Software do PowerPoint.

Primeiramente, serão apresentados aos estudantes os conhecimentos a respeito das adaptações dos vegetais devido ao estresse ocasionado por fatores abióticos. Em seguida, serão contemplados conhecimentos relativos à comunicação radicular mediante ao estresse abiótico, conforme descrito abaixo.

Para tanto, será apontado que os vegetais, por apresentarem hábito de vida séssil, estão sujeitos a diversas alterações bióticas e abióticas no espaço que

---

ocupam. Desse modo, desenvolveram mecanismos de sobrevivência para resistir a eventos estressantes, o que é fundamental para o sucesso da espécie. Essas adaptações podem ocorrer tanto por mudanças genéticas na população quanto por os indivíduos de uma população poderem responder às mudanças ambientais por meio de alterações fisiológicas, anatômicas e morfológicas. Esse tipo de resposta é denominado de resposta ao estresse (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A resposta ao estresse pode ser ocasionada por diferentes fatores abióticos, tais como: inundação, seca, salinidade, metais pesados, entre outros, os quais podem influenciar no crescimento e desenvolvimento dos vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Diante da diversidade de eventos estressantes a que os vegetais estão sujeitos durante o seu ciclo de vida, a capacidade de resistir a estes é determinante para o sucesso da espécie. Dito isso, a comunicação vegetal pode ter importante função de processamento destas informações (GROSS, 2016), pois a sinalização após um evento estressante recebida de uma planta vizinha que já está sob efeito do estresse pode levar à ativação de mecanismos de tolerância antes de a planta não exposta ser submetida à condição adversa.

Como as plantas não apresentam mobilidade, os mecanismos de defesa e de comunicação são os mesmos: por volatilização na parte aérea e pela exsudação radicular, os quais liberam compostos químicos produzidos em diferentes tecidos e órgãos. (GROSS, 2016; VENTURI; KEEL, 2016).

Em uma pesquisa realizada por Franco (2017), foram testados diferentes tipos de substâncias, investigando se estas poderiam induzir à comunicação radicular em plantas de sorgo. Além disso, a pesquisa testou se a sinalização recebida por plantas vizinhas levaria a alterações nos parâmetros avaliados (comprimento de raiz e parte aérea, trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, atividade de enzimas antioxidantes e expressão dos genes do desenvolvimento de raiz), a partir da hipótese de que as plantas de sorgo, submetidas às diferentes substâncias aplicadas, transmitem sinal para as plantas vizinhas quanto às condições a que estão expostas. As plantas vizinhas ao receberem esse sinal puderam antecipar respostas e posteriormente ao serem afetadas por essas moléculas apresentaram maior tolerância.

---

A partir deste estudo, sabe-se que para suceder a comunicação radicular de uma planta com a outra é necessário que uma delas receba um estímulo externo. Assim, substâncias com atividades características vão induzir o vegetal a produzir respostas que podem alterar diferentes vias moleculares e fisiológicas e estimular a produção de sinalizadores para a planta vizinha que não foi afetada diretamente por aquela substância. Entretanto, ao receber a sinalização da planta afetada, a planta vizinha também pode apresentar alteração em diferentes parâmetros fisiológicos, anatômicos, morfológicos e biomoleculares e, em um evento futuro, semelhante ao experimentado pela planta vizinha, podem responder com maior efetividade a essa adversidade (FRANCO, 2017).

Com efeito, a comunicação radicular se caracteriza como um importante sistema de sinalização aos diferentes tipos de alterações abióticas, e as plantas que recebem a sinalização podem antecipar respostas, aumentando as chances de tolerar essa alteração e podem evitar o estresse (FRANCO, 2017).

Por fim, será realizada uma avaliação formativa, por meio de um questionário, codificada como A4, a fim de analisar o que os alunos conseguiram compreender do conteúdo (Apêndice C).

A seguir, apresentamos a descrição da aula 05.



## AULA 5

Quadro 6 – Sequência didática: descrição da abordagem a ser realizada na aula 05.

ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO POR MEIO DE UM JOGO DIDÁTICO	
Tema e subtemas	Tema: Estresse abiótico e comunicação vegetal Subtemas: - Fatores abióticos que levam ao estresse vegetal - Resposta e adaptações ao estresse abiótico - Comunicação radicular entre plantas vizinhas
Duração	2 h/a
Objetivo	Aplicar um jogo didático, de forma dinâmica, a fim de auxiliar os estudantes para uma maior compreensão a respeito dos conteúdos de estresse abiótico e a comunicação vegetal.
Modalidade didática	Simulação: jogo didático (KRASILCHIK, 2004).
Estratégia de ensino	- Feedback da aula anterior - Aplicação do jogo trilha da comunicação vegetal - Produção de texto: relato a respeito da estratégia didática.
Justificativa	Motivar os estudantes para situações de aprendizagem de fatos e conceitos, de forma dinâmica (KRASILCHIK, 2004).
Avaliação	Avaliação será na modalidade formativa, por meio de produção de texto.

Fonte: dos autores (018).

A aula 05 (Quadro 06) será iniciada com um feedback da aula anterior, relembrando os conceitos principais do conteúdo. Em seguida, os estudantes serão organizados na sala de aula, onde será aplicado um jogo didático denominado *Trilha da comunicação vegetal*. O jogo visa de uma forma dinâmica, propiciar aos estudantes maior compreensão a respeito dos conteúdos de estresse abiótico e a comunicação vegetal. Este pode ser realizado tanto dentro da sala de aula, quanto na parte externa da escola e/ou universidade.

Para tanto, o jogo constará de uma trilha desenhada em papel Kraft, de tamanho que permita o movimento dos estudantes (Figura 1). Para o percurso da trilha, eles terão que responder a perguntas pré-elaboradas, dispostas em cartões divididos em dois assuntos: 10 cartas relacionadas ao estresse abiótico e 10 cartas relacionadas à comunicação vegetal. Desse modo, os alunos serão divididos em duplas ou grupos com até cinco pessoas, sendo que cada dupla ou grupo escolherá um

representante para realizar o percurso e responder às perguntas com a ajuda do seu respectivo grupo. As perguntas estarão separadas em pilhas de cartões.

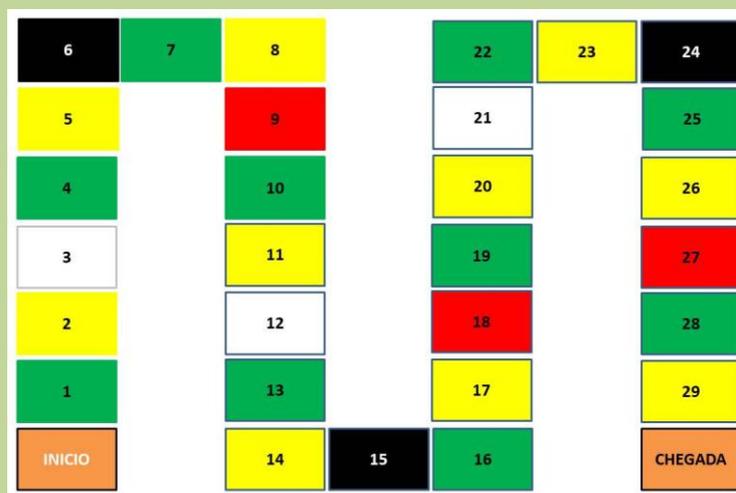


Figura 1 – Modelo do percurso do jogo *Trilha da Comunicação Vegetal*, para ser desenhado em tamanho que permita o movimento dos estudantes. Fonte: dos autores.

Para o início do jogo, todos os participantes jogam o dado e aquele que tirar o número mais alto começa. A trilha deve ser percorrida em sentido horário a partir do primeiro jogador. As questões devem ser lidas pelo professor ou alguém que não esteja jogando no momento. Cada jogador deverá jogar o dado na sua vez para andar as casas. Cada espaço equivale a um tipo de carta. Se o jogador da vez acertar a questão, ele permanecerá no mesmo local, aguardando a próxima rodada para jogar o dado; se errar, o aluno retornará uma casa e aguardará até a próxima rodada.

Além disso, o percurso da trilha conterá espaços extras, referentes a alguma penalidade. Se o aluno tiver que voltar no caminho, não deverá cumprir os comandos dos espaços que parar. O jogo termina quando um jogador chegar primeiro ao FIM. Ele será o vencedor.

No final, o professor repassará as questões com os alunos, interpretando as respostas. Espera-se, com a aplicação do jogo, motivar os estudantes para situações de aprendizagem de fatos e conceitos e que, de forma dinâmica, os alunos possam adquirir maior compreensão sobre os assuntos e estudados. As regras do jogo e as questões dos cartões estão disponíveis no apêndice E.

Por fim, será proposto que os estudantes produzam um texto no qual deverão descrever a atividade realizada e relatar sua opinião a respeito da estratégia didática para com a sua aprendizagem. A atividade será caracterizada como avaliação formativa, codificada como A5.

A seguir, apresentamos a descrição da aula 06.



## AULA 6

Quadro 7 – Sequência didática: descrição da abordagem a ser realizada na aula 06.

ORGANIZAÇÃO E APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO	
Tema e subtemas	Tema: Estresse abiótico e comunicação vegetal Subtemas: - Fatores abióticos que levam ao estresse vegetal - Resposta e adaptações ao estresse abiótico - Comunicação radicular entre plantas vizinhas
Duração	2 h/a
Objetivo	- Relacionar a produção do conhecimento científico com o conhecimento acadêmico, a fim que os despertem a curiosidade dos alunos em relação à pesquisa. - Analisar a associação do conhecimento científico pelos estudantes, por meio de uma situação problema.
Modalidade didática	Aula expositiva-dialogada
Estratégia de ensino	- Feedback da aula anterior; - Conversa com o pesquisador da tese intitulada Comunicação radicular induzida por diferentes tipos de substâncias químicas (FRANCO, 2017). - Aplicação de uma avaliação formativa, por meio da resolução de uma situação problema;
Justificativa	- Integrar a produção de conhecimento científico com relação ao processo de produção do conhecimento acadêmico. - Abordar o conhecimento científico que vem sendo incorporado pelos estudantes de forma contextualizada e analisar a capacidade dos estudantes de articularem estes conhecimentos (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2012).
Avaliação	Avaliação formativa (A6), por meio de uma resolução de problema (Apêndice F).

Fonte: dos autores (2018).

A aula 06 (Quadro 07) será iniciada com um feedback da aula anterior relacionado à aplicação e aos conceitos apresentados no jogo didático. Em seguida, será realizada uma apresentação do pesquisador da tese Comunicação radicular

induzida por diferentes tipos de substâncias químicas (FRANCO, 2017), a qual se dará por meio de uma conversa sobre o conhecimento científico que foi apresentado aos estudantes, de modo que estes possam questionar o pesquisador sobre curiosidades em relação ao tema e tirar dúvidas. O intuito desta aula é integrar a produção de conhecimento científico em relação à produção do conhecimento acadêmico, a fim que esse processo desperte a curiosidade dos alunos em relação à pesquisa.

Por fim, será proposto que os estudantes realizem a resolução de uma situação problema, que constará como uma avaliação formativa, codificada como A7 (Apêndice F), a fim de abordar o conhecimento científico que vem sendo incorporado pelos estudantes de forma contextualizada e analisar e interpretar a capacidade dos estudantes articularem estes conhecimentos por meio de uma situação problema.



## AULA 7

Quadro 8 – Sequência didática: descrição da abordagem a ser realizada na aula 07.

APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO	
Tema e subtemas	Tema: Estresse abiótico e comunicação vegetal Subtemas: - Fatores abióticos que levam ao estresse vegetal - Resposta e adaptações ao estresse abiótico - Comunicação radicular entre plantas vizinhas
Duração	2 h/a
Objetivo	Analisar de que forma o conhecimento científico vem sendo incorporado pelos estudantes.
Modalidade didática	Avaliação
Estratégia de ensino	- Feedback da aula anterior; - Aplicação de uma avaliação somativa por meio de questionário relacionado aos conhecimentos científicos de estresse abiótico e comunicação vegetal.
Justificativa	Situar se as abordagens de ensino foram suficientes para a compreensão dos conhecimentos científicos (HADJI, 1993).
Avaliação	Avaliação somativa (A7), por meio de questionário (Apêndice G).

Fonte: dos autores (2018).

A aula 07 (Quadro 08) será iniciada com um feedback da aula anterior concernente à aplicação e aos conceitos apresentados no jogo didático. Em seguida, será aplicada uma avaliação somativa por meio de questionário, codificado como A8

---

(Apêndice G), em que serão retomadas questões e situações da problematização inicial a fim de investigar se as abordagens de ensino foram suficientes para a compreensão dos conhecimentos científicos.

## 3 SUGESTÕES DE LEITURA

---

Como apoio, sugerimos aos interessados a leitura dos seguintes textos:

- ✚ CHEVALLARD, Yves. La transposición didáctica: del saber sábio al saber enseñado. Buenos Aires: Aique, 1991.
- ✚ DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André P.; PERNAMBUCO, Marta Maria C. A. Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos. 5 ed. São Paulo: Cortez, 2012.
- ✚ FRANCO, Danilo M. Comunicação radicular induzida por diferentes tipos de substâncias químicas. 2017. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas – Botânica) – Universidade Estadual Paulista/UNESP, Botucatu –SP, 2017.
- ✚ ZABALA, Antoni. A prática educativa: como ensinar. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1998.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

A sequência didática apresentada foi inicialmente aplicada em uma turma do 4º de um curso de licenciatura em Ciências Biológicas. Esta primeira aplicação contribuiu para o conhecimento do conteúdo de estresse abiótico e comunicação pelos licenciandos ao longo das atividades, possibilitando que estes futuros professores de Ciências e Biologia tenham conhecimentos científicos que ainda não estão disseminados no meio acadêmico.

Para ser utilizada em outros contextos, possivelmente serão necessárias adaptações deste material, em função dos contextos que cada docente e seus estudantes vivenciam. Desse modo, caso o professor desejar adaptá-la e/ou inverter a posição das atividades, é necessário repensar a abordagem dos três momentos pedagógicos e garantir que o conteúdo de estresse abiótico e comunicação radicular não seja muito simplificado a ponto de ser deformado, fugindo ao objetivo central desta proposta pedagógica.

Cabe ressaltar que o assunto a respeito da comunicação radicular pode se encaixar em diferentes conteúdos da Fisiologia Vegetal, assim como pode englobar conteúdos de outras disciplinas (por exemplo Evolução). Portanto, fica a critério do professor que deseja abordar o tema de comunicação radicular de plantas escolher o momento oportuno para fazê-lo.

Desse modo, nossa sequência didática também apresenta-se como uma possibilidade para o ensino de conhecimentos relacionados a Genética e Evolução, podendo o professor adaptá-la conforme achar necessária.

## REFERÊNCIAS

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André P.; PERNAMBUCO, Marta Maria C. A. Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2012.

FRANCO, Danilo M. Comunicação radicular induzida por diferentes tipos de substâncias químicas. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas – Botânica) – Universidade Estadual Paulista/UNESP, Botucatu –SP, 2017.

G1. Fantástico. Alemão defende que árvores se ajudam, conversam e se apaixonam: edição do dia 07/05/2017. Disponível em: <http://g1.globo.com/fantastico/noticia/2017/05/alemao-defende-que-arvores-se-ajudam-conversam-e-se-apaixonam.html>. Acesso em: 08 set. 2017.

GROSS, Michael. Could plants have cognitive abilities? *Current Biology*, v. 26, n. 5, p. 181-184, mar. 2016. Disponível em: [https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(16\)30126-9](https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(16)30126-9). Acesso em: 22 ago. 2017.

HADJI, Charles. A avaliação, regras do jogo: das intenções aos instrumentos. 4. ed. Portugal: Porto editora, 1993.

KRASILCHIK, Myriam. Prática de ensino de biologia. 4. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

SANT'ANNA, Ilza M. Por que avaliar? Como avaliar? : critérios e instrumentos. 17. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2014.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. Fisiologia vegetal. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

VENTURI, Vittorio; KEEL, Christoph. Signaling in the Rhizosphere. *Trends in plant science*, v. 21, n. 3, p. 187-198, mar. 2016.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A

### ENSINO DE BOTÂNICA: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ATUALIZAÇÃO DOS CONHECIMENTOS ACERCA DO ESTRESSE ABIÓTICO E DA COMUNICAÇÃO RADICULAR NO ENSINO SUPERIOR

Instituição: \_\_\_\_\_  
Disciplina: \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_  
Estudante: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

#### AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA

Instruções para a avaliação:

- A avaliação deverá ser feita de caneta azul ou preta;
- Não deixar nenhuma questão sem responder. Nas questões que não souber, responder: não sei ou não me lembro.

Responda:

1. O que você entende por aclimatação?
2. O que é plasticidade fenotípica?
3. Descreva o que você entende por expressão gênica.
4. Em um dado ambiente, onde as plantas se desenvolvem, quais fatores são considerados abióticos? Estes fatores podem influenciar o desenvolvimento vegetal? Explique.
5. Para você, as plantas podem comunicar-se com outras plantas vizinhas? Justifique.
6. Em sua visão, de que forma os vegetais defendem-se de eventos prejudiciais à sua sobrevivência?

## APÊNDICE B

### ENSINO DE BOTÂNICA: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ATUALIZAÇÃO DOS CONHECIMENTOS ACERCA DO ESTRESSE ABIÓTICO E A COMUNICAÇÃO RADICULAR NO ENSINO SUPERIOR

---

Instituição: \_\_\_\_\_  
Disciplina: \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_  
Estudante: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

#### SITUAÇÃO PROBLEMA

Os animais e nós seres humanos possuímos o hábito de nos locomover. Desse modo, diante de situações conflitantes ou situações de perigo à sobrevivência, o mecanismo de locomoção nos permite “fugir” destas situações. No entanto, os vegetais são organismos que apresentam hábito de vida sésstil, logo, estão sujeitos a diversas alterações e situações que ocorram no espaço que ocupam.

Por exemplo, no algodoeiro (*Gossypium hirsutum*), em situações de déficit hídrico moderado, pode ocorrer a abscisão foliar, reduzindo relativamente à área foliar de perda de água.

Qual a vantagem do algodoeiro perder suas folhas em situações de déficit hídrico? Qual mecanismo dos vegetais permite a ocorrência desse fenômeno? Em situações estressantes, como a citada acima, poderiam as plantas comunicar às suas vizinhas a respeito dessas situações? Explique.

## APÊNDICE C

### ENSINO DE BOTÂNICA: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ATUALIZAÇÃO DOS CONHECIMENTOS ACERCA DO ESTRESSE ABIÓTICO E A COMUNICAÇÃO RADICULAR NO ENSINO SUPERIOR

Instituição: \_\_\_\_\_  
Disciplina: \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_  
Estudante: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

#### Avaliação formativa (A4)

Instruções para a avaliação:

- A avaliação deverá ser feita de caneta azul ou preta.

Responda:

1. Os vegetais, por serem organismos sésseis, estão sujeitos a diversas alterações bióticas e abióticas no espaço que ocupam. Desse modo, de que forma os vegetais resistem a eventos estressantes e prejudiciais à sua sobrevivência?
2. Diferentes fatores abióticos influenciam o crescimento e o desenvolvimento dos vegetais. Desse modo, cite no mínimo 02 fatores abióticos e seus respectivos efeitos no vegetal.
3. De que forma a fisiologia vegetal pode compreender melhor o desenvolvimento e o metabolismo das plantas? Explique.
4. A comunicação vegetal pode ter importante função para o processamento das informações de eventos estressantes. Como as plantas não apresentam mobilidade, quais são os mecanismos de comunicação entre plantas vizinhas? Explique-os.
5. Na comunicação radicular, as plantas vizinhas ao receberem um sinal podem antecipar respostas às condições em que a planta sinalizadora está exposta? Explique e exemplifique.

## APÊNDICE D

### Regras do jogo.

Os estudantes serão divididos em grupos de duas a cinco pessoas, sendo que cada grupo escolherá um representante para realizar o percurso e responder as perguntas com a ajuda do seu respectivo grupo. As perguntas estarão separadas em pilhas de cartões divididos em dois assuntos, 10 cartas relacionadas ao estresse abiótico e 10 cartas relacionadas à comunicação vegetal, as quais contêm questões com alternativas ou para responder verdadeiro e falso.

Para o início do jogo, todos os jogadores jogam o dado e aquele que tirar o número mais alto começa. A trilha deve ser percorrida em sentido horário a partir do primeiro jogador. As questões devem ser lidas pelo professor ou alguém que não esteja jogando no momento. Cada participante deverá jogar o dado na sua vez para andar as casas. Cada espaço da trilha equivale a um tipo de carta, espaço **VERDE**: estresse abiótico; espaço **AMARELO**: comunicação vegetal. Se o jogador da vez acertar a questão, ele permanecerá no mesmo local, aguardando a próxima rodada para jogar o dado; se errar, o aluno retornará uma casa e aguardará até a próxima rodada.

Além disso, o percurso da trilha conterá espaços extras, referentes a alguma penalidade: espaço **VERMELHO**: retorne duas casas; espaço **ROSA**: retorne uma casa; espaço **PRETO**: fique uma rodada sem jogar. Se o aluno tiver que voltar no caminho, não deverá cumprir os comandos dos espaços que parar. O jogo termina quando um jogador chegar primeiro na CHEGADA, sendo ele o vencedor.

## APÊNDICE E

### Questões do jogo: Trilha da comunicação vegetal

#### Questões a respeito do estresse abiótico

1. Qual a importância dos mecanismos de adaptação vegetal diante das diversas alterações no ambiente em que estão sujeitos?
  - a) Realizar maior quantidade de fotossíntese
  - b) Resistir aos eventos estressantes e manter a espécie**
  - c) Não apresentam importância significativa
2. As adaptações nos vegetais ocorrem a partir de mudanças genéticas:
  - a) Na população**
  - b) Na comunidade
  - c) No indivíduo
3. Os indivíduos podem responder às mudanças ambientais ocasionando:
  - a) Alterações fisiológicas, anatômicas e morfológicas no vegetal**
  - b) Alterações fisiológicas e anatômicas no vegetal
  - c) Apenas alterações morfológicas no vegetal
4. Os fatores abióticos podem influenciar o crescimento e o desenvolvimento dos vegetais. Responda a alternativa que indique corretamente alguns destes fatores:
  - a) Deficiência hídrica, fotossíntese e inundação
  - b) Deficiência hídrica, temperatura elevada e substâncias herbicidas**
  - c) Deficiência hídrica, fotossíntese e temperatura elevada
5. De que forma a fisiologia vegetal pode compreender melhor o desenvolvimento e o metabolismo das plantas:
  - a) Plasticidade fenotípica
  - b) Adaptação genética
  - c) Expressão gênica**

6. Após um evento estressante, a comunicação da planta afetada para a planta vizinha pode levar à ativação de mecanismos de tolerância, antes de ser exposta a condição adversa?
  - a) **Sim**
  - b) Não
  
7. Verdadeiro ou falso: As alterações ocasionadas devido à resposta ao estresse nos indivíduos são permitidas a partir da plasticidade fenotípica. **R: Verdadeiro**
  
8. Verdadeiro ou falso: Os fatores abióticos não influenciam o desenvolvimento dos vegetais. **R: Falso**
  
9. Verdadeiro ou falso: O crescimento da raiz é um aspecto menos afetado por diferentes tipos de alterações abióticas. **R: Falso**
  
10. Quando as alterações abióticas interferem no desenvolvimento de raízes, a expressão de genes relacionados a este parâmetro será alterada. **R: Verdadeiro**

#### Questões a respeito da comunicação vegetal

1. Os mecanismos de defesa e de comunicação radicular são mediados por compostos químicos produzidos em diferentes tecidos e órgãos, os quais são liberados principalmente por:
  - a) Volatilização
  - b) Exsudação radicular
  - c) **Volatilização e exsudação radicular**
  
2. Um fator importante para que ocorra comunicação radicular é que as raízes das plantas vizinhas estejam:
  - a) Distantes umas das outras
  - b) **Próximas umas das outras**
  - c) As duas alternativas estão corretas

3. Na comunicação radicular, ao receber a sinalização da planta afetada, a planta vizinha também pode apresentar alterações:
  - a) **Fisiológicas, anatômicas, morfológicas e biomoleculares**
  - b) Somente fisiológicas e anatômicas
  - c) Somente fisiológicas e morfológicas
  
4. Na simulação de deficiência hídrica, por meio da utilização de manitol, tanta na planta afetada quanto na planta vizinha, pode ser observada:
  - a) Diminuição no desenvolvimento das raízes e aumento no desenvolvimento da parte aérea
  - b) **Diminuição no desenvolvimento das raízes e parte aérea**
  - c) Diminuição no desenvolvimento das raízes sem influência na parte aérea
  
5. A comunicação por raízes é uma importante via de sinalização, principalmente quanto à alteração ambiental é induzida por:
  - a) Agentes intrínsecos ao metabolismo vegetal
  - b) **Agentes extrínsecos ao metabolismo vegetal**
  - c) Todas afirmativas corretas
  
6. A experiência prévia de estresse é um importante mecanismo de adaptação possibilitado pela:
  - a) Expressão gênica
  - b) Plasticidade genotípica
  - c) **Plasticidade fenotípica**
  
7. Verdadeiro ou falso: Os mecanismos de defesa e de comunicação vegetal são os mesmos. **R: Verdadeiro**
  
8. Verdadeiro ou falso: A volatização é o tipo de comunicação vegetal mais relacionada a interação planta e micro-organismo. **R: Falso**

9. Verdadeiro ou falso: Na comunicação radicular, as plantas vizinhas ao receberem um sinal, não podem antecipar respostas às condições em que a planta sinalizadora está exposta. **R: Falso**
10. Verdadeiro ou falso: A capacidade do vegetal de aprender com a experiência prévia de estresse é importante para aprimorar a habilidade de aclimatação ao estresse ambiental. **R: verdadeiro.**

## APÊNDICE F

### ENSINO DE BOTÂNICA: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ATUALIZAÇÃO DOS CONHECIMENTOS ACERCA DO ESTRESSE ABIÓTICO E A COMUNICAÇÃO RADICULAR NO ENSINO SUPERIOR

Instituição: \_\_\_\_\_  
Disciplina: \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_  
Estudante: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

#### SITUAÇÃO PROBLEMA

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma cultura utilizada como base alimentar em muitas partes do mundo. Na América do Sul, nos Estados Unidos e na Austrália, esse cereal é utilizado basicamente na alimentação animal. Além disso, tem ocupado extensas áreas nos últimos tempos, devido, principalmente, às suas características de tolerância ao déficit hídrico e capacidade de rebrota, em relação ao milho, o que permite maiores produções por área.

No entanto, as plantas daninhas apresentam alto grau de interferência imposto à cultura. Assim, em culturas médias e grandes, é feito o uso de herbicidas para o controle.

Buscando identificar quais os efeitos que alguns herbicidas poderiam ocasionar no desenvolvimento das plantas de sorgo, pesquisadores resolveram aplicar o herbicida glifosato em uma parte de área em que espécies de sorgo estavam em desenvolvimento para comparar as plantas com e sem a aplicação do herbicida.

No decorrer do teste, observaram que as plantas de sorgo que foram tratadas com o herbicida e as plantas vizinhas que não receberam o tratamento estavam se desenvolvendo em menor tamanho comparativamente às plantas que estavam mais distantes destas. Ao analisarem outros parâmetros, como a condutância estomática e a expressão gênica, viram que esses fatores também foram alterados nas plantas tratadas e nas suas vizinhas em relação àquelas que estavam mais distantes.

Supondo que você faça parte da equipe destes pesquisadores, quais hipóteses você elencaria para justificar a ocorrência deste fenômeno? Qual motivo para que as plantas vizinhas que não receberam tratamento com herbicida tivessem

alterações em seu desenvolvimento parecidas com as das plantas que foram tratadas?

## APÊNDICE G

### ENSINO DE BOTÂNICA: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ATUALIZAÇÃO DOS CONHECIMENTOS ACERCA DO ESTRESSE ABIÓTICO E A COMUNICAÇÃO RADICULAR NO ENSINO SUPERIOR

Instituição: \_\_\_\_\_  
Disciplina: \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_  
Estudante: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

#### AVALIAÇÃO SOMATIVA

Responda:

1. A Fisiologia Vegetal conta com recursos da biologia molecular para compreender diversos fatores. Relacionada ao estresse abiótico e a comunicação radicular, como a biologia molecular pode auxiliar? Explique.
2. Diferentes fatores abióticos influenciam no metabolismo dos vegetais. Quais são eles e de que forma o distúrbio desses fatores podem influenciar?
3. De que forma os vegetais defendem-se de eventos estressantes e prejudiciais à sua sobrevivência?
4. Sua opinião sobre a comunicação entre plantas vizinhas mudou? Explique.
5. A resposta de plantas vizinhas à experiência prévia de estresse é possibilitada por qual mecanismo de adaptação? Explique.
6. Qual a importância do vegetal aprender com experiências prévias de estresse? Explique.

## ANEXO A

### Texto para discussão

GROSS, Michael. Could plants have cognitive abilities? *Current Biology*, v.26, p. 181–191, 2016.

#### AS PLANTAS PODEM POSSUIR HABILIDADES COGNITIVAS?<sup>3</sup>

A vegetação é tradicionalmente considerada passiva, não fazendo nada senão o que é essencial para crescer e sobreviver. No entanto, evidências estão se acumulando, em apoio de noções anteriormente esotéricas de que as plantas podem se comunicar, lembrar, até contar — características que se chamariam de cognitivo caso fossem observadas em animais (relatórios de Michael Gross).

Mas faz sentido usar o vocabulário cognitivo no contexto das plantas? Elas sabem qual inseto está mordiscando suas folhas, lembra-se de ameaças passadas, comunicam os organismos da mesma espécie ou solicitam a ajuda de um terceiro? Até uma década atrás, essas ideias residiam no domínio das filosofias esotéricas e eram consideradas próximas da pura fantasia. No entanto, uma compreensão mais profunda da sinalização química das plantas acima e abaixo do solo está começando a tornar a ideia da cognição da planta mais respeitável.

#### SINAIS VOLÁTEIS

As plantas não podem falar e é improvável que elas possam ouvir quando os jardineiros entusiasmados falam com elas, mas ao longo das últimas três décadas os canais de comunicação química foram descobertos a um ritmo crescente, com um número crescente de espécies receptoras encontradas para sintonizar, como Martin Heil de Investav em Irapuato, México, esboçou em uma revisão recente (*New Phytol.* (2014) 204, 291–306). No início, em 1983, David Rhoades, da Universidade de Washington em Seattle, informou que os salgueiros podem ganhar resistência ao redor de membros da mesma espécie danificados por herbívoros e especularam que uma molécula de sinal no ar agiu como um aviso - uma hipótese que foi confirmada

---

<sup>3</sup> Síntese em português do texto “*Could plants have cognitive abilities?*” de Michael Gross, 2016. [tradução nossa]

mais tarde, no mesmo ano por outros trabalhos utilizando o álamo. Embora ele seja agora considerado pioneiro, Rhoades teria sido levado para fora da ciência pela hostilidade que suas ideias enfrentavam na época.

Quando uma planta envia moléculas voláteis que indicam que ela está sendo atacada por insetos herbívoros, esta é uma informação pública que pode ser recebida por várias partes interessadas, incluindo não apenas outras plantas, mas também outros herbívoros e, de fato, carnívoros que desejam atacar os herbívoros alimentares. Assim, os receptores adicionais dos sinais foram identificados ao longo dos anos, incluindo ácaros predatórios (1988), vespas parasitóides (1990), insetos predatórios (1995), joaninhas e mariposas (2001), nematóides (2005) Plantas parasitas e partes anatomicamente remotas da planta emissora (2006) e aves (2008).

Qual dessas espécies é o destinatário "pretendido" do sinal que continua a ser estabelecido? Embora esse possivelmente possa ser um benefício evolutivo a ser adquirido, se organismos vizinhos da mesma espécie estreitamente relacionados forem alertados de maneira eficaz para o perigo ou se os predadores forem atraídos para os herbívoros de pastoreio, o alcance relativamente curto do sinal químico suporta a hipótese de Heil a favor de que a sinalização evoluiu como uma comunicação entre as folhas da mesma planta. Estes podem estar próximos no espaço e, portanto, sujeitos a um risco compartilhado de ataques herbívoros, mas ainda distantes na estrutura de ramificação e, portanto, difíceis ou impossíveis de alcançar através dos canais de fluido internos da planta.

Richard Karban, da Universidade da Califórnia em Davis, EUA, e colegas relataram recentemente uma investigação detalhada sobre os produtos voláteis específicos de plantas individuais de sagebrush (*Artemisia tridentata*). Esses autores descobriram que existem diferenças características e hereditárias no quimiotipo dos sinais de alerta das plantas. Os avisos recebidos de plantas com o mesmo quimiotipismo similar oferecem proteção mais efetiva, o que sugere que esses quimiotipos representam um tipo de reconhecimento de parentesco em plantas (New Phytol. (2014) 204, 380-385).

Mesmo que centenas de voláteis induzidos por herbívoros tenham sido identificados, informações precisas sobre a concentração no ar que envolve a planta emissora ainda são escassas, e seu destino adicional no meio ambiente

continua incompleto. Mais importante ainda, o mecanismo do receptor, o "nariz" da planta, avisado do perigo, permaneceu evasivo. Há indícios de que a acumulação de voláteis nas membranas da planta pode desempenhar um papel e que os mecanismos epigenéticos podem permitir que essas informações sejam armazenadas e transmitidas para a próxima geração, mas apenas como uma planta perde o perigo continua a ser descoberta.

Uma melhor compreensão desses mecanismos pode levar a novas abordagens no controle sustentável de pragas - uma das razões pelas quais esta área está sob intensa investigação no momento.

## ENGANO DO POLINIZADOR

Uma área altamente especializada e relativamente bem estudada de comunicação química pelas plantas é a de estratégia de polinização do engano sexual. Orquídeas em vários continentes evoluíram independentemente de sua capacidade de imitar feromônios de insetos femininos para atrair os machos. Esse engano é tão bem sucedido que as tentativas de copulação são frequentes e a energia direta do inseto assegura o passo crítico da polinização sem render qualquer recompensa para o polinizador.

Os pesquisadores ainda não têm certeza de como essa série maliciosa evoluiu e por que ela evoluiu repetidamente. Uma hipótese preferida em muitos casos é a pré-adaptação em que os produtos químicos envolvidos foram cooptados de outras funções e retribuíram, com modificações, a tarefa de enganar os polinizadores.

À medida que surgem mais casos de comunicação química entre plantas e polinizadores, fica claro que a mistura de produtos químicos tende a ser altamente específica para o par das espécies. Isso sugere que a capacidade de emitir esses sinais químicos específicos pode ter desempenhado um papel na especiação das plantas envolvidas.

## ABAIXO DO SOLO

Se a sinalização volátil é difícil de analisar, outro canal de comunicação importante para a interação de uma planta com seu ambiente está literalmente escondido da visão - seu sistema radicular. A importância do espaço subterrâneo em torno das raízes das plantas, povoada por uma ampla gama de espécies atraídas por substâncias químicas segregadas pelas raízes, foi reconhecida primeiramente por Lorenz Hiltner (1862-1923), que cunhou o termo "rizósfera" em 1904. Mais de um século depois, o conceito surgiu como uma das áreas mais significativas da ciência das plantas.

Abaixo do solo, como acima, as plantas interagem com seu próprio tipo e com múltiplas outras espécies de maneiras complexas. O progresso recente na metagenômica permitiu que os pesquisadores caracterizassem o microbioma da rizósfera no nível do genoma, estabelecendo a grande variedade de espécies, incluindo ajudantes e agentes patogênicos, que prosperam nesse ambiente e desempenham um papel crucial na vida da planta. Demonstrou-se que as plantas gastam partes significativas de sua energia metabólica sobre substâncias que servem para alimentar o microbioma da rizósfera, que em troca fornece serviços valiosos que podem melhorar o crescimento, o desenvolvimento, a nutrição ou a imunidade da planta. Essa troca de bens é tão rica e complexa que as teorias econômicas foram aplicadas para caracterizá-la.

Como o sucesso da interação com o microbioma depende do genótipo da planta, há preocupação de que a reprodução para a agricultura possa ter reduzido a adequação das plantas de cultivo para algumas das interações subterrâneas cujos benefícios podem não ser imediatamente óbvios para os criadores, como a imunidade. Uma melhor compreensão de toda a rizosfera poderia, assim, ajudar a restaurar as defesas naturais das plantas cultivadas e permitir um tipo de agricultura mais sustentável.

Progresso está sendo feito na análise da natureza química da comunicação na rizosfera. Mesmo pequenas plantas como *Arabidopsisthaliana* exalam mais de 100 compostos diferentes no solo. A amostragem deve ser bem considerada para garantir que as análises sejam representativas das condições de campo, e os métodos mais sofisticados de análise metabólica são necessários para

obter informações quantitativas sobre a situação complexa e dinâmica em torno das raízes das plantas.

A investigação direta da sinalização na rizósfera está atualmente focada na comunicação entre plantas e seus simbioses microbianos, como Vittorio Venturi e Christopher Keel relatam, embora o escopo possa ser ampliado para incluir todos os organismos presentes. As plantas podem enviar sinais para o microbioma do solo para recrutar espécies benéficas ou para ativar características benéficas. Por sua vez, os microrganismos podem indicar à planta hospedeira para ativar defesas, metabolismo influxo e desenvolvimento, ou induzir a resposta ao estresse.

As plantas também são conhecidas por se comunicar com seus vizinhos através das redes de raízes emaranhadas. As árvores, por exemplo, podem alimentar a sua descendência através das raízes e manter os tocos vivos. Eles também podem trocar informações sobre ameaças como a seca ou doenças. Alguns especialistas em florestas levaram a expressão da “wood-wide web” para caracterizar esta troca de informações escondida. É preciso explorar o modo como funciona em detalhes.

## MEMÓRIA E MATEMÁTICA

A comunicação pode ser a mais importante função de processamento de informações em plantas, mas não é de modo algum a única. Evidências se acumulam para sugerir que as plantas podem se lembrar de certos tipos de eventos e aprender a ignorá-los, mesmo que eles normalmente desencadeiem respostas de estresse. Stefano Mancuso, da Universidade de Florença, por exemplo, treinou as plantas mimosa (*Mimosa pudica*) para tolerar certos tipos de choques - como os experimentados em que pesquisadores as deixam cair no chão - sem ativar sua ampla resposta de dobra de folhas. Após uma série de 60 gotas, as plantas aceitaram esta condição como normal, enquanto ainda mantêm sua sensibilidade para outros eventos inesperados, como serem tocadas ou abaladas. O grupo de Monica Gagliano na Universidade da Austrália Ocidental da Crawley trabalhou com Mancuso para analisar a memória da planta usando abordagens normalmente reservadas para o

comportamento animal e descobriu que a aprendizagem e a memória melhoram em ambientes energeticamente caros, onde essas habilidades importam mais.

Em fevereiro, Rainer Hedrich, da Universidade de Würzburg, na Alemanha, informou neste jornal que a planta carnívora *Dionaea muscipula* pode contar o número de estímulos mecânicos recebidos por pelos sensoriais dentro de sua armadilha. Um estímulo pode vir de uma fonte não-alvo, como uma folha caída. Outros sucessos indicam a presença de um inseto em movimento e, após cada sinal, a planta aumenta a resposta, primeiro fechando a armadilha e liberando suas enzimas gástricas para digerir a presa. Por esta resposta gradual aos sinais recebidos, a planta garante que não desperdice energia em falsos alarmes.

Se as plantas podem aparentemente se comunicar, lembrar e contar, podemos considerar essas habilidades como processos cognitivos mesmo na ausência de um cérebro? O conceito certamente ressoa com o “zeitgeist” (sinal dos tempos), como testemunha o livro do guarda florestal alemão Peter Wohlleben, “*Das geheime Leben der Bäume*” (A Vida Secreta das Árvores), que passou meses no topo das tabelas de não-ficção na Alemanha desde sua publicação em 2015 e deverá aparecer em tradução em inglês e mais de uma dúzia de outras línguas este ano. Wohlleben populariza o que a ciência das plantas estabeleceu até agora, sem envergonhar o uso de antropomorfismos para descrever as interações cognitivas e sociais das plantas. Assim, ele fala de cuidado parental, amizade e relações sociais entre as árvores, o que parece ressoar com os leitores alemães amantes da floresta.

O risco de tal linguagem é que pode reviver controvérsias sobre afirmações altamente esotéricas feitas no passado em relação à consciência da planta, muitas vezes com base em uma mistura de ideias científicas e fantasia pura. Os achados realizados recentemente com as técnicas mais avançadas da ciência do século XXI podem sugerir, no entanto, que as habilidades cognitivas merecem ser levadas a sério e estudadas ainda mais. Elas não são apenas fantasias.